

Unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL



**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO EM SEMEADURA
DIRETA E CULTIVO CONVENCIONAL NA REGIÃO MEIO-
NORTE DO PIAUÍ**

RAIMUNDO JOSÉ DE SOUSA ROCHA
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2010

Unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO EM SEMEADURA
DIRETA E CULTIVO CONVENCIONAL NA REGIÃO MEIO-
NORTE DO PIAUÍ**

Raimundo José de Sousa Rocha

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Co-orientador: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2010

R672a Rocha, Raimundo José de Sousa
Adubação nitrogenada em milho em semeadura direta e cultivo convencional na região Meio-Norte do Piauí / Raimundo José de Sousa Rocha. -- Jaboticabal, 2010
xiv, 73 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho

Banca examinadora: Edson Luiz Mendes Coutinho, Luiz Evaldo de Moura Pádua, Takashi Muraoka, José Carlos Barbosa, José Eduardo Corá

Bibliografia

1. Dose econômica. 2. Eficiência de uso de N. 3. Meia-vida, 4. Nível crítico. 5. Reciclagem de N. 6 *Zea mays* L. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84: 633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

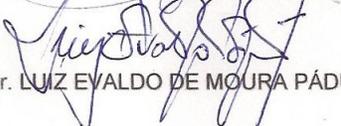
TÍTULO: ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO EM SEMEADURA DIRETA E CULTIVO CONVENCIONAL NA REGIÃO MEIO-NORTE DO PIAUÍ

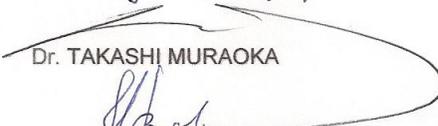
AUTOR: RAIMUNDO JOSÉ DE SOUSA ROCHA

ORIENTADOR: Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:


Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

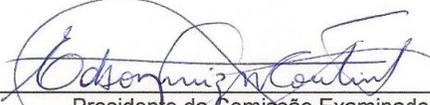

Dr. LUIZ EVALDO DE MOURA PÁDUA


Dr. TAKASHI MURAOKA


Dr. JOSÉ CARLOS BARBOSA


Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

Data da realização: 13 de julho de 2010.


Presidente da Comissão Examinadora
Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RAIMUNDO JOSÉ DE SOUSA ROCHA nasceu em Teresina, Piauí, filho de Luiz Mendes da Rocha e Francisca Dalva Parente Rocha. É Engenheiro Agrônomo, graduado em 1983 pela Universidade Federal do Piauí, em Teresina. Obteve título de mestre em Ciência Animal, área de concentração Nutrição e Produção de Animais de Interesse Econômico, em 2004, pela Universidade Federal do Piauí. Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, em 2006. Iniciou a carreira profissional na Emater-PI, e desde 1989, é professor do Colégio Agrícola de Teresina vinculado à Universidade Federal do Piauí.

À MINHA QUERIDA ESPOSA
PELO INCENTIVO

ANFRISINA (DOM)

AOS MEUS FILHOS

RAMIRO

CLARA

RAFAEL

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí, por viabilizar a Pós-Graduação em nível de Doutorado;

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade para realização do curso;

Ao meu Orientador Professor Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, por ter sido atencioso e amigo, colaborando de forma irrestrita no aprimoramento desta pesquisa, a qual me proporcionou grande ganho na formação científica e profissional;

Ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano, por sua disponibilidade e valiosas orientações na elaboração deste trabalho;

Aos coordenadores do Dinter, Professor Dr. Luiz Evaldo de Moura Pádua (UFPI) e Professor Dr. Jairo Osvaldo Cazetta (Unesp), pelo apoio e confiança demonstrados;

Aos Professores Drs. Antônio Baldo Geraldo Martins, Domingos Fornasieri Filho, Edson Luiz Mendes Coutinho, José Carlos Barbosa, Modesto Barreto e Renato de Melo Prado, pela contribuição no repasse de conhecimentos científicos que me permitiram essa conquista;

Ao Professores Drs. Domingos Fornasieri Filho, José Carlos Barbosa, Jairo Osvaldo Cazetta, Arthur Bernardes Cecílio Filho pelas valiosas sugestões apresentadas no exame de Qualificação;

Ao Colégio Agrícola de Teresina, na pessoa do seu diretor Francisco de Assis Sinimbú Neto, pelo irrestrito apoio na infra-estrutura para concretização deste trabalho;

Ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da UFPI, pela colaboração na liberação do laboratório e fornecimento de equipamentos e materiais para realização das análises;

Aos Professores Drs. João Batista Lopes e Francisco Ednaldo Mousinho, estimados colegas da UFPI meu muito obrigado pela valiosa colaboração;

Aos colegas do curso Eulália Maria Sousa Carvalho, Disraeli Reis da Rocha, Francisco Luiz Gonçalves de Abreu, Francisco de Assis Sinimbú Neto, José Orlando Piauilino Ferreira, Francisco Ferreira de Santana, Francisco de Brito Melo, Hélio Lima Santos, Paulo Roberto Santos de Carvalho, Raimundo Tomaz Costa Filho e Valdinar Bezerra dos Santos, pela boa convivência durante esse período;

Aos caros alunos estagiários do Colégio Agrícola de Teresina pela valiosa colaboração;

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Adubação nitrogenada na cultura do milho: Efeito de diferentes doses.....	4
2.2. Milho cultivado em semeadura direta e preparo convencional	9
2.3. Doses de nitrogênio no milho cultivado em semeadura direta e preparo convencional	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Características relacionadas à planta de cobertura	25
4.1.1. Relação C/N do feijão	25
4.1.2. Porcentagem de matéria seca remanescente do feijão.....	26
4.1.3. Velocidade de decomposição e liberação do nitrogênio da matéria seca do feijão	27
4.2. Características relacionadas à produção de matéria seca no milho ...	29

4.2.1. Matéria seca da parte aérea da planta	29
4.2.2. Matéria seca da folha na colheita.....	32
4.2.3. Matéria seca do sabugo + palha	35
4.2.4. Matéria seca do colmo + pendão	37
4.2.5. Matéria seca do grão	40
4.3. Características relacionadas às concentrações de nitrogênio nas partes aéreas do milho	43
4.3.1. Nitrogênio na parte aérea da planta	43
4.3.2. Nitrogênio do grão	45
4.3.3. Nitrogênio foliar	47
4.4. Produtividade de grãos do milho	50
4.5. Características relacionadas à eficiência do nitrogênio no milho	54
4.5.1. Eficiência de absorção do nitrogênio	54
4.5.2. Eficiência de uso do nitrogênio	56
4.5.3. Eficiência de utilização do nitrogênio	58
4.5.4. Eficiência de uso do nitrogênio no grão	60
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS	64

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Principais atributos químicos do solo utilizado	18
2. Concentrações de micronutrientes no solo utilizado	19
3. Análise granulométrica do solo utilizado	19
4. Relação carbono e nitrogênio (C/N) e matéria seca remanescente (MSr) do feijão utilizado como cobertura morta no milho cultivado em semeadura direta e adubação nitrogenada no ano agrícola de 2009	26
5. Decomposição da matéria seca ($T^{1/2}$) e liberação de nitrogênio da matéria seca ($T^{1/2}$) do feijão utilizado como planta de cobertura ($T^{1/2}$) no milho cultivado em semeadura direta e adubação nitrogenada no ano agrícola de 2009.....	28
6. Produção de matéria seca da parte aérea da planta do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	29
7. Produção de matéria seca da folha na colheita (MSfc) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	33
8. Produção de matéria seca do sabugo + palha (MSsp) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	36

9.	Produção de matéria seca do colmo + pendão (MScp) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	38
10.	Produção de matéria seca do grão (MSgr) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	41
11.	Concentrações de nitrogênio na parte aérea da planta, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	43
12.	Concentrações de nitrogênio do grão no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	46
13.	Concentrações de nitrogênio foliar no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	48
14.	Produtividade de grãos do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	51
15.	Eficiência de absorção do nitrogênio (Ean), em função sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	55
16.	Eficiência de uso do nitrogênio (Eun), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	57
17.	Eficiência de utilização do nitrogênio (Eutn), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	59
18.	Eficiência de uso do nitrogênio no grão (Eungr), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009	61

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1. Precipitação e temperatura média observadas durante a condução do experimento no ano agrícola de 2008	17
2. Precipitação e temperatura média observadas durante a condução do experimento no ano agrícola de 2009	18
3. Produção de matéria seca da parte aérea da planta (M _{Sp}), em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	31
4. Produção de matéria seca da folha na colheita (M _{Sfc}) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	34
5. Produção de matéria seca no sabugo + palha (M _{Ssp}) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	37
6. Produção de matéria seca no colmo + pendão (M _{Scp}) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	40
7. Produção de matéria seca do grão (M _{Sgr}) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	42
8. Concentrações de nitrogênio na parte aérea (N _p) da planta do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	44
9. Concentrações de nitrogênio no grão (N _{gr}) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	47

10.	Concentrações de nitrogênio foliar (Nf) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	49
11.	Relação entre a produtividade de grãos e as concentrações de nitrogênio nas folhas de milho	50
12.	Produtividade de grãos (Pgr) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	52
13.	Receita líquida da produção de grãos de milho, em função da adubação nitrogenada nos anos agrícolas de 2008 e 2009	53
14.	Eficiência de absorção do nitrogênio (Ean) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	56
15.	Eficiência de uso do nitrogênio (Eun) no milho, em função de sistemas de cultivo adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	58
16.	Eficiência de utilização do nitrogênio (Eungr) no milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	60
17.	Eficiência de uso do nitrogênio (Eungr) no grão do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009	62

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO EM SEMEADURA DIRETA E CULTIVO CONVENCIONAL NA REGIÃO MEIO-NORTE DO PIAUÍ

RESUMO – O nitrogênio é nutriente absorvido em maiores quantidades na cultura do milho e o que proporciona maiores produtividades de grãos, sendo seu uso no sistema solo-planta alterado pelo sistema de cultivo utilizado. Com o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de cultivo e doses de nitrogênio na produção de matéria seca, nitrogênio na planta, nitrogênio foliar, produtividade de grãos e eficiência do nitrogênio no milho, foi implantado experimento de campo nos anos de 2008 e 2009, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico, sob irrigação. Utilizou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, com oito repetições. As parcelas foram constituídas pela semeadura direta (SD) e plantio convencional (PC). Nas subparcelas, foram aplicadas seis doses de N (0; 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹) na forma de uréia. Em 2009 a fim de avaliar a velocidade de decomposição e liberação do nitrogênio do feijão utilizado como cobertura morta, esses resíduos foram acondicionados em sacolas de náilon, as quais foram dispostas sobre o solo nas parcelas correspondente a SD e o seu conteúdo analisado em intervalos de 25 dias, até 100 dias após sua instalação. A adubação nitrogenada aumentou significativamente as variáveis relacionadas com a produtividade, sendo que a SD proporcionou a maior produção de matéria seca da parte aérea, matéria seca do grão, nitrogênio na parte aérea, nitrogênio do grão, produtividade de grãos, eficiência de absorção e uso do nitrogênio. A faixa de suficiência de nitrogênio na folha variou de 25,7 a 28,4 g kg⁻¹. As doses máximas econômicas em 2008 e 2009 foram respectivamente de 125 e 160 kg ha⁻¹ N.

Termos de indexação: dose econômica, eficiência do uso de N, meia-vida, nível crítico, reciclagem de N, *Zea mays* L.

MAIZE NITROGEN FERTILIZATION IN NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE IN THE MID-NORTH REGION OF PIAUÍ

ABSTRACT – Nitrogen is the nutrient absorbed in largest quantities in maize which provides more grain yields, and its use in soil-plant system is modified by the tillage system utilized. Aiming to evaluate the effect of cropping systems and nitrogen rates on dry matter production, nitrogen in the plant, leaf nitrogen, grain yield and nitrogen efficiency in maize, field experiment was established in 2008 and 2009 in a dystrophic red-yellow Argisoil under irrigation. The split-plot experimental design were used with eight replications. The plots were established by no-tillage (NT) and conventional tillage (CT). Subplots were set in six levels of N(0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹) as urea. In 2009, in order to assess the speed of decomposition and nitrogen release from the bean plant used as cover crop, plant residues were packaged in nylon bags, which were arranged on the ground in the plots corresponding to NT and its contents examined at intervals of 25 days until 100 days after its installation. The nitrogen fertilization increased significantly the variables related to productivity, being that no-tillage provided the highest dry matter yield on shoot, dry matter of grain, nitrogen on shoot, grain nitrogen, grain yield, nitrogen uptake efficiency and nitrogen use efficiency. The sufficiency range of leaf nitrogen ranged from 25.7 to 28.4 g kg⁻¹. The maximum economic rates in 2008 and 2009 season were respectively 125 and 160 kg ha⁻¹N.

KEY WORDS: economic rate, nitrogen use efficiency, half-life, critical level, nitrogen recycling nutrition, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L) é um dos cereais de maior importância na economia brasileira. No Nordeste constitui-se numa das principais culturas agrícolas da região. Apesar da importância econômica e social deste cereal, dada sua participação como base alimentar da população e componente básico na alimentação de suínos e aves, sua produtividade é pequena, visto que a maioria dos produtores pratica uma agricultura de baixo nível tecnológico com restrição ao uso de sementes selecionadas, adubos, corretivos e técnicas de manejo mais adequadas às condições ambientais da região, fato constatado, pela produtividade (1.474 kg ha^{-1}) alcançada na safra 2007/08 (CONAB, 2010).

O estado do Piauí com produção de 322,9 mil toneladas alcançou em 2007/2008 produtividade de 1.110 kg ha^{-1} , bastante baixa quando comparada àquelas estabelecidas no Sul (4.872 kg ha^{-1}), Sudeste (4.857 kg ha^{-1}) e Centro-Oeste (4.421 kg ha^{-1}) (CONAB, 2010). As razões, mais uma vez, estão relacionadas aos baixos níveis tecnológicos aplicados à agricultura local.

Para uma mudança deste quadro, faz-se necessário uso de tecnologias de cultivo desenvolvidas e adaptadas a partir das condições edafoclimáticas locais. Entre essas, citam-se, o uso racional de fertilizantes e novos sistemas de cultivo do solo.

Nos últimos anos a produtividade brasileira de grãos tem crescido especialmente nas áreas cultivadas por produtores que praticam uma agricultura tecnificada, voltada para as culturas de exportação. Esses resultados são alcançados, em parte pelo uso de fertilizantes, uma vez que a adubação fornece à planta o nutriente suficiente para que a mesma expresse todo o seu potencial produtivo.

Quando se busca aumentos na produtividade de grãos no milho, o nitrogênio constituindo-se em um dos mais importantes fatores de produção. No entanto, a aplicação de nitrogênio deve ser realizada em quantidade suficiente e adequada ao pleno desenvolvimento da cultura, desta forma são evitados prejuízos ambientais e econômicos.

Outro aspecto relevante no incremento da produtividade do milho está relacionado ao sistema de cultivo. Este, quando bem executado, constitui-se em prática importante para potencializar as características genéticas de uma determinada variedade ou híbrido.

Os diferentes sistemas de cultivo buscam, em regra dar melhores condições para que as sementes germinem, permitindo que a planta possa desenvolver seu sistema radicular, retirando do solo os nutrientes necessários para o seu pleno desenvolvimento.

Entre os vários sistemas de cultivo existentes, citam-se a semeadura direta e o preparo convencional, ambos apresentando vantagens e desvantagens. A semeadura direta se caracteriza por um menor revolvimento do solo e conseqüente manutenção de resíduos culturais na superfície o que proporciona aumento na retenção de água e maior proteção do solo contra o impacto direto das chuvas. Já o preparo convencional, em função, do uso de implementos, propicia ao sistema radicular da planta maior desenvolvimento ao longo do perfil do solo, conferindo à mesma maior resistência na ausência de chuvas (CARVALHO et al., 2004).

Experimentos avaliando os efeitos de doses de N na cultura do milho, cultivados em solos sob semeadura direta e preparo convencional, demonstraram que o sistema de cultivo influencia na produção da cultura. Apesar de vasta literatura dedicada à cultura do milho, especialmente quanto ao uso de adubos nitrogenados e sistemas de cultivo, estes trabalhos estão concentrados nas regiões Sul e Sudeste.

A região de Teresina apresenta solos de baixa fertilidade, alta intensidade solar e chuvas mal distribuídas no espaço e no tempo, características que podem interferir na relação solo/planta, influenciando na produtividade da cultura do milho. Por essa razão, faz-se necessário a intensificação de pesquisas nesta área nas condições de solo e clima da região. Da mesma forma, o feijão-caupi por sua importância econômica regional, aliada a condição de planta fixadora de N₂, rusticidade, precocidade e adaptabilidade às condições locais deve ser avaliada como planta de cobertura, antecedendo a cultura do milho.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência de dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional) e diferentes doses de nitrogênio em cobertura sobre a produção de matéria seca, acúmulo de nitrogênio, eficiência do uso do nitrogênio, produtividade de grãos e dose econômica de N para a cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Adubação nitrogenada na cultura do milho: Efeito de diferentes doses

A agricultura requer cada vez mais aplicação de conhecimentos no manejo das culturas, visando à obtenção de maiores produtividades. Dentre esses, a avaliação da fertilidade natural dos solos apresenta-se como uma opção importante para a aplicação de fertilizante em quantidade suficiente e adequada ao pleno desenvolvimento das culturas em um sistema de produção, economicamente viável.

As recomendações atuais para a adubação com nitrogênio no milho no Rio Grande do Sul, baseiam-se no teor de matéria orgânica do solo, na expectativa de produtividade de grãos, na contribuição da cultura antecedente como fonte doadora de N (AMADO et al., 2002) e a quantidade de nutrientes extraídos durante o ciclo da cultura.

Entre os nutrientes requeridos pela cultura do milho o nitrogênio é o mais exigido superando em quantidade o fósforo e potássio (LANGE et al., 2006), sendo a sua aplicação, medida eficaz na busca de maiores produtividades e melhoria no valor protéico dos grãos.

A influência das doses de nitrogênio na melhoria da produtividade do milho tem sido bastante estudada. SILVA et al. (2005), avaliando quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) na forma de uréia aplicada em função do número de folhas definitivas, observaram que as maiores produtividades de grãos foram obtidas quando se aplicou metade do N na semeadura e metade no estágio de quatro a seis folhas.

Outro recurso utilizado para a avaliação da adubação nitrogenada é utilização da curva de resposta do milho. COELHO et al. (1992), avaliando a curva de resposta e eficiência de cinco doses de N (0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) aplicadas na forma de uréia e sulfato de amônio, incorporados ao solo em sulcos e testemunha sem aplicação de N, mostraram aumento na produção à aplicação de N com incremento de 80% no rendimento de grãos entre as doses zero e 120 kg ha⁻¹ de N, sendo 80 kg ha⁻¹ de N a dose necessária para atingir 90% da produção máxima.

Uma das formas de se obter maior eficiência na adubação, especialmente a nitrogenada, é determinando a época que o nutriente é mais exigido pela cultura. Desta forma, são corrigidas possíveis carências que venham a ocorrer no crescimento da planta. Tentando identificar esse momento vários experimentos têm avaliado o parcelamento de doses de N em função do número de folhas definitivas expandidas. ESCOSTEGUY et al. (1997) testaram três doses de N (0, 80 e 160 kg ha⁻¹) em duas épocas de aplicação em função do número de folhas definitivas da cultura do milho e observaram aumentos crescentes na produção de grãos com o incremento nas doses de N. O rendimento de grãos obtido com a dose de 160 kg ha⁻¹ foi superior ao obtido com a dose de 80 kg ha⁻¹ nas duas épocas de semeadura testadas, observaram também que o parcelamento de N das doses de cobertura não proporcionou aumento no rendimento de grãos.

