



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

DENIS PIAZZOLI

**DENSIDADE DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO EM
COBERTURA NA CULTURA DO MILHO SOB
ESPAÇAMENTO REDUZIDO**

Londrina
2012

DENIS PIAZZOLI

**DENSIDADE DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO EM
COBERTURA NA CULTURA DO MILHO SOB
ESPAÇAMENTO REDUZIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Co-orientador: Dr. João Alberto de Oliveira Jr

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P584d	<p>Piazzoli, Denis. Densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho sob espaçamento reduzido / Denis Piazzoli. – Londrina, 2012. 89 f. : il.</p> <p>Orientador: Claudemir Zucareli. Coorientador: João Alberto de Oliveira Junior. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Milho – Adubação – Nitrogênio – Teses. 2. Milho – Produtividade – Teses. 3. Milho safrinha – Teses. 4. Nitrogênio na agricultura – Teses. I. Zucareli, Claudemir. II. Oliveira Junior, João Alberto de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 633.15</p>
-------	---

DENIS PIAZZOLI

**DENSIDADE DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO EM
COBERTURA NA CULTURA DO MILHO SOB ESPAÇAMENTO
REDUZIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Josué M. Ferreira
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Orientador
UEL – Londrina - PR

Londrina, 28 de fevereiro de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua presença constante em minha vida, pelo auxílio nas minhas escolhas e me confortar nas horas difíceis.

Ao Professor Dr. Claudemir Zucareli, pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança.

Ao Dr. João Alberto de Oliveira Jr pela co-orientação, me apoiando e permitindo a realização do curso de mestrado.

A minha esposa Marta, pelo carinho, risadas, paciência e apoio durante este período.

Ao Meu Amigo Doutorando André Mateus Prando, pela amizade, parceria, apoio e ensinamentos.

A Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela oportunidade, em especial aos professores e colegas de sala de aula, que me auxiliaram e contribuíram para aumentar o meu conhecimento.

A Monsanto do Brasil Ltda., pela possibilidade da realização deste trabalho e constante apoio à qualificação profissional de seus funcionários.

A todos os colegas da empresa pela amizade, incentivo, apoio, que de alguma forma contribuíram para realização deste curso.

Aos Agricultores que cederam as áreas para a realização desse experimento durante as quatro safras de trabalho: Família Monteiro e Enio Grassi.

A minha família pelos momentos felizes proporcionados e, principalmente aos meus pais Miguel e Ana Vanir, pelo amor, educação, apoio e por sempre acreditarem em meus sonhos. Muito obrigado.

PIAZZOLI, Denis. **Densidade de plantas e doses de Nitrogênio em cobertura na cultura do milho sob espaçamento reduzido**. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de densidades de plantas e doses de adubação nitrogenada em cobertura sobre as características agrônômicas e a produtividade de grãos na cultura do milho sob espaçamento reduzido. Foram realizados dois experimentos independentes para cada época de cultivo. O de primeira safra foi implantado nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, no município de Mauá da Serra e, o experimento de segunda safra, em 2009 e 2010, no município de Cambé, ambos os municípios situados no Norte do Estado do Paraná. Os genótipos utilizados foram os híbridos DKB240 YG e AG9010 YG, para primeira e segunda safra respectivamente. Foram avaliadas na primeira safra, quatro populações de plantas (60, 75, 90 e 105 mil plantas ha⁻¹) com cinco doses de N em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e na segunda safra, quatro populações de plantas (40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹) com quatro doses de N em cobertura (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos com parcelas subdivididas com quatro repetições, o fator população alocado na parcela principal e a adubação de cobertura na subparcela. Foram avaliados: diâmetro do colmo, altura da inserção de espiga, altura de plantas e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F e à análise de regressão até o 2° grau, com análise conjunta dos anos para cada época de cultivo. Primeira safra: As características fitométricas e a produtividade de grãos na cultura do milho em resposta à densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura são influenciadas pelo ano de cultivo. O diâmetro de colmo aumenta com o incremento de doses de N em cobertura, com respostas diferenciadas em função do ano de avaliação e, diminui pelo incremento de densidade de plantas em todas as doses de N em cobertura. A altura de plantas e produtividade de grãos nos dois anos e a inserção de espiga no ano agrícola de 2009/2010 aumentaram com o incremento da densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido DKB240YG é obtida com a combinação de 10,5 plantas m⁻² e 185 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Segunda safra: O incremento da densidade de plantas aumenta a altura de plantas e a altura de inserção de espiga e diminui a massa seca da folha, o teor de N na folha e nos grãos, para os dois anos de avaliação. O diâmetro de colmo diminui com o incremento da densidade de plantas com respostas diferentes para os anos. Doses de nitrogênio em cobertura aumentam o diâmetro de colmo, a altura de planta, a altura de inserção de espiga, a massa seca da folha e o teor de N na folha e nos grãos. A produtividade é influenciada positivamente pela interação de densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido AG9010 YG é obtida com a combinação de 8 plantas m⁻² e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. População de plantas. Adubação nitrogenada. Milho safrinha. Produtividade.

PIAZZOLI, Denis. **Plant density and nitrogen levels in topdressing in maize under reduced spacing**. 2012. 89 p. Dissertação (Master's degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

The study aims to evaluate the effect of plant densities and nitrogen fertilization in topdressing on the agronomic characteristics and grain yield of maize under reduced spacing. Two experiments were conducted independently for each growing season. The first harvest was implemented in the agricultural years 2009/2010 and 2010/2011 in the city of Maua da Serra, and the experiment of the second season in 2009 and 2010, in the city of Cambé, both located in North of Paraná State, Brazil. The genotypes used were the hybrids AG9010 YG and DKB240 YG, for first and second season respectively. We evaluated in the first season, four plant populations (60, 75, 90 and 105 000 plants ha⁻¹) with five N levels in top dressing (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) and the second harvest four plant populations (40, 60, 80 and 100 000 plants ha⁻¹) with four N levels in top dressing (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹). The experimental design was in blocks with split plot with four replications, the population factor allocated in the main plot and subplot in topdressing. We evaluated: stem diameter, height of insertion of ear, plant height and grain yield. The data were submitted to analysis of variance using the F test and the analysts for each growing season. First season: The agronomic characteristics and grain yield in maize in response to plant density and N levels in topdressing are influenced by years of cultivation. The stem diameter increases with increasing of N levels in topdressing with different responses according to the year of evaluation and decreases by increasing plant density at all N levels in topdressing. Plant height and grain yield in two years and the insertion of ear in the agricultural year 2009/2010 increased with increasing plant density and N levels in topdressing. The highest grain yield of hybrid DKB240 YG is obtained with the combination of 10.5 plants m⁻² and 185 kg ha⁻¹ of N in topdressing. Second season: Increased density of plants increases plant height and ear insertion height and decreases the dry weight of leaf N content in leaves and grains, for the two years of evaluation. The stem diameter decreases with the increase of density with different answers for years. Nitrogen levels increase the stem diameter, plant height, height of ear insertion, the leaf dry weight and N content in leaves and grains. The productivity is positively influenced by the interaction of plant density and nitrogen levels in topdressing. The highest grain yield of the hybrid AG9010 YG is obtained with the combination of 8 plants m⁻² and 120 kg ha⁻¹ of N in topdressing.

Key – words: *Zea mays* L.. Plant population. Nitrogen fertilization. Out-of-season maize. Yield.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO	10
2.2 DENSIDADE DE PLANTAS	114
2.2.1 Efeitos da Densidade de Plantas nos Componentes da Produção	19
2.2.2 Efeitos da Densidade de Plantas nas Características Fitométricas	19
2.3 NITROGÊNIO	22
2.3.1 Importância do Nitrogênio na Cultura do Milho	24
2.3.2 Doses de N na Cultura do Milho	26
REFERÊNCIAS	29
3 ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA E DENSIDADE DE PLANTAS NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO DE PRIMEIRA SAFRA SOB ESPAÇAMENTO REDUZIDO	38
ABSTRACT	39
INTRODUÇÃO	40
MATERIAL E MÉTODOS	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
4 ARTIGO B: ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA E DENSIDADE DE PLANTAS NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA SOB ESPAÇAMENTO REDUZIDO	68

ABSTRACT	69
INTRODUÇÃO	70
MATERIAL E MÉTODOS	72
RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	89
5 CONCLUSÕES GERAIS	92

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos três cereais mais cultivados no mundo. Sua importância deve-se a multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana quer na alimentação animal, assumindo relevante papel socioeconômico que impulsiona diversificados complexos agroindustriais. Seu cultivo no Brasil divide-se em duas épocas, a primeira consiste na semeadura da safra de verão (primeira safra) e a segunda na safra de outono/inverno (segunda safra).

A semeadura de primeira safra é realizada em fins de agosto na Região Sul e até os meses de outubro/novembro no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, em condições de precipitação e temperatura adequadas (EMBRAPA, 2006).

O milho de segunda safra é semeado de janeiro a abril, com predomínio na Região Centro-Oeste do país e nos estados de São Paulo e Paraná (EMBRAPA, 2006). Nesta época as condições ambientais como a radiação, temperatura e precipitações não são favoráveis à cultura do milho de segunda safra. Devido a estas condições climáticas diferentes, a densidade do milho de segunda safra é de 10 a 20 % menor quando comparada à primeira safra.

Na cultura do milho, diversos fatores de manejo influenciam no rendimento de grãos. A escolha adequada do arranjo de plantas é um dos principais fatores na definição deste rendimento, devido a sua importância na eficiência da interceptação da radiação solar e distribuição do sistema radicular no solo.

Entre as formas de manipulação do arranjo espacial, a densidade de plantas é a que tem maior interferência na produtividade do milho, pois pequenas alterações na população podem afetar significativamente o rendimento de grãos. A disponibilidade de água é um dos principais fatores que afeta a escolha da densidade de plantas, pois o incremento na densidade aumenta o índice de área foliar e o consumo de água. Com isso, quando há alta probabilidade de falta de umidade durante a floração da cultura, deve-se diminuir a densidade para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas.

A densidade alta e o espaçamento reduzido fazem parte do novo enfoque do arranjo de plantas na cultura do milho. A combinação do espaçamento entre as linhas de semeadura e o número de plantas por metro, com a utilização adequada de água, luz e nutrientes, é uma forma de maximizar a produção de grãos. O arranjo de plantas vem sendo alterado ao longo do tempo, e as modificações

de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica são incorporadas na planta de milho pelos programas de melhoramento, concomitante com alterações no manejo cultural (SANGOI et al., 2000).

Para incremento de produtividade vários fatores são indispensáveis, dentre eles o fornecimento adequado de nitrogênio, pois é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho. Este nutriente apresenta suma importância no metabolismo das plantas, participando como constituinte de moléculas de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos e de moléculas de clorofila (CANTARELLA, 1993).

O suprimento inadequado de nitrogênio é considerado um dos principais fatores limitantes da cultura. Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio (COELHO; FRANÇA, 1995). Deste modo, para obter a máxima eficiência do fertilizante nitrogenado é importante determinar as doses de N conforme é exigido pela quantidade de plantas por hectare, permitindo assim, corrigir a deficiência durante o desenvolvimento da cultura.

Entre as práticas e técnicas empregadas na cultura do milho para obtenção de maior produtividade, a escolha do arranjo de plantas com doses adequadas de nitrogênio e a escolha do híbrido melhor adaptado à época de semeadura, estão entre as decisões mais importantes. Devido às alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas da planta de milho bem como alterações no sistema de produção (densidade e espaçamento) há a necessidade de novos estudos para definição de doses mais adequadas de N para máxima resposta das plantas. Isto tudo confirma a regra de que as recomendações de N devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas (CRUZ; LARA CABEZAS, 2001).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de densidades de plantas e doses de adubação nitrogenada em cobertura, sobre as características agrônômicas e a produtividade de grãos na cultura do milho sob espaçamento reduzido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO.

O milho é uma planta anual pertencente à família das Poaceas (Gramineae) de gênero *Zea*, cujo nome científico é *Zea mays* L.. Originou-se cerca de sete a dez mil anos atrás no México e na América Central. Possui uma caracterização genética detalhada dentre as espécies e hoje é cultivado em uma ampla variedade de ambientes, com o uso da mais diversificada tecnologia de produção, o que tem possibilitado a sua adaptação (MATSUOKA et al., 2002).

Esta cultura tem registrado maiores incrementos de produção mundial nos últimos anos, isto se deve principalmente ao crescimento da produtividade nos países em desenvolvimento (USDA, 2011). O crescimento da produção é resultado do desenvolvimento de mercado, proporcionado pelas possibilidades de uso do milho como base dos produtos, tanto para alimentação humana quanto animal (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) e, recentemente, na produção de etanol.

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, a China e o Brasil, com respectivamente 316,17; 173,0 e 55,0 milhões de toneladas de milho produzido (USDA, 2011). A cultura é cultivada em praticamente todo o território brasileiro, sendo que a maior parte da produção esta concentrada nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste (CONAB, 2011).

O milho é cultivado mundialmente entre as latitudes 58° Norte e 40° Sul, distribuído nas mais diversas altitudes, encontrando-se desde localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500 m de altitude. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho (ARGENTA et al., 2003; FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Estudos têm sido realizados para a determinação do material genético a ser cultivado em diferentes condições climáticas (RIBEIRO et al., 2000; LOPES et al., 2007).

O milho é uma planta de metabolismo C4 que apresenta características fisiológicas de alta eficiência na utilização de luz e CO₂ para a conversão em compostos orgânicos, como o carboidrato (EMBRAPA, 2002).

É uma planta com grande diversidade genética, de ciclo vegetativo variado (100 a 180 dias), em função disto os genótipos são caracterizados como superprecoce, precoce e tardio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

O cultivo do milho vem sofrendo significativas mudanças nas últimas décadas. Antes da década de 60 os híbridos utilizados além de pouco produtivos, eram excessivamente altos, acamavam com facilidade e não suportavam altas densidades de semeadura (SAWAZAKI; PATERNIANI, 2004). Com os trabalhos de melhoramento, foram obtidas modificações expressivas não só na produtividade como na redução do porte das plantas, produzindo, em consequência, maior adaptabilidade a condições de estresse hídrico, menor acamamento e maior resistência a doenças e pragas. No Brasil existem inúmeras instituições públicas e privadas na área de melhoramento de milho, dispendo aos produtores 489 cultivares, destas 173 são transgênicos e 316 convencionais com 40 variedades (CRUZ et al., 2012). O objetivo maior dessas instituições é desenvolver e recomendar genótipos de elevado potencial produtivo além de outras características agronômicas desejáveis.

O rendimento de grãos do milho é uma característica complexa e depende de fatores genéticos, ambientais e de manejo. Dessa forma, o potencial produtivo do milho pode ser explorado pela adoção e desenvolvimento criterioso de aspectos técnicos como a escolha de genótipo melhor adaptado às condições de cultivo, a época de semeadura preferencial para a região, o emprego de espaçamento e densidade de semeadura que proporcionem populações de plantas compatíveis com a tecnologia empregada (PALHARES, 2003).

Entre as práticas e técnicas empregadas para a obtenção de maior produtividade de milho, a escolha do arranjo espacial das plantas na área é uma das mais importantes. A quantidade de plantas por hectare varia em função do espaçamento entre linhas e do número de plantas na linha de semeadura. Desta forma se procura avaliar o comportamento da cultura do milho em diferentes densidades populacionais e espaçamentos entre as linhas, a fim de determinar qual o arranjo espacial de plantas que proporciona melhor produtividade de grãos (ALMEIDA et al., 2000).

Recentemente, a combinação do espaçamento entre linhas de semeadura e o número de plantas por metro na linha, têm sido discutidos com frequência, pela maior adaptação da cultura ao ambiente, decorrente das variações

morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais (menor altura de plantas e de inserção das espigas e menor angulação das folhas), como forma de maximizar a produção de grãos através da utilização adequada de água, luz e nutrientes disponíveis no agroecossistema (MODOLO et al., 2010).

Tradicionalmente, o espaçamento entre linhas adotado pela maioria dos produtores brasileiros concentrava-se entre 0,80 e 0,90 m (FLESCH; VIEIRA, 1999) devido, principalmente, à inadequação das colhedoras em sistemas que adotam espaçamentos inferiores a 0,80 m (DOURADO NETO et al., 2003). Entretanto com a evolução do parque de máquinas agrícolas, esse problema já não existe. A propensão atual é diminuir o espaçamento entre linhas, interferindo na eficácia da utilização dos recursos do meio de forma que modifique o comportamento da planta mantendo a densidade constante (DEMÉTRIO et al., 2008).

Nos últimos anos, os produtores do sul do Brasil têm utilizado espaçamento reduzido, esta prática de redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho em determinada população de plantas, diminui a competição intraespecífica na linha de semeadura, melhorando a disponibilidade de luz, água e nutrientes por planta, devido à distribuição mais equidistante das plantas (FLÉNET et al., 1996; JOHNSON et al., 1998), refletindo muitas vezes em aumento da produtividade (ARGENTA et al., 2001).

A cultura do milho no país se divide em duas épocas de cultivo, a primeira consiste na semeadura da safra de verão (primeira safra) e a segunda na safra de outono/inverno (segunda safra) (EMBRAPA, 2006).

A Primeira Safra é realizada na época tradicional, em que a semeadura varia entre fins de agosto, na Região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste (EMBRAPA, 2006). Nesta época as precipitações e temperaturas são adequadas e a distribuição ao longo do ciclo é ideal para o desenvolvimento da cultura. A eficiência do uso da radiação interceptada na fotossíntese converte o carbono orgânico em fotoassimilados e propicia melhor distribuição nas diferentes demandas, refletindo em produtividade (SANGOI et al., 2003b).

A Segunda Safra refere-se ao milho semeado extemporaneamente de janeiro a abril, quase sempre depois da soja precoce, com predomínio na Região Centro-Oeste e nos estados de São Paulo e no Paraná (EMBRAPA, 2006).

O planejamento da segunda safra começa com a cultura de verão, visando liberar a área o mais cedo possível para a segunda cultura, assim quanto mais tarde for semeado, menor será o potencial produtivo e maior o risco de perdas por geadas ou estiagens (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

Os dados meteorológicos demonstram que, no período de segunda safra, compreendido entre os meses de janeiro a agosto, as condições ambientais como radiação, temperatura e precipitações não são favoráveis à cultura do milho, já que aumenta a competição entre plantas e, como consequência, afeta o crescimento e o desenvolvimento. Em virtude das condições climáticas desfavoráveis, como temperatura decrescente, menores precipitações e distribuição irregular das precipitações pluviais durante o ciclo da cultura, têm sido adotada uma população de plantas de 10 a 20% menor do que a época normal de cultivo (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2010).

Além dos fatores climáticos, a época de semeadura, a escolha de híbridos, o manejo da adubação e da população de plantas afetam sobremaneira o cultivo de milho segunda safra (CECCON; XIMENES, 2006).

Quanto mais tardia for a semeadura, a tendência é o alongamento do ciclo com uma permanência maior no campo e redução de produtividade (CARVALHO, 2007). A época da semeadura recomendada em geral, se estende até o segundo decêndio de março (GALVÃO; MIRANDA, 2004), com preferência pelos híbridos de ciclo precoce e superprecoce (CECCON; XIMENES, 2006) devido, principalmente, a limitação de chuva e ao atraso na semeadura.

A melhoria das práticas de manejo e a escolha de híbridos proporcionam maior retorno econômico (FORSTHOFER et al., 2006). Deste modo o milho de segunda safra no Brasil tem adquirido importância nos últimos anos em consequência das poucas alternativas econômicas viáveis para a safra de outono/inverno, constituindo-se em instrumento fundamental para o complemento no abastecimento do milho no cenário nacional (CONAB, 2011).

Devido à viabilidade econômica e aos benefícios agronômicos, os produtores têm investido em tecnologias para o cultivo do milho de segunda safra (PEREIRA; CRUZ, 2009). A área desta modalidade de cultivo no país aumentou 10% em relação ao ano de 2010 (CONAB, 2011), consolidando-se como uma opção real para os agricultores.

2.2 DENSIDADE DE PLANTAS.

Com o surgimento de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura do milho, inúmeros estudos têm sido realizados para a determinação do melhor densidade de semeadura (PENARIOL et al., 2003).

O arranjo espacial das plantas varia em função do tipo e fertilidade do solo, da disponibilidade hídrica, da luminosidade, dos genótipos, dos níveis de adubação adotado (PEREIRA FILHO et al, 1998), do espaçamento entre linhas e do número de plantas na linha de semeadura. Contudo, diferentemente de outras gramíneas, o milho não compensa reduzidas densidades de semeadura, pois possui limitada capacidade de expansão foliar, de prolificidade e de emitir afixhos férteis e quando emitido, dificilmente resultará em uma espiga adequada (ANDRADE et al., 1996).

As alterações no arranjo de plantas de milho na área devem-se às modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica das plantas. Estas modificações foram incorporadas pelos programas de melhoramento nas últimas décadas, aumentando a tolerância da cultura ao estresse (TOLLENAAR; WU, 1999; SANGOI, 2000).

O manejo da densidade de plantas é uma das práticas culturais mais importantes para determinar o rendimento de grãos no milho, pois o estande afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e o desenvolvimento, e influencia na produção e partição de fotoassimilados (ALMEIDA; SANGOI, 1996).

Com o avanço do melhoramento genético, a partir de 1970, os profissionais da área passaram a direcionar seus estudos para a arquitetura de planta, visando à obtenção de genótipos de ciclo mais curto, porte mais baixo, menor arquitetura foliar e colmos mais fortes. Tendo como base a premissa de que as plantas de menor porte, com folhas eretas permitiriam uma maior densidade populacional, possibilitando maior capacidade fotossintética por área e maior produtividade (FORNASIERI FILHO, 1992). Assim, grande ênfase tem sido dada pelos programas de melhoramento de milho ao desenvolvimento de híbridos com baixa exigência calórica para florescer, caracterizados pelo porte baixo, menor número de folhas e pela presença de folhas eretas (ALMEIDA et al., 2000).

Normalmente esses híbridos modernos têm tolerado maior a população de plantas do que os híbridos antigos. Com o ingresso desses novos

híbridos no mercado, torna-se necessário o estudo da população ideal para explorar o máximo de seu potencial produtivo, sem que haja problemas com sanidade da planta e estresses por competição intraespecífica (TOLLENAAR; AGUILERA, 1992).

Além dos genótipos, a radiação solar é outro fator que tem sido objeto de pesquisas para determinar a densidade ótima para a obtenção do máximo rendimento de grãos de milho. O híbrido ideal é o de plantas com maior número de folhas acima da espiga, com lâminas estreitas e eretas e com folhas pendentes na região mediana, para aumentar a eficiência na captação da energia solar (ALMEIDA et al., 1998). Neste sentido, trabalhos experimentais demonstram redução do rendimento de grãos de milho em condições que favorecem a baixa interceptação de luz (HASHEMI; HERBERT, 1992; SANGOI et al., 2010). Alterações na quantidade de radiação solar disponível à planta ocorrem com a semeadura em diferentes épocas dentro da estação de crescimento ou, pela variação da competição por luz obtida pela modificação da densidade de plantas na linha e no espaçamento entre linhas (SANGOI et al., 2010).

Os híbridos com menor exigência calórica para florescer geralmente requerem maior densidade de plantas para melhorarem seu potencial produtivo. Esse processo ocorre porque a precocidade está positivamente correlacionada com redução na estatura de planta e na área foliar. Assim, há necessidade de maior número de indivíduos por área quando se utilizam híbridos mais precoces para gerar um índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar (SANGOI et al., 2010). Estas características morfológicas determinam menor sombreamento dentro da cultura, possibilitando com isto menor espaçamento entre plantas, para melhor aproveitamento de luz (ARGENTA et al., 2001), o que proporciona aumento da eficiência fotossintética (ALMEIDA; SANGOI, 1996).

Mesmo entre os grupos de híbridos superprecoces, precoces ou de ciclo normal, há diferença quanto à densidade ótima de semeadura (ALMEIDA et al., 2000; SANGOI et al., 2003b).

Em trabalhos mais antigos os pesquisadores já consideravam o próprio genótipo como principal determinante para o adequado dimensionamento da densidade de plantas (COLVILLE; MCGILL, 1964; SOUZA, 1976). Esses trabalhos evidenciam uma associação direta entre ciclo e capacidade de resposta dos genótipos.

O aumento da população de plantas pode contribuir para a correta exploração do ambiente e do genótipo, resultando no aumento do rendimento de grãos do milho. A população ótima é aquela na qual se obtém a maior produtividade, isso depende do tipo de híbrido, da fertilidade de solo, da disponibilidade hídrica e época de semeadura (PEREIRA, 1991).

Dessa forma, o aumento da densidade populacional procura saturar o campo com plantas na disposição em que intercepte o máximo de radiação solar, fixando sua energia quimicamente pela fotossíntese e promovendo maior translocação de fotoassimilados para os grãos. Assim, o número ideal de plantas por hectare é variável conforme o grau de competição intraespecífica proporcionado pelas diferentes densidades de plantas (SILVA et al., 1999b).

De acordo com Dourado Neto et al. (2001), a produção de grãos por unidade de área (kg ha^{-1}) aumenta linearmente com o aumento da população de plantas até um determinado ponto denominado “ponto crítico”. Em populações abaixo desse ponto crítico, a produção de grãos por unidade de planta permanece constante, pois não ocorre competição intraespecífica por água, luz e nutrientes. Acima do ponto crítico começa ocorrer competição intraespecífica, onde a produção por planta decresce e a produção por área aumenta, até chegar a outro ponto que é denominado ponto de máxima produção por área, sendo a população correspondente a esse ponto, o ideal para a combinação genótipo-ambiente. Em populações além desse ponto de máxima produção por área, a perda de produção por planta é superior ao maior número de planta por área, ocorrendo dessa forma redução de produtividade por hectare (MOLIN et al., 2009).

A população ideal para maximizar a produtividade de grãos de milho varia de 30 mil a 90 mil plantas ha^{-1} , depende da disponibilidade hídrica, da fertilidade de solo, do ciclo de genótipo, da época de semeadura e espaçamento entre linhas. Quando o número de indivíduos por área é superior à população ótima, há uma série de consequências negativas para formação da espiga, que podem levar à esterilidade (SANGOI et al., 2001).

Em trabalho realizado por Sangoi et al. (2002b), as populações ótimas para maximizar a produtividade de grãos foram 71, 79 e 85 mil plantas ha^{-1} , para os híbridos comerciais nas décadas respectivamente de 70, 80 e 90. Essas necessidades de maiores populações para maximizar a produtividade também foram encontradas nos trabalhos anteriores como de Tollenaar e Aguilera (1992).

Experimentos realizados na segunda safra por Duarte et al. (1994) na região do Médio Vale do Paranapanema, não indicaram interação entre híbridos e população de plantas e os melhores rendimentos foram obtidos entre 33 e 50 mil plantas ha^{-1} . Praticamente não houve efeito do aumento da densidade de plantas sobre o rendimento de grãos, a média de rendimento esteve próximo a 2000 $kg\ ha^{-1}$. No entanto, Shioga et al. (1999) em trabalho desenvolvido no Paraná, verificaram que apenas nos locais onde os rendimentos médios do milho de segunda safra foram mais altos, em torno de 6000 $kg\ ha^{-1}$, houve resposta a populações superiores a 44 mil plantas ha^{-1} . Em outro trabalho desenvolvido por Penariol et al. (2003) em condições de segunda safra, avaliando três densidades de semeadura (40, 60 e 80 mil plantas ha^{-1}), os autores constataram que a densidade populacional de 80 mil plantas ha^{-1} , proporcionou maior produtividade de grãos. Deste modo, verifica-se que com o passar dos anos, foram selecionados híbridos que suportam maiores densidades de plantas, sendo que esta resposta ao incremento de densidade está relacionada à época de semeadura e condições favoráveis de precipitação.

Como regra geral, a densidade recomendada para segunda safra é cerca de 20 % menor do que a recomendada para a safra normal. Por outro lado em lavouras irrigadas, a densidade pode ser a mesma da safra normal (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2010).

A definição da melhor densidade de plantas para a obtenção de maiores produtividades de grãos também pode variar juntamente com as oscilações das condições climáticas do ano agrícola, podendo em alguns anos, não serem detectadas diferenças na produtividade de grãos em função da variação da densidade de 55 a 99 mil plantas ha^{-1} e em outros anos, constatar incremento na produção com o aumento na densidade de plantas, conforme relatado por Resende et al. (2003).

Todavia, é importante ressaltar que maiores populações devem ser utilizadas em condições de alta tecnologia, sem restrições de água e nutrientes (PEIXOTO et al., 1997; SILVA et al., 1999b; FLESCHE; VIEIRA, 2004).

2.2.1 Efeitos da Densidade de Plantas nos Componentes da Produção.

Com o aumento da população de plantas, apesar de ocorrerem ganhos de produtividade, normalmente os componentes da produção massa de mil

grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta são afetados negativamente (SILVA et al., 1999b; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; KUNZ, 2005; SANGOI et al., 2010), independente do ciclo do híbrido (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Segundo Arriel (1993), o número médio de espigas por planta é um tema controverso, pois na menor densidade, devido a uma competição menos intensa, as plantas expressam o caráter com maior intensidade. Contudo, em densidades maiores, geralmente não mantém a expressão do caráter (SILVA et al., 1999b; ARGENTA et al., 2001; FLESCHE; VIEIRA, 2004; PENARIOL et al., 2003). Kunz (2005) avaliando a expressão dos caracteres de número de espigas por planta e de produção de grãos em diferentes populações, concluiu que maiores densidades de sementes proporcionam maiores produtividades e menores densidades aumentam o número de espigas por planta. Penariol et al. (2003) e Flesch e Vieira (2004), confirmam os resultados, pois também trabalharam com diferentes híbridos e obtiveram redução do índice de prolificidade com aumento da população de plantas. Estes resultados também foram encontrados nos trabalhos de Silva et al. (1999b) e Argenta et al. (2001).

Com o aumento da densidade de sementeira há uma tendência de redução no tamanho das espigas, diminuindo também seu índice por planta. Por outro lado, ocorre uma compensação na produção pelo aumento do número de plantas por unidade de área (PEREIRA; CRUZ, 1993). Altas densidades populacionais podem causar alterações morfológicas e fisiológicas (FORNASIERI FILHO, 1992) e uma série de consequências negativas para a formação da espiga, que podem levar a esterilidade (SANGOI, 2000).

Possivelmente essa perda nos componentes da produção está associada ao aumento na competição entre plantas pela radiação solar na cultura (TOLLENAAR et al., 1997; SANGOI et al., 2010). Argenta et al. (2001), também constataram redução nos três componentes da produção (massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta) com aumento da população de plantas de 50 para 65 mil plantas ha^{-1} e evidenciaram que tais perdas foram compensadas por um maior número de plantas por área, pois a produtividade de grãos não foi alterada. Contudo, em trabalhos realizados por Marchão et al. (2005), o número de fileiras de grãos por espiga não foi influenciado pelo aumento na densidade populacional, pois afirmam que o potencial de produção é definido no

primeiro estágio de desenvolvimento, quando ocorre o início do processo de diferenciação floral e a formação dos primórdios da espiga, não havendo ainda uma influência significativa da competição por plantas no ambiente. Todavia, constataram que, a maioria dos híbridos avaliados, alcançou maior rendimento com população acima de 70 mil plantas ha⁻¹.

Relatos de Flesch e Vieira (2004) indicam que aumentos da população de 50 até 90 mil plantas ha⁻¹, proporcionam redução nos componentes da produção, mas a produtividade de grãos é compensada aumentando o número de espigas na área. Esse aumento de produtividade é esperado, pois a produtividade de grãos é determinada basicamente pelo número de grãos por área e, em menor escala, pela massa individual dos grãos (RICHARDS, 2000). Em lavouras com alta população de plantas e em boas condições de crescimento, as espigas adicionais por hectare resultarão em maior produtividade de grãos, maximizando o número de grãos por hectare. Porém essa compensação ocorre até um ponto ótimo de população, a partir da qual o maior número de espigas por área não é mais suficiente para compensar a redução do número e massa dos grãos (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Espigas grandes não são necessariamente indicativas de elevada produção por área. Elas podem ser consequência de baixa densidade e subaproveitamento dos recursos do ambiente. Lavouras bem conduzidas normalmente maximizam o rendimento com plantas produzindo espigas cuja massa média de grãos oscila entre 150 e 225 g, sendo que altas densidades proporcionam menores massas de grãos, mas são compensados pelo número de plantas por área (SANGOI et al., 2010). Em contraste, nas lavouras com baixas populações de plantas, o menor número de espiga pode reduzir a produtividade de grãos (STAGGENBORHG et al., 1999).

2.2.2 Efeitos da Densidade de Plantas nas Características Fitométricas.

Menor altura de planta permite maior densidade e maior capacidade fotossintética e, assim, maior rendimento de grãos (FORNASIERI FILHO, 1992; SANGOI et al., 2010). O incremento da população de plantas aumenta a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes (SANGOI, 2000), reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados para atender a demanda da fase de enchimento

de grãos e manutenção das demais estruturas da planta. Isso afeta a produtividade final porque estimula a dominância apical, induz a esterilidade, decresce o número de espigas produzidas por planta e o número de grãos por espiga (SANGOI; SALVADOR, 1998). O efeito do estiolamento é decorrente das alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de alta competição intraespecífica (BALLARÉ; CASSAL, 2000; RAJCAN; SWANTON, 2001).

A população de plantas também afeta outros caracteres, como alterações fisiológicas e morfológicas e respostas diferentes para cada híbrido. Deste modo, com a alta densidade de plantas, as espigas ficam menores, aumenta o número de plantas sem espiga e os colmos ficam mais finos (SANGOI et al., 2002a; PENARIOL et al., 2003; PALHARES, 2003), que em conjunto com a maior estatura de plantas e a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo (ARGENTA et al., 2001), contribuem para o aumento do acamamento (FORNASIERI FILHO, 1992; ARGENTA et al., 2001). No trabalho de Milani et al. (1999), foi verificado que o aumento da densidade de plantas provocou um considerável incremento no índice de acamamento.

Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente ao enchimento dos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões, para atender a demanda dos grãos (TOLLENAAR; AGUILERA, 1992).

Há resultados contrastantes quanto à alteração na estatura de plantas e de inserção da espiga em diferentes populações. Alguns autores encontraram aumento linear com aumento da população de plantas (PALHARES, 2003; KUNZ, 2005). Esse aumento é decorrente do maior alongamento dos entrenós e ocorre pelo efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical das plantas (SANGOI, 2002a). Segundo Sangoi et al. (2010), a menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas em populações elevadas, estimula a alongação celular, dessa forma os entrenós do colmo ficam mais longos, aumentando a estatura da planta de inserção da espiga.

Em altas populações, a maior estatura de plantas, a maior distância entre o ponto de inserção da espiga, o menor diâmetro do colmo e a sua maior

fragilidade favorecem o aumento da porcentagem de plantas acamadas e quebradas antes da colheita. A redução na sustentabilidade da planta e a maior incidência de doenças são as duas limitações mais importantes no aumento da população (ARGENTA et al., 2001).

Com o incremento de população, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento, aumentando suas chances de crescer acima do dossel (TAIZ; ZEIGER, 2004), todavia sacrificando a área foliar e o diâmetro do colmo.

Marchão et al. (2005) avaliaram o comportamento de seis híbridos (A 2555, A 2288, AG 9010, AG 6690, P 30F88 e Valent), cultivados sob diferentes densidades populacionais (40, 55, 70, 85 e 100 mil plantas ha⁻¹), verificaram que o diâmetro do colmo e o diâmetro da espiga sofrem influência negativa por meio do aumento da densidade. A redução do diâmetro do colmo com o aumento da população de plantas também foi relatado nos trabalhos de Penariol et al. (2003), Palhares (2003), Kunz (2005) e Sangoi et al. (2010).

A área foliar reduz linearmente com o aumento da população de plantas (SILVA et al., 1999b; KUNZ, 2005) independente do híbrido utilizado (SANGOI et al., 2002c; PALHARES, 2003; KUNZ, 2005). A menor área foliar por planta pode implicar em redução da fotossíntese, uma vez que existe relação direta entre a área foliar e razão fotossintética (OMETTO, 1981), resultando em menor disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento de grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000a). Apesar do aumento da população reduzir a área foliar por planta, nas maiores populações há um maior número de plantas por área, que compensam a perda individual. Esse fato é importante, pois o IAF (índice de área foliar) está diretamente relacionado com a produtividade de grãos (BENINCASA; LEITE, 2002). Sangoi et al. (2001) salientam a importância do IAF na interceptação da radiação, sendo que deve ser dada maior atenção à eficiência da utilização dessa radiação solar interceptada.