MAR et al. (2003), trabalhando com milho safrinha, adubado com cinco doses de N (30, 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹) na forma de uréia, aplicada em quatro épocas (todo na semeadura; 1/3 na semeadura e os 2/3 restantes quando a cultura apresentou quatro, oito e dez folhas totalmente expandidas e o tratamento sem N), demonstraram que a produtividade foi influenciada pelas doses e épocas de aplicação. A maior produtividade ocorreu com a aplicação do N no estágio de oito folhas completamente expandidas e que a adição de 30 kg ha⁻¹ de N foi suficiente para se obter incremento de produção de 48,5% em relação a não adição de N, enquanto com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, obteve-se incremento de 114,4% na produtividade quando comparado à testemunha, e ainda os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com doses entre 90 e 120 kg ha⁻¹.

Em trabalhos desenvolvidos por BORTOLINI et al. (2001), avaliando os efeitos de duas doses de N (90 e 180 kg ha⁻¹) aplicadas no milho em pré-semeadura, na semeadura e em cobertura, em duas doses iguais, nos estádios de (4 a 5 e de 7 a 8) folhas expandidas, cultivado em sucessão à cobertura de aveia-preta, observaram, que o maior rendimento de grãos foi alcançado com as maiores doses aplicadas em cobertura. Observaram também que a antecipação da dose total de N da cobertura para pré-semeadura do milho é prejudicial ao rendimento de grãos dessa cultura,

principalmente em situações de alta disponibilidade hídrica e com aplicação de elevada dose desse nutriente.

Trabalhos têm demonstrado interação positiva entre doses de N, densidade de plantas e espaçamento, resultando em melhores rendimentos de grãos na cultura do milho. Em experimento, AMARAL FILHO et al. (2005), avaliando o efeito de quatro doses N em cobertura (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), espaçamento entre linhas (0,60 e 0,80 m) e densidade de plantas (40.000, 60.000 e 80.000 ha⁻¹) na cultura do milho, observaram que o aumento das doses em cobertura promoveu acréscimo no teor de N foliar, na produtividade e teor de proteína nos grãos de milho e ainda os maiores rendimentos de grãos (10.695 kg ha⁻¹) foram obtidos com aumentos crescentes das doses de N em cobertura (150 kg ha⁻¹), juntamente com o espaçamento entre as linhas de 0,80 m e 80.000 plantas ha⁻¹. GROSS et al. (2006), avaliando doses de N (40 e 160 kg ha⁻¹) na forma de uréia parcelada entre a semeadura e a cobertura nos estádios de (4-5, 6-7 e 7-8) folhas definitivas, três densidades de plantio (55,70 e 85 mil plantas ha⁻¹) e espaçamentos entre fileiras (0,45 e 0,90 m) na cultura do milho cultivado em plantio direto, observaram que a adubação nitrogenada feita em cobertura, em uma aplicação ou dividida em duas, proporcionou incremento significativo na produtividade de grãos quando comparado com a aplicação de N somente na semeadura.

A aplicação de doses de N em diferentes cultivares de milho tem proporcionado aumentos na produtividade, sendo a época de aplicação do fertilizante definida em função de características da cultivar, tais como: precocidade, produtividade e fase fonológica da planta, resultando em maior eficiência da adubação. CASAGRANDE & FORNASIERI FILHO (2002), trabalhando com dois híbridos simples, avaliando a influência das doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) na forma de uréia, aplicadas (todo na semeadura ou todo em cobertura) no estágio de cinco a seis folhas, não observaram efeito das doses nem da forma de aplicação do N no rendimento de grãos e os teores de N, P, S e Zn da folha aumentam de acordo com o aumento das doses de nitrogênio.

A introdução de plantas de cobertura antecedendo o milho tem sido prática bastante utilizada como forma de melhorar as características físicas e químicas dos solos. Neste particular o uso de leguminosas aumenta a disponibilidade de nitrogênio

no solo e absorção do mesmo pela planta, proporcionando melhores resultados nos componentes de produção do milho e conseqüente aumento na produtividade de grãos. Neste sentido, trabalhos têm avaliado o comportamento do milho cultivado em sucessão às mais variadas coberturas do solo, com diferentes doses de N. COLLIER et al. (2006), trabalhando seis doses de N (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹) aplicadas na cultura do milho plantado sobre a palhada de crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformes*), observaram que a produtividade de grãos de milho obteve resposta em níveis crescentes de adubação nitrogenada sob os resíduos de feijão de porco, enquanto que, na ausência da adubação nitrogenada, o rendimento médio de grãos de milho em sucessão à crotalária foi 26% superior se comparado com o milho cultivado em sucessão ao feijão de porco. Isto pode estar relacionado à maior quantidade de resíduos e taxa de decomposição inicial da crotalária, os quais provavelmente fornecem N em maiores quantidades, na época em que a cultura requer o nutriente em maior quantidade.

É necessária a quantificação da distribuição do N nas partes da planta para uma melhor identificação da necessidade nutricional da cultura. Em experimentos SILVA et al. (2006 a,b), trabalhando com milho adubado com cinco doses de N (0, 30, 80, 130, 180 kg ha⁻¹) na forma de uréia e três sistemas de cobertura com crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum americanum*) marcados com ¹⁵N e o solo em pousio na entressafra, cultivados em dois anos em plantio direto, observaram que a partição média do N absorvido do solo, independente das doses e dos sistemas de cobertura do solo, foi de 36 e 64%, 36 e 64% e 33 e 67% na palhada e nos grãos respectivamente, evidenciando que o maior dreno de N na planta são os grãos. Observaram ainda, comportamento semelhante em ambos os trabalhos, uma vez que o aumento nas doses de N proporcionou incremento na produtividade de grãos, particularmente nos tratamentos em que a crotalária foi usada como cobertura de solo.

A interação positiva entre doses de N e rotação de culturas, especialmente, leguminosas, é outra prática utilizada no cultivo do milho, objetivando aumentos na produtividade. O cultivo do milho em rotação com soja tem produzido bons resultados. ARAÚJO et al. (2004), trabalhando com cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg

ha⁻¹) em cobertura, utilizando uréia e as seqüências de culturas milho-milho-milho e milho-soja-milho, observaram que a adubação nitrogenada proporcionou, em relação à testemunha, aumento de 28% na produção de grãos de milho. A maior produtividade de grãos, foi alcançada com a maior dose de N (240 kg ha⁻¹) e ainda, o sistema de rotação não teve efeito na produtividade, mas os teores de N, na massa de matéria seca da parte aérea da planta e nos grãos de milho, foram maiores no sistema milho-soja-milho.

Tem sido demonstrado que a adubação nitrogenada resulta no incremento da produtividade da cultura do milho. No entanto nem todo o N aplicado é efetivamente utilizado pela planta. O fertilizante nitrogenado possui uma dinâmica própria. Diversos fatores influenciam no aproveitamento do mesmo no sistema solo-planta, especialmente o modo de preparo do solo, tipo de adubo utilizado e características de solo e clima. Desta forma a avaliação da recuperação aparente de N constitui-se numa forma de conhecer a eficiência da adubação. Dados de pesquisa realizada por ARGENTA et al. (2002), avaliando o nível de N na planta de milho cultivado em semeadura direta e utilizando nove doses de N (0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 e 600 kg ha⁻¹) em cobertura, demonstraram que apenas no estágio de três e quatro folhas expandidas as leituras no clorofilômetro não se correlacionaram com rendimento de grãos de milho. Neste estágio a variável que apresentou maior coeficiente de correlação com rendimento de grãos foi o teor de N na 3ª folha da planta. Nos estádios de seis e sete folhas e 10 e 11 folhas expandidas, a leitura SPAD efetuada, respectivamente na 6ª e 9ª folhas, foi o parâmetro que apresentou maior correlação com o rendimento de grãos. No estágio de espigamento, o teor de N da folha índice foi a variável que esteve mais associada com rendimento de grãos.

Respostas da cultura do milho ao aumento das doses de nitrogênio, em busca de maiores incrementos na produtividade, ocorrerão a partir de uma adubação sustentada tecnicamente no conhecimento da curva de resposta da cultura, permitindo assim aplicação de doses conforme a capacidade produtiva da mesma. Dessa maneira, doses e freqüências de adubações nitrogenadas na cultura do milho deverão atender as suas necessidades, em função do estágio de desenvolvimento em que a cultura se encontra.

2.2. Milho cultivado em semeadura direta e preparo convencional

Importante fator de produção na implantação de qualquer cultura, o preparo do solo está diretamente relacionado ao seu desenvolvimento, uma vez que fornece desde as condições necessárias à germinação da semente ao nutriente vital para o crescimento da mesma.

O tipo de preparo altera as características do solo em maior ou menor intensidade em função do sistema utilizado, interferindo no desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente no rendimento das culturas.

A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo no sistema de preparo conservacionista proporciona aumento na retenção de água e maior proteção do solo contra o impacto direto da gota das chuvas, em relação a sua incorporação mediante o preparo convencional. No entanto o plantio convencional, desde que bem conduzido, via de regra, tem proporcionado boas condições ao pleno desenvolvimento das plantas (IGUE, 1984), contribuindo com o aumento na produtividade das culturas. POSSAMAI et al. (2001), avaliando os efeitos do preparo do solo: semeadura direta, arado de aiveca, arado de discos, grade pesada e enxada rotativa, na produtividade e componentes de produção da cultura do milho safrinha cultivado após o feijão, observaram que a semeadura direta proporcionou maior produtividade de grãos, apresentando diferença significativa entre os demais sistemas de preparo do solo.

Por outro lado LICHT & AL-KAISI (2005), avaliando três sistemas de preparo do solo: plantios em faixa, plantio direto e arado de aiveca na cultura do milho, observaram porcentagem superior na taxa de emergência na área sob preparo do solo em faixas, quando comparado com os demais sistemas. Já para o rendimento de grãos, produção de matéria seca e a absorção de N os três sistemas avaliados não apresentaram diferença significativa entre si.

O sistema de preparo do solo conservacionista tem crescido na preferência do produtor em função do princípio da preservação do solo e sustentabilidade da atividade agrícola, sistemas de manejo de solo e de cultura, adequadamente conduzidos, proporcionam o aporte de material orgânico por meio de resíduos vegetais, além da

ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

Para TAN et al. (2002) o plantio direto está sendo cada vez mais utilizado pelos produtores por reduzir a erosão do solo e os custos de produção, quando comparado com o preparo convencional. Entretanto, o seu impacto na qualidade e quantidade de água de drenagem, ainda não é bem conhecido. Segundo os mesmos autores, em trabalhos com duração de cinco anos, ocorreram perdas de 82,8 e 63,7 kg ha⁻¹ de N nos solos cultivados respectivamente sob plantio direto e plantio convencional. Quanto à drenagem de água observou-se que nos solos sob plantio direto, esta foi 48% superior ao plantio convencional.

Em relação aos componentes de produção e produtividade de grãos, experimentos têm demonstrado resultados contraditórios quanto à melhor forma de preparo do solo. COSTA et al. (2003), avaliando o efeito de longo prazo (21 anos) dos sistemas de preparo do solo (plantio direto e plantio convencional), cultivados em sucessão (trigo/soja) durante sete anos e rotação de culturas (aveia branca, trigo, cevada, ervilhaca peluda, nabo, soja e milho) durante treze anos, observaram que o solo cultivado em plantio direto apresentou menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do que o solo sob preparo convencional, o que, juntamente com a melhoria nas demais propriedades físicas do solo, pode ter contribuído para os maiores rendimentos acumulados de soja e milho naquele sistema de manejo, proporcionando à cultura da soja e do milho apresentarem um rendimento de grãos acumulado 42 e 22% maiores no sistema de plantio direto do que no plantio convencional, respectivamente.

Por outro lado PAULETTI et al. (2003), estudando sucessão de culturas: milho (três anos) e soja (sete anos) implantados nos seguintes sistemas de manejo de solos: plantio direto – (semeadura sem preparo de solo), preparo convencional – (uma aração e duas gradagens leves), preparo mínimo – (uma gradagem média e uma gradagem leve), plantio direto- (com escarificação a cada três anos, realizada no inverno), não encontraram diferenças significativas no rendimento de grãos de milho nos diferentes sistemas de manejo do solo e anos de cultivo.

Já CARVALHO et al. (2004), avaliando as características agronômicas e de produtividade do milho, cultivado em sucessão a adubos verdes (mucuna preta, guandu, milheto, crotalária e área em pousio) nos sistemas de plantio direto e preparo convencional por dois períodos de cultivo, observaram que o preparo convencional proporcionou maior produtividade de grãos, quando comparado ao plantio direto, o que pode ser explicado pela maior população de plantas nesse sistema, que se traduziu em maior produtividade.

Sabe-se que o tipo de manejo do solo e as culturas de cobertura, contribuem para a melhoria das características químicas e físicas do solo. Portanto a utilização dessas plantas, em particular as leguminosas que incorporam N, através da fixação biológica e a redução no revolvimento do solo, são formas de manejo eficiente, na recuperação dos teores de matéria orgânica e fornecimento de N às culturas, resultando em aumento na produtividade das plantas.

Para BAYER & MIELNICZUK (1997) adoção de métodos de preparo do solo que promovem menor revolvimento do solo e de sistemas de culturas com inclusão de leguminosas que contenham maiores quantidades de N na biomassa, resultam, após cinco anos, em incremento do conteúdo de nitrogênio total, sendo este restrito às camadas superficiais 0-2,5 e 2,5-7,5 cm.

Em experimento desenvolvido por FIGUEIREDO et al. (2005), avaliando o efeito de diferentes sistemas de manejo (arado de discos, arado de aiveca, escarificador e plantio direto) e épocas de incorporação de restos culturais (antes do plantio e após a colheita), observaram que sob o plantio direto ou sob cultivo mínimo, com escarificação, o milho apresenta, em geral, as maiores concentrações de nitrogênio nos grãos, nitrogênio total, nitrogênio derivado do fertilizante mineral e nitrogênio derivado do solo. No entanto, as produtividades em todos os sistemas de manejo não diferiram significativamente. Já para SAINJU & SINGH (2001) o preparo do solo e a estação do ano podem afetar o acúmulo de N na cobertura do solo e sua subsequente liberação ao solo, influenciando deste modo na absorção deste fertilizante pela planta e no rendimento de grãos.

2.3. Doses de nitrogênio no milho cultivado em semeadura direta e preparo convencional

O nitrogênio possui características próprias quanto ao seu aproveitamento pelas plantas, sua absorção é influenciada por diversos fatores tais como: tipos de cultivos, adubo utilizado, condições ambientais e manejo do solo.

Devido às perdas por lixiviação e volatilização as doses de N têm sido aplicadas em parcelas, durante o desenvolvimento da cultura. Experimentos têm avaliado a influência da relação entre o modo de preparo do solo, doses de N e sua disponibilidade para a planta, com consequentes reflexos nos componentes de produção e rendimento de grãos da cultura do milho. Nesse sentido FERNANDES et al. (1999) avaliaram na cultura do milho o efeito dos sistemas de preparo: plantio direto (Direto) preparo convencional utilizando arado de discos e grade niveladora (Disco) e preparo convencional com arado de aiveca e grade niveladora (Aiveca), adubados com quatro doses de N (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) na forma de uréia. Observaram que a maior produção de grãos foi verificada no sistema de plantio direto, independente da dose de N aplicada, enquanto a menor produção foi verificada no sistema aiveca, e ainda, com o aumento das doses de N a produção de grãos aumentou de forma quadrática. Mostraram, ainda que, o sistema de plantio direto e 60 kg ha⁻¹ N, proporcionaram a maior recuperação aparente do N aplicado (52%), enquanto, na dose de 240 kg ha⁻¹ N, a recuperação foi de apenas 12% e tendência de queda do N recuperado com o aumento da dose aplicada também foi observada para os sistemas Disco e Aiveca.

A mecanização intensa é uma constante no preparo dos solos, o excesso e mau uso dos implementos agrícolas comprometem as características físicas dos solos, com implicações em perda na produtividade das culturas. As plantas de cobertura têm uma estrita e positiva relação com o plantio direto. Daí encontrarem-se inúmeros trabalhos avaliando o efeito da possível interação entre doses de N, sistemas de plantio e plantas de cobertura do solo, nos componentes de produção e rendimentos de grãos na cultura do milho.

Em experimento utilizando diferentes doses de N aplicadas na semeadura (0, 15 e 30 kg ha⁻¹) e em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) utilizando crotalária e milheto como cobertura do solo antecedendo ao milho cultivado em semeadura direta CAZETTA et al. (2005) observaram que as doses de N proporcionaram efeitos diferenciados na produção de grãos de milho, em função da cobertura vegetal que antecedeu a cultura; obtendo-se 9.806, 9.660 e 9.271 kg ha⁻¹ respectivamente para o milheto, crotalária e o consórcio milheto + crotalária.

Em outro experimento SPAGNOLLO et al. (2001), avaliando três doses de uréia (0, 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas na cultura do milho em cultivo intercalar a quatro leguminosas de cobertura do solo: feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), guandu (*Canajus cajan* L.) cv. Roxo anão, mucuna cinza (*Stizolobium niveum* Kuntze), soja preta (*Glicine* sp) e milho (solteiro – testemunha) plantado em dois sistemas de preparo do solo (convencional e reduzido), observaram que o rendimento do milho sem leguminosas e sem aplicação de N foi de 2.428 kg ha⁻¹, no plantio convencional e de 2.391 kg ha⁻¹ no plantio reduzido e ainda a aplicação de N determinou um aumento no rendimento do milho e doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N aumentaram o rendimento do milho, no tratamento testemunha de 1.651 kg ha⁻¹ (68%) e 2.152 kg ha⁻¹ (89%) no plantio convencional, respectivamente e em 558 kg ha⁻¹ (23%) e 1.853 kg ha⁻¹ (77%) no plantio reduzido, respectivamente.

Vários outros experimentos avaliam a interação entre doses de N, cobertura do solo e sistema de preparo do solo com resultados contraditórios quanto à contribuição desses fatores na melhoria dos componentes de produção e rendimentos de grãos na cultura do milho.

ARGENTA et al. (1999a,b), avaliando em dois locais, os efeitos de doses e épocas de aplicação de N no milho (0-0; 0-160; 30-130 e 60-100 kg ha⁻¹, respectivamente, na semeadura e em cobertura), em sistema de semeadura direta, após a dessecação (1 e aos 20 dias) de duas espécies de cobertura de solo no inverno, aveia preta (*Avena strigosa* Scheib) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) e da área em pousio invernal, observaram que a resposta da aplicação de N sobre o rendimento de grãos de milho em semeadura direta depende do local, da espécie de cobertura de solo

no inverno, e da época de semeadura após a dessecação, e que, o aumento na dose de N na semeadura do milho de 30 para 60 kg ha⁻¹ não se constitui em estratégia eficiente para aumentar a absorção deste nutriente assim como, para compensar a redução do rendimento de grãos de milho em sucessão à aveia preta.

O tipo de cobertura do solo utilizada nas práticas de sucessão e/ou rotação, tendem a alterar a disponibilidade de N para a cultura do milho, em função dos processos de mineralização ou imobilização deste elemento. Assim plantas com alta relação C/N podem provocar imobilização de nitrogênio, concorrendo para menores produtividades de grãos na cultura do milho. Para PAVINATO et al. (2008) a disponibilidade de N no solo para as plantas é controlada basicamente pela matéria orgânica e por adubações nitrogenadas, sendo que, quando são utilizadas culturas com baixa relação C/N na matéria seca, em rotação a decomposição e a mineralização é mais rápida e a ciclagem do N ocorre em curto espaço de tempo, como ocorre com as leguminosas.