A massa seca da parte aérea por planta é reduzida com o incremento da população (PALHARES, 2003; KUNZ, 2005), indicando o aumento da competição intra-específicas das plantas. A quantidade de raízes no florescimento em relação à massa seca total da planta diminui de 26% para 19% com o aumento da população de 30 para 90 mil plantas ha⁻¹, já a parte aérea, aumenta de 74% para 81% (PALHARES, 2003). Segundo Molin et al. (2009), isso pode explicar porque

populações mais elevadas apresentam maior porcentagem de quebra e tombamento de plantas. Estes dados evidenciam que o aumento do número de plantas por unidade de área promove maior competição intra-específica pelos recursos do ambiente (SANGOI, 2000), prejudicando a manutenção das demais estruturas da planta de milho.

2.3 NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para as plantas, pois participa de uma série de rotas metabólica-chave em sua bioquímica, sendo constituinte de importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas de armazenamento, ácidos nucleicos e enzimas (HARPER, 1994).

Além de sua importância biológica, o nitrogênio é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em virtude do número de reações a que está sujeito e a sua alta instabilidade no solo. A dinâmica do N na natureza é complexa e de suma importância à vida das plantas, porque envolve inúmeros fenômenos físicos, químicos e biológicos relacionados à disponibilidade do elemento aos vegetais, ao contrário do que se observa em outros nutrientes, como o fósforo (P) e o potássio (K). A quantidade de N disponível no solo pode apresentar flutuações severas em função de alterações dos processos de adição e perda. As perdas por volatilização, desnitrificação e lixiviação são as grandes responsáveis pela baixa eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (KIEHL, 1987).

A alta exigência de N caracteriza esse nutriente como um dos principais fatores limitantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas (MENECHIN et al., 2008). Influencia na produtividade e na biomassa da maioria das culturas, sendo absorvido em maiores quantidades, especialmente pelas gramíneas (LOPES, 2004). Por ser o nutriente responsável pela vegetação, segundo Marschner (1995), o nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas e, em condições de alto suprimento desse nutriente, ocorre aumento da área foliar, conseqüentemente a curvatura das folhas é ampliada, de modo a interferir na interceptação de luz. Além disso, reflete no índice de produção de gemas vegetativas e no teor de proteína dos grãos (MALAVOLTA, 2006).

As fontes de nitrogênio podem ser na forma nítrica, amoniacal, nítrico-amoniacal e amídica (ureia). Entre essas, a ureia é a mais utilizada na agricultura brasileira, sendo a mais concentrada (45% de N) e de menor custo. O sulfato de amônio apesar de ser menos concentrado (21% de N), e de maior custo, tem algumas vantagens como o fornecimento adicional de enxofre. O nitrato de amônio é menos utilizado e de custo mais elevado, possui uma concentração de nitrogênio intermediária (32% de N) entre o sulfato de amônio e a ureia (YANO et al., 2005).

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. 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 (ROCHA, 2010).

O nitrogênio é um elemento muito dinâmico no solo, pois sofre diversos processos que modificam sua forma, entre os quais estão os processos microbianos de mineralização, imobilização e desnitrificação ocorrentes durante a decomposição dos resíduos culturais. A diferença de intensidade entre esses dois processo simultâneos e opostos poderá resultar em aumento da disponibilidade de N no solo (mineralização líquida) ou na diminuição (imobilização líquida) (ARGENTA; SILVA, 1999).

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. Segundo Hoefl (2003), a dose, a época e o método de aplicação de fertilizantes nitrogenados têm efeito marcante tanto na produtividade quanto na contaminação dos mananciais de água pelos nutrientes. Quanto mais cedo o N for aplicado antes da época na qual a cultura precisa e quanto maior a dose de aplicação, maior será a quantidade de N perdida. Fernandes et al. (1998) citaram que menos da metade do fertilizante nitrogenado aplicado é utilizado pela planta e grande parte do nitrogênio residual é incorporada a matéria orgânica do solo. 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 (ROCHA, 2010).

2.3.1 Importância do N na Cultura do Milho.

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados, superando em quantidade o fósforo e potássio (LANGE et al., 2006), sua aplicação visa maiores produtividades e melhoria no valor protéico dos grãos.

O nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os maiores efeitos no aumento de produção da cultura do milho (MELGAR et al., 1991). A aplicação de doses de N em diferentes híbridos de milho tem proporcionado aumentos na produtividade, sendo a época de aplicação do fertilizante definida em função de características do híbrido, tais como: precocidade, produtividade e fase fonológica da planta, resultando em maior eficiência da adubação. Exigências de N na fase inicial da cultura do milho não são altas, mas é o momento quando o nutriente não pode faltar, pois é a fase em que a planta define a produtividade potencial da cultura (NOVAIS et al., 1974; FANCELLI; DOURADO NETO, 1996).

Além do efeito sobre a produtividade do milho, o nitrogênio interfere em diversas outras características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura (MARCHÃO et al., 2005). Na literatura são encontradas citações sobre a influência do nitrogênio no aumento da massa de 1000 grãos e do número de espigas por planta (MELGAR et al., 1991; AMARAL FILHO et al., 2005; SILVA et al., 2005), da altura de plantas, do peso de espigas e do comprimento da espiga (SILVA et al., 2003), do diâmetro do colmo e da produção de matéria seca (MALAVOLTA et al., 1976; DA ROS et al., 2003). O número de grãos por espiga e massa de grãos foram os componentes de produção que mais contribuíram para a produtividade (CARDOSO; MELO, 1998; BORTOLINE et al., 2001).

Muitos estudos vêm sendo realizados para determinar a época correta de aplicação do N no milho (DA ROS et al., 2003), mas a influência do clima sobre a dinâmica do nutriente dificulta a obtenção de uma recomendação única. A antecipação da aplicação, visando suprir as necessidades iniciais, pode ser uma alternativa viável em anos de baixas precipitações pluviométricas. Por outro lado, é

sujeito a ser perdido por lixiviação e erosão em anos de altas precipitações. De maneira geral, as aplicações são feitas no momento da necessidade, diminuindo o período de perdas e maximizando a recuperação do nutriente (HOEFT, 2003).

Devido à grande exigência de nitrogênio, o milho é uma cultura altamente responsiva a esse fertilizante, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produção final. Tem sido mostrado em trabalhos que, em geral, 70 a 90% dos experimentos com milho executados em campo no Brasil responderam à aplicação de nitrogênio (LANTMANN et al., 1986). Outros autores também relataram resposta positiva à aplicação de N na condução de seus experimentos (AMADO et al., 2002; BORTOLINI et al., 2002).

Embora existam inúmeros trabalhos de pesquisa referente à resposta da cultura do milho a doses de N, a interpretação destes resultados exige que sejam considerados alguns fatores como: responsividade do híbrido, condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, época de semeadura (primeira e segunda safra), rotação de culturas, aspectos econômicos, operacionalização, época de aplicação, modo de aplicação e fontes de N empregadas. Devido às alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas da planta de milho bem como com as alterações no sistema de produção (densidade e espaçamento) há a necessidade de novos estudos para definição de doses mais adequadas de N para máxima resposta das plantas. Isto tudo confirma a regra de que as recomendações de N devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas (CRUZ; LARA CABEZAS, 2001).

Gordón et al. (1997) verificaram que as maiores margens de ganhos em produtividades são obtidas quando, concomitantemente ao aumento das doses de nitrogênio, elevou-se também a população de plantas. Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio (COELHO; FRANÇA, 1995), sendo que aproximadamente 80% da quantidade absorvida são exportados com o grão. Amado (1997) relata uma relação de 0,9 a 1,2% de N no tecido das plantas de milho para obtenção da máxima produção de matéria seca. Dessa forma, é necessário de 18 a 24 kg ha⁻¹ de N por tonelada de grãos produzidos, pois para cada tonelada de grãos produzidos também é produzido em média uma tonelada de massa seca. Somando-se as duas partes, chega-se a um valor médio de 21 kg ha⁻¹ de N por tonelada de grãos de milho.

Em condições de segunda safra, Coelho e França (1995) relataram que para uma produtividade média de 5800 kg ha⁻¹ de grãos, são extraídos

aproximadamente 100 kg ha⁻¹ de N, sendo que cerca de 80% é exportada pelos grãos. Embora existam relatos de resposta do milho de segunda safra à adubação nitrogenada de cobertura (KAPPES et al., 2009; MAR et al., 2003; SOUZA; SORATTO, 2006) podem ocorrer perdas, principalmente por volatilização, reduzindo a eficiência da adubação nitrogenada.

2.3.2 Doses de N na cultura do milho.

A influência das doses de nitrogênio na melhoria da produtividade do milho tem sido amplamente estudada. 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 quatro a cinco e de sete a oito folhas expandidas, cultivado em sucessão à cobertura de aveia-preta, os autores observaram que o maior rendimento de grãos foi alcançado com a maior dose aplicada 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. Outros trabalhos têm sido realizados antecipando a aplicação de N na pré-semeadura do milho, demonstrando que é prejudicial para o rendimento de grãos, principalmente em situações com alta disponibilidade hídrica e com aplicação de doses elevadas (BASSO; CERETTA, 2000).

Gross et al. (2006) avaliando doses de N (40 e 160 kg ha⁻¹) na forma de ureia parcelada entre a semeadura e a cobertura nos estádios de quatro a cinco, seis a sete e sete a oito folhas definitivas, três densidades de semeadura (55, 70 e 85 mil plantas ha⁻¹) e dois 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. 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. Argenta et al. (1999)

em seus trabalhos de doses de N em cobertura na cultura do milho, também concluíram que a dose 160 kg ha^{-1} de N proporcionou maior rendimento de grãos quando comparado com 80 kg ha^{-1} de N.

Silva et al. (1999a) trabalhando com tratamentos que constavam de doses de N na semeadura (20, 40, 50, 100 e 200 kg ha^{-1}) e em cobertura (0, 50, 80 e 160 kg ha^{-1}) em até três épocas de aplicação, concluíram que o tratamento que recebeu 20 kg ha^{-1} na semeadura e 80 kg ha^{-1} em cobertura com seis a oito folhas expandidas foi o recomendado. Kuramoto e Fernandes (1998) concluíram que a dose de 120 kg ha^{-1} de N combinada com aplicações na semeadura e cobertura, influenciou positivamente o número de espigas por planta e o estande final.

Fornasieri Filho e Casagrande (2002), avaliando a influência das doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1}) na forma de ureia, aplicado todo na semeadura ou todo em cobertura no estágio de cinco a seis folhas, em dois híbridos simples, não observaram efeito das doses nem da forma de aplicação do N no rendimento de grãos e verificaram ainda que os teores de N da folha aumentam de acordo com o aumento das doses de nitrogênio. SILVA et al. (2005) avaliando quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}), 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. Como o nutriente é muito móvel, é recomendado fazer as aplicações em diferentes épocas, quando se pode utilizar a quantidade de acordo com a resposta da cultura.

Outro recurso utilizado para a avaliação da adubação nitrogenada é a 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 ureia e sulfato de amônio, incorporados ao solo em sulcos e testemunha sem aplicação de N, demonstraram aumento na produção em resposta 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.

Mar et al. (2003), trabalhando com milho segunda safra, com cinco doses de N (30, 60, 90, 120, 150 kg ha^{-1}) na forma de ureia, 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 a adição de 30 kg ha⁻¹ de N foi suficiente para obter incremento de produção de 48,5% em relação a não adição de N. Já com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, obteve-se incremento de 114,4% na produtividade quando comparado à testemunha e os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com doses entre 90 e 120 kg ha⁻¹.

Trabalhos têm demonstrado interação positiva entre doses de N, densidade de plantas e espaçamento, resultando em melhores rendimentos de grãos na cultura do milho. Amaral Filho et al. (2005), avaliando o efeito de 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, 60 e 80 mil ha⁻¹), observaram que o aumento das doses em cobertura promoveu acréscimo no teor de N foliar, na produtividade e no teor de proteína dos grãos, sendo que 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).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 179-83, 1996.
- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M.; SANGOI, L. Conceito de ideotipo e o seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.2,p. 325-332, 1998.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta duração estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p. 23-29, 2000.
- AMADO, T. J. C. **Disponibilidade de nitrogênio em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.26, p. 241-248, 2002.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n. 3, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, F. H; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. **Ecofisiologia del cultivo de maíz**. Buenos Aires: Dekalb Press, p. 292, 1996.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. Adubação hidrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p. 745-754, 1999.
- ARGENTA, G. SILVA, P. R. F.; RIZZARDI, M. A.; BARUFFI, M. A.; LOPES, M. C. B. Manejo do nitrogênio em milho em semeadura direta em dois ambientes. I. Efeito sobre absorção de N. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p. 577-586, 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p. 1075-1084, 2001.
- ARGENTA, G.; SANGOI, G.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 4, p. 27-34, 2003.
- ARRIEL, E. F.; PACHECO, C. A. P.; RAMALHO, M. A. P. Avaliação de famílias de meios-irmãos da população de milho CMS-39 em duas densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.7, p. 849-854, 1993.

BALLARÉ, C. L.; CASSAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, p. 149-160, 2000.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura no solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p. 905-915, 2000.

BENINCASA, M. M. P.; LEITE, I. C. **Fisiologia vegetal**. Jaboticabal: Funep, 2002, p. 168.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; 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.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.26, p. 361-366, 2002.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 147-198.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B. Influência de níveis de nitrogênio na produtividade de grãos de milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS: INTERRELAÇÃO FERTILIDADE, BIOLOGIA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS: CONSOLIDANDO UM PARADIGMA, 23., Lavras. **Resumos...** Lavras: UFLA, 1998, Caxambu: FERTBIO, 1998.

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

CECCON, G.; XIMENES, A. C. A. **Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/SisSafrinha/index.htm>. Acesso em: 8 nov. 2010.

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, p.61-67, 1992.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho. **Arquivo do agrônomo**, n. 2. Piracicaba: POTAFOS, 1995. 24p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento**, ago. 2011. Brasília: Conab, 2011.

COLVILLE, W. G.; MCGILL, D. P. Influence of plant population, hybrid and .productivity level. On irrigated corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v.54, n.3, p. 235-238, 1964.

CRUZ, A. P.; LARA CABEZAS, W. A. R. Adubação nitrogenada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 2001. **Palestra...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SILVA, G. H. **Milho - cultivares para 2011/2012**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>> Acesso em: 5 jan. 2012.

DA ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.5, p. 799-804, 2003.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p. 1691-1697, 2008.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L.; LOPES, P. P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Org.). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 120-125.

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

DUARTE, A. P.; ALLIPRANDINI, L. F.; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R. A. D.; YUKI, V. A.; FANTIN, G. M.; DUDIENAS, C.; ITO, M. F. Avaliação de cultivares e densidade populacional em milho “segunda safra” no Vale do Paranapanema. In: Seminário sobre a cultura do milho “segunda safra”, n.2, 1994, Assis, SP. **Resumos...** Campinas: AC/CDV, 1994. p. 49-58.

EMBRAPA - **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. 2002. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2002/circular/Circ_22.pdf> Acesso em: 20 jul. 2011.

EMBRAPA - **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 20 jul. 2011.

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, p.71-77, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. **Informações Agronômicas**, v.73, p. 1-4, 1996.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

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

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

FLÉNET, F.; KINIRY, J. R.; BOARD, J. E.; WESTGATE, M. E.; REICOSKY, D. C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.2, p. 185-190, 1996.

FLESCH, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamento e população de plantas na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.12, n.2, p. 28-31, 1999.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FORNASIERI FILHO, D.; CASAGRANDE, J. R. R. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p. 1-10, 2002.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.03, p. 399-407, 2006.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004.

GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GRACIA DE, N.; GONZÁLEZ, A. Repuesta de dos cultivares de maíz a la densidad de plantas, bajo dos niveles contrastantes de nitrógeno en Panamá, 1993-1995. **Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995**, n.5, p. 101-105, 1997.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. 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.

HARPER, J.E. **Nitrogen metabolism**. In: BOOTE, K.J; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, T.R.; PAULSEN, G.M. (ed.). Physiology and determination of crop Yield. Gainesville: American Society of Agronomy, CSSA, SSSA. 1994. Cap. 11, p. 285-302.

HASHEMI, D. A.; HERBERT, S. J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 4, p. 547-551, 1992.

HOEFT, R. G. **Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA**. Piracicaba: POTAFOS, 2003. p. 1-4.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p. 40-46, 1998.

KAPPES, C. CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.3, p. 251-259, 2009.

KIEHL, J. C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: _____. **Curso de atualização de fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 139-157.

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

KURAMOTO, C. M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cultura do milho (*Zea Mays L.*) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, n.10, 330 p., 1998, Araraquara. **Resumos...** UNESP, 1998.

LANGE, A. CARVALHO, J. L. N.; 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.

LANTMANN, A. F.; OLIVEIRA, E. L.; CHAVES, J. C. D.; PAVAN, A. Adubação no Estado do Paraná. In: SANTANA, M. B. M. (Coord.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. p. 19-46. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004.115p.

LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D.; STORCK, I.; DAMO, H. P.; BRUM, E.; SANTOS, V. J. D. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v.37, n.06, p. 1536-1542, 2007.

MALAVOLTA, E.; BASSO, L. C.; OLIVEIRA, G. D. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade 'Piranão' em condições controladas. **Anais...** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v.33, p. 479-499, 1976.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**, São Paulo: Editora Agrônômica Ceres, 2006. 638p.

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

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

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

MATSUOKA, Y.; VLGOUROUX, Y.; GOODMAN, M. M.; JESUS, S. G.; DOEBLEY, J. **A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping**, México, 2002. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/99/9/6080.full.pdf%2Bhtml>> Acesso em: 3 ago. 2011.

MELGAR, R. J.; SIMITH, T. J.; CRAVO, M. S.; SÁNCHEZ, P. A. Rates and dates of nitrogen fertilizer application for maize on a latossol in the central Amazonia region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, 1991.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMABILE, R. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o trigo, em solo do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1941-1948, 2008.

MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Brasileira de Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902010000300016&script=sci_arttext> Acesso em: 3 ago. 2011.

MOLIN, R.; CARVALHO, I. Q.; BAVOSO, L. C.; PAULETTI, V.; SCHIPANSKI, C. A.; GIMENEZ, L. M.; TSUKAHARA, R. Y.; LOMAN FILHO, E. J. **Arranjo de plantas de milho (*Zea mays*) para produção de grãos**. Castro: Fundação ABC, 2009. 218p.

NOVAIS, M. V.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M. Efeito da adubação nitrogenada e seu parcelamento sobre a cultura do milho em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.115, p.193-202, 1974.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividades de grãos de milho**. 2003, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2003.

PEIXOTO, C. M.; SILVA, P. R. F.; REZER, F. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, p. 63-71, 1997.

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

PEREIRA FILHO, I. A. P; CRUZ, J. C. Práticas culturais do milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA. 1993. p.113-127.

PEREIRA FILHO, I. A. P; OLIVEIRA, A. C; CRUZ, J. C. Milho verde: espaçamentos densidades de plantas, cultivares e épocas de semeadura, influenciando o rendimento e algumas características de espigas comerciais (compact disc). In:

CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 1998, Recife. **Anais...** Recife: EMBRAPA, 1998. n.22.

PEREIRA FILHO, I. A. CRUZ, J. C. **Plantio, espaçamento, densidade, quantidade de sementes**. Barraca Missões, 29 set. 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35671/1/Plantio-espacamento.pdf>> Acesso em: 5 jan. 2012.

PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.26, n.5, p. 745-751, 1991.

RAJCAN, I.; SWANTON, C. J. Understand maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 71, p.139-150, 2001.

RESENDE, S. G.; VON PINHO, R. G., VASCONCELOS, R. C. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete lagoas, v.2, n.3, p. 34-42, 2003.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p. 2213-2222, 2000.

RICHARDS, R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grains crops. **Journal of experimental Botany**. Oxford, v.51, p.447-458, 2000.

ROCHA, R. J. S. **Adubação nitrogenada em milho em semeadura direta e cultivo convencional na região meio norte do Piauí**. 2010, Tese (Doutorado em Agronomia) UNESP, Jaboticabal, 2010.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p. 297-306, 1998.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2000.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, ALF.; ALMEIDA, M. L.; HEBERLE, P.C. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p. 861-869, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. AM.; BIANCHET, P.; HORN, D. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, n.2, 2002a.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHET, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.79. p. 39-51, 2002b.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA G. Bases morfofisiológicas para tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, p. 101-110, 2002c.

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

SANGOI, L. SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; HORN, D. Bases morfofisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, Lages, SC, 2003, **Resumos expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003b. p. 19-24.

SANGOI, L; SILVA, P. R. F; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010. 64p.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. **Evolução dos cultivares de milho no Brasil**. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. Tecnologias de produção do milho. 20 ed., Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 13-53.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Efeitos de densidade populacional e doses de nitrogênio sobre o rendimento de dois híbridos de milho em épocas não convencionais. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DE MILHO "SAFRINHA", 1999, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 1999. p.123.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E; SÁ, M. E. 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, F. C., BUZETTI, S., ANDRADE, J. A. C., ARF, O., SÁ, M. E., FURLANI JÚNIOR, E., MURAOKA, T. Adubação nitrogenada e potássica na cultura do milho. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DELA CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon-Temuco, 1999. **Anais...** Pucon-Temuco. Temuco Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999a.

SILVA, P. R. F; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p. 585-592, 1999b.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63p.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 452-455, 2003.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.3, p. 387-397, 2006.

SOUZA, G. L. **Influência de densidade de plantas e espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos, interceptação de luz e outras características agrônômicas de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.)**. 1976. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1976.

STAGGENBORG, S. A.; FJELL, D. L.; DEVLIN, D. L.; GORDON, W. B.; MADDUX, L.D; MARSH, B. H. Selecting optimum plant dates and planting population for dryland corn in Kansas, **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.12, n.1, p. 85-90, 1999.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Arned, 2004. 710p.

TOLLENAAR, M., AGUILERA, A. Radiation use efficiency of an old and new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.3, p. 536-541, 1992.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Crops 2010/2011**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table04+Corn+Area%2c+Yield%2c+and+Production>> Acesso em: 20 jul. 2011.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. D.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina**, v.26, n.2, p.141-148, 2005.

3 ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA E DENSIDADE DE PLANTAS NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO DE PRIMEIRA SAFRA SOB ESPAÇAMENTO REDUZIDO

RESUMO

Entre as práticas e técnicas empregadas na cultura do milho para obtenção de maior produtividade, a escolha da densidade de plantas e doses de nitrogênio associados a escolha do híbrido, estão entre as decisões mais importantes. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de densidades de plantas e doses de adubação nitrogenada em cobertura nas características fitométricas e na produtividade de grãos na cultura do milho de primeira safra sob espaçamento reduzido. O experimento foi instalado no município de Mauá da Serra-PR, com o híbrido DKB240 YG em dois anos agrícolas (2009/2010 e 2010/2011). Foram avaliadas quatro populações de plantas (60, 75, 90 e 105 mil plantas ha⁻¹) com cinco doses de N em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos com parcelas sub-divididas com quatro repetições, o fator população foi locado na parcela e a adubação de cobertura na sub parcela. Foram avaliados o diâmetro de colmo, a altura de inserção de espiga, a altura de plantas e a produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F e a análise de regressão até o 2^o grau, com análise conjunta dos anos. As características fitométricas e a produtividade de grãos na cultura do milho em resposta a densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura são influenciadas pela ano agrícola de cultivo. O diâmetro de colmo aumenta com o incremento de doses de N em cobertura, com respostas diferenciadas em função do ano de avaliação e, diminui pelo incremento de densidade de plantas em todas as doses de N em cobertura. A altura de plantas e produtividade de grãos nos dois anos e, a inserção de espiga no ano agrícola de 2009/2010, aumentaram com o incremento da densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido DKB240YG é obtida com a combinação de 10,5 plantas m⁻² e 185 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. População de plantas. Adubação nitrogenada. Produtividade.

NITROGEN LEVELS IN TOPDRESSING AND PLANT DENSITY ON THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF FIRST CORN CROP UNDER REDUCED SPACING

ABSTRACT

Among the practices and techniques used in corn crop to obtain increased corn yield, the choice of plant density and nitrogen levels, associated with the choice of the hybrid, are among the most important decisions. The objective of this study was to evaluate the effect of plant densities and nitrogen fertilizer levels in topdressing on the agronomic characteristics and grain yield in the first maize crop under reduced spacing. The experiment was installed in the city of Mauá da Serra, Paraná State, Brazil with the hybrid DKB240 YG in two growing seasons (2009/2010 and 2010/2011). We evaluated four plant populations (60, 75, 90 and 105 000 plants ha⁻¹) with five N levels in top dressing (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹). The experimental design was in blocks with sub-divided plots with four replications, the population factor was placed in the plot and the topdressing in the sub plot. We evaluated the stem diameter, height of insertion of ear, plant height and grain yield. The data were submitted to analysis of variance using the F test and regression analysis to the second degree, with joint analysis of year. Agronomic characteristics and grain yield in maize in response to plant density and N levels in topdressing are influenced by the agricultural year of cultivation. The stem diameter increases with increasing of N levels in topdressing, with different responses, according to the year of evaluation and decreases by increasing plant density at all N levels in topdressing. Plant height and grain yield in two years, and the insertion of spike in crop year 2009/2010, increased with increasing plant density and N levels in topdressing. The highest grain yield of hybrid DKB240 YG is obtained with the combination of 10.5 plants m⁻² and 185 kg ha⁻¹ of N in topdressing.

Keywords: *Zea mays* L.. Plant population. Nitrogen fertilization. Yield.

INTRODUÇÃO

A época de semeadura adequada para a cultura do milho de primeira safra, no sul do Brasil, está compreendida entre meados de setembro e final de outubro, o que garante a melhor utilização do uso da radiação solar (SANGOI et al., 2007). Nesta época, as precipitações e temperaturas são adequadas e a distribuição ao longo do ciclo é ideal para o desenvolvimento da cultura (EMBRAPA, 2006). A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 25 e 30 °C (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; PEREIRA FILHO et al., 2008), sendo que a quantidade de água consumida pela planta, durante seu ciclo, situa-se em torno de 600 mm (PEREIRA FILHO et al., 2008).

O milho de primeira safra tem evoluído como cultura comercial e apresentou nos últimos vinte e oito anos, taxas de crescimento de produção de 3,0% ao ano e de área cultivada de 0,4% ao ano (DUARTE, 2010). Diversos fatores influenciam para este incremento, dentre eles está a escolha do genótipo melhor adaptado às condições de cultivo, às práticas de manejo, o emprego do espaçamento e da densidade de plantas apropriados (PALHARES, 2003) e o fornecimento adequado de nitrogênio para a cultura (MARCHÃO et al., 2005).

Tradicionalmente, o espaçamento entre linhas adotado pela maioria dos agricultores brasileiros concentra-se entre 0,80 e 0,90 m, devido principalmente, à inadequação das colhedoras em sistemas que adotam espaçamentos inferiores a 80 cm (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Entretanto, a redução no espaçamento e o aumento da densidade de plantas é uma realidade na cultura do milho no Brasil. A tendência do espaçamento entre linhas utilizado atualmente é de 0,40 a 0,60 m (SANGOI; ARGENTA, 2010). A população ideal varia de 30 a 90 mil plantas ha⁻¹ (SANGOI et al., 2001) mas, diferentemente de outras gramíneas, o milho não compensa reduzidas densidades de semeadura, pois possui limitada capacidade de expansão foliar, de prolificidade e de emitir afilhos férteis (ANDRADE et al. 1996).

O aumento da densidade populacional procura saturar o campo com plantas na disposição em que intercepte o máximo de radiação solar (SILVA et al., 1999), diminuindo a competição intra-específica (SANGOI et al., 2003). Dessa forma, híbridos com menor altura de planta permitem maior densidade e maior capacidade

fotossintética e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos (FORNASIERI FILHO, 1992; SANGOI et al., 2010). Todavia, em altas densidades, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento (TAIZ; ZEIGER, 2004), diminuindo o diâmetro de colmo.

A densidade de plantas também afeta outros caracteres fisiológicos e morfológicos, com respostas diferentes para cada tipo de híbrido. A maior estatura de plantas em conjunto com a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo, causados pela alta densidade, contribuem para incremento do índice de acamamento (FORNASIERI FILHO, 1992; ARGENTA et al., 2001; BRACHTVOGEL, 2008).

Além da densidade de plantas, a adubação nitrogenada também interfere em diversas características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da planta de milho. Na literatura são encontrados trabalhos sobre a influência positiva do nitrogênio na altura de plantas (SILVA et al., 2003), no diâmetro de colmo (MALAVOLTA et al., 1976; DA ROS et al., 2003), no índice de colheita (BÜLL, 1993), no número de grãos por espiga e na massa de grãos como incrementos de produtividade (BORTOLINE et al., 2001; SILVA et al., 2006).

A adubação nitrogenada resulta em incremento da produtividade, visto que o solo fornece insuficiente quantidade de N para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, para que possa expressar todo seu potencial produtivo, a cultura do milho requer que suas exigências nutricionais sejam plenamente atendidas, em virtude da grande extração de nutrientes do solo. Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo que aproximadamente 80% da quantidade absorvida são exportados com o grão (COELHO; FRANÇA, 1995).

Com o incremento da população de plantas, cresce a competição intraespecífica na cultura, assim o fornecimento dos nutrientes deve ser incrementado, com vistas à manutenção da produção por planta e, conseqüentemente, incremento de produtividade. Vários trabalhos têm demonstrado interação positiva entre doses de N e densidade de plantas. As maiores margens de ganho em produtividade são obtidas quando concomitantemente ao aumento das doses de N, eleva-se também a densidade de plantas (GÓRDON et al., 1997; Amaral Filho et al., 2005).

Embora existam inúmeros trabalhos de pesquisa referente à resposta da cultura do milho às doses de N e densidade de plantas, a interpretação destes resultados exige que sejam considerados alguns fatores como: resposta do híbrido, condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, época de semeadura (primeira e segunda safra), espaçamento entre linhas, rotação de culturas, fontes de N empregadas e modo de aplicação. Dessa forma, as recomendações de N devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas (CRUZ; LARA CABEZAS, 2001).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de densidade de plantas e doses de adubação nitrogenada em cobertura nas características fitométricas e na produtividade de grãos na cultura do milho de primeira safra sob espaçamento reduzido.

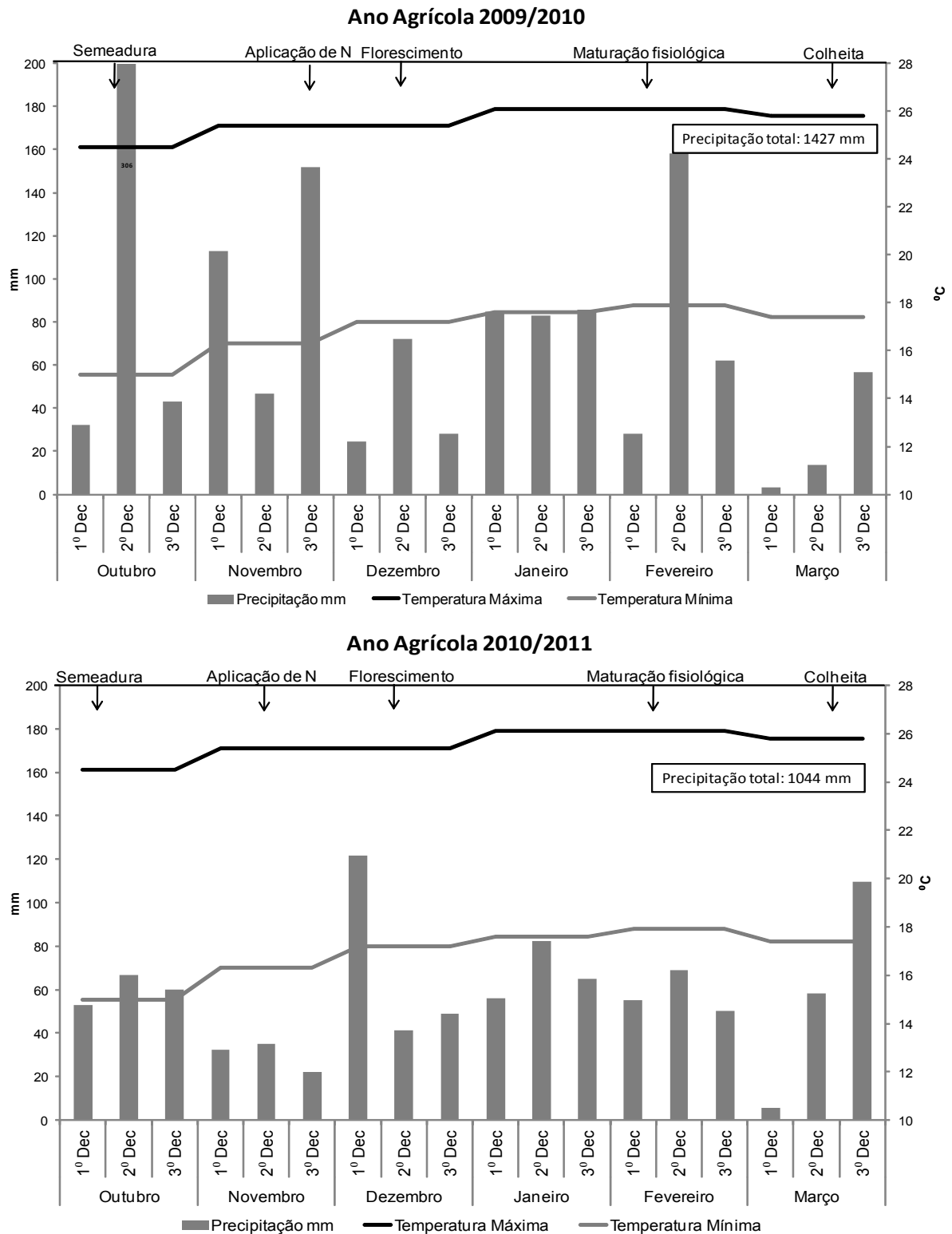
MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em dois anos agrícolas (2009/2010 e 2010/2011) na fazenda Panônia, situada no município de Mauá da Serra - PR, com altitude de 950 m. O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (SANTOS et al., 2006). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfb (IAPAR, 2011).

Os dados meteorológicos de precipitação foram obtidos na estação do Instituto das Águas do Paraná de Marilândia do Sul - PR, que se localiza a 15 km da área experimental e os dados de temperaturas pelas médias históricas (1979 a 1992) da estação do Instituto Agrônomo do Paraná- IAPAR em Mauá da Serra-PR (Figura 1).

Foram avaliadas quatro populações de plantas (60, 75, 90 e 105 mil plantas ha^{-1} , ou seja, 6; 7,5; 9 e 10,5 plantas m^{-2}), com cinco doses de N em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 $kg\ ha^{-1}$) em espaçamento reduzido. O delineamento experimental utilizado foi em blocos com parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo o fator população alocado na parcela, e a dose de N em cobertura na subparcela. A subparcela experimental foi constituída por seis linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,70 m, considerando como área útil as duas linhas centrais, totalizando 7 m^2 .

Figura 1 – Precipitação pluvial por decêndio nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, registradas no período de 01/10 a 31/03 dos anos de 2009 e 2010, em Marilândia do Sul-PR, pelo Instituto das Águas do Paraná e temperaturas mensais máximas e mínimas da média de 12 anos (1979 a 1992) do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR de Mauá da Serra- PR (2012).



Foi utilizado o híbrido DKB240 YG, indicado para região sul do país, transgênico com tecnologia YIELDGARD® para supressão da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), controle da lagarta da espiga (*Helicoverpa zea*) e broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). Possui ciclo precoce, com altura e inserção da espiga baixa, folhas semi-eretas, excelente “stay green”, rápido “dry down”, resistente ao acamamento e ótima qualidade de colmo, recomendado para 70-75 mil plantas ha⁻¹. O híbrido tem espigas com excelente empalhamento e tolerância à grãos ardidos. Possui grãos amarelos dentados, com massa média de 1000 sementes de 370 g (DEKALB, 2011).