Em solos cultivados com rotação de culturas sob preparo convencional o revolvimento do solo intensifica fortemente a mineralização do N dos resíduos incorporados ao solo, anulando assim estes benefícios do cultivo de culturas com diferentes quantidades de resíduos, provocando um impacto negativo no balanço de N e C do solo. Já no plantio direto, a intensidade da mineralização dos restos culturais fica restrita à camada mais superficial do solo. Nas camadas inferiores, o solo permanece intacto e todo o sistema radicular das plantas é mineralizada por processos menos intensos, favorecendo assim os benefícios da rotação de plantas com diferentes quantidades de resíduos e tipos de sistemas radiculares (JANTALIA et al., 2003).

Experimentos têm avaliado práticas de manejo de solos, buscando identificar aquelas mais adaptadas às condições de clima e solo locais, tais estudos mostram que o uso de sucessão e rotação de culturas, reduz as perdas de solo e N, especialmente quando cultivados com leguminosas sob plantio direto, pois estas conferem aos solos, melhores condições químicas, físicas e biológicas, contribuindo com a cultura principal no aumento de produtividade. McDOWELL et al. (1978) observaram que áreas

cultivadas com a sucessão milho/soja, sob plantio direto apresentam menores perdas de solos e N, quando comparadas com aquelas cultivadas sob plantio convencional.

Segundo AL-KAISI & LICHT (2004) áreas cultivadas com milho e milho/feijão adubadas com 170 kg ha⁻¹ de N, aplicado em dois períodos: outono e primavera e preparadas em três sistemas de preparo do solo: em faixas, plantio direto e arado de aiveca, não apresentaram aumento significativo na produção, e no acúmulo de N nos grãos de milho nos sistemas de plantio avaliados.

A interação entre doses de N, sistema de preparo dos solos e uso de sucessão e rotação de culturas, tem apresentado resultados contraditórios, quanto à contribuição desses fatores na melhoria dos componentes de produção e rendimentos de grãos na cultura do milho. KAW-MENSAH & AL-KAISI (2006), avaliando a resposta da rotação milho/soja cultivados em plantio direto, plantio convencional e arado de aiveca, adubados com diferentes doses de N (0, 85, 170 e 250 kg ha⁻¹), na forma de dejetos de suínos e fertilizantes comerciais, observaram que não houve diferença significativa para rendimento de grãos de milho e a biomassa da parte aérea das plantas aos diferentes sistemas de preparo do solo utilizados, não havendo também, efeito significativo na interação entre os sistemas de preparo de solo e as doses de N para o rendimento de grãos.

Por outro lado AMADO et al. (2000), avaliando a disponibilidade de N e rendimento de grãos em sistemas de culturas e preparo do solo, a partir dos seguintes tratamentos: três métodos de preparo: convencional, reduzido e plantio direto; três sistemas de cultivo: aveia/milho, aveia + trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*)/milho e aveia + trevo/milho + feijão caupi (*Vigna unguiculata*), e três doses de N (0, 90, 180 kg ha⁻¹) na cultura do milho, observaram que o efeito do sistema de preparo indicou que o rendimento de grãos no sistema de plantio direto, na média de três doses de N e três sistemas de cultura, não diferiu do convencional, porém foram aproximadamente 4,8% inferior ao rendimento de grãos obtido com escarificador.

OHLAND et al. (2005), trabalhando com plantio direto, avaliaram o efeito de cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura na cultura do milho em sucessão a ervilha peluda (*Vicia villosa* Roth) e nabo forrageiro (*Raphanus*

sativus var. *oleiferus* Metzg.) e observaram que independente da cultura de cobertura, a adição de nitrogênio eleva a produtividade de grãos de milho. A comparação entre médias de produtividades de grãos nos tratamentos com adição de N, em relação ao tratamento sem N foi significativa para todas as doses, concluíram ainda que, a adição de 200 kg ha⁻¹ de N em cobertura promoveu o maior acréscimo (17,8%) de produtividade na cultura do milho, independente das culturas de cobertura antecessoras.

Finalmente, em experimentos com manejo dos solos, devem ser avaliados os possíveis efeitos da forma de preparo, na absorção e partição de N, visando identificar sua distribuição na planta e quantificar o percentual do fertilizante exportado, contribuindo desta forma, para uma maior eficiência na recomendação de adubação nitrogenada da cultura. Neste sentido FERNANDES et al. (1998), avaliando os efeitos da aplicação em cobertura de quatro doses de nitrogênio 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹, no milho cultivado em plantio direto, plantio convencional com arado de disco e plantio convencional com arado de aiveca, observaram maior acúmulo de N nas plantas sob o sistema de plantio direto, encontrando-se mais de 70% do N total acumulado nos grãos. Desta forma, a quantidade de nutriente que é exportada pelos grãos é superior à deixada na área de cultivo pela palhada.

Portanto, a partir de respostas da planta à doses de nitrogênio, sistemas de cultivos adotados e forma de manejo da cultura, será possível estabelecer critérios objetivando maiores produtividades através de um manejo mais sustentável para a agricultura da região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área do Colégio Agrícola de Teresina, PI, situado a 5° 05' 21" de latitude sul e 42° 48' 07" de longitude oeste. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical quente e úmido com estação chuvosa no verão. A precipitação média anual é de 1.377 mm e com maiores concentrações nos meses de março e abril. A temperatura média e umidade relativa do ar média anual são de respectivamente 28 °C e 69,9% (MEDEIROS, 2006). Os valores de precipitação e temperatura média observadas durante o período de condução do experimento encontram-se na Figuras 1 e 2

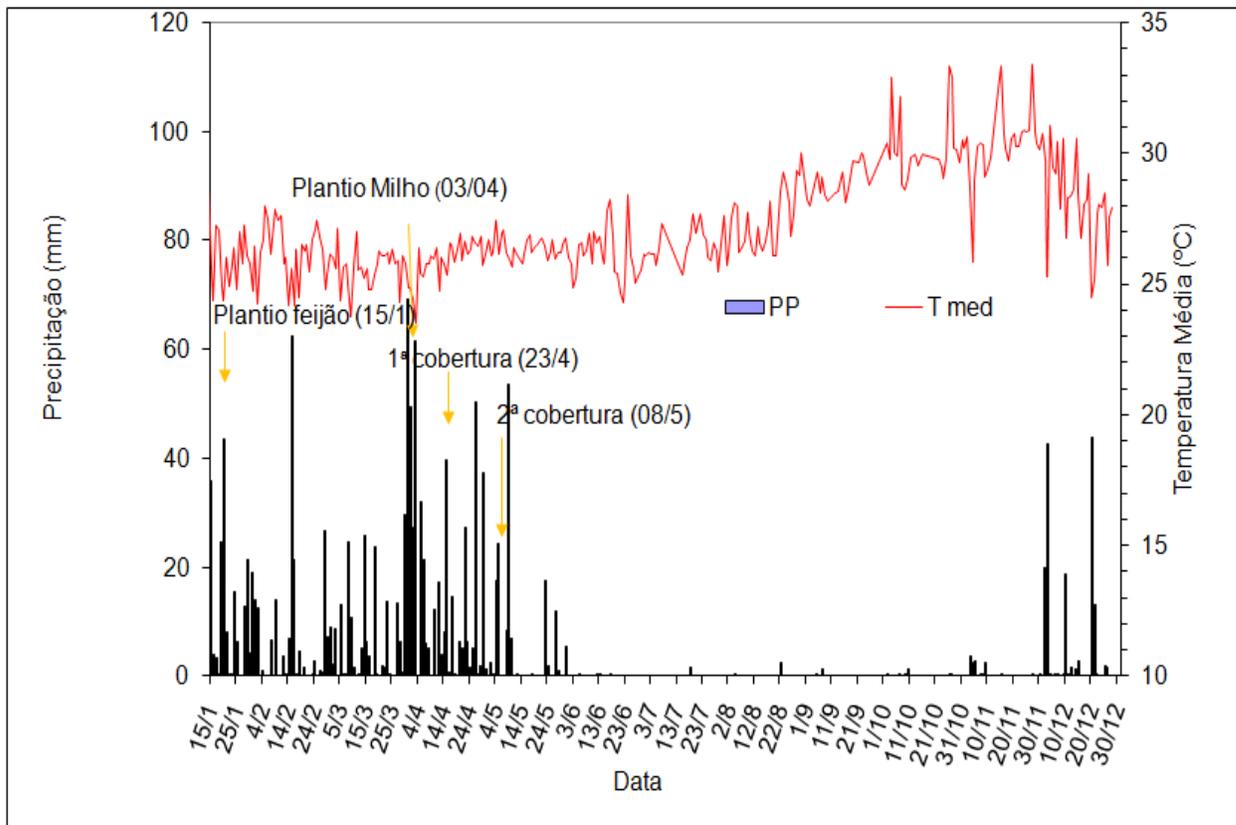


Figura 1. Precipitação e temperatura média observadas durante a condução do experimento no ano agrícola de 2008.

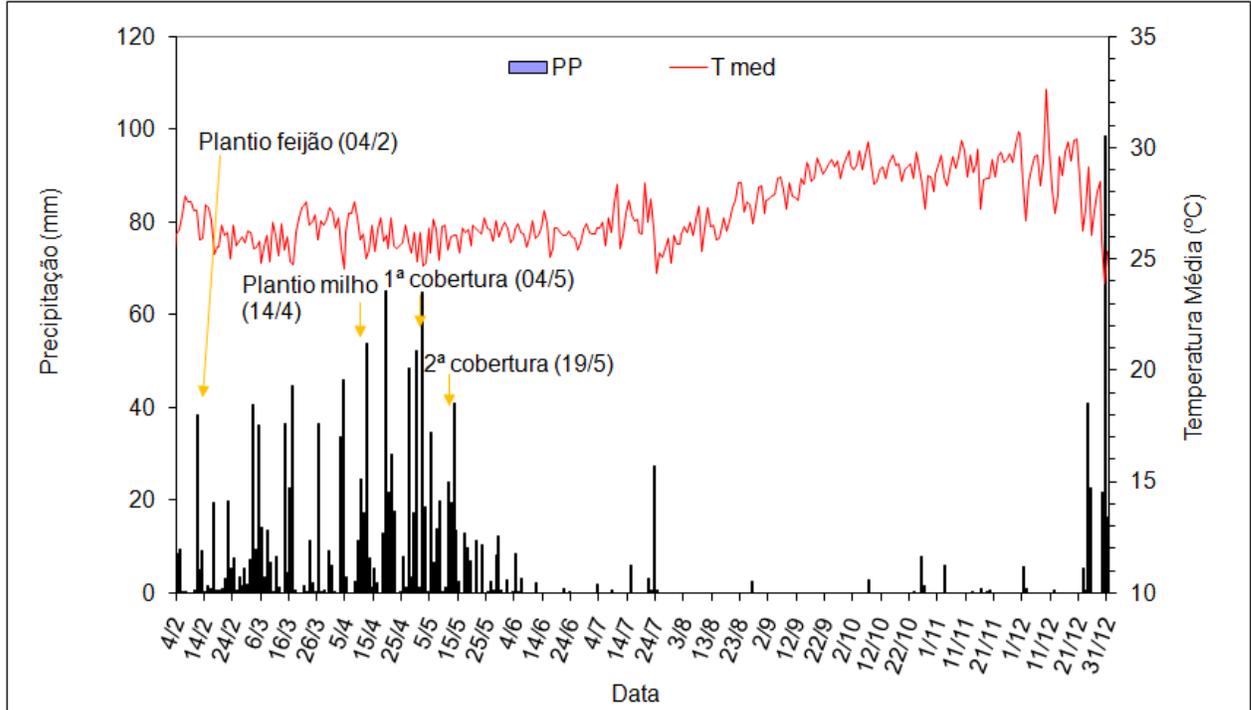


Figura 2. Precipitação e temperatura média observadas durante a condução do experimento no ano agrícola de 2009.

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico, textura arenoso-média, A moderado, área plana (EMBRAPA, 2006). Os principais atributos do solo são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Principais atributos químicos do solo utilizado

Profund.	pH Ca Cl ₂	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
---m--		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----					%
0 – 0,10	4,9	11	8	0,9	11	4	20	35,9	44
0,10-0,20	4,8	10	5	0,7	9	3	20	32,7	39
0,20-0,40	4,7	9	5	0,8	10	3	22	35,8	39

Análises realizadas segundo Rajj et al. (1987)

Tabela 2. Concentrações de micronutrientes no solo utilizado

Profundidade (m)	B ⁽¹⁾	Cu ⁽²⁾	Mn ⁽²⁾	Zn ⁽²⁾
	----- mg dm ⁻³ -----			
0-0,10	0,10	0,1	2,2	0,4
0,10-0,20	0,08	0,1	2,0	0,3
0,20-0,40	0,13	0,1	0,8	0,1

Análises realizadas segundo (1) Abreu et al. (2001); (2) Lindsay & Norvell (1978)

Tabela 3. Análise granulométrica do solo utilizado

Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia		Total
			Fina	Grossa	
	----- g kg ⁻¹ -----				
0-0,10	60	40	610	290	900
0,10-0,20	80	20	640	260	900
0,20-0,40	130	40	580	250	830

Método da pipeta (Day, 1965)

A área experimental apresentava um histórico de três anos de plantio convencional com o consórcio milho/feijão-caupi. O preparo inicial da área constou de uma aração e duas gradagens. Por ocasião do preparo do solo, em novembro de 2007, realizou-se a correção da acidez do solo, procurando-se elevar a saturação por bases a 70%. Utilizou-se um calcário com 32% de CaO, 14% MgO e PRNT de 90%.

O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas, com oito blocos, separados por carregadores de 4 m para facilitar o tráfego de máquinas e implementos. As parcelas de 144 m² (30 m x 4,8 m) foram constituídas pela semeadura direta SD e preparo convencional PC (uma aração e duas gradagens). Nas subparcelas de 24 m² (5,0 m x 4,8 m), separadas entre si por carregadores de 1 m, foram aplicadas em cobertura seis doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹) na forma de uréia.

O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 2008 e 2009.

Entre os dias 15 e 17 de janeiro de 2008, em toda área experimental foi cultivado feijão-caupi variedade BRS Guariba como planta de cobertura. A leguminosa foi semeada no espaçamento 0,50 m entre linhas com 12 sementes/m, visando uma população 240.000 plantas ha⁻¹ e adubado na semeadura com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 45 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo-se respectivamente como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio.

O controle das ervas daninhas foi realizado com duas capinas manuais. O experimento foi irrigado por um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores espaçados 12 x 12 m, apresentando dois bocais (7,1 x 4,6 mm). A pressão de operação do sistema foi de 25 mca, o que proporcionou uma intensidade de aplicação de 25 mm/h. O turno de rega e a lâmina de irrigação foi definida a partir da evapotranspiração máxima (ET_m) de cada cultura, considerando os coeficientes de cultivo por fase fenológica da planta e a evapotranspiração de referência estimada utilizada pela FAO (ALLEN et al., 1998) pelo método de Penman-Monteith e a ocorrência de precipitação pluvial verificada em estação meteorológica localizada nas proximidades da área experimental.

Sessenta dias após a semeadura do feijão foram coletadas, aleatoriamente na área útil do experimento, oito subamostras com auxílio de quadro de 1 m², a fim de formar uma amostra composta para avaliação da produção de matéria seca (MS). Em seguida o material foi seco em estufa a 65 °C, pesado, moído e armazenado para futuras análises de carbono (C) e nitrogênio (N). A seguir, as plantas foram cortadas e picotadas, permanecendo no solo como cobertura morta. Nas parcelas correspondentes ao PC, os restos culturais do feijão foram incorporados ao solo por meio de uma aração e duas gradagens.

Nos dias 3 a 5 de abril de 2008, foi efetuada a semeadura do milho híbrido simples 2B 710, cultivar precoce da Dow AgroSciences, utilizando-se o espaçamento de 0,80 m entre linhas e seis sementes/m. Todos os tratamentos receberam uma adubação de semeadura com 650 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8 + Zn 0,61% (26 kg N; 91 kg P₂O₅; 52 kg K₂O e 4 kg Zn). A adubação nitrogenada de cobertura, em

conformidade com os tratamentos foi realizada aplicando-se, metade da dose no estádio de quatro a cinco folhas e o restante no estádio de oito a dez folhas totalmente desdobradas. O fertilizante foi aplicado manualmente a 0,20 m das fileiras das plantas e incorporado a 0,05 m de profundidade. Na primeira cobertura com nitrogênio, também foi adicionado 90 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio em todos os tratamentos. Após cada adubação de cobertura as plantas foram irrigadas para melhor incorporação do adubo nitrogenado.

O desbaste foi realizado quando as plantas apresentavam duas folhas definitivas, deixando-se 62.500 plantas ha⁻¹. Para controle das ervas daninhas foram efetuadas três capinas manuais.

Ocorreu infestação da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) controlada com aplicação do inseticida metomil a base de 0,6 L / ha⁻¹, sendo este procedimento repetido, a cada dez dias, até o início do surgimento da inflorescência masculina.

Com o aparecimento da inflorescência feminina (cabelo), foram colhidas de 20 plantas da área útil de cada subparcela, formada pelas quatro linhas centrais de quatro metros, o terço médio da folha oposta e abaixo da espiga superior, conforme recomendação de MALAVOLTA et al. (1997). Imediatamente as mesmas foram lavadas com detergente neutro e água destilada, acondicionadas em sacos de papel identificados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C. Posteriormente foram pesadas para determinação da MS e armazenadas para futuras análises de N.

Para a avaliação da produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio da parte aérea do milho, na fase de maturação fisiológica das plantas (90-95 dias após a semeadura), foram coletadas ao acaso dez plantas, a 0,05 m acima do solo, dentro da área útil de cada subparcela. Essas plantas foram separadas em folhas na colheita (Fc), colmos + pendão (CP), sabugo + palha (SP) e grãos (Gr), pesadas para determinação da matéria verde e levadas à estufa a 65 °C, pesadas para determinação da MS em cada parte, em seguida moídas para retirada de amostras para determinação do N. A matéria seca e o nitrogênio das partes aéreas das plantas foram apresentadas em kg ha⁻¹, a partir da soma das várias partes da planta.

A produtividade de grãos (Pgr) foi avaliada a partir da colheita das espigas da área útil de cada subparcela, quando os grãos apresentavam teor de umidade próximo a 20%, corrigindo-se a umidade para 13%.

Após a colheita das espigas de milho, as plantas foram cortadas e picotadas, permanecendo na superfície do solo (SD) ou incorporadas com aração e gradagem (PC).

Utilizando-se a mesma área, o segundo ano agrícola iniciou-se no dia 04 de fevereiro de 2009 com a semeadura do feijão. Foram utilizados os mesmos procedimentos, quanto ao preparo do solo, espaçamento, densidade de plantio, adubação e coleta da amostras, conforme descrito anteriormente. Em seguida o feijão foi picotado, permanecendo na superfície do solo (SD) ou incorporado com aração e gradagem (PC).

O plantio do milho no 2º ano agrícola foi realizado nos dias 14 a 16 de abril de 2009, sendo adotados os mesmos procedimentos quanto ao preparo do solo, espaçamento, densidade de plantio, adubação, tratos culturais, coleta de amostras e avaliação de produtividade adotados no 1º ano agrícola.

O máximo rendimento estimado de grãos foi obtido mediante a derivada primeira da função polinomial quadrática $y = c + bN + aN^2$.

As máximas doses econômicas foram determinadas a partir de metodologia utilizada por MELO (2010). Para os dois anos agrícolas, relacionou-se a receita líquida e as doses de N, obtendo-se uma equação polinomial quadrática $y = c + bN + aN^2$, em seguida efetuou-se a derivada primeira dessa função polinomial quadrática, igualando-se a zero. Para a determinação da receita líquida utilizou-se as seguintes funções:

Função Custo (CT) = $C_f + P_n \cdot N$ (R\$/ha) Equação 1,

onde C_f = preparo do solo, correção do solo, sementes e tratos culturais (2008 = 1.027,85; 2009 = 1.142,05 - R\$/ha); P_n = preço por kg de nitrogênio (2008 e 2009 = 2,29 - R\$/kg); N = doses de nitrogênio utilizado em (kg ha^{-1}).