No ano agrícola de 2009/2010, o experimento foi instalado após a cultura de trigo, precedido da cultura da soja no verão anterior e, no ano de 2010/2011, foi após a cultura do trigo, com milho no verão anterior. Previamente à instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo da área, na camada de 0 a 0,2 m, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 1.

Foram aplicados na semeadura 22 kg de N ha⁻¹, 104 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e, 62 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Tabela 1 – Características químicas do solo (Macronutrientes e resultados complementares) da área experimental na camada de 0 a 0,2 m em Mauá da Serra – PR (2012).

Ano Agrícola 2009/2010											
pH	P ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	K	Ca	Mg	AL	H+AL	SB	CTC	V	MO
CaCl ₂ __	mg dm ⁻³	__	__			cmol _c dm ⁻³			%	g dm ⁻³	
5,5	8,5	11,7	0,36	5,9	1,6	0	5,6	7,9	13,5	58,3	37,9
Ano Agrícola 2010/2011											
pH	P ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	K	Ca	Mg	AL	H+AL	SB	CTC	V	MO
CaCl ₂ __	mg dm ⁻³	__	__			cmol _c dm ⁻³			%	g dm ⁻³	
5,2	4,83	14	0,32	3,7	1,5	0	5,7	5,5	11,2	49,4	45

(1) Método de Mehlich-1; (2) SO₄⁻² Legenda: pH – pH em cloreto de cálcio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de trocar cátions a pH 7,0; V – saturação por bases; MO – matéria orgânica.

As sementes foram, anteriormente à semeadura, tratadas com o fungicida fludioxonil + metalaxyl-m, na dose 0,0375 g + 0,015 g do ingrediente ativo kg⁻¹ de semente, e com o inseticida imidacloprido + tiodicarbe, na dose de 52,5 g + 157,5 g do ingrediente ativo para 60000 sementes. Foi realizado o sulcamento com semeadora adubadora, para deposição do adubo e demarcação das linhas. Posteriormente foi realizada a semeadura com matracas colocando-se duas

sementes por cova. No estágio V2 com duas folhas expandidas, segundo a escala proposta por Ritchie e Hanway (1993), foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por cova e obtendo a população de plantas pré-estabelecida nos tratamentos.

A área do experimento foi dessecada com herbicida glifosato 33 g kg⁻¹ do ingrediente ativo e, após com inseticida clorpirifós na dose 480 g do ingrediente ativo ha⁻¹. Para controle das plantas daninhas, foi padronizada uma aplicação de atrazina e tembotriona (herbicida sistêmico do grupo químico benzoilciclohexanodiona), nas doses de 1.200 e 90 g ha⁻¹ do ingrediente ativo. No momento da aplicação, as plantas daninhas estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento e a cultura encontrava-se aproximadamente em estágio V3, com três folhas expandidas. Como o híbrido utilizado possui a tecnologia transgênica para supressão de lagartas, na pós-emergência não foi necessária aplicação de inseticidas.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada no estágio de V3 a V4, ou seja, plantas apresentando três a quatro folhas expandidas (RITCHIE; HANWAY, 1993). A fonte utilizada foi nitrato de amônio (32% N), aplicado em cobertura sobre a superfície do solo nas quatro linhas centrais da subparcela.

As avaliações de diâmetro de colmo (DC), altura de inserção de espiga (IE) e altura de planta (AP) foram realizadas em seis plantas ao acaso dentro da área útil de cada unidade experimental, após a maturação fisiológica. Para a medição da altura de planta foi considerada a distância da superfície do solo até a base do limbo da última folha (sem considerar o pendão). A altura de inserção de espiga foi obtida pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo. Simultaneamente foi determinado o diâmetro de colmo no segundo internódio, a partir da base da planta, em sentido da saída das folhas dos colmos, o qual foi mensurado com paquímetro nas mesmas plantas em que foi avaliada a altura de planta e altura de inserção de espiga.

Para a determinação do rendimento de grãos foi realizada a colheita manual na área útil da subparcela e, posteriormente a trilha com batedor de parcela, quando o milho estava na maturação de colheita (22% de umidade). Após, foram determinadas a produção de cada parcela (por meio de pesagem em balança eletrônica) e a medição da umidade. Os dados de produtividade por parcela foram transformados em kg ha⁻¹ e corrigidos para 13% de umidade.

Foi realizado uma análise exploratória dos dados pelo teste de Hartley, para verificar o atendimento das pressuposições da análise de variância. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F e à análise de regressão até o 2º grau, com análises conjuntas dos dois anos agrícolas de condução do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação dupla significativa no diâmetro de colmo (DC) para dose x população e ainda para dose x ano. Para as características de altura de inserção de espiga (IE), altura de planta (AP) e produtividade de grãos (PROD) houve interação tripla significativa entre os fatores de variação avaliados (Tabela 2). Corroborando os resultados, Ceccon e Ximenes (2006) relatam que o manejo da adubação e da densidade de plantas, bem como as condições climáticas, interfere no desempenho agrônômico do milho.

Nota-se que, independente das interações serem duplas ou triplas, houve efeito nos anos agrícolas avaliados. Isso se deve, provavelmente, às condições climáticas, visto que no ano 2009/2010, os volumes de precipitação após a aplicação do N foram em torno de 90 mm, diferentemente do ano 2010/2011, que foram em torno de 30 mm (Figura 1). Altas precipitações após aplicação de N em cobertura dependendo da fonte utilizada, afeta diretamente a disponibilidade do nutriente na solução no solo, ocasionados pela lixiviação do NO_3^- . Assim, no ano 2009/2010, pode ter ocorrido maiores perdas de N devido à lixiviação, reduzindo o efeito do nutriente em relação ao potencial máximo que a dose aplicada poderia atingir.

Para todas as doses de N utilizadas houve redução linear nos valores de DC com o aumento da densidade de plantas (Figura 2a). Este comportamento está de acordo com os resultados obtidos por Dourado Neto et al. (2003) e Amaral Filho (2005), que observaram que quanto maior a densidade populacional menor o diâmetro do colmo. Em altas densidades, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido, a fim de evitar o sombreamento, aumentando as chances de crescimento acima do dossel (TAIZ; ZEIGER, 2004), diminuindo o diâmetro de colmo. Contudo, a taxa de decréscimo do DC em função da densidade de plantas foi dependente da dose de N aplicada em cobertura, com

taxas mais acentuadas nas menores doses de N. Este resultado é esperado uma vez que a competição intraespecífica ocasionada pelo aumento da densidade é minimizada pela maior disponibilidade de nitrogênio, reduzindo assim os efeitos na diminuição do DC.

Tabela 2 – Análise de variância das características agrônômicas do milho em função de diferentes densidades de plantas e doses de nitrogênio em cobertura, nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR (2012).

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		DC (mm)	IE (m)	AP (m)	PROD (kg ha ⁻¹)
ANO (A)	1	65,498*	3,153*	1,354*	80735454,358*
BLOCOS	6	3,238 ^{ns}	0,0028*	0,005*	447038,967*
POPULAÇÃO (P)	3	128,098*	0,009*	0,012*	15543853,609*
P*A	3	0,679 ^{ns}	0,009*	0,005*	5755636,505*
DOSE N (D)	4	41,313*	0,033*	0,126*	27069482,341*
D*A	4	4,945*	0,012*	0,045*	2237017,151*
D*P	12	2,974*	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	496970,999*
D*P*A	12	0,858 ^{ns}	0,005*	0,003*	316026,292*
Média 2009/2010		25,1	0,95	2,13	11994
Média 2010/2011		26,4	1,23	2,31	13415
C.V 1(%)		5,8	3	1,6	2,2
C.V 2(%)		4,6	3,9	1,8	3,1

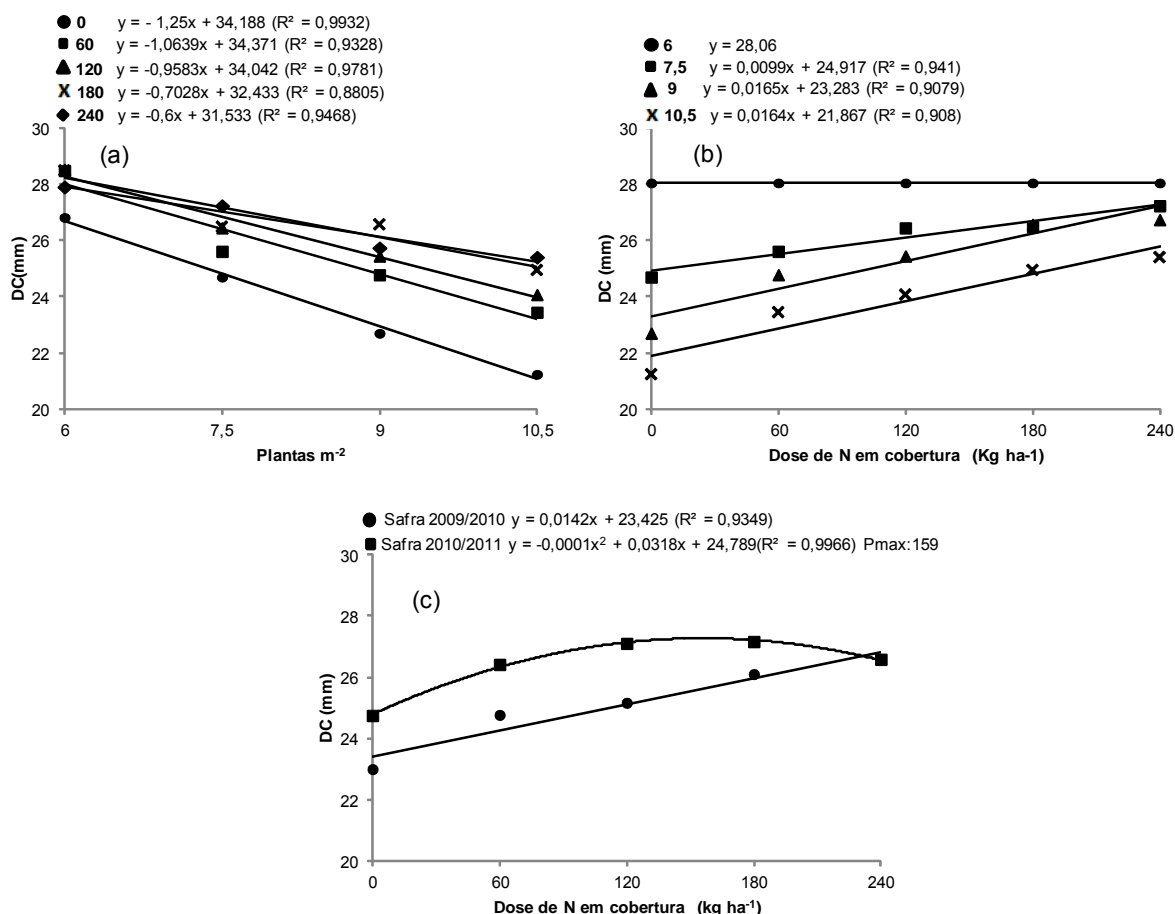
^{ns} :não significativo e *: significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. GL: graus de liberdade, DC: diâmetro de colmo; IE: inserção de espiga; AP: altura de planta; PROD: produtividade.

Com relação ao comportamento da densidade de plantas em resposta às doses de N em cobertura, houve um aumento linear do DC conforme a disponibilização de N nas populações de 7,5; 9 e 10,5 plantas m⁻² (Figura 2b). Isto está associado, provavelmente, a maior competição intraespecífica das plantas em densidades maiores, fazendo com que quanto maior a disponibilidade de N em cobertura maior seria a resposta do DC. Este comportamento do DC, não foi constatado na menor densidade (6 plantas m⁻²), onde não houve diferença no DC conforme o incremento das doses de N, certamente devido a menor competição por nutrientes entre as plantas quando em baixas densidades.

O comportamento do DC em resposta as doses de N, diferiram nos dois anos avaliados. No ano agrícola de 2009/2010 ocorreu aumento linear no DC

com aumento das doses de N. Já no ano 2010/2011, obteve-se um crescimento até o ponto máximo de 159 kg de N em cobertura (Figura 2c).

Figura 2 – Diâmetro de colmo (DC) em função de doses de N em cobertura e densidade de plantas na cultura do milho nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR (2012).



Comparando os dois anos agrícolas avaliados, os valores de DC para as menores doses (0, 60 e 120 kg de N) foram maiores no ano 2010/2011. Já nas maiores doses (180 e 240 kg de N), não houve diferença entre os anos (Tabela 3). Este comportamento deve-se, provavelmente, à melhor distribuição de chuvas no ano 2010/2011, permitindo que o híbrido expressasse o máximo do seu potencial genético para o valor de DC em resposta a menor dose de N em cobertura ajustada na curva. Já no ano 2009/2010, com a lixiviação devido ao alto volume de chuva após aplicação do N em cobertura, a cultura respondeu conforme o incremento de N, minimizando a diferença entre os anos para as maiores doses e diferenciando os valores das menores doses de N em cobertura.

Tabela 3 – Valores médios de diâmetro de colmo (DC) em função de doses de nitrogênio aplicado em cobertura, comparando os anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, na cultura do milho, Mauá da Serra – PR (2012).

Ano agrícola	2009/2010	2010/2011
Dose	DC (mm)	
0	23b	24,7a
60	24,8b	26,4a
120	25,2b	27,1a
180	26,1 ^a	27,2a
240	26,6 ^a	26,6a

Letras contidas na linha das médias dos anos, quando iguais não diferem entre si e letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 4 são apresentados os dados médios de altura de inserção de espiga (IE), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos, em função de doses de N em cobertura e densidade de plantas, com comparação dos anos agrícolas avaliados. A IE variou entre os anos para todas as combinações de densidade de plantas e doses de N em cobertura, com maiores valores para o ano 2010/2011. Para AP, os valores apresentaram o mesmo comportamento, com exceção da utilização de 10,5 plantas m⁻² associada a 240 kg ha⁻¹ de N, onde não houve variação entre os anos avaliados. A produtividade de grãos foi maior no ano 2010/2011 em relação ao ano anterior, excetuando-se as combinações de 7,5 plantas m⁻² com a dose 0 e, 6 plantas m⁻² com a dose de 240 kg de N, que não diferiram para a característica avaliada.

As diferenças observadas entre os anos devem-se, possivelmente, as condições climáticas diferenciadas ocorridas no período de condução do experimento. No ano 2009/2010, obteve-se 1427 mm de precipitação, volume maior que o ano 2010/2011, contudo, estas foram mal distribuídas ao longo do ciclo. Além disso, logo após a aplicação da dose de N em cobertura, no ano 2009/2010 ocorreram aproximadamente 90 mm de precipitação, lixiviando a cobertura nitrogenada.

Tabela 4 – Valores médios de altura de inserção de espiga (IE), altura de planta (AP) e produtividade de grãos (PROD), em função de densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, comparando os anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR (2012).

D	0		60		120		180		240	
	09/10	10/11	09/10	10/11	09/10	10/11	09/10	10/11	09/10	10/11
Pm ⁻²	IE (m)									
6	0,84b	1,18a	0,92b	1,22a	0,94b	1,27a	0,96b	1,26a	0,96b	1,22a
7,5	0,85b	1,22a	0,95b	1,24a	0,96b	1,23a	0,97b	1,25a	1,00b	1,27a
9	0,88b	1,24a	0,98b	1,23a	1,02b	1,22a	1,01b	1,23a	0,86b	1,26a
10,5	0,9b	1,21a	0,98b	1,24a	1,03b	1,24a	1,02b	1,23a	1,04b	1,24a
Pm ⁻²	AP (m)									
6	1,96b	2,22a	2,12b	2,25a	2,12b	2,33a	2,16b	2,31a	2,22b	2,30a
7,5	1,97b	2,29 ^a	2,14b	2,34a	2,14b	2,33a	2,18b	2,33a	2,17b	2,37a
9	1,98b	2,33 ^a	2,13b	2,2a	2,18b	2,35a	2,21b	2,32a	2,21b	2,35a
10,5	1,95b	2,24 ^a	2,11b	2,31a	2,19b	2,34a	2,2b	2,35a	2,29 ^a	2,33a
Pm ⁻²	PROD (kg ha ⁻¹)									
6	10444b	11089 ^a	11381b	11863a	11727b	12788a	11745b	12886a	12591a	12334a
7,5	11250a	11349 ^a	11949b	12933a	12044b	13504a	12449b	14166a	12712b	13651a
9	10532b	11473 ^a	12196b	13936a	12609b	14385a	12599b	14613a	12868b	14782a
10,5	11070b	12203 ^a	11979b	14134a	12197b	15212a	12343b	15623a	13202b	15377a

Letras iguais na linha, para comparação das médias dos anos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
D: Doses de nitrogênio aplicado em cobertura; A: ano agrícola de condução do experimento; Pm⁻²: Plantas por metro quadrado.

A lixiviação diminui sensivelmente a quantidade de amônio e nitrato na camada arável, conseqüentemente reduz a disponibilidade do nutriente para as plantas (KIEHL, 1987). Já no ano 2010/2011, ocorreram aproximadamente 1044 mm de precipitação, sendo que as mesmas foram bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura, principalmente logo após a aplicação do N em cobertura, com um volume aproximado de 30 mm. Além da precipitação pluviométrica, os teores de nutrientes também foram diferentes para os anos agrícolas avaliados. A análise de solo do ano 2009/2010 demonstra melhores teores de P e K além de melhores valores de CTC no solo. Deve-se considerar ainda que a cultura anterior para os dois anos de avaliação foi trigo, contudo, a cultura antecessora de verão do ano agrícola de 2009/2010 foi soja e no ano 2010/2011 foi milho. Vale ressaltar que mesmo com as características de solo e culturas antecessoras serem mais favoráveis no ano agrícola de 2009/2010, seus resultados foram menores em comparação ao ano 2010/2011. Assim, se estas condições favoráveis de solo e de manejo não tivessem ocorrido, as diferenças entre os anos seriam ainda maiores, em decorrência das perdas devido à precipitação mal distribuída no ano de 2009/2010.