Função Receita Líquida: $(RL) = PG \cdot Pg - (Cf + Pn \cdot N)$ R\$/ha Equação 2, onde, PG = Produtividade de grãos (kg ha^{-1}); Pg = preço do grão comercializado em 2008 e 2009 = 0,26 - R\$/kg; Cf = (2008 = 1.027,85; 2009 = 1.142,05 - R\$/ha); Pn = (2008 e 2009 = 2,29 - R\$/kg); N = doses de nitrogênio utilizado em (kg ha^{-1}). Considerou-se a média dos preços praticados no mercado de Teresina, Pi no ano de 2009.

Foi avaliada também a eficiência do N aplicado em cobertura de acordo com índices propostos por MOLL et al. (1982):

a) - Eficiência de uso do nutriente (E_{un}) = Produção de grãos (Pgr)/nutriente aplicado (Nap);

b) - Eficiência de uso do nutriente no grão = (E_{ungr}) = Produção de grãos (Pgr)/nutriente no grão (Ngr);

c) - Eficiência de absorção do nutriente (E_{an}) = nutriente total acumulado na planta, inclusive no grão (Ntaccp)/nutriente aplicado (Nap);

d) - Eficiência de utilização do nutriente (E_{utn}) = Produção de grãos (Pgr)/nutriente total acumulado na planta (Ntaccp). Não foi avaliada a eficiência de uso do nitrogênio (E_{un}) e eficiência de absorção de nitrogênio (E_{an}) para a dose 0 kg ha^{-1} de N, nos dois anos estudados, uma vez que segundo este autor, nestes índices utiliza-se o N aplicado, o que não ocorreu no tratamento testemunha.

Com o objetivo de avaliar a decomposição e liberação de N dos resíduos do feijão-caupi (planta de cobertura) antecedendo ao milho, foi introduzido no ano agrícola de 2009, nos tratamentos correspondentes à SD, o método das sacolas de decomposição (SANTOS & WHILFORD, 1981). As sacolas foram confeccionadas em náilon com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 0,20 x 0,20 m. A biomassa das plantas de cobertura já previamente dessecada, foi seccionada em tamanhos médios de 5 cm, colocado-se 10 g em cada sacola que foram depositadas sobre o solo, abaixo da cobertura morta.

Foram realizadas cinco amostragens por subparcela: a primeira por ocasião da semeadura do milho entre 14 e 16 abril de 2009, a segunda 25 após o plantio e as

demais a cada 25 dias, correspondendo a 0, 25, 50, 75 e 100 dias após o plantio da gramínea. Para cada amostragem foram colocados três sacos por subparcela. A cada coleta das amostras, a biomassa remanescente dos sacos foi limpa manualmente, lavada para retirada de solo, sobre peneira de malha de 0,053 mm sendo em seguida levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65° C até peso constante. Posteriormente, o material foi pesado, moído e armazenado para futuras análises.

A biomassa seca e conteúdo de nutrientes remanescentes da cultura, recolhidos em cada período, foram avaliados a partir de modelo matemático descrito por THOMAS & ASAKAWA (1993), onde $X = X_0 e^{-kt}$, em que X é a quantidade de biomassa remanescente no tempo t; X_0 a quantidade de biomassa seca ou nutriente inicial; t o tempo em dias; e k a constante de decomposição. Onde $k = \ln(x/x_0)/t$.

Considerando que no $T_{1/2}$, $x = x_0/2$, calcula-se a constante de decomposição k. Assim o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) da biomassa seca ou nutriente, foi calculado pela equação: $T_{1/2} = \ln(2)/k$. Sendo que o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberado e $\ln(2)$ o logaritmo neperiano de dois; k a constante de decomposição.

O N do tecido vegetal do feijão-caupi foi determinado segundo BATAGLIA et al. (1983). O carbono orgânico foi determinado conforme descrito por TEDESCO et al. (1985).

Para se estabelecer a faixa adequada de concentração de N na folha empregou-se metodologia semelhante à utilizada por COUTINHO et al. (1987). O limite superior e inferior da faixa de concentrações de N, consideradas adequada, esteve associado, respectivamente à máxima produção de grãos e uma redução de 10% na mesma.

Os dados obtidos nos dois anos agrícolas 2008 e 2009 foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste F de acordo com o delineamento experimental adotado. Para estudar o efeito das doses de nitrogênio sobre as variáveis avaliadas, utilizou-se a análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com o software estatístico AgroEstat (BARBOSA E MALDONADO Jr, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características relacionadas à planta de cobertura

A produção de matéria seca do feijão-caupi variedade BRS Guariba, utilizado como cultura antecessora ao milho, foi de 4.170 e 4.143 kg ha⁻¹, obtida respectivamente nos anos de 2008 e 2009. A boa produtividade de MS pode ser atribuída à densidade utilizada (240.000 plantas ha⁻¹) e ao próprio manejo da cultura, sem operação de desbaste e com suplementação hídrica.

Quanto ao N na matéria seca foram determinadas as concentrações de 19,9 e 20,1 g kg⁻¹ respectivamente para os anos de 2008 e 2009, o que representou um acúmulo de N total da ordem de 82,98 e 83,27 kg ha⁻¹ para cada ano avaliado.

4.1.1. Relação C/N do feijão

O aumento das doses de nitrogênio utilizado, em cobertura no milho, não influenciou na relação C/N dos resíduos de feijão aos 25, 50, 75 e 100 dias de avaliação, conforme médias apresentadas na (Tabela 4). Esses dados indicam que esse material tem potencial para rápida mineralização e liberação de nitrogênio. Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles esperados para as leguminosas, também observados por TORRES et al. (2008). BOER et al. (2008), trabalhando com leguminosas, encontraram valores de C/N 11 e 17 para o guandu em dois anos avaliados, indicando rápida mineralização do N nos resíduos. AMADO et al. (2000), avaliando o comportamento de gramíneas e leguminosas, constataram relação C/N de 45 e 15, indicando respectivamente, imobilização e mineralização do N destas plantas de cobertura.

Tabela 4. Relação carbono e nitrogênio (C/N) e matéria seca remanescente (MSr) do feijão utilizado como cobertura morta no milho cultivado em semeadura direta e adubação nitrogenada no ano agrícola de 2009.

Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Dias			
	25	50	75	100
Relação C /N				
0	11	12	12	13
40	12	11	14	16
80	11	12	12	13
120	9	10	12	14
160	11	11	12	15
200	10	11	12	14
Teste F	1,47 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,25 ^{ns}	3,68 ^{ns}
Média	11	11	12	14
CV%	20,47	15,96	14,97	12,80
Matéria seca remanescente (%)				
0	38,4	32,0	26,9	20,8
40	36,8	28,6	26,7	23,0
80	43,4	29,3	28,0	20,9
120	38,8	30,4	25,8	19,6
160	38,0	28,9	28,0	23,7
200	41,6	29,9	28,7	24,4
Teste F	1,04 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,87 ^{ns}
Média	39,5	29,8	27,3	22,1
CV%	17,47	15,45	17,19	14,50

ns = não significativo

4.1.2 Porcentagem de matéria seca remanescente do feijão

O aumento das doses de nitrogênio utilizadas em cobertura no milho não influenciou na matéria seca remanescente (MSr) dos resíduos do feijão no período avaliado, conforme dados apresentados na Tabela 4. Observa-se que até os 50 dias, fase em que a cultura do milho mais necessita de N, restava somente 29,85% de material remanescente dos resíduos do feijão, demonstrando rápida decomposição deste material. TORRES et al. (2008) ao trabalharem com leguminosas (guandu e crotalária), obtiveram taxas de matéria seca remanescente aos 42 dias de 67 e 56%.

BOER et al. (2008) avaliando a biomassa remanescente de amaranto, milho e capim-pé-de-galinha, observaram valores de 66, 79 e 89% respectivamente de material remanescente aos 30 dias, confirmando a característica de maior estabilidade das gramíneas. Esta discrepância na porcentagem de material remanescente pode estar relacionada às características químicas das plantas tais como composição de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis e condições ambientais diferenciadas dos locais de instalação do experimento.

4.1.3 Velocidade de decomposição e liberação do nitrogênio da matéria seca do feijão

As doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho não influenciaram na velocidade de decomposição da matéria seca do feijão nos dias avaliados Tabela 5, conforme médias de tempo de meia vida ($T_{1/2}$), que corresponde ao tempo em que metade dos resíduos do feijão se decompõem. Essa rápida decomposição dos resíduos do feijão está relacionada em parte à constituição química dos resíduos e às características climáticas locais como umidade e temperaturas elevadas que proporcionam altas taxas de decomposição. BERTIN et al. (2005) ao trabalharem com crotalária, observaram uma rápida diminuição da cobertura do solo pelos resíduos nas primeiras avaliações atribuindo o fato, provavelmente, ao ataque microbiano à fração mais facilmente decomposta do resíduo, constituída principalmente de proteínas e carboidratos simples.

Quanto à velocidade de liberação do nitrogênio foi observado que o aumento das doses de nitrogênio no milho não influenciou nos quatro períodos avaliados (25, 50, 75 e 100 dias), quando foram observadas médias para tempo de meia vida $T_{1/2}$, conforme Tabela 5. Estes resultados foram menores que aqueles observados por TORRES et al. (2008) ao avaliarem a liberação de N na crotalária e guandu aos 110 dias e encontrarem $T_{1/2}$ de 66 dias para ambas as coberturas. Esse fato pode estar relacionado a fatores ambientais tais como precipitação e temperatura diferenciadas nos locais dos experimentos como também a composição química das plantas

utilizadas. A forma de decomposição dos resíduos e da liberação do N neste experimento seguiu o comportamento descrito por WIEDER & LANG (1982), SOMDA et al. (1991), Segundo esses autores, o processo consta de duas etapas: na primeira, ocorre uma rápida decomposição de carboidratos simples, amidos, açúcares e proteínas, enquanto na segunda fase uma decomposição do material mais resistente, tais como: celulose, gorduras, ceras, taninos, ligninas, sendo por isso mais lenta.

Tabela 5. Decomposição da matéria seca ($T^{1/2}$) e liberação de nitrogênio da matéria seca ($T^{1/2}$) do feijão, utilizado como planta de cobertura no milho cultivado em semeadura direta e adubação nitrogenada no ano agrícola de 2009.

Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Dias			
	25	50	75	100
Decomposição da matéria seca ($T^{1/2}$) – dias				
0	19	31	40	45
40	18	28	40	48
80	22	30	41	45
120	19	30	39	43
160	18	28	42	49
200	20	29	42	50
Teste F	1,13 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,31 ^{ns}	3,01 ^{ns}
Média	19	29	41	47
CV%	20,37	12,80	13,72	10,48
Liberação do nitrogênio ($T^{1/2}$) – dias				
0	20	28	38	39
40	17	25	34	38
80	23	28	39	40
120	22	28	37	36
160	18	26	37	41
200	23	26	38	41
Teste F	1,50 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,77 ^{ns}	2,20 ^{ns}
média	20	27	37	39
CV%	30,07	14,18	13,67	14,50

$T^{1/2}$ = tempo de meia-vida; ns = não significativo

CHAGAS et al. (2007), trabalhando com quatro cultivares de feijão, encontraram os valores para a relação C/N caule (79), palha das vagens (66) e folhas senescentes

(24). A alta relação C/N se refletiu no $T^{1/2}$ para decomposição do caule (133 e 179) e folhas (70 e 80) dias respectivamente para dois anos de cultivo. Assim como o $T^{1/2}$ para a velocidade de liberação de N do caule (118 e 132) e folhas (67 e 54) dias, respectivamente para o mesmo período. Confirmando o fato de que a decomposição dos resíduos e conseqüente liberação de nitrogênio está estritamente relacionado com a relação C/N de cada cultura.

4.2. Características relacionadas à produção de matéria seca no milho

4.2.1 Matéria seca da parte aérea da planta

As produções de matéria seca da parte aérea da planta de milho foram influenciadas pelo sistema de cultivo, sendo observados, maiores valores na SD para os dois ciclos de cultivo (Tabela 6).

Tabela 6. Produção de matéria seca da parte aérea do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Matéria seca da parte aérea (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivo –S	2008	2009
SD	11260	11009
PC	10178	9752
Teste F	16,23**	6,66*
Doses de N (kg ha ⁻¹)-D		
0	6979	7999
40	9387	9134
80	11258	10103
120	12060	10834
160	12351	11853
200	12279	12361
Teste F	90,21**	26,50**
Teste F - (S x D)	0,89 ^{ns}	0,93 ^{ns}
CV % (sistemas)	12,27	22,97
CV % (doses)	8,41	12,34

* e ** = significativo a 1 e 5 %, ns = não significativo.

Esses resultados podem estar relacionados à maior disponibilidade de N da cultura de cobertura (feijão-caupi) para a cultura do milho na SD. Embora, a utilização do N das leguminosas, pelo milho seja rápida (AMADO et al., 2002), na SD esta liberação é mais lenta que no PC. Isto pode ser atribuído ao efeito do sistema de preparo na incorporação e fracionamento físico dos resíduos, que permite maior contato solo-resíduos, e ao incremento da aeração, fatores que combinados, favorecem maior atividade biológica do PC (AMADO et al., 2000). Com isso ocorre uma maior sincronia entre a liberação de N pela planta de cobertura e a necessidade da cultura do milho na SD.

Os mesmos resultados foram observados por FERNANDES et al. (1999) ao compararem a produção de matéria seca da parte aérea do milho em SD e PC adubados com diferentes doses de N com melhores resultados na SD.

ANDRIOLI et al. (2008), trabalhando com milho em dois sistemas de cultivo: PD após crotalária, braquiária/lablab, milheto e PC após pousio, utilizando três doses de N, observaram que para matéria seca da parte aérea não houve diferença entre PC e PD quando utilizaram crotalária como planta de cobertura.

Não foi observada interação significativa entre o sistema de cultivo e as doses de N nos dois anos avaliados. Em 2008 foi observado efeito quadrático com o aumento das doses de nitrogênio para a produção de matéria seca na parte aérea do milho (Figura 3) onde a máxima produção de MSp ($12.494 \text{ kg ha}^{-1}$) foi alcançada com a dose $162 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$.

FERNANDES et al. (1998) observaram efeito quadrático para a produção de matéria seca da parte aérea do milho ao trabalharem com doses de N até 240 kg ha^{-1} utilizando três sistemas de cultivo PD, PC (aiveca e disco).

Os efeitos significativos encontrados tanto para os sistemas de cultivo quanto para as doses de N aplicadas, sinalizam os benefícios oriundos da SD, como também uma carência de N nestes solos. Ressalte-se que o solo utilizado nesse experimento um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, apresenta baixos teores de matéria orgânica e alta quantidade de areia (Tabelas 1 e 3). Nestas condições a SD pode proporcionar

maior produção de matéria seca decorrente do controle da erosão e da manutenção de umidade e nutrientes no solo.

McDOWELL et al. (1978) observaram que áreas cultivadas com a sucessão milho/soja, sob plantio direto apresentam menores perdas de solo e N, quando comparadas com aquelas cultivadas sob plantio convencional. Demonstrando os benefícios deste sistema de cultivo no manejo preservacionista dos solos.

SCIVITTARO et al. (2000), avaliando a produção de MS da parte aérea do milho utilizando N na forma de uréia em combinação ou não com mucuna-preta, observaram que não houve efeito significativo para essa variável, atribuindo esse resultado ao provável potencial de fornecimento de nitrogênio do solo, que por ser alto, deve ter suprido em grande parte as exigências de N do milho.

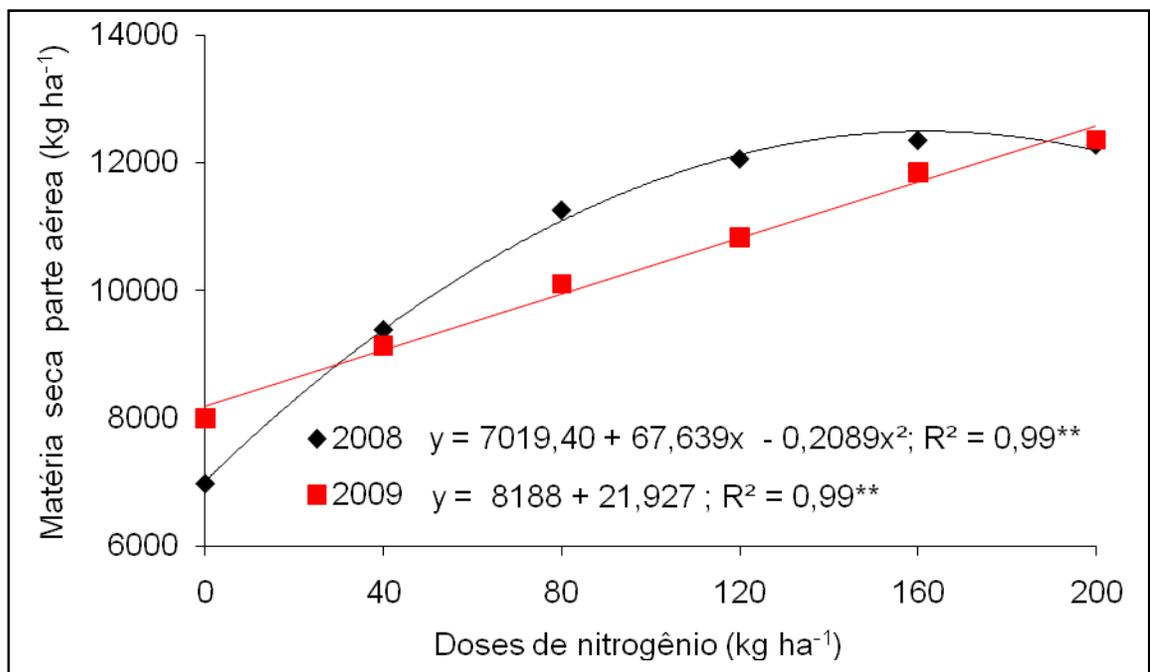


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea da planta (MSP), em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009

Em 2009, esta mesma variável apresentou efeito linear crescente com o aumento das doses de nitrogênio (Figura 3), onde para cada kg N aplicado foram produzidos 21,92 kg de MS. Estes resultados seguem o mesmo comportamento daqueles

observados por FERNANDES et al. (2005) ao avaliarem doses crescentes de N em híbridos de milho e observarem efeito linear crescente e mostram-se superiores àqueles obtidos por DEPARIS et al. (2007), que encontraram 15,57 kg de MS por kg de N aplicado ao cultivarem milho em PD utilizando três espaçamentos e sete doses de nitrogênio.

4.2.2 Matéria seca da folha na colheita

A produção de matéria seca da folha na fase de colheita (MSfc), apresentou comportamento distinto nos dois anos avaliados. Em 2008 o sistema de cultivo influenciou na produção de MSfc, onde a SD foi superior ao PC. (Tabela 7).

Esses resultados podem estar relacionados à maior disponibilidade de N para o milho na SD liberados pela cultura de cobertura utilizada neste experimento (Tabela 5), uma vez que o momento de liberação do N das plantas utilizadas como cobertura, tende a coincidir com a necessidade da cultura por esse nutriente na fase de crescimento (AMADO et al., 2000). Como também aos demais benefícios proporcionados pela SD como preservação da umidade, proteção contra a erosão e controle da temperatura do solo

Em 2009, não houve diferença significativa entre os dois sistemas de cultivo avaliados. Esse comportamento pode ser explicado em parte, pela maior uniformidade que ocorreu nos dois sistemas no segundo ano de cultivo, quanto às condições do solo. Se por um lado a SD apresenta maior proteção contra a erosão, preservando de forma mais eficiente a umidade e os nutrientes provenientes dos restos das culturas, por outro o PC, em função da incorporação do feijão utilizado como cobertura e da palhada do milho do cultivo anterior, deve apresentar melhorias nas condições químicas e físicas do solo, refletindo em um mesmo comportamento com relação à produção de MSfc.

Tabela 7. Produção de matéria seca da folha na colheita (MSfc) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	MS folha na colheita (kg ha ⁻¹)	
Sistema de cultivo - S	2008	2009
SD	1171	1504
PC	1069	1388
Teste F	6,00*	2,07 ^{ns}
Doses N (kg ha ⁻¹) - D		
0	654	1236
40	968	1284
80	1051	1478
120	1258	1421
160	1420	1599
200	1367	1659
Teste F	74,11*	6,58**
Teste F - (S x D)	2,80*	0,28 ^{ns}
CV % (sistemas)	18,19	27,47
CV % (doses)	11,95	18,06

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

A matéria seca da folha representou o menor percentual entre as partes da planta 10,39 e 10,50% para a SD e PC em 2008 e 13,66 e 14,23% em 2009. Apesar disto, a matéria seca das folhas ganha importância no manejo da palhada quando se constata que, quanto ao teor de N, elas só perdem para os grãos. No entanto é importante ressaltar que no manejo da palhada os grãos serão exportados, sendo a matéria seca da folha que mais irá contribuir com a maior quantidade de N para a cultura sucessora.

Em 2008 foi observado interação entre o sistema de cultivo e as doses de nitrogênio aplicadas (Figura 4). Ocorreu efeito quadrático, sendo alcançados valores máximos de 1.402 kg ha⁻¹ na SD com a aplicação de 182,50 kg ha⁻¹ N. Para o PC embora o incremento das doses de N tenham proporcionado efeito quadrático, a dose

que resulta a máxima produção de MSfc não foi encontrada dentro do intervalo estudado. Os efeitos significativos encontrados para as doses de N aplicadas, indicam carência de N nestes solos em função de características como baixos teores de matéria orgânica e textura arenosa do solo deste experimento (Tabelas 1 e 3), resultando em incremento na produção de matéria seca da folha na colheita com o aumento das doses de N.

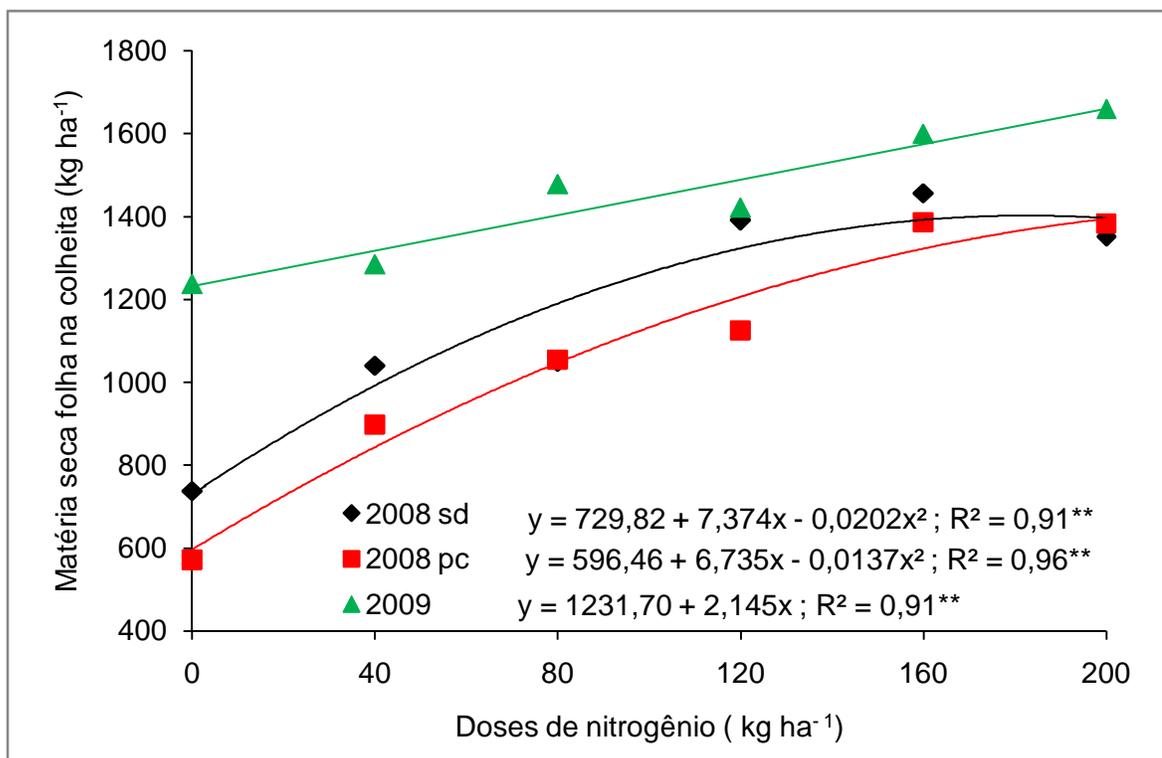


Figura 4. Produção de matéria seca da folha na colheita (MSfc) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

Em 2009 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito linear, onde para cada kg de N aplicado foram produzidos 2,14 kg de MSfc (Figura 4).

Sabe-se que os índices de área foliar são afetados pelas doses crescentes de N aplicadas, refletindo em aumentos significativos de MSfc nos tratamentos com maiores doses de N. WOLSCHICK et al. (2003), trabalhando com milho avaliando doses de N e níveis de irrigação, observaram que os menores valores de índice de área foliar nas

plantas sem adubação nitrogenada, provavelmente diminuíram a interceptação da radiação solar e a produção de carboidratos, afetando a produção de massa seca de folhas, colmos e grãos.

4.2.3 Matéria seca do sabugo + palha

A matéria seca do sabugo + palha (MSsp) do milho, apresentou comportamento distinto nos dois anos avaliados. Em 2008 o sistema de cultivo influenciou na produção de MSsp, onde a SD foi superior ao PC (Tabela 8).

Este resultado pode estar relacionado aos benefícios da SD na preservação do solo, como também na relação de sincronismo, relatada por AMADO et al. (2002) entre a liberação de N pelos resíduos da cultura antecessora (Tabela 5) e a necessidade por N do milho na SD.

Em 2009, não houve diferença significativa entre os dois sistemas de cultivo (Tabela 8). Esse comportamento pode ser explicado em parte, pela maior uniformidade que ocorreu nos dois sistemas no segundo ano de cultivo, quanto às condições do solo; onde a SD apresenta maior proteção contra a erosão preservando de forma mais eficiente a umidade e os nutrientes provenientes dos restos das culturas enquanto que o PC, em função da incorporação do feijão utilizado como cobertura e da palhada do milho do cultivo anterior, apresenta melhorias nas condições químicas e físicas do solo. Nestas condições os sistemas apresentaram o mesmo comportamento quanto à produção de matéria seca do sabugo + palha.

Quanto à aplicação de N, em 2008 e 2009 o aumento das doses, proporcionou efeito quadrático nos dois anos avaliados (Figura 5), sendo alcançados valores máximos de 2.023 e 1.956 kg ha⁻¹ de MSsp, com a aplicação de 159 e 188 kg ha⁻¹ N, respectivamente em 2008 e 2009.

NEUMANN et al. (2005) avaliando os teores de MS a partir de híbridos de milho e doses de N observaram efeito quadrático para as quantidades de brácteas + sabugo.

Tabela 8. Produção de matéria seca do sabugo + palha (MSsp) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Matéria seca sabugo + palha (kg ha ⁻¹)	
Sistema de cultivo – S	2008	2009
SD	1792	1779
PC	1674	1664
Teste F	14,69**	1,84 ^{ns}
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	1152	1303
40	1447	1528
80	1853	1690
120	1960	1928
160	2030	1936
200	1956	1944
Teste F	58,91**	15,73**
Teste F - (S x D)	0,90 ^{ns}	1,32 ^{ns}
CV % (sistemas)	8,75	24,34
CV % (doses)	10,61	15,54

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Em 2008 e 2009 a produção de matéria seca do sabugo + palha nas plantas que não receberam N em cobertura foi respectivamente de 1.152 e 1.303 kg ha⁻¹, comparada com as máximas produções obtidas, nestes mesmos anos, nota-se que houve um incremento de 43,03 e 33,41% refletindo a importância da adubação com N.

É importante ressaltar que a contribuição da matéria seca do sabugo + palha para a planta sucessora, dependerá do tipo de colheita a ser realizada. A colheita mecânica será aquela que proporcionará o maior aporte dessa palhada, uma vez que deixará na área sabugo + palha das espigas.

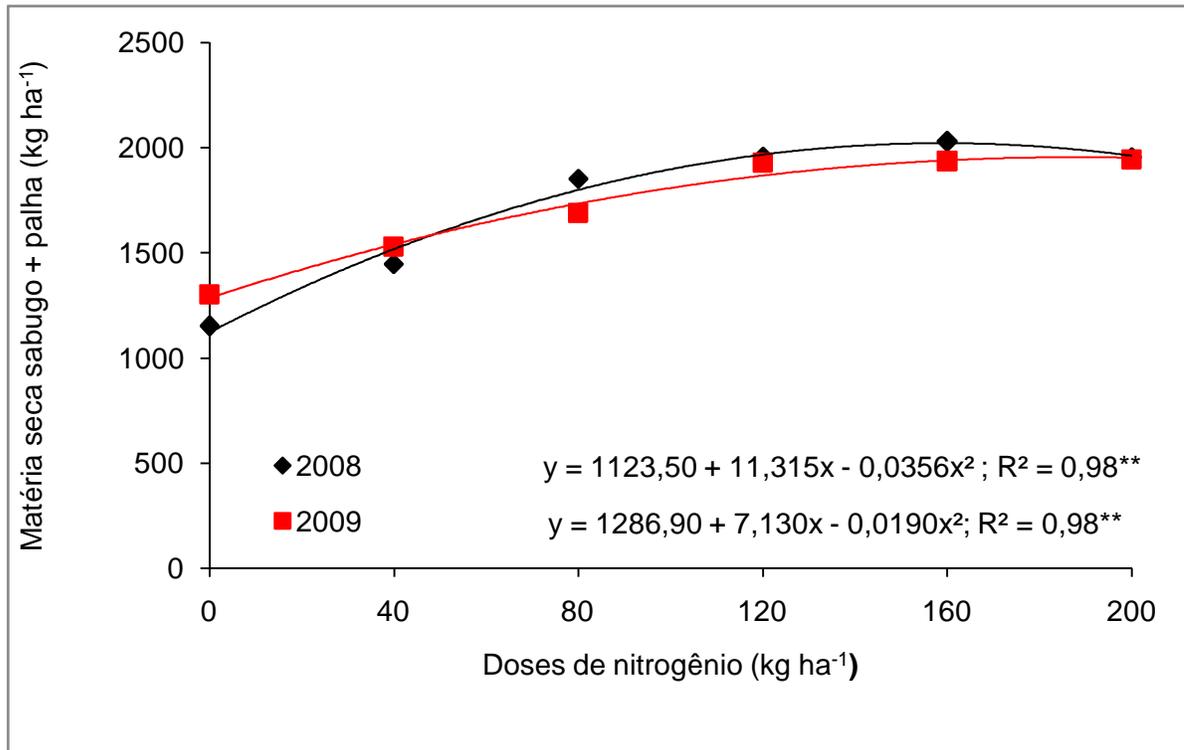


Figura 5. Produção de matéria seca do sabugo + palha (MSsp) no milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

4.2.4 Matéria seca do colmo + pendão

A produção de matéria seca do colmo + pendão (MScp), apresentou comportamento distinto nos dois anos avaliados (Tabela 9). Em 2008 o sistema de cultivo influenciou na produção de MScp, onde a SD, foi superior ao PC. Este resultado pode estar relacionado aos benefícios da SD na preservação da umidade do solo, que proporcionada maior desenvolvimento da planta resultando em maior produção de matéria seca do colmo + pendão neste sistema de cultivo.

Como afirmam BLEVINS et al. (1971) a diminuição da evaporação e a maior capacidade de armazenar umidade sob PD produz uma maior reserva de água, essa diferença de umidade é de cerca de 10 - 15% em volume de água.

Em 2009, não houve diferença significativa entre os dois sistemas de cultivo

Tabela 9. Produção de matéria seca do colmo + pendão (MScp) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	MS colmo + pendão (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivo – S	2008	2009
SD	2257	1999
PC	2005	1857
Teste F	19,55**	0,68 ^{ns}
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	1557	1702
40	1959	1753
80	2198	1899
120	2295	1900
160	2391	2100
200	2387	2213
Teste F	54,08**	6,19**
Teste F - (S x D)	2,49*	0,46 ^{ns}
CV % (sistemas)	13,07	43,43
CV % (doses)	8,26	16,45

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Esse comportamento pode ser explicado em parte, pela maior uniformidade que ocorreu nos dois sistemas no segundo ano de cultivo, quanto às condições do solo. Se por um lado a SD apresenta maior proteção contra a erosão, preservando de forma mais eficiente a umidade e os nutrientes provenientes dos restos das culturas. Por outro lado o PC, em função da incorporação do feijão utilizado como cobertura e da palhada do milho do cultivo anterior, proporciona melhorias nas condições químicas e físicas do solo. Nestas condições os sistemas apresentaram o mesmo comportamento quanto à produção de matéria seca no colmo + pendão.

A produção de MScp da SD e PC, representou respectivamente 20,04 e 19,69% em 2008 e 18,15 e 19,04% em 2009 da matéria seca total da planta. Representando

dentro da partição da matéria seca do milho, o segundo maior volume, sendo superado somente pelos grãos que, no entanto serão exportados com a colheita. Daí a importância do manejo correto da matéria seca do colmo + pendão para a cultura sucessora.

Em 2008 foi observado interação entre o sistema de cultivo e as doses de nitrogênio aplicadas (Figura 6). Ocorreu efeito quadrático, sendo alcançados valores máximos de 2.527 kg ha⁻¹ de MScp na SD com a aplicação de 150 kg ha⁻¹. Já para o PC embora o incremento nas doses de N tenha resultado em efeito quadrático, a dose que proporciona a máxima produção de MScp não foi encontrado dentro do intervalo estudado.

Em 2009 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito linear, onde para cada kg de N aplicado foram produzidos 2,57 kg de MScp. Esse efeito linear observado em 2009, provavelmente se deve a fatores climáticos e ambientais que podem ter interferido num melhor aproveitamento pelas plantas no N aplicado, indicando insuficiência das doses aplicadas, pois mesmo a maior dose de N não permitiu mudança da declividade da curva de produção.

NEUMANN et al. (2005), avaliando híbridos de milho e doses crescentes de N observaram efeito linear crescente para as quantidades de matéria seca do colmo com o incremento das doses de N.

Os efeitos significativos encontrados com a aplicação crescente das doses de N aplicadas, demonstram a carência de N nestes solos, resultando em incremento na produção de MScp.

Como afirmam WOLSCHICK et al. (2003), os menores valores de índice de área foliar observados nas plantas sem adubação nitrogenada, provavelmente diminuíram a interceptação da radiação solar e a produção de carboidratos, afetando a produção de massa seca de folhas, colmos e grãos. Fato que provavelmente tenha ocorrido neste experimento com relação à produção de matéria seca no colmo + pendão em função da aplicação de doses crescentes de N.

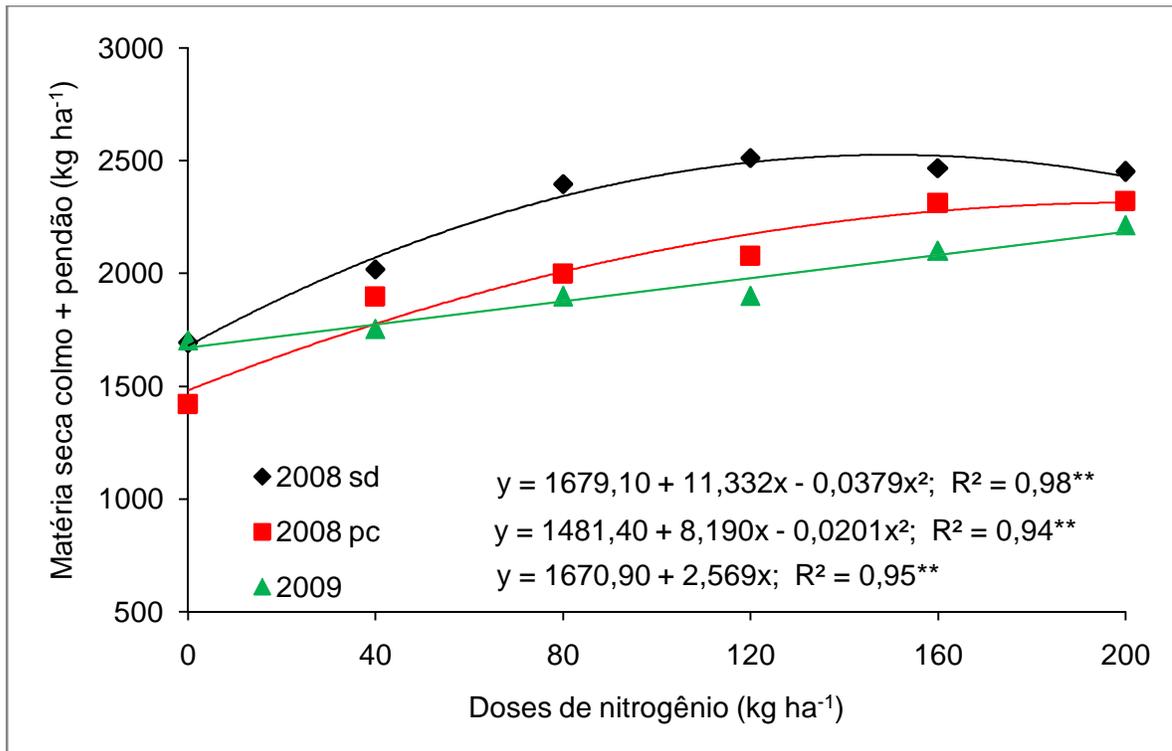


Figura 6. Produção de matéria seca do colmo + pendão (MScp) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

4.2.5 Matéria seca do grão

A produção de matéria seca do grão (MSgr) foi influenciada pelo sistema de cultivo, sendo observado para os dois anos avaliados melhor resultado na SD (Tabela 10). Como na SD os resíduos da cultura de cobertura apresentam menor contato com o solo, estes possuem maior imobilização de N que no PC, fazendo com que o nitrogênio da cultura de cobertura seja mineralizado em simultaneidade com a necessidade deste nutriente pelo milho. Outro fator que proporciona maior produção de matéria seca nos grãos, neste sistema de cultivo, esta relacionado à maior produtividade de grãos que também foi superior na semeadura direta.

Tabela 10. Produção de matéria seca do grão (MSgr) do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Matéria seca do grão (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivo – S	2008	2009
SD	6041	5726
PC	5430	4844
Teste F	10,19*	9,78*
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	3616	3758
40	5013	4569
80	6156	5035
120	6548	5584
160	6511	6218
200	6569	6545
Teste F	42,09**	24,04**
Teste F - (S x D)	0,80 ^{ns}	1,03 ^{ns}
CV % (sistemas)	16,33	26,16
CV % (doses)	12,85	16,12

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

A produção da matéria seca do grão na SD e PC representaram respectivamente 53,65; 53,35% em 2008 e 52,01; 49,67% em 2009 de toda a matéria seca da parte aérea da planta, portanto ao considerar-se a contribuição da matéria seca do milho como material potencialmente reciclável para a cultura sucessora, esses dados devem ser considerados. Visto que, em média cerca de 50 % da matéria seca total da planta será exportada através dos grãos, especialmente porque está nos grãos, a maior concentração de nitrogênio na planta.