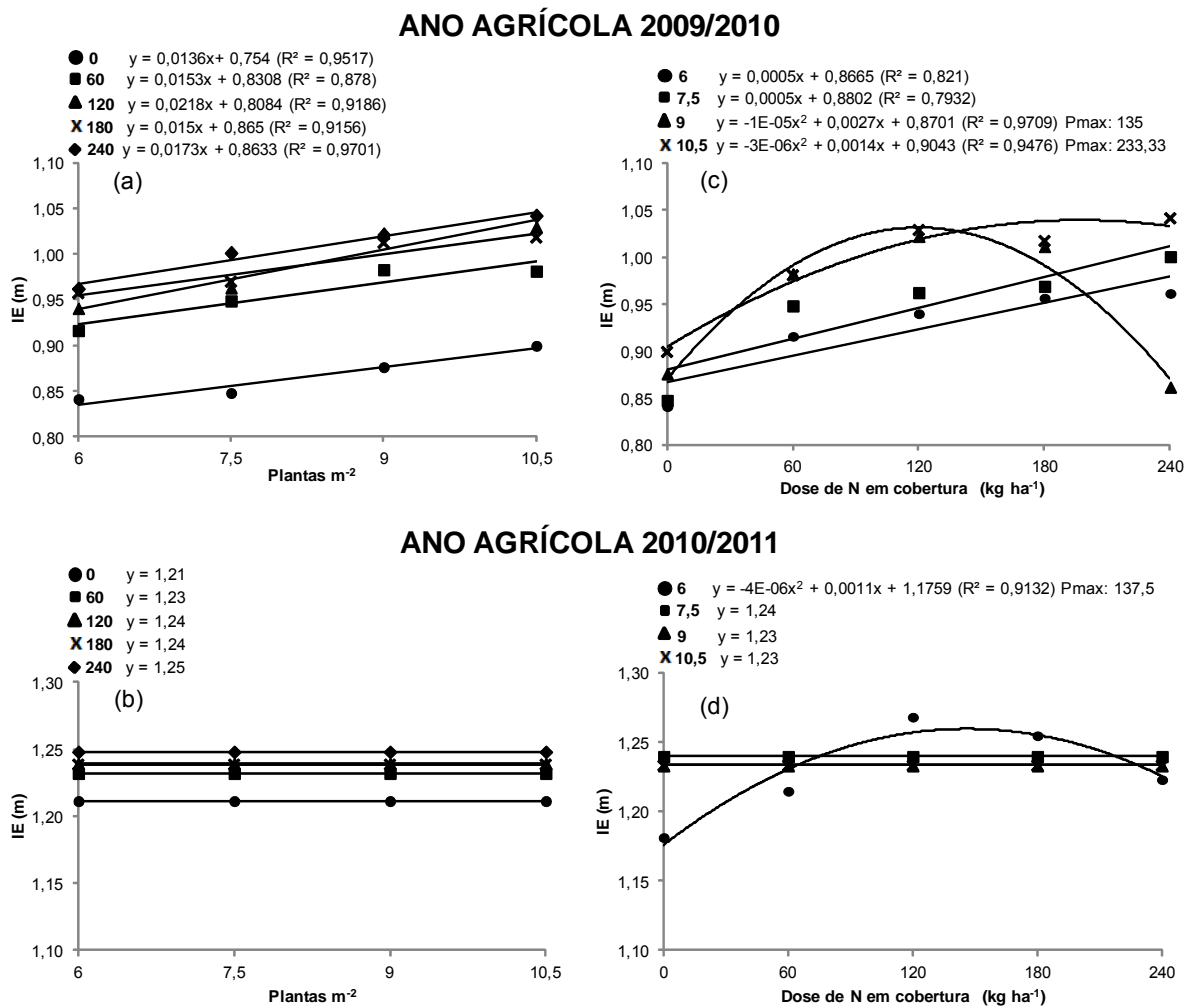
Para IE, no ano agrícola de 2009/2010, todas as doses de N em cobertura, resultaram em incremento linear com o aumento da densidade de plantas. No ano de 2010/2011 não houve resposta da IE à densidade para todas as doses avaliadas (Figura 3b).

Com relação ao nitrogênio em cobertura, no ano 2009/2010, na densidade de 6 e 7,5 plantas m^{-2} , a IE ajustou-se a uma equação linear crescente com aumento das doses, enquanto que nas densidades de 9 e 10,5 plantas m^{-2} houve ajuste quadrático até o ponto de máxima de 135 e 233 kg de N, respectivamente (Figura 3c). Já no ano de 2010/2011, a densidade de 6 plantas m^{-2} teve resposta quadrática com incremento da IE até a dose de 137,5 kg de N, e nas densidades de 7,5; 9 e 10,5 plantas m^{-2} não houve resposta à variação das doses de N em cobertura (Figura 3d).

Para AP no ano agrícola de 2009/2010, nas doses de 0, 60, e 180 kg de N não houve resposta ao incremento da densidade de plantas (Figura 4a). Já no ano de 2010/2011, nas doses de 0 e 60 kg de N, verificou-se um comportamento quadrático em função do incremento de densidade, com máxima resposta em 8,42 e 8,82 plantas m^{-2} , respectivamente. A dose de 180 kg de N manteve o mesmo comportamento ocorrido no ano anterior, ou seja, não respondeu ao incremento de

densidade (Figura 4b). Na dose de 120 kg de N, no ano de 2009/2010, obteve-se um crescimento linear da AP com o aumento da densidade de plantas (Figura 4a), diferentemente do ocorrido no ano de 2010/2011, onde não houve resposta ao incremento da densidade (Figura 4b). Já na dose de 240 kg de N no ano de 2009/2010, obteve-se um comportamento quadrático até o ponto de mínima de 7,68 plantas m^{-2} (Figura 4a) e, no ano de 2010/2011 ocorreu também um ajuste quadrático, contudo com o ponto de máxima de 8,55 plantas m^{-2} (Figura 4b).

Figura 3 – Altura de inserção de espiga (IE) em função de doses de N em cobertura e densidades de plantas na cultura do milho nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR (2012).

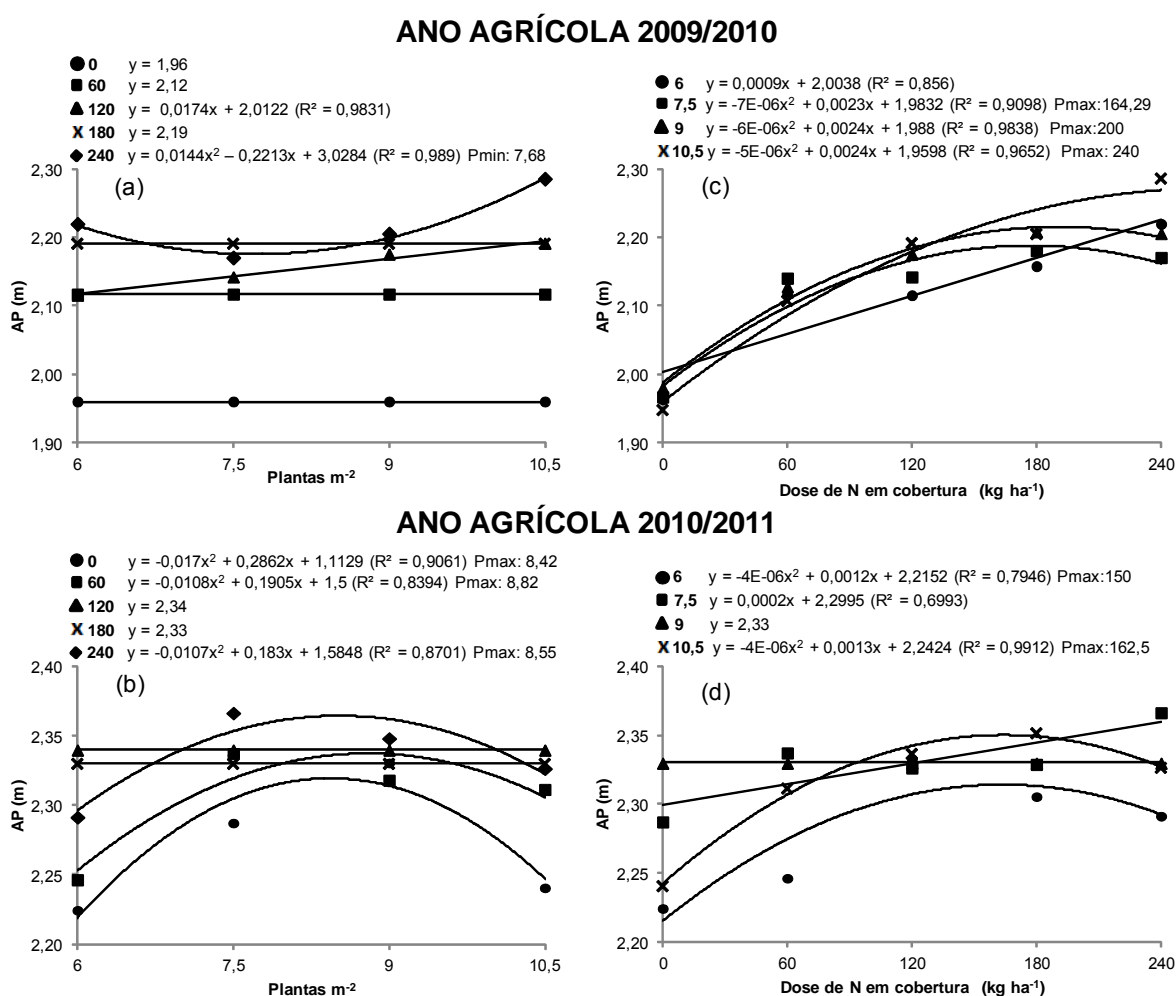


Para o comportamento da densidade de plantas em resposta às doses de N em cobertura, no ano de 2009/2010, na densidade de 6 plantas m^{-2} obteve-se crescimento linear da AP com incremento da dose de N. Já nas demais densidades (7,5; 9 e 10,5 plantas m^{-2}) ocorreu um comportamento quadrático até

ponto máximo de 164, 200 e 240 kg de N em cobertura, respectivamente (Figura 4c).

No ano de 2010/2011, as densidades de 6 e 10,5 plantas m^{-2} resultaram em aumento até o ponto máximo de 150 e 162,5 kg de N em cobertura, respectivamente. Já na densidade de 7,5 plantas m^{-2} houve um aumento linear da AP conforme incremento da dose e, na densidade de 9 plantas m^{-2} não houve diferença na AP conforme variação das doses de nitrogênio em cobertura (Figura 4d).

Figura 4 – Altura de planta (AP) em função de doses de N em cobertura e densidades de plantas na cultura do milho nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR, Brasil (2012).



Há vários relatos de trabalhos com respostas para altura de inserção de espiga e altura de plantas com o incremento de densidade e doses de N. Para incremento de densidade, alguns autores relatam que existe resposta positiva da IE

em relação a AP pelo efeito de estiolamento do dossel (SILVA, 1999; SANGOI et al., 2002; PENARIOL et al., 2003). Contudo, Marchão et al. (2006) observou em seus trabalhos que somente a AP responde as maiores densidades, mantendo a IE estável, resultado também encontrado neste experimento.

Sangoi e Almeida (1994) avaliando a aplicação de diferentes doses de N em cobertura, durante dois anos, observaram que em apenas um ano a dose de N interferiu na AP e na altura de IE. As variações climáticas, principalmente as precipitações, de um ano para o outro, são as principais causas atribuídas pelos autores para esta variação, o que também ocorreu neste estudo.

A inconsistência de respostas de AP e IE com o incremento de densidades e doses de N, em relação a outros estudos, devem-se também ao híbrido avaliado, que possui características diferentes dos híbridos comumente utilizados, pois possui menor número de folhas, folha mais ereta e menor área foliar. A arquitetura de planta dos híbridos modernos interfere na qualidade da luz que penetra no dossel, isso minimiza a competição entre plantas e contribui para sua maior tolerância às condições de altas densidades (ALMEIDA et al., 2000; SANGOI et al., 2001). Marchão et al. (2005), utilizando os híbridos A 2555, A 2288, AG9010, AG 6690, P 30F88 e Valent, afirmam que plantas com maior porte e folhas decumbentes apresentam maior efeito na AP e IE em altas densidades, este comportamento não é tão drástico em híbridos de menor porte e de folhas mais eretas, dando um suporte ao resultado encontrado nesse trabalho com híbrido dessas características. Esses mesmos autores salientam ainda que a utilização de híbridos de milho de baixo porte deve ser acompanhada de incremento na densidade de plantas, especialmente em lavouras de alto nível de manejo e em regiões com características climáticas favoráveis.

Em relação à produtividade, as doses de 60, 120, 180 e 240 kg de N, obtiveram crescimento linear conforme aumento da densidade de plantas nos dois anos avaliados (Figura 5a e 5b). Von Pinho et al. (2008), trabalhando com um híbrido de ciclo precoce e o outro semiprecoce, também encontraram resposta linear crescente para produtividade com o incremento de densidade de plantas, utilizando 5,5; 7 e 8,5 plantas m⁻². Marchão et al., (2005), utilizando densidade de até 10 plantas m⁻², obtiveram respostas lineares para híbridos de ciclo precoce. Corroborando os resultados, Sangoi et al., (2001) relata que híbridos com

características modernas (folhas eretas, porte baixo, menor área foliar) respondem positivamente ao incremento de densidade.

Para a dose de 0 kg de N em cobertura, no ano agrícola de 2009/2010, não houve influência da densidade de plantas na produtividade de grãos (Figura 5a), diferente do ano de 2010/2011, onde houve crescimento linear, contudo, com baixas produtividades comparadas às maiores doses (Figura 5b). Von Pinho et al. (2008) também verificaram em seu trabalho que as menores produtividades foram sem a utilização de adubação nitrogenada em cobertura. Conforme o incremento da densidade de plantas não houve disponibilidade suficiente de N para a necessidade crescente do dossel, aumentando a competição intraespecífica e consequentemente, limitando a produtividade na dose de 0 kg de N em cobertura.

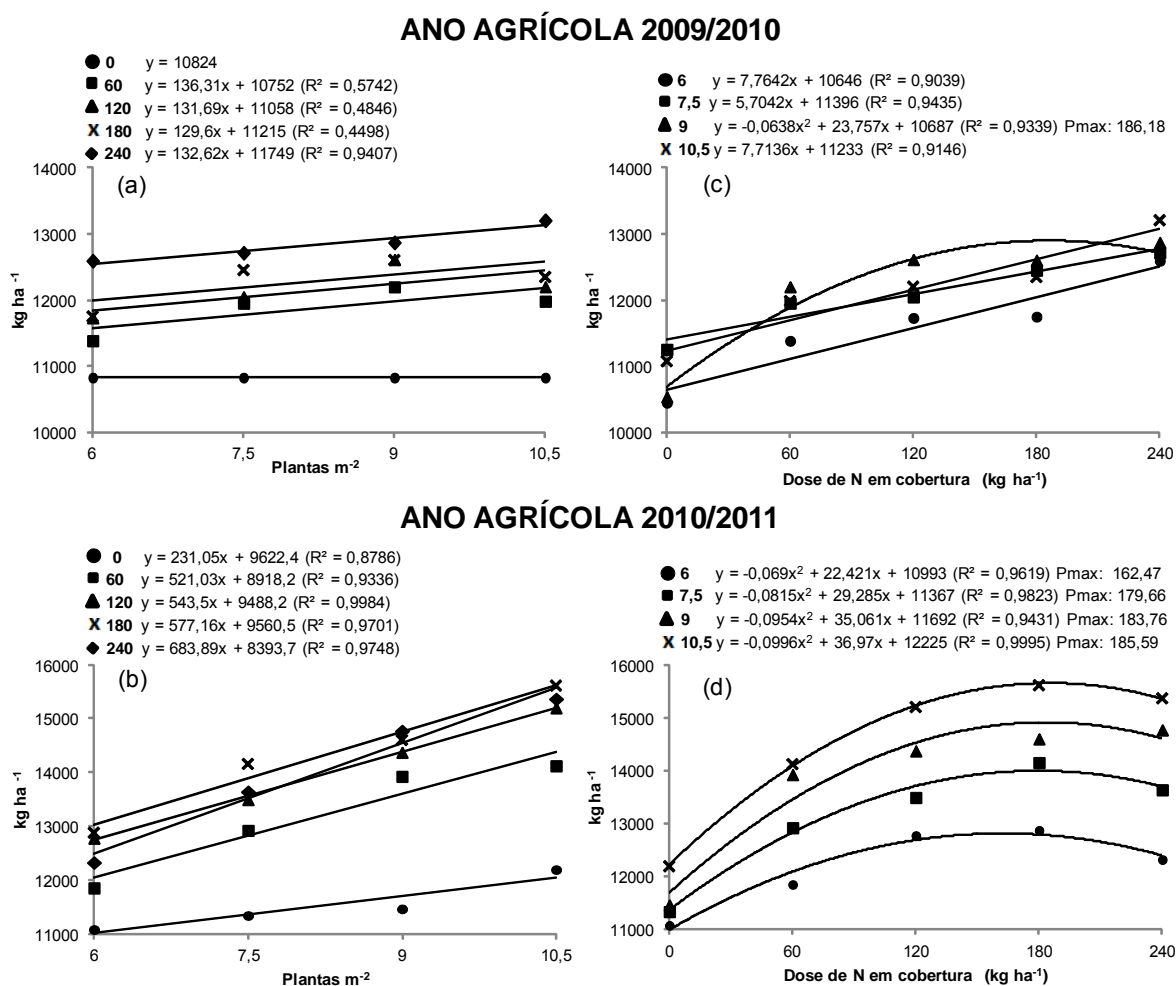
A taxa de crescimento da produtividade com o incremento da densidade de plantas foi maior no ano de 2010/2011 em relação ao ano anterior, devido às condições climáticas, principalmente a precipitação pluvial, serem mais favoráveis à cultura no período de condução do experimento, permitindo que o híbrido expressasse seu máximo potencial produtivo.

Para respostas ao incremento de doses de N em cobertura, nas densidades de 6; 7,5 e 10,5 plantas m^{-2} no ano agrícola de 2009/2010, houve crescimento linear da produtividade com aumento das doses (Figura 5c). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Ferreira (1997), Duete (2000) e Soares (2003) que também observaram aumento significativo na produtividade, ao efetuarem a aplicação de doses crescentes de N. Já na densidade de 9 plantas m^{-2} a resposta foi positiva com incremento de produtividade até a dose de 186 kg de N em cobertura (Figura 5c).