Em 2008 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito quadrático para a média dos dois sistemas (Figura 7), sendo alcançados valores máximos de 6.718 kg ha⁻¹ de matéria seca nos grãos, com a aplicação de 155 kg ha⁻¹ N.

Em 2009 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito linear, onde para cada kg de N aplicado foram produzidos 13,88 kg de MSgr. A maior necessidade de N para atingir a máxima produção de matéria seca nos grãos em 2009, pode estar relacionada a perdas de N por volatilização e lixiviação em função de manejo e características de solo do experimento. Fato confirmado pela insuficiência das doses aplicadas, pois mesmo a maior dose de N não permitiu mudança da declividade da curva de produção.

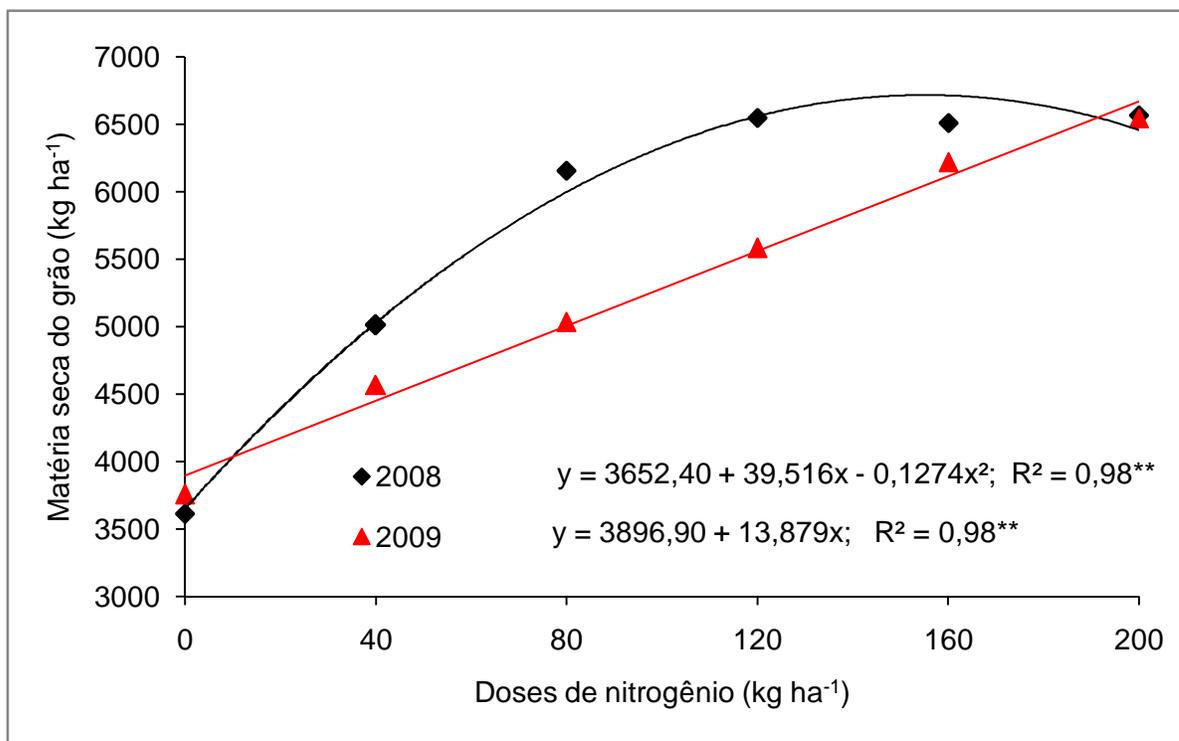


Figura 7. Produção de matéria seca do grão (MSgr) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

A combinação de mucuna-preta com 100 kg ha⁻¹ de N resultou em maiores resultados para a produção de matéria seca dos grãos em experimento avaliando adubos verde e mineral (SCIVITTARO et al., 2000).

4.3. Características relacionadas às concentrações de nitrogênio nas partes aéreas do milho

4.3.1 Nitrogênio na parte aérea da planta

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea da planta foi influenciado pelo sistema de cultivo, sendo observados, maiores acúmulos de nitrogênio nas plantas da SD nos dois anos avaliados (Tabela 11). O maior acúmulo de N na planta encontrado na SD neste experimento, certamente esta relacionado ao maior volume de matéria seca também produzida neste sistema de cultivo nos dois anos avaliados, uma vez que o acúmulo de N na planta está diretamente relacionado com a produção de matéria seca.

Tabela 11. Concentrações de nitrogênio na parte aérea da planta, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Nitrogênio na parte aérea (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivo – S	2008	2009
SD	116	100,09
PC	105	86,18
Teste F	12,45**	11,00*
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	58,96	60,79
40	87,72	75,94
80	110,97	86,77
120	130,54	98,10
160	137,37	113,67
200	138,38	123,58
Teste F	129,74**	47,79**
Teste F - (S x D)	0,55 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV % (sistemas)	13,88	22,06
CV % (doses)	10,11	14,58

*e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Em 2008 foi observado efeito quadrático com o aumento das doses de N (Figura 8) onde o máximo acúmulo de N na planta 139 kg ha^{-1} foi alcançado com a aplicação de 187 kg ha^{-1} N, demonstrando perdas do nitrogênio aplicado, provavelmente por volatilização e lixiviação em razão das precipitações ocorridas no período do experimento, especialmente quando foram realizadas as duas adubações de cobertura com N; associado à textura arenosa do solo utilizado neste experimento (Figura 1 e Tabela 3).

FERNANDES et al. (1998), ao trabalharem com milho cultivado em plantio direto e preparo convencional (disco e aiveca) adubados com doses crescentes de N, observaram maior acúmulo de N nas plantas sob sistema de plantio direto.

No ano de 2009, o acúmulo de N na parte aérea da planta apresentou efeito linear crescente com o aumento das doses de nitrogênio, onde para cada kg de N aplicado ocorreu acúmulo $0,31 \text{ kg}$ de N na planta (Figura 8). Esse comportamento linear pode ser explicado em parte, pelo fato da matéria seca da planta, variável que esta diretamente relacionada com o nitrogênio na planta, também aumentar linearmente neste ano, com o aumento das doses de N.

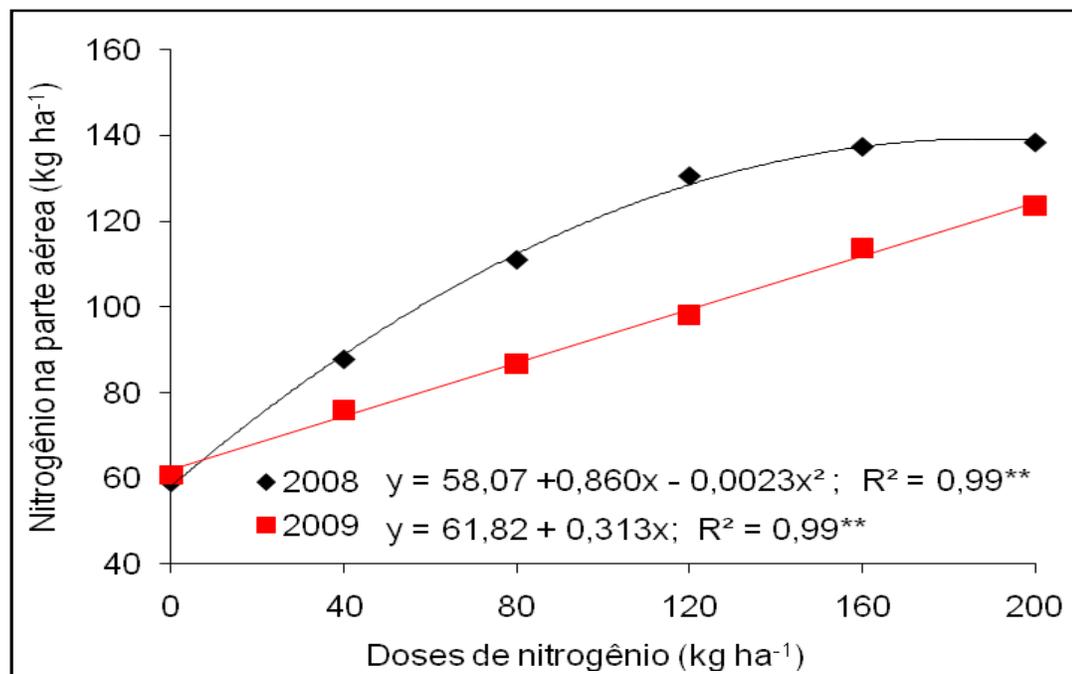


Figura 8. Concentrações de nitrogênio na parte aérea (N_p) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

Estes resultados seguem o mesmo comportamento daqueles observados por DUETE et al. (2008) ao trabalharem com milho adubado com doses até 175 kg ha⁻¹ N. Os autores atribuíram esses resultados à produtividade de grãos e palha que também aumentaram linearmente com o incremento das doses de N.

ARAUJO et al. (2004) testaram doses crescentes de N e também observaram que o acúmulo de N na matéria seca da parte aérea aumentou com o incremento das doses de N aplicadas.

4.3.2. Nitrogênio do grão

O acúmulo de nitrogênio no grão (Ngr) foi influenciado pelo sistema de cultivo, sendo observado para os dois anos avaliados uma maior quantidade de N nos grãos das plantas da SD (Tabela 12).

Maiores concentrações de nitrogênio nos grãos em plantio direto, também foram observados por FIGUEIREDO et al. (2005) ao trabalharem com diferentes sistemas de manejo e épocas de incorporação de restos culturais.

Independente do sistema de cultivo, a distribuição do N acumulado na parte aérea da planta foi igual. Em média, 63% do N alocou-se nos grãos e 37% no restante da parte aérea, evidenciando que o maior dreno de N na planta são os grãos.

Segundo DUETE et al. (2008) a adubação nitrogenada favorece a translocação do N e fotoassimilados dos órgãos vegetativos, sobretudo das folhas para os grãos.

Para BASSOI & REICHADT (1995) alterações nas quantidades de N nas diversas partes aéreas das plantas de milho evidenciam a translocação do N das folhas e colmo + pendão para os grãos.

BERTIN et al. (2005), trabalhando com coberturas de gramíneas e leguminosas e duas doses de N, constataram que 50% do N absorvido pela cultura do milho é exportado pelos grãos, evidenciando a necessidade de reposição deste nutriente.

Tabela 12. Concentrações de nitrogênio do grão no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Nitrogênio do grão (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivo – S	2008	2009
SD	75,10	62,77
PC	66,88	52,47
Teste F	10,72*	11,81*
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	38,18	36,00
40	56,60	46,95
80	73,71	53,67
120	84,28	59,94
160	86,30	71,11
200	86,87	78,07
Teste F	66,74**	39,39**
Teste F - (S x D)	0,43 ^{ns}	0,68 ^{ns}
CV % (sistemas)	17,33	25,48
CV % (doses)	13,63	17,14

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Em 2008 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito quadrático para os sistemas de cultivos avaliados, sendo alcançados valores máximos de 87,78 kg ha⁻¹ de Ngr, com a aplicação de 173,37 kg ha⁻¹ N (Figura 9). É interessante observar que os valores de N acumulados nos grãos representam 50,6% de todo N aplicado, demonstrando a capacidade de acumulação de N pelos grãos.

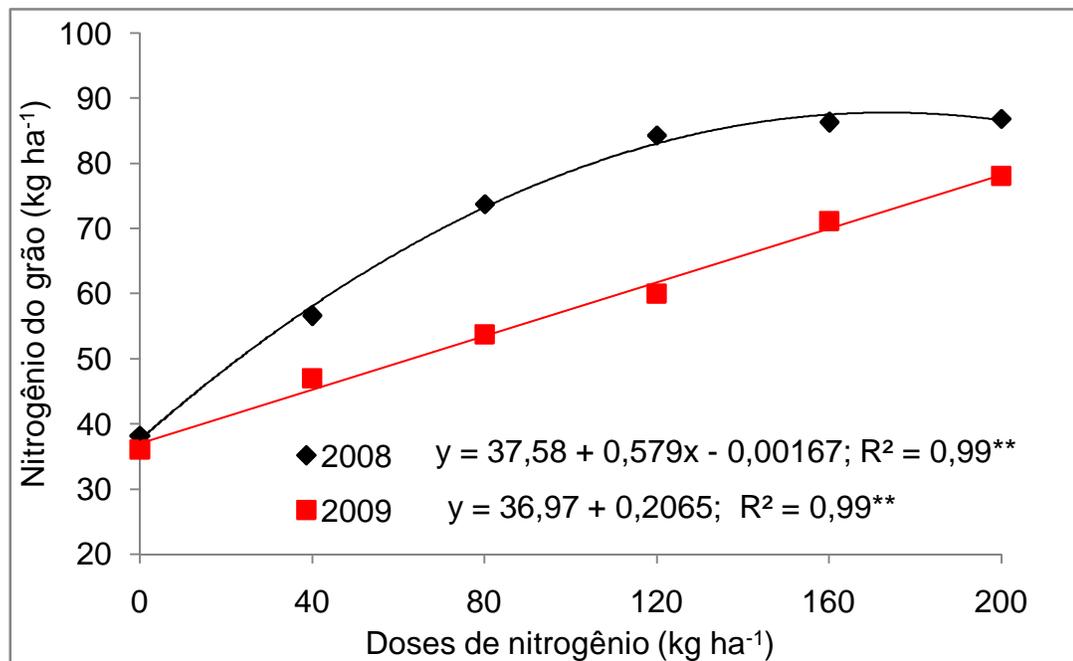


Figura 9. Concentrações de nitrogênio do grão (Ngr) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

Em 2009 o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito linear, onde para cada kg de N aplicado foi acumulado 0,21 kg de Ngr.

SCIVITTARO et al. (2000), avaliando o acúmulo de N no grão do milho utilizando adubo verde e mineral, observaram efeito significativo para essa variável com destaque para a combinação de 100 kg ha⁻¹ de N + mucuna-preta.

4.3.3. Nitrogênio foliar

As concentrações de nitrogênio foliar (Nf) no milho para os dois anos avaliados não foram influenciados pelo sistema de cultivo, apresentando estatisticamente resultados semelhantes (Tabela 13). No entanto a aplicação crescente de doses de nitrogênio influenciou a concentração de N foliar.

Tabela 13. Concentrações de nitrogênio foliar, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Nitrogênio foliar (g kg ⁻¹)	
Sistema cultivado – S	2008	2009
SD	26,32	24,58
PC	26,15	24,16
Teste F	0,43 ^{NS}	0,81 ^{NS}
Doses de N (kg ha ⁻¹) – D		
0	20,03	19,10
40	25,41	21,61
80	26,45	24,17
120	27,87	25,51
160	28,32	27,60
200	29,32	28,20
Teste F	153,15 ^{**}	35,53 ^{**}
Teste F - (S x D)	6,30 ^{**}	0,99 ^{NS}
CV % (sistemas)	4,75	9,44
CV % (doses)	4,11	9,68

*e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Em 2008 foi observada interação entre o sistema de cultivo e as doses de nitrogênio aplicadas onde o aumento das doses de nitrogênio proporcionou efeito quadrático para os dois sistemas avaliados, sendo alcançados valores máximos de 27,50 e 28,94 g kg⁻¹ Nf, com 168 e 152 kg ha⁻¹ de N, respectivamente para a SD e PC. Da mesma forma em 2009 o aumento das doses de N resultou em efeito quadrático, no entanto a dose que proporciona o máximo teor de N nas folhas não foi encontrada dentro do intervalo estudado. (Figura 10).

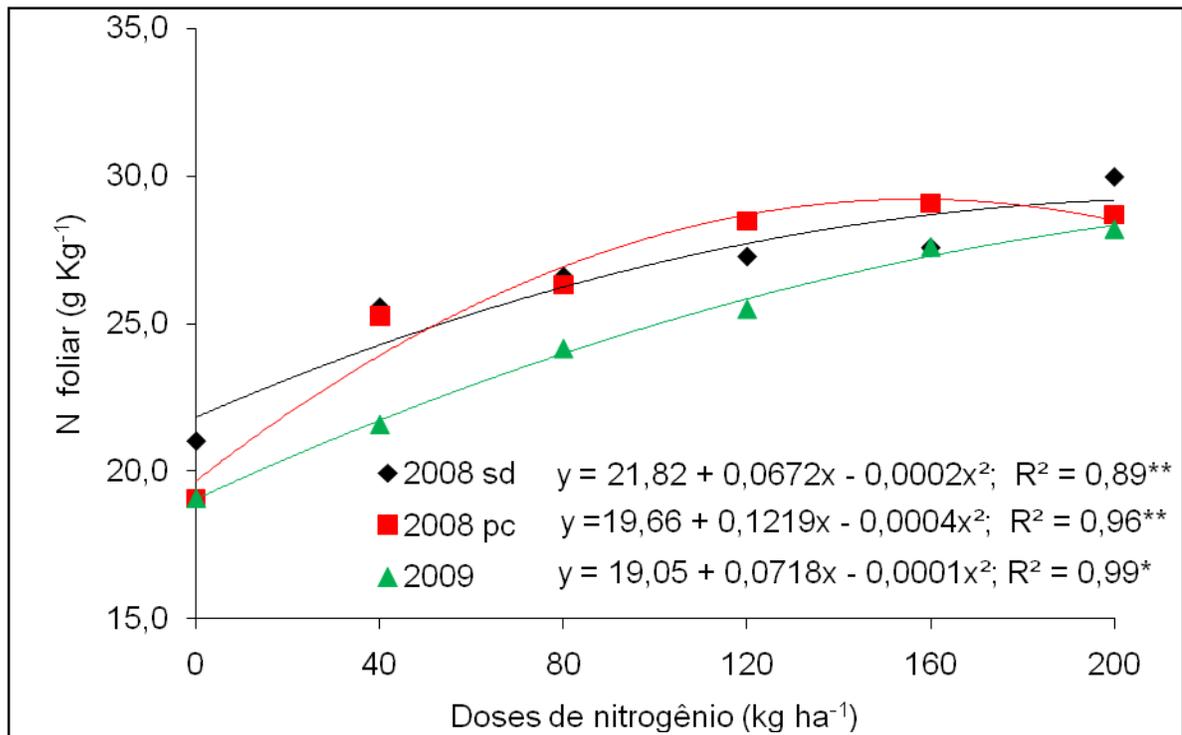


Figura 10. Concentrações de nitrogênio foliar (Nf) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

Quanto à faixa de suficiência relativo à produtividade de grãos e as concentrações de nitrogênio nas folhas (Figura 11), observou-se que as concentrações de N na folha consideradas adequadas estão situadas no intervalo de 25,7 a 28,4 g kg⁻¹. Valores abaixo daqueles sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997). Estes resultados podem estar relacionados a características do híbrido utilizado como também a influências das condições edafoclimáticas da região do experimento.

Estes teores de N encontrados estiveram associados às doses de 176 e 89 kg ha⁻¹ de nitrogênio, correspondendo respectivamente às produções de 7.696 e 6.927 kg ha⁻¹.

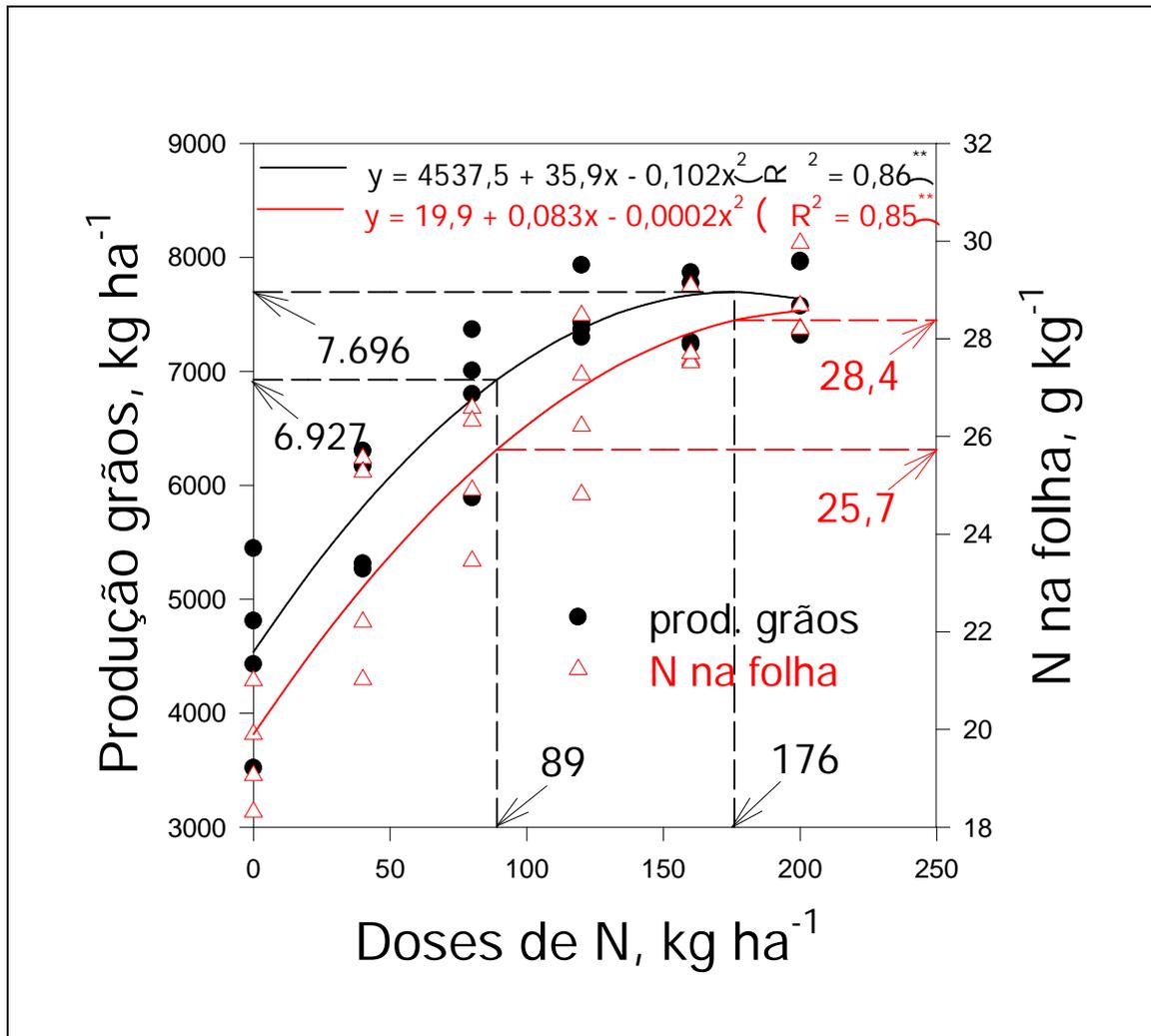


Figura 11. Relação entre a produtividade de grãos e as concentrações de nitrogênio nas folhas de milho

4.4. Produtividade de grãos do milho

A produtividade de grãos foi influenciada pelo sistema de cultivo sendo obtidas as seguintes produtividades médias para a SD e PC: 7.042 e 6.294 em 2008 e 6.930 e 6.286 em 2009, demonstrando melhores resultados para a SD nos dois anos avaliados (Tabela 14).

Tabela 14. Produtividade de grãos do milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	
Sistema cultivado – S	2008	2009
SD	7042	6930
PC	6294	6286
Teste F	11,43*	21,55**
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	4166	4938
40	5809	5717
80	7188	6346
120	7651	7364
160	7551	7516
200	7644	7769
Teste F	35,87**	50,84**
Teste F - (S x D)	0,50 ^{ns}	1,24 ^{ns}
CV % (sistemas)	16,27	10,27
CV % (doses)	14,14	9,60

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

A maior eficiência da SD no uso do N pode ter favorecido um maior desenvolvimento da planta, resultando em melhor aproveitamento da água e nutrientes do solo, proporcionando maiores produtividades de grãos neste sistema de cultivo. O milho sob o sistema de SD apresentou maior acúmulo de N e maior produção de matéria seca, sendo o maior rendimento de grãos obtido, em relação ao PC, compatível com os resultados para essas características fisiológicas.

ANDRIOLI et al. (2008), trabalhando com milho em dois sistemas de cultivo: PD após crotalaria, braquiária/lablab, milheto e PC após pousio, utilizando três doses de N, observaram maiores produtividades no PC.

SPAGNOLLO et al. (2002), trabalhando com milho intercalado a quatro leguminosas estivais cultivado em PC e preparo mínimo - PM, realizado com abertura

de sulcos com arado de tração animal estreito (0,10 m), observaram maiores produtividades no PC. Esses resultados podem estar relacionados às características das plantas de cobertura utilizadas nesses experimentos, tais como relação C/N, produção de MS, acúmulo, velocidade e liberação de N.

Através das equações de regressão observou-se que a produtividade de grãos respondeu de forma quadrática às doses de nitrogênio nos dois anos avaliados (Figura 12).

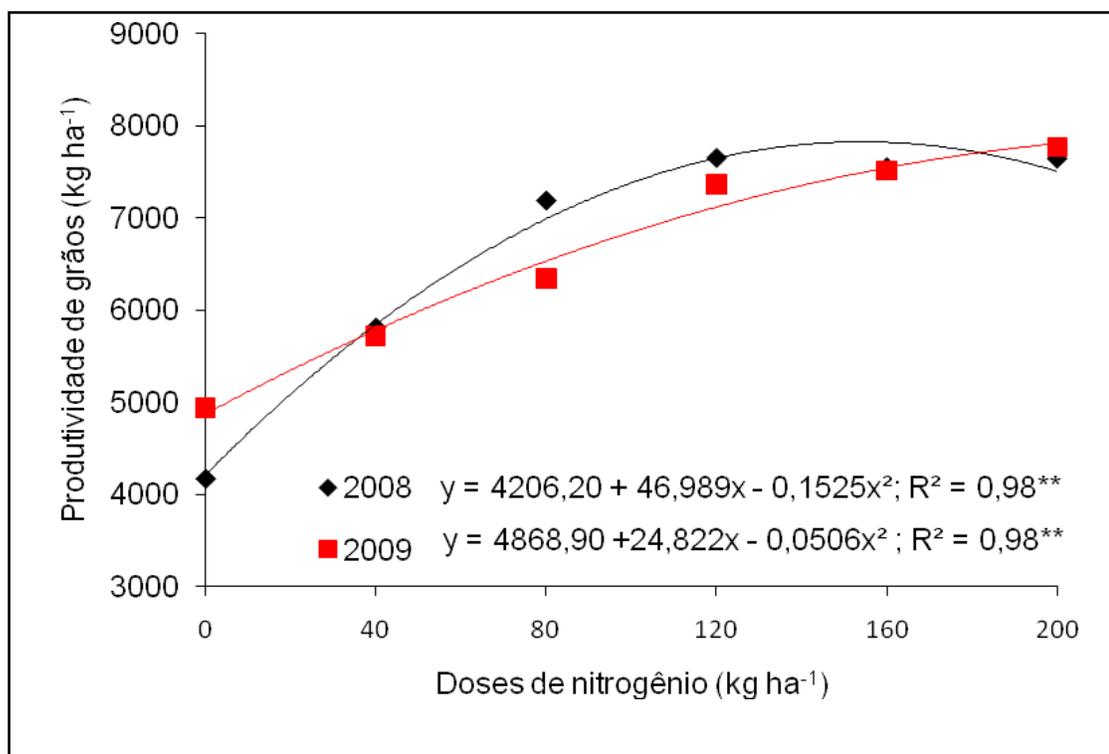


Figura 12. Produtividade de grãos (Pgr) do milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

O máximo rendimento estimado de grãos em 2008 considerando os dois sistemas em conjunto foi: 7.826 kg ha⁻¹ obtido com 154 kg ha⁻¹ N. Em 2009 embora as doses de N aplicadas tenham resultado em efeito quadrático a dose que proporciona o máximo rendimento estimado de grãos não foi encontrada dentro do intervalo estudado.

As doses máximas econômicas obtidas para os sistemas em conjunto, em 2008 e 2009, foram respectivamente de 125 e 160 kg ha⁻¹ de N (Figura 13).

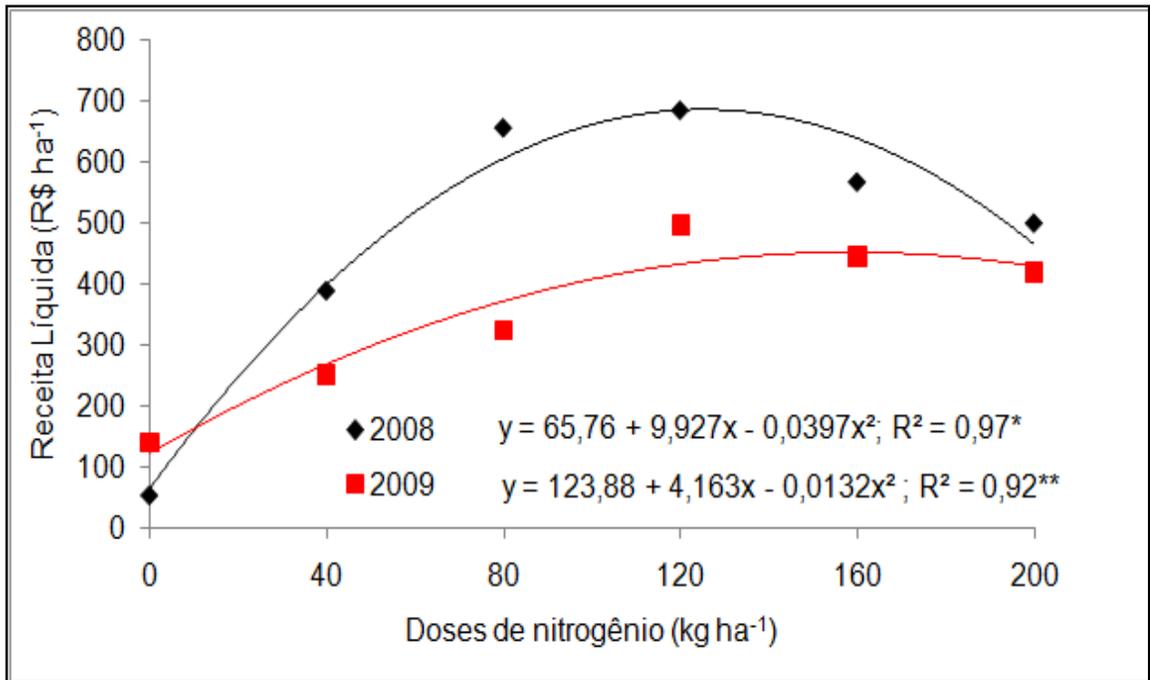


Figura 13. Receita líquida da produção de grãos de milho, em função da adubação nitrogenada nos anos agrícolas de 2008 e 2009.

SILVA et al. (2007) ao avaliarem o milho cultivado em sucessão a três coberturas (crotalária, milheto e pousio) nas condições climáticas de Selvíria - MS, observaram efeito quadrático para a produtividade de milho com o aumento das doses de N.

ARAUJO et al. (2004) trabalhando com doses crescentes de N e a sequência de culturas milho-milho-milho e milho-soja-milho, observaram que a produtividade de grãos aumentou com o incremento das doses aplicadas e o efeito das doses de N na produtividade de grãos foi linear.

As produtividades de grãos da testemunha em 2008 e 2009 (Figura 12) demonstram que esses bons resultados podem ser atribuídos em parte ao N do solo, como também, ao manejo das plantas cultivadas na área. Uma vez que desde 2007 a área vinha sendo cultivada com a sucessão feijão-caupi/milho, que foram integradas ao solo, conforme o sistema de cultivo, proporcionando aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, especialmente de N (Tabela 5).

Vale ressaltar que os melhores resultados para a testemunha foram alcançados no ano agrícola de 2009, demonstrando a contribuição positiva do manejo da palhada nas características do solo, resultando em maiores produtividades.

4.5 Características relacionadas à eficiência do nitrogênio no milho

4.5.1 Eficiência de absorção do nitrogênio.

A eficiência de absorção do nitrogênio (Ean) foi influenciada pelo sistema de cultivo, sendo, no entanto observado melhores índices de Ean na SD nos dois anos avaliados (Tabela 15).

Esses resultados podem estar relacionados aos benefícios proporcionados pela SD, como maior proteção do solo contra o impacto da gota das chuvas e efeitos da erosão, contribuindo com maior umidade e menor temperatura do solo, especialmente para as condições edafoclimáticas locais.

Quanto à aplicação do nitrogênio em cobertura a Ean apresentou efeito quadrático e decrescente em 2008 e 2009, à medida que aumentaram as doses de N, diminuiu a eficiência do nitrogênio na planta (Figura 14), devido às perdas de N, nas doses mais elevadas, e a própria capacidade de absorção da cultura. Apenas em 2009 ocorreu interação entre o sistema de cultivo e as doses de N em cobertura. Esse comportamento foi observado por DEPARIS et al. (2007) ao trabalharem com milho semeado em três espaçamentos e adubado com diferentes doses de N.

Tabela 15. Eficiência de absorção do nitrogênio (Ean), em função sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Eficiência absorção nitrogênio (kg kg ⁻¹)	
Sistema cultivo – S	2008	2009
SD	1,30	1,12
PC	1,18	0,93
Teste F	7,71*	11,46*
Doses N (kg ha ⁻¹) – D		
0	-	-
40	2,19	1,90
80	1,39	1,08
120	1,09	0,82
160	0,86	0,71
200	0,69	0,62
Teste F	280,93**	116,75**
Teste F - (S x D)	2,42 ^{ns}	5,38**
CV % (sistemas)	15,44	25,50
CV % (doses)	11,35	18,69

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

FERNANDES et al. (2005) e MOLL et al. (1982) avaliando Ean em híbridos de milho, observaram decréscimo da eficiência do nutriente à medida que aumentavam as doses aplicadas.

Segundo FERNANDES et al. (2005) a eficiência de N decresce com o aumento das doses aplicadas e quando o seu fornecimento excede as necessidades da cultura, ocorrem perdas de amônia que aumentam com as doses aplicadas.

Para MOLL et al. (1982) a eficiência do uso de N parece estar relacionada com diferentes suprimentos deste nutriente e entre genótipos.

Maior eficiência na absorção de nitrogênio do solo foi observado por MACHADO et al. (2001) ao trabalharem com duas variedades de milho contrastantes quanto ao uso de altas e baixas doses de nitrogênio.

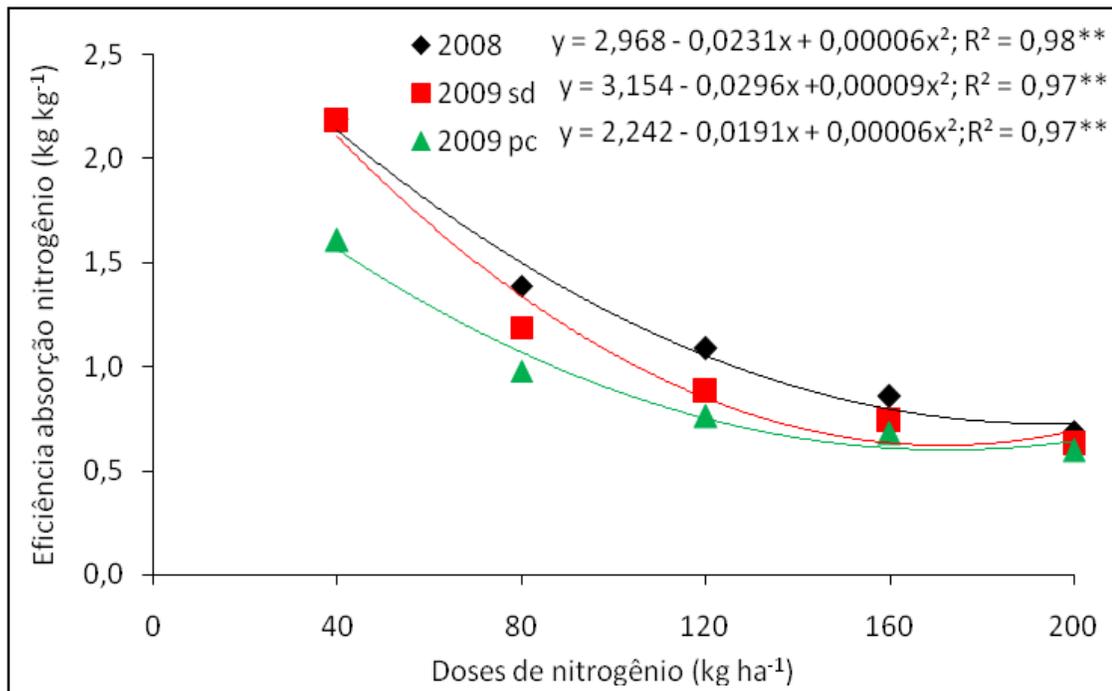


Figura 14. Eficiência de absorção do nitrogênio (Ean) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos de 2008 e 2009.

4.5.2 Eficiência de uso do nitrogênio

A eficiência de uso do nitrogênio (Eun) foi influenciada pelo sistema de cultivo, sendo observados melhores índices de Eun na SD nos dois anos avaliados (Tabela 16).

Esses resultados podem estar relacionados aos benefícios proporcionados pela SD, como maior proteção do solo contra o impacto da gota das chuvas e efeitos da erosão, contribuindo com maior umidade e menor temperatura do solo, proporcionando maior eficiência de uso do N, neste sistema de cultivo.

Tabela 16 - Eficiência de uso do nitrogênio (Eun), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Eficiência do uso nitrogênio (kg kg ⁻¹)	
Sistema cultivo - S	2008	2009
SD	80,97	77,91
PC	72,73	69,87
Teste F	7,02*	15,88**
Doses N (kg ha ⁻¹) - D		
0	-	-
40	145,22	142,93
80	89,84	79,32
120	63,76	61,36
160	47,19	46,97
200	38,22	38,84
Teste F	210,52**	227,38**
Teste F - (S x D)	2,43 ^{ns}	2,73*
CV % (sistemas)	18,09	12,21
CV % (doses)	15,41	14,91

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Quanto à aplicação do nitrogênio em cobertura a Eun apresentou efeito quadrático e decrescente em 2008 e 2009, à medida que aumentaram as doses de N, diminuiu a eficiência do nitrogênio na planta (Figura 15), devido às perdas de N, nas doses mais elevadas, e à própria capacidade de absorção da cultura. Apenas em 2009 ocorreu interação entre o sistema de cultivo e as doses de N em cobertura. Esse comportamento foi observado por DEPARIS et al. (2007) ao trabalharem com milho semeado em três espaçamentos e adubado com diferentes doses de N.

FERNANDES et al. (2005) e MOLL et al. (1982) avaliando Eun em híbridos de milho, observaram decréscimo da eficiência do nutriente à medida que aumentavam as doses aplicadas.

A eficiência de N decresce com o aumento das doses aplicadas e quando o seu fornecimento excede às necessidades da cultura, com isso ocorrem perdas de amônia que aumentam com as doses aplicadas FERNANDES et al. (2005)

Para MOLL et al. (1982) a eficiência do uso de N parece estar relacionada com diferentes suprimentos deste nutriente e entre genótipos.