No ano agrícola de 2010/2011, a maioria das densidades resultou em incremento de produtividade até aproximadamente a dose de 180 kg de N. Porém, a densidade de 6 plantas m^{-2} respondeu a produtividade somente até em torno de 160 kg de N em cobertura (Figura 5d).

Considerando o comportamento das plantas em resposta ao aumento da densidade de plantas, os resultados de produtividade foram lineares crescentes nos dois anos agrícolas de avaliação. Para o incremento das doses de N em cobertura, de modo geral, foram lineares até 240 kg de N no ano de 2009/2010 e quadráticas até a dose de aproximadamente 180 kg de N no ano de 2010/2011.

Figura 5 – Produtividade de grãos em função de doses de N em cobertura e densidades de plantas na cultura do milho nos anos agrícolas de 2009/2010 e 2010/2011, Mauá da Serra – PR, Brasil (2012).



As menores produtividades de grãos no ano agrícola de 2009/2010, em que a cultura respondeu linearmente às maiores doses de N em cobertura, podem ser explicadas pela lixiviação, devido à alta incidência de chuvas logo após aplicação do N, diminuindo a concentração de N disponível, refletindo na menor produtividade de grãos mesmo na dose alta de 240 kg. As maiores doses de N poderiam ser parceladas reduzindo as perdas ocorridas pela chuva após a aplicação do N no ano de 2009/2010. O parcelamento da adubação nitrogenada proporciona uma maior eficiência na assimilação do nutriente, diminuindo as perdas por lixiviação em anos chuvosos.

A interação positiva da densidade de plantas com doses de N em cobertura para a produtividade de grãos deve-se ao aumento do número de plantas m^2 na área com a maior competição intraespecífica por nutrientes. Sendo que

quanto mais plantas por m^2 maior será a necessidade de adubação nitrogenada até o ponto de máxima resposta do híbrido dentro de um determinado arranjo de plantas.

Trabalhos com genótipos, densidades de planta e níveis de nitrogênio evidenciam que, à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessárias maiores doses de nitrogênio (PEIXOTO et al., 1997; AMARAL FILHO et al., 2005). O híbrido DKB240 YG possui características que propiciam o readequamento do arranjo espacial, diminuindo o espaçamento entre linhas, que usualmente é de 0,8 a 0,9 m, e aumentando a densidade de plantas. Conseqüentemente, há um aproveitamento mais eficiente da radiação solar e do sistema radicular no solo, o que resultou em maiores produtividades. Contudo, nestas condições, há um aumento da exigência hídrica do dossel, dessa forma vale ressaltar que maiores densidades demonstram melhores resultados onde a precipitação pluviométrica não é limitante. Mendes et al. (2011), confirmam que existe interação entre a adubação nitrogenada e a densidade de plantas sobre os caracteres agrônômicos da cultura do milho, sendo que esses fatores são influenciados pela escolha do híbrido.

A resposta positiva em função da adubação nitrogenada em cobertura ressalta o papel significativo do nitrogênio no desempenho agrônômico das plantas. A fonte nitrogenada utilizada neste experimento foi nitrato de amônio, no entanto Duete et al. (2009) analisando fontes nitrogenadas, não observaram diferença para aplicação de ureia ou nitrato de amônio sobre a produtividade de grãos em seu experimento. Desse modo, Mendes et al. (2011) utilizando ureia como fonte nitrogenada, com quatro híbridos de milho (P30P34, P30R50, FORMULA e NK7G27), dois níveis de adubações em cobertura (90 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1}) e duas densidades de plantas ($6,5$ e $7,5 \text{ plantas m}^{-2}$) no município de Guarapuava- PR, verificaram que a maior produtividade foi obtida com as maiores doses de nitrogênio em cobertura, já a resposta à densidade está ligada ao híbrido utilizado.

Usualmente, os agricultores utilizam a densidade de 7 a $7,5 \text{ plantas m}^{-2}$ com doses de N em torno de 120 kg , levando em consideração a máxima resposta do híbrido. Neste estudo utilizando o híbrido precoce de características modernas em espaçamento entre linhas de 0,7 m, os melhores resultados de produtividade foram na interação na densidade de $10,5 \text{ plantas m}^{-2}$ e 185 kg de N

em cobertura com 15656 kg ha⁻¹ de rendimento de grãos, tornando-se uma opção para o incremento de produtividade.

A introdução de novos híbridos com alto potencial produtivo juntamente com a adoção de novos arranjos de plantas e incremento na utilização de adubação nitrogenada de cobertura, têm permitido a utilização de lavouras mais adensadas, que tem como principal objetivo potencializar o rendimento de grãos. Neste contexto, os resultados confirmam a necessidade de recomendações cada vez menos generalizadas para exploração do potencial produtivo da cultura do milho.

CONCLUSÕES

As características fitométricas e a produtividade de grãos na cultura do milho em resposta a densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura são influenciadas pela ano de cultivo.

O diâmetro de colmo das plantas de milho aumenta com o incremento de doses de N em cobertura, com respostas diferenciadas em função do ano agrícola de avaliação e, diminui pelo incremento de densidade de plantas em todas as doses de N em cobertura.

A altura de plantas e produtividade de grãos nos dois anos e, a inserção de espiga no ano de 2009/2010, aumentaram com o incremento da densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido DKB240YG é obtida com a combinação de 10,5 plantas m⁻² e 185 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta duração estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 23-29, 2000.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, F. H; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. **Ecofisiologia del cultivo de maíz**. Buenos Aires: Dekalb Press, p. 292, 1996.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p. 1075-1084, 2001.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; 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. 110-1106, 2001.
- BRACHTVOGEL, E. L. **Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agrônômicos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.
- CECCON, G.; XIMENES, A. C. A. **Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com /Artigos/2006_3/SisSafrinha/index.htm>. Acesso em: 8 nov. 2010.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, n. 2. Piracicaba: POTAFOS. 1995. 24p.
- CRUZ, A. P.; LARA CABEZAS, W. A. R. Adubação nitrogenada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 2001. **Palestra...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.
- DA ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.5, p. 799-804, 2003.
- DEKALB. **DKB240 YG**. Disponível em: <<http://www.dekalb.com.br>> Acesso em: 27 jul. 11.
- DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do

espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p. 63-77, 2003.

DUARTE, J. O. Mercado e comercialização. In: **Sistemas de produção**. EMBRAPA milho e sorgo, n.1.ed. 6, set. 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/mercado.htm> Acesso em: 5 jan. 2012.

DUETE, R. R. C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando 15N**. 2000. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p. 463-472, 2009.

EMBRAPA - **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 20 jul. 2011.

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

FERREIRA, A. C. B. **Efeito da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. 1997. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.

GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GRACIA DE, N.; GONZÁLEZ, A. Repuesta de dos cultivares de maíz a la densidad de plantas, bajo dos niveles contrastantes de nitrógeno en Panamá 1993-95. In: **Síntesis de resultados experimentales del PRM 1993-1995**, n.5, p. 101-105, 1997.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas**. Disponível em: <http://200.201.27.14/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm> Acesso em: 5 jul. 2011.

KIEHL, J. C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: _____. **Curso de atualização de fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 139-157.

MALAVOLTA, E.; BASSO, L. C.; OLIVEIRA, G. D. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade 'Piranão' em condições controladas. **Anais...** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v.33, p. 479-499, 1976.

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

MARCHÃO R. L.; BRASIL E. M.; XIMENES P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p. 170-181, 2006.

MENDES, M. C.; ROSSI, E. S.; FARIA, M. V.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; ROSÁRIO, J. G. Efeitos de níveis de adubação nitrogenada e densidade de semeadura na cultura do milho no Centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.2, p.176-192, 2011.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividades de grãos de milho**. 2003, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2003.

PEIXOTO, C. M.; SILVA, P. R. F.; REZER, F.; CARMONA, R. C. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, n.1, p. 63-71, 1997.

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

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R. Cultivo do milho. In: _____. **Sistemas de produção**. EMBRAPA milho e sorgo, n. 2, ed. 4, set. 2008. Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/manejomilho.htm> Acesso em: 5 jan. 2012.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Iowa State University. Special report, n. 48, 1993. Disponível em: <www.maize.agron.iastate.edu/cornrows.html> Acesso em: 3 ago. 2011.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e época de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p. 13-24, 1994.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, ALF.; ALMEIDA, M. L.; HEBERLE, P.C. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p. 861-869, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. AM.; BIANCHET, P.; HORN, D. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, n.2, 2002.

SANGOI, L. SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; HORN, D. Bases morfo-fisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas. In: Reunião técnica catarinense de milho e feijão, n. 4, 2003, Lages, SC. **Resumos Expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003. p. 19-24.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 96 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010. 64p.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63p.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 452-455, 2003.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho**. 2003. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Armed, 2004. 710p.

VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G.; MENDES, M. C. Híbridos de milho em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p. 733-739, 2008.

4 ARTIGO B: ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA E DENSIDADE DE PLANTAS NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO SEGUNDA SAFRA SOB ESPAÇAMENTO REDUZIDO

RESUMO

O milho cultivado na segunda safra é influenciado pelas condições climáticas desfavoráveis em relação à safra principal. Neste contexto, práticas e técnicas empregadas como o arranjo de plantas, doses de nitrogênio e a escolha do híbrido melhor adaptado a estas condições são importantes para obtenção de maior produtividade. O objetivo foi avaliar a influência de doses de adubação nitrogenada em cobertura em diferentes densidades de plantas nas características agronômicas da cultura do milho de segunda safra sob espaçamento reduzido. O experimento foi instalado na segunda safra de 2009 e 2010, no município de Cambé, PR, utilizando o híbrido AG9010 YG. Foram avaliadas quatro populações de plantas (40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹) com quatro doses de N em cobertura (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos com parcelas subdivididas com quatro repetições, o fator população foi alocado na parcela principal e a adubação nitrogenada de cobertura na subparcela. Foram avaliados o diâmetro de colmo, a altura de inserção de espiga, a altura de plantas, a massa seca da folha, o teor de N na folha e nos grãos e a produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F e à análise de regressão até o 2º grau, com análise conjunta dos anos. O incremento da densidade de plantas aumenta a altura de plantas e a altura de inserção de espiga e diminui a massa seca da folha, o teor de N na folha e nos grãos, para os dois anos de avaliação. O diâmetro de colmo diminui com o incremento da densidade de plantas com respostas diferentes para os anos. Doses de nitrogênio em cobertura aumentam o diâmetro de colmo, a altura de planta, altura de inserção de espiga, a massa seca da folha e o teor de N na folha e nos grãos. A produtividade é influenciada positivamente pela interação de densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido AG9010 YG é obtida com a combinação de 8 plantas m⁻² e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. Nitrogênio. População de plantas. Produtividade. Safrinha.

NITROGEN FERTILIZATION IN TOPDRESSING AND PLANT DENSITY ON THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF SECOND CORN CROP UNDER REDUCED SPACING

ABSTRACT

Maize grown in the second harvest is influenced by unfavorable weather conditions in relation to the main harvest season. In this context, practices and techniques used as the plant spacing, nitrogen levels and the choice of the hybrid best adapted to these conditions are important for achieving higher productivity. The objective was to evaluate the influence of N levels in topdressing at different plant densities on the agronomic characteristics of corn for the second season under reduced spacing. The experiment was installed in the second season of 2009 and 2010, in the city of Cambé, Paraná State, Brazil, using the hybrid AG9010 YG. We evaluated four plant populations (40, 60, 80 and 100 000 plants ha⁻¹) with four N levels in topdressing (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹). The experimental design was in blocks with split plot, with four replications, the population factor was allocated in the main plots and nitrogen fertilization as subplots. We evaluated the stem diameter, height of insertion of ear, plant height, leaf dry weight, N content in leaves and grains and grain yield. The data were submitted to analysis of variance using the F test and regression analysis to the second degree, with joint analysis of year. The increasing density of plants increases plant height and ear insertion height, and decreases the dry weight of leaf N content in leaves and grains, for the two years of evaluation. The stem diameter decreases with the increase of density with different answers for years. Nitrogen levels in topdressing increase the stem diameter, plant height, height of ear insertion, the leaf dry weight and N content in leaves and grains. The productivity is positively influenced by the interaction of plant density and N levels in topdressing. The highest grain yield of the hybrid AG9010 YG is obtained with the combination of 8 plants m⁻² and 120 kg ha⁻¹ of N in topdressing.

Key – words: *Zea mays* L.. Nitrogen. Plant population. Yield. Off-season.

INTRODUÇÃO

A segunda safra, comumente denominada de “safrinha”, refere-se ao milho semeado extemporaneamente de janeiro a abril, quase sempre depois da soja precoce, com predomínio na região Centro-Oeste do país e nos estados de São Paulo e Paraná (EMBRAPA, 2006). A área cultivada com milho de segunda safra obteve um incremento de 11,1% em relação ao ano de 2010, sendo que Minas Gerais, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul, respectivamente, foram os maiores impulsionadores desse aumento (CONAB, 2011). Devido à viabilidade econômica e aos benefícios agrônômicos, os produtores têm investido em tecnologias para o cultivo do milho segunda safra (PEREIRA et al., 2009).

O planejamento da segunda safra começa com a cultura de verão, visando liberar a área o mais cedo possível para a segunda cultura. A época de cultivo recomendada em geral, se estende até o segundo decêndio de março (GALVÃO; MIRANDA, 2004). No entanto, o período de condução da segunda safra coincide com uma época caracterizada por baixos índices pluviométricos (PENARIOL et al., 2003). A quantidade de água consumida pela planta de milho, durante seu ciclo está em torno de 600 mm (PEREIRA FILHO et al., 2008), sendo que a temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura, da emergência à floração, está compreendida entre 25 e 30 °C (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; PEREIRA FILHO et al., 2008). Este comportamento de precipitação e temperatura ideal dificilmente ocorre na segunda safra, já que é um período de condições climáticas desfavoráveis como radiação solar e temperatura decrescente, menor frequência e distribuição irregular das precipitações durante o ciclo da cultura (DUARTE et al., 1994), o que aumenta a competição intra-específica das plantas.

A região de Londrina é caracterizada por uma redução gradativa da precipitação pluvial e aumento da probabilidade de ocorrência de geadas, nessas condições, o sucesso da segunda safra depende da combinação entre a época de semeadura e o ciclo do híbrido, visando evitar os períodos de seca e de geada (GOMES, 1995). Nesse contexto, quanto mais tarde for semeado, menor será o potencial produtivo e maior o risco de perdas por geadas ou estiagens (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

Além dos fatores climáticos, outros fatores podem afetar sobremaneira o cultivo do milho de segunda safra, como a escolha dos híbridos

melhor adaptados a estas condições, a população de plantas e o manejo da adubação (CECCON; XIMENES, 2006). Em virtude das condições climáticas desfavoráveis, principalmente da menor disponibilidade de água e radiação solar, tem sido adotada uma população de plantas de 10 a 20% menor do que a época normal de cultivo (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2010), com preferência pelos híbridos de ciclo precoce e superprecoce (CECCON; XIMENES, 2006) em função da quantidade de água consumida e da necessidade térmica. Além de apresentar ciclo menor, estes híbridos sofrem menos com a redução da radiação solar e possuem menor risco de ocorrência de geadas no final do ciclo. O híbrido ideal é o de plantas com maior número de folhas acima da espiga, com lâminas estreitas e eretas e com folhas pendentes na região mediana, para aumentar a eficiência na captação da radiação solar (ALMEIDA et al., 1998).

A densidade de plantas entre 45 a 55 mil plantas ha^{-1} tem se mostrado mais adequada, principalmente em função da probabilidade de ocorrência de veranico, do nível de fertilidade do solo e do híbrido utilizado (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). No entanto, Peixoto et al. (1997), analisando as características genéticas do híbrido AG9010, verificaram, sob condições favoráveis de clima e solo, que a densidade populacional indicada variava de 60 a 80 mil plantas ha^{-1} , visto que quanto mais favoráveis eram as condições edafoclimáticas, maior seria a população necessária para maximizar a produtividade de grãos. Dessa forma, o aumento da densidade populacional visa saturar o campo com plantas em disposição em que interceptem o máximo de radiação solar, diminuindo a competição intraespecífica (SANGOI et al., 2003), o que resulta em produtividade de grãos.

Para que possa expressar todo seu potencial produtivo, a cultura do milho requer que suas exigências nutricionais sejam plenamente atendidas, em virtude da insuficiente quantidade de N que o solo fornece para o adequado crescimento das plantas. Para uma produtividade média de 5800 kg ha^{-1} de grãos, são extraídos aproximadamente 100 kg ha^{-1} de N, sendo que cerca de 80% são exportados com os grãos (COELHO; FRANÇA, 1995). Amaral Filho et al. (2005) salientam que para o desenvolvimento adequado da planta, o teor de N na folha está deve estar entre 27,5 e 32,5 g kg^{-1} .

No trabalho desenvolvido por Mar et al. (2003), em condições de segunda safra, os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com doses entre 90

e 120 kg de N. Em experimento de Amaral Filho et al. (2005), também na segunda safra, utilizando o híbrido AG9010, o milho respondeu linearmente a produtividade de grãos com incremento de doses de nitrogênio e densidade populacional.

Além de produtividade, o incremento da adubação nitrogenada também interfere em diversas características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da planta, como diâmetro de colmo (MALAVOLTA et al., 1976; DA ROS et al., 2003), altura de plantas (SILVA et al., 2003), inserção de espiga (MAR et al., 2003), acréscimo de N nas folhas e nos grãos (AMARAL FILHO et al., 2005).

Tem sido usual a recomendação para a segunda safra de doses inferiores à adotada para época normal, em consequência principalmente da baixa resposta da planta de milho para condições desfavoráveis de cultivo, bem como pelo fato do milho nesta época ser cultivado, na maioria das vezes, após a soja (SHIOGA et al., 2004).

Com a tendência de redução do espaçamento entre linhas e aumento da população de plantas para incrementar a produtividade, altera-se o arranjo das plantas na área e, conseqüentemente a competição entre plantas, interferindo dessa forma na quantidade de N necessária para expressão do máximo potencial produtivo da cultura. Assim há a necessidade de novos estudos para definição de doses mais adequadas de N para máxima resposta das plantas sob diferentes arranjos.