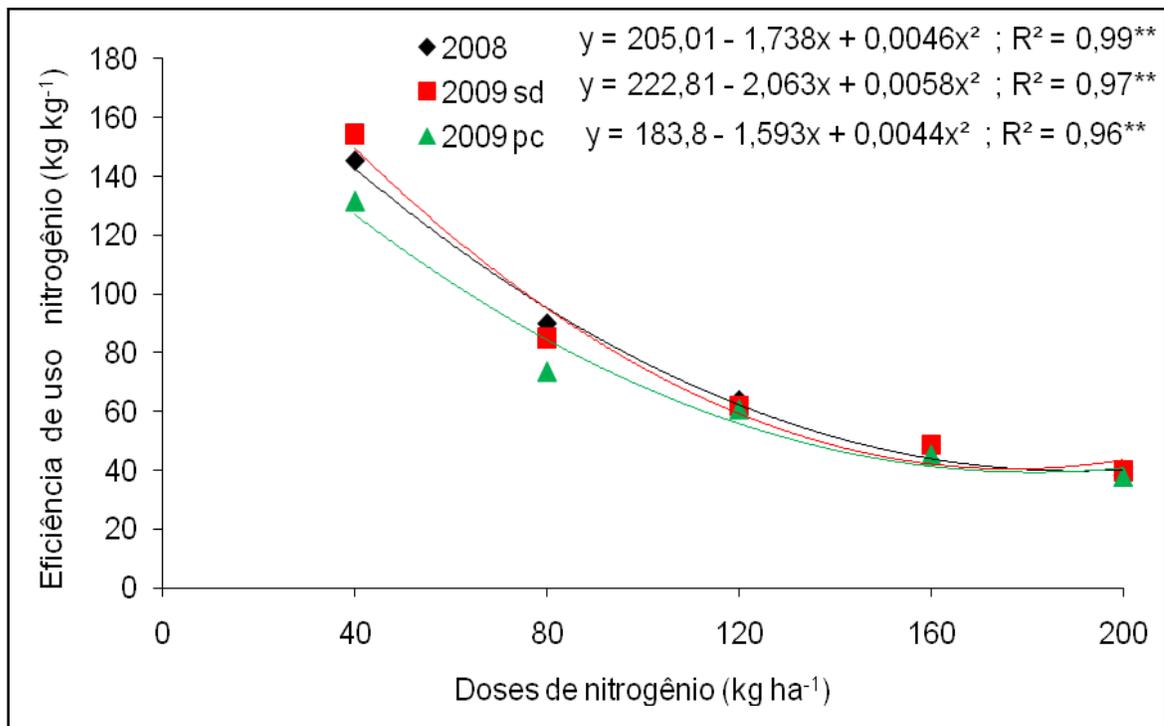


Figura 15. Eficiência de uso do nitrogênio (Eun) no milho, em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada, nos anos agrícolas de 2008 e 2009.

4.5.3 Eficiência de utilização do nitrogênio

A eficiência de utilização de nitrogênio (Eutn) não foi influenciada pelo sistema de cultivo nos anos avaliados (Tabela 17), demonstrando que a relação entre a produção de grãos e a concentração de N na planta (Eutn) apresenta o mesmo comportamento independente do sistema de cultivo utilizado.

Tabela 17. Eficiência de utilização do nitrogênio (Eutn), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Eficiência de utilização nitrogênio (kg kg ⁻¹)	
Sistema cultivo - S	2008	2009
SD	62,02	71,47
PC	61,39	76,67
Teste F	0,87 ^{NS}	3,39 ^{NS}
Doses N (kg ha ⁻¹) - D		
0	70,14	84,55
40	66,20	77,10
80	64,95	74,92
120	58,54	76,16
160	55,13	67,53
200	55,27	64,16
Teste F	9,65 ^{**}	5,25 ^{**}
Teste F - (S x D)	0,13 ^{NS}	0,67 ^{NS}
CV % (sistemas)	5,38	18,64
CV % (doses)	13,08	17,17

* e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Para adubação em cobertura, com o aumento das doses de N, a Eutn apresentou efeito linear decrescente nos dois anos avaliados (Figura 16).

MOLL et al. (1982) ao avaliarem a eficiência de utilização do nitrogênio, trabalhando com híbridos de milho e dois níveis de N (baixo e alto) observaram efeitos significativos entre híbridos com as doses avaliadas. Já DEPARIS et al. (2007) ao avaliarem Eutn em função do aumento das doses de N não observaram resposta para essa variável.

Por outro lado, KOLCHINSKI & SCHUCH (2003) não observaram diferença significativa na eficiência de utilização de N entre cultivares de aveia branca adubadas com doses de N até 73 kg ha⁻¹.

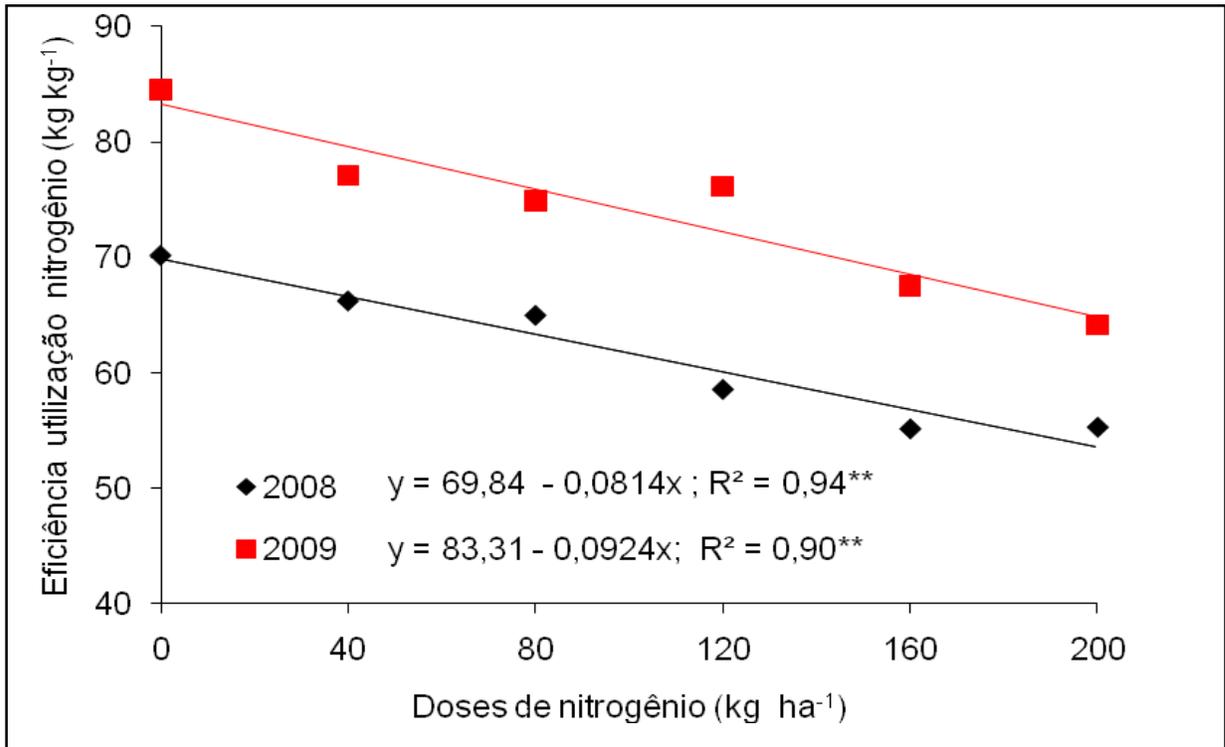


Figura 16. Eficiência de utilização do nitrogênio (Eutn) no milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos agrícolas de 2008 e 2009.

4.5.4 Eficiência de uso do nitrogênio no grão.

A eficiência de uso do nitrogênio no grão (Eungr) não foi influenciada pelo sistema de cultivo nos anos avaliados (Tabela 18), demonstrando que a relação entre a produção de grãos e a concentração de N nos grãos apresenta o mesmo comportamento independente do sistema de cultivo.

Tabela 18. Eficiência de uso do nitrogênio no grão (Eungr), em função de sistemas de cultivo e adubação nitrogenada nos anos de 2008 e 2009

Fontes de Variação	Eficiência uso nitrogênio no grão (kg kg ⁻¹)	
Sistema cultivo - S	2008	2009
SD	96,10	115,75
PC	96,78	128,69
Teste F	0,27 ^{ns}	3,66 ^{ns}
Doses de N (kg ha ⁻¹) - D		
0	109,47	147,53
40	102,98	126,62
80	98,25	123,22
120	90,92	125,82
160	88,42	107,17
200	88,60	102,17
Teste F	5,88 ^{**}	5,44 ^{**}
Teste F - I (S x D)	0,08 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV % (sistemas)	6,67	27,06
CV % (doses)	14,75	22,43

*e ** = significativo a 1 e 5 % teste F; ns = não significativo.

Para adubação em cobertura, com o aumento das doses de N, a Eungr, apresentou efeito linear decrescente nos dois anos avaliados (Figura 17). Esse comportamento também foi observado por MOLL et al. (1982). Já DEPARIS et al. (2007) ao avaliarem a Eungr em função do aumento das doses de N não observou resposta para esse índice de eficiência.

Para MACHADO et al. (2001) a translocação diferencial de N e de fotoassimilados para os grãos é importante para distinguir entre variedades eficientes e não eficientes na utilização de N.

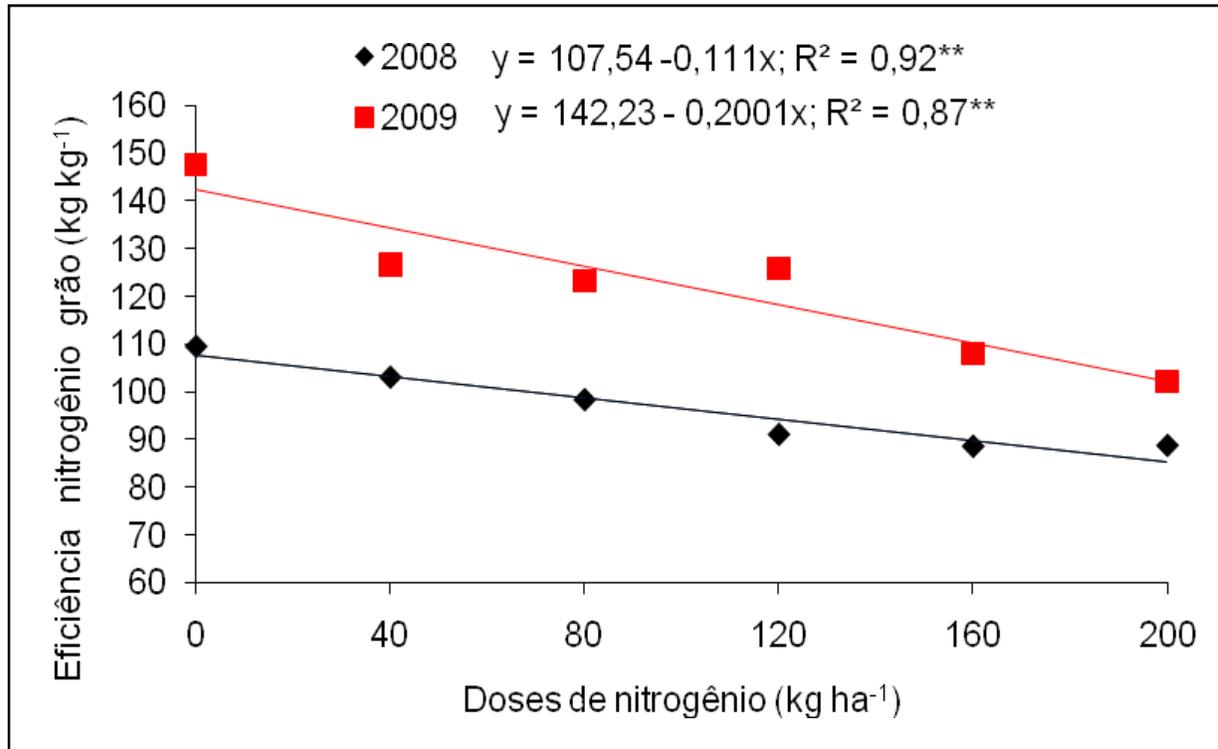


Figura 17. Eficiência de uso do nitrogênio no grão (Eungr) no milho, em função da adubação nitrogenada, nos anos agrícolas de 2008 e 2009.

5. CONCLUSÕES

- A adubação nitrogenada aumentou significativamente as variáveis relacionadas com a produtividade, sendo que a SD proporcionou a maior produção de matéria seca da parte aérea, matéria seca do grão, nitrogênio na parte aérea, nitrogênio do grão, produtividade de grãos, eficiência de absorção e uso do nitrogênio.

- A faixa de suficiência de nitrogênio na folha variou de 25,7 a 28,4 g kg⁻¹

- As doses máximas econômicas em 2008 e 2009 foram respectivamente de 125 e 160 kg ha⁻¹ N.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; ANDRADE, J.C. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com microondas. In RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (eds) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto agrônomo, p.231-239, 2001

AL-KAISI, M & LICHT, M.A. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. **Agronomy Journal**, v.96, n.4, p. 1164-1171, 2004.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p (Irrigation and drainage paper, 56)

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 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 de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:241-248, 2002.

AMARAL FILHO, J.P.R. do.; 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.

ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, F.F & COUTINHO, E.L.M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo em pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1691-1698, 2008.

ARAUJO, L.A.N de.; FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P da. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.771-777, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F da.; RIZZARDI, BARUFFI, M.J.; LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em dois locais. II – Efeito sobre o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.4, p.587-593, 1999a.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F da.; RIZZARDI, M.A.; BARUFFI, M.J.; BEHEREGARAY NETO, V. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em dois locais. I – Efeito sobre a absorção de N. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.4, p.577-586, 1999b.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F da.; MIELNICZUK, J & BORTOLONI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.

BARBOSA, J.C. & MALDONADO Jr, W. Sistemas para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos (AgroEstat). Versão 1.0. 2009. Jaboticabal. FCAV-UNESP, Campus de Jaboticabal, 2010.

BASSOI, L.H & REICHADT, K. Acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em milho cultivado no período de inverno com aplicação de nitrogênio no solo e via água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1361-1373, 1995.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico).

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.235-239, 1997.

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.

BLEVINS, R.L.; DOYLE COOK.; PHILLIPS, S.H & PHILLIPS, R.E. Influence of no-tillage on soil moisture. **Agronomy Journal**, v.63, 1971.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L de.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.de L.; CARGNELUTTI FILHO, A & PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2 p. 843-851, 2008.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F da.; ARGENTA, G e FORSTHOFER, E.L. Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em resposta a adubação nitrogenada em regime hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1101-1106, 2001.

CAMPOS, B.C de.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121–126, 1995.

CARVALHO, M.A.C de.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O & SÁ, M.E de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.47-53, 2004.

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.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Efeitos da cobertura vegetal e da adubação nitrogenada sobre os componentes de produção do milho em sistema de semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n. 4, p.567-573, 2005.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G & GUERRA, J.G.M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.723-729, 2007.

COELHO, M.A.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C & GUEDES, A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.16, n.1, p.61-67, 1992.

COLLIER, L.S.; CASTRO, D.V.; DIAS NETO, J.J.; BRITO, D.R.; RIBEIRO, P.A de A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, T.O. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1100-1105, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safras - Grãos. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php> PGA=131> . Acesso em 07 Jan 2010.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COUTINHO, E.L.M.; NEPTUNE, A.M.L.; SOUZA, E.C.A.; GIMENES, J.D.; NATALE, W. Diagnose da nutrição fosfatada na cultura do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.5, p.451-457, 1987.

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

DAY, P.R. Particle fraction and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis: part 1**. Madison, ASA, p.545-567, 1965.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C da.; TRIVELIN, P.C.O & AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.161-171, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

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, 1997.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.247-254, 1998.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R & GUEDES, G.A de A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1691-1698, 1999.

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

FIGUEIREDO, C.C de.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C & CABALLERO, S.S.U. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3 p.279-287, 2005.

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

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, **Adubação verde no Brasil**. Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P dos.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.S & BODDEY, R.M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**. v.37, n.2, p.91-97, 2003.

KWAW-MENSAH, D.; AL-KAISI, M. Tillage and nitrogen source and rate effects on corn response in corn-soybean rotation. **Agronomy Journal**, v.98, n.3, p. 507-513, 2006.

LANGE, A. CARVALHO, J.L.N de.; DAMIN, V.; CRUZ, J.C.; MARQUES, J.J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.1-19, 2006.

LICHT, M.A.; AL-KIASI, M. Corn response, nitrogen uptake, and water use in strip-tillage compared with no-tillage chisel plow. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p.705-710, 2005.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.421-428, 1978.

KOLCHINSKI, E.M & SCHUCH, L.O.B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1033-1038, 2003.

MACHADO, A.T.; SODEK, L & FERNANDES, M.S. N-partitioning, nitrate reductase and glutamine synthetase activities in two contrasting varieties of maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2, p.249-256, 2001.

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

MAR, G.D do.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F. de.; 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.

McDOWELL, L.L.; RYAN, M.E.; MCGREGOR, K.C.; GREER, J.D. Nitrogen and phosphorus losses in runoff from no-till soybeans. **American Society of Agricultural Engineers**, v.23, p.643-648, 1978.

MEDEIROS, R.M. **Climatologia do município de Teresina**. Teresina: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Piauí, 2006, 28p.

MELO, F de B. **Adubação nitrogenada e densidade de plantio para a máxima produtividade de milho e melhor retorno econômico na região sul do Maranhão**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J. & JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**., 74:562-565, 1982.

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 de plantas de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função do nível de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, Sete Lagoas – MG. v.4, n.3, p.418-427, 2005.

OHLAND, R.A.A.; SOUZA, L.C.F de.; HERNANI, L.C.; MARCHETTI, M.E, GONÇALVES, M.C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n.3, p.538-544, 2005.

PAULETTI, V.; LIMA. M.R de.; BARCIK, C.; BITTENCOUT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.491-495, 2003.

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I.C.L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364, 2008

POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M de.; 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. et. al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Fundação Cargill, 1987, 170p.

SAINJU, U.M & SINGH, B.P. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yeild and soil nitrogen. **Agronomy Journal**, v.93, n.4, p. 878-886, 2001.

SANTOS, P.F & WHILFORD, W.G. The effects of microarthropds of litter decomposition in a chihuazhuan. Ecosystem. **Ecology**, 62:654-669, 1981.

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.

SILVA, E.C. da.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E & SÁ, M.E de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.353-362, 2005.

SILVA, E.C. da.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E da C & TRIVELIN, P.C.O. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p. 723-732, 2006a.

SILVA, E.C. da.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; TRIVELIN, P.C.O & VELOSO, M.E da C. Utilização do nitrogênio (¹⁵N) residual de coberturas de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n.6, p.965-974, 2006b.

SILVA, E.C da.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C. & BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy. Maringá**. V.29, n. 4, p.445-452, 2007.

SOMDA, Z.C.; FORD, P.B & HARGROVE, W.L. Decomposition and nitrogen recycling of cover crops and crop residues. In: **COVER CROPS FOR CLEAN WATER**. Ankeny, 1991. Proceedigs, Ankeny. Soil Conservation Society of America. 1991, p.103-105.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A & NADAL, R. Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares à cultura do milho, na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no Oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.709-715, 2001.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A & PROENÇA, M.M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.417-423, 2002.

TAN, C.S.; DRURY, C.F.; REYNOLDS, W.D.; GAYNOR, J.D.; ZHANG, TQ, NG, HY. Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. **Water Science Technology**, v.46, n. 6-7, p.180-90, 2002.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p. (Boletim técnico de solos, n. 5)

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology & Biochemistry**. v.25, p.1351-1361, 1993

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G & FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

WIEDER, R.K & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, 63:1636-1642, 1982.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T & JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “el nino”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.461-468, 2003.