Deste modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de doses de adubação nitrogenada em cobertura em diferentes densidades de plantas nas características agronômicas na cultura do milho de segunda safra sob espaçamento reduzido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na segunda safra em dois anos (2009 e 2010) na fazenda Monteiro, localizada no Distrito da Prata, pertencente ao município de Cambé- PR, com altitude de 430 m. O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) (SANTOS et al., 2006). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa (IAPAR, 2011). Os dados meteorológicos ocorridos durante a condução do experimento foram obtidos na estação do Instituto Agrônômico do Paraná- IAPAR em Bela Vista do Paraíso-PR, a 16 km da área

experimental (Figura 1).

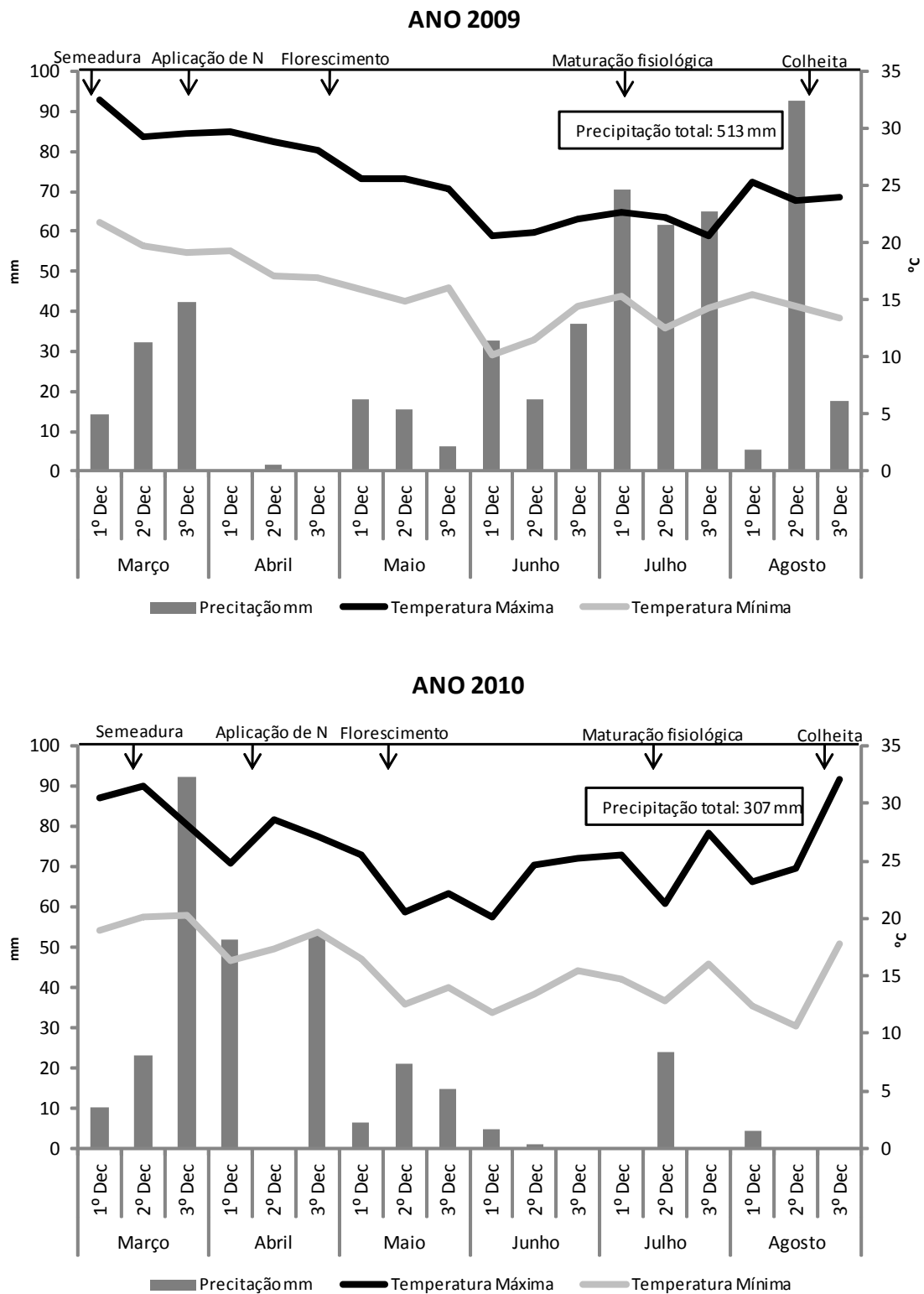
Foram avaliadas populações de 40, 60, 80 e 100 mil plantas ha^{-1} , ou seja, 4; 6; 8 e 10 plantas m^{-2} , com quatro doses de N em cobertura (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}), em espaçamento reduzido. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos com parcelas subdivididas com quatro repetições. Na parcela alocou-se o fator população e na subparcela as doses de N em cobertura. A subparcela experimental foi constituída por oito linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, considerando como área útil de cada subparcela experimental as quatro linhas centrais, totalizando 9 m^2 .

Foi utilizado o híbrido AG9010 YG, indicado para região de segunda safra do Estado do Paraná, Góias, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo. O híbrido é transgênico com a tecnologia YIELDGARD® para supresão da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), controle da lagarta da espiga (*Helicoverpa zea*) e da broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). Possui ciclo superprecoce (57 dias para florescimento), altura total e altura de inserção de espiga baixa, folhas eretas, resistente ao acamamento, sistema radicular excelente, “stay green” acentuado e, é recomendado para 60-65 mil plantas ha^{-1} . Apresenta bom empalhamento, grãos duros alaranjados, com massa média de 1000 sementes de 390 g (SEMENTES AGROCERES, 2011).

O experimento foi instalado em 2009 e 2010, após a cultura de soja que, precedia no inverno anterior a cultura do trigo. Previamente à instalação do experimento, nos dois anos foram realizadas amostragens do solo da área, na camada de 0 a 0,2 m, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 1.

Foram aplicados na semeadura 25 kg de N ha^{-1} , 35 $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e 35 $\text{kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Figura 1 – Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas, por decêndio, no período de 01/03 a 31/08 na segunda safra dos anos de 2009 e 2010 registrados pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR de Bela vista do Paraíso- PR (2012).



As sementes foram, anteriormente à sementeira, tratadas com o fungicida fludioxonil + metalaxyl-m, na dose 0,0375 g + 0,015 g do ingrediente ativo

kg⁻¹ de semente, e com o inseticida imidacloprido + tiodicarbe, na dose de 52,5 + 157,5 g do ingrediente ativo para 60000 sementes. Foi realizado o sulcamento com semeadora adubadora, para deposição do adubo e demarcação das linhas. Posteriormente foi realizada a semeadura com matracas colocando-se duas sementes por cova. No estádio V2, com duas folhas expandidas, segundo a escala proposta por Ritchie e Hanway (1993), foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por cova para obtenção da população de plantas pré-estabelecida nos tratamentos.

Tabela 1 – Características químicas do solo (Macronutrientes e resultados complementares) das áreas experimentais na camada de 0 a 0,2 m em Cambé- PR, (2012).

ANO 2009												
pH	P ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	K	Ca	Mg	AL	H+AL	SB	CTC	V	MO	
CaCl ₂ __ mg dm ⁻³ __			cmol _c dm ⁻³ __						%		g dm ⁻³	
5,5	9,8	14	0,44	5,3	1,5	0	5,1	7,2	13,8	63	28	
ANO 2010												
pH	P ⁽²⁾	S ⁽³⁾	K	Ca	Mg	AL	H+AL	SB	CTC	V	MO	
CaCl ₂ __ mg dm ⁻³ __			cmol _c dm ⁻³ __						%		g dm ⁻³	
5,2	13,6	13,5	0,49	7,6	1,7	0	4,78	9,8	14,3	67	28	

(1) Método de Mehlich-1; (2) SO₄²⁻ Legenda: pH – pH em cloreto de cálcio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de trocar cátions a pH 7,0; V – saturação por bases; MO – matéria orgânica.

As áreas do experimento foram dessecadas com herbicida glifosato 33g kg do ingrediente ativo e, inseticida clorpirifós na dose 480 g do ingrediente ativo ha⁻¹, com uma aplicação adicional para o controle de percevejos (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose 16,4 + 12,7 g do ingrediente ativo ha⁻¹). Para controle das plantas daninhas, foi padronizada uma aplicação de atrazina (herbicida do grupo químico das triazinas) e tembotriona (herbicida sistêmico do grupo químico benzoilciclohexanodiona), nas doses de 1.200 e 90 g ha⁻¹ do ingrediente ativo. No momento da aplicação as plantas daninhas estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento e a cultura encontrava-se aproximadamente em estádio V3, com três folhas expandidas, segundo a escala proposta por Ritchie e Hanway (1993). Foi realizada uma aplicação de Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose 16,4 + 12,7 g ingrediente ativo ha⁻¹ para controle de percevejos em pós-emergência.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada no estádio de V3 a V4, ou seja, plantas apresentando três a quatro folhas expandidas. A fonte utilizada para o experimento no ano de 2009 foi ureia com inibidor de uréase (45%

N) e, para ano de 2010, foi nitrato de amônio (32 % N), aplicados em cobertura sobre a superfície do solo na área útil da subparcela.

As avaliações das características fitométricas foram realizadas em seis plantas ao acaso dentro da área útil de cada unidade experimental, após a maturação fisiológica. Para a medição da altura de planta foi considerada a superfície do solo até a base do limbo da última folha (sem considerar o pendão). A altura de inserção de espiga foi obtida pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo. O diâmetro de colmo foi mensurado no segundo internódio, a partir da base da planta, em sentido da saída das folhas dos colmos, o qual foi mensurado com uso de paquímetro nas mesmas plantas em que foi avaliada a altura de planta e altura de inserção de espiga.

Foram coletadas ao acaso quatro folhas por parcela no pendramento (50% das plantas da parcela pendoadas), sendo as opostas abaixo da espiga. Essas folhas foram lavadas, secadas e pesadas para determinação da massa seca da folha. Posteriormente utilizando o terço central da folha, elas foram moídas para determinação do teor de N na folha. Após a colheita, uma amostra de grãos de cada unidade experimental foi separada para determinação do teor de N no grão. Para a determinação de N na folha e nos grãos foi utilizado a metodologia de Kjeldahl (MALAVOLTA, 2006).

Para o rendimento de grãos foi realizada a colheita manual e, posteriormente a trilha com batedor de parcela, quando o milho estava na maturação de colheita (22% de umidade). Após, foram determinadas a produção de cada parcela (por meio de pesagem em balança eletrônica) e a medição da umidade. Os dados de produtividade por parcela foram transformados em kg ha^{-1} , corrigidos para 13% de umidade.

Foi realizada uma análise exploratória dos dados pelo teste de Hartley, para verificar o atendimento das pressuposições da análise de variância. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F e à análise de regressão até o 2º grau, com análises conjuntas dos dois anos de condução do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 encontra-se o quadro de análise de variância ($p \leq 0,05$) para as seguintes características: diâmetro de colmo (DC), altura de inserção de espiga (IE), altura de plantas (AP), massa seca da folha (MSF), teor de N foliar (NF), teor de N nos grãos (NG) e produtividade de grãos. Para o DC, verifica-se que houve efeito individual para dose e interação dupla de população x ano. A variável AP obteve efeito individual para ano. Para os efeitos individuais de população e dose, houve respostas significativas das variáveis IE, AP, MSF, NF, e NG. Para produtividade de grãos houve interação tripla entre dose x população x ano.

O diâmetro do colmo foi influenciado pela interação população x ano. Nos dois anos, apresentou um comportamento linear decrescente conforme o aumento de plantas m^2 (Figura 2a). Penariol et al. (2003) observaram o mesmo comportamento de diminuição do DC com o incremento da densidade de plantas. O mesmo autor associa o fato com uma redução na disponibilidade de água e nutrientes por planta. Sangoi (2000) relata ainda que, a maior competição entre plantas fragiliza o colmo, visto que, em altas densidades as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido, a fim de evitar o sombreamento, aumentando as chances de crescimento acima do dossel (TAIZ; ZEIGER, 2004), diminuindo o DC. Amaral Filho (2005) também observou que quanto maior a densidade populacional menor o DC.

Os menores valores de DC no segundo ano devem-se, provavelmente, às menores temperaturas no início do desenvolvimento da cultura, que influenciam diretamente o DC, ou ainda, pode estar associado ao fato de se ter utilizado fontes de N em cobertura diferentes entre os anos. Contudo, Meira et al. (2009), não encontrou diferença nos valores de DC utilizando três fontes distintas de nitrogênio (sulfato de amônio, ureia e Entec) em cobertura no milho irrigado.

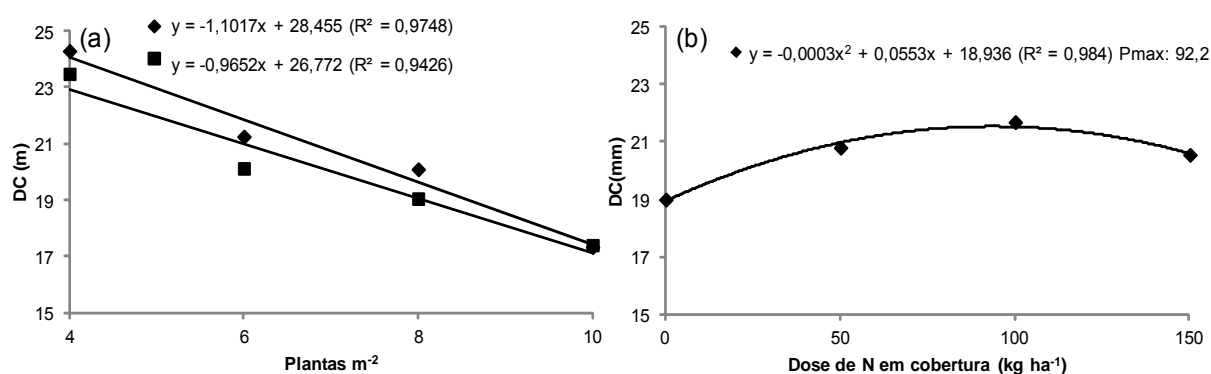
Tabela 2 – Análise de variância para diferentes densidades de plantas em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, na segunda safra dos anos de 2009 e 2010, Cambé- PR (2012).

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		DC (mm)	IE (m)	AP (m)	MSF (g)	NF (g kg ⁻¹)	NG (g kg ⁻¹)	PROD (kg ha ⁻¹)
ANO (A)	1	7,291 ^{ns}	0,0010 ^{ns}	0,136*	0,092 ^{ns}	1,347 ^{ns}	0,003 ^{ns}	2462976,377*
BLOCOS	6	1,756 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,003 ^{ns}	1,816 ^{ns}	4,077 ^{ns}	6,263*	377711,417*
POPULAÇÃO (P)	3	179,601*	0,018*	0,029*	42,847*	44,700*	17,502*	7953699,776*
P*A	3	8,654*	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,624 ^{ns}	7,480*	0,513 ^{ns}	612243,515*
DOSE N (D)	3	4,089*	0,023*	0,019*	2,889*	67,865*	29,938*	12911318,514*
D*A	3	2,425 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,074 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,554 ^{ns}	115172,606 ^{ns}
D*P	9	1,143 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,794 ^{ns}	9,153 ^{ns}	0,447 ^{ns}	391776,570*
D*P*A	9	2,248 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,611 ^{ns}	10,747 ^{ns}	1,049 ^{ns}	326654,581*
Média 2009		20,27a	0,83a	1,74b	2,41a	25,86a	12,54a	6402b
Média 2010		20,74a	0,83a	1,78a	2,43a	26,65a	12,53a	6678a
C.V 1(%)		7,1	5,3	2,6	10,3	7,4	7,7	5,5
C.V 2(%)		6,5	4,8	2,9	9	10,2	6,4	4,6

^{ns} : não significativo e * : significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. GL: graus de liberdade, DC: diâmetro de colmo; IE: inserção de espiga; AP: altura de planta; MSF: massa seca da folha; NF: teor de N foliar; NG: teor de N no grão, PROD: produtividade.

Os menores valores de DC no segundo ano devem-se, provavelmente, às menores temperaturas no início do desenvolvimento da cultura, que influenciam diretamente o DC, ou ainda, pode estar associado ao fato de se ter utilizado fontes de N em cobertura diferentes entre os anos. Contudo, Meira et al. (2009), não encontrou diferença nos valores de DC utilizando três fontes distintas de nitrogênio (sulfato de amônio, ureia e Entec) em cobertura no milho irrigado.

Figura 2 – Diâmetro de colmo (DC) em função da interação de (a) densidade de plantas e ano de cultivo e (b) doses de N em cobertura, Cambé– PR (2012).



O DC ajustou-se a uma equação quadrática em resposta ao incremento de doses de N em cobertura com ponto de máxima de 92,2 kg ha⁻¹, independentemente da população e dos anos avaliados. Esses resultados corroboram com Soratto et al. (2010), que constataram o mesmo ajuste quadrático (ponto de máxima de 93,7 kg ha⁻¹) no DC com o incremento de doses de N em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) utilizando híbrido de ciclo precoce, quatro fontes de N e 6 plantas m⁻².

Em condições de altas densidades, devido à maior competição intraespecífica, o colmo fica mais fino mas, com o incremento da adubação nitrogenada de cobertura, ocorre um aumento nos valores de DC. Esse equilíbrio no DC é muito importante, pois ajuda a planta a passar por situações de estresse comumente ocorridos na segunda safra, visto que o colmo atua como órgão equilibrador da limitação de fonte, promovendo a remobilização dos carboidratos de reserva armazenados até o início do enchimento dos grãos (RAJCAN; TOLLENAAR, 1999).

A altura de inserção de espiga e altura de plantas demonstraram resposta linear crescente conforme o incremento de densidade de plantas,

independente da dose de N em cobertura e dos anos avaliados (Figura 3a e 3b). Marchão et al. (2005) também encontraram resposta linear positiva para a IE e AP ao incremento da densidade de plantas, trabalhando com milho de segunda safra, utilizando o mesmo híbrido AG9010, com populações de até 10 plantas m⁻².

Em altas densidades as plantas são mais altas e apresentam maior altura de inserção de espiga, pois menos luz atinge o ponto de crescimento, reduzindo a oxidação das auxinas e aumentando a alongação celular (SANGOI et al., 2010) justificando assim os resultados observados de IE e AP neste estudo.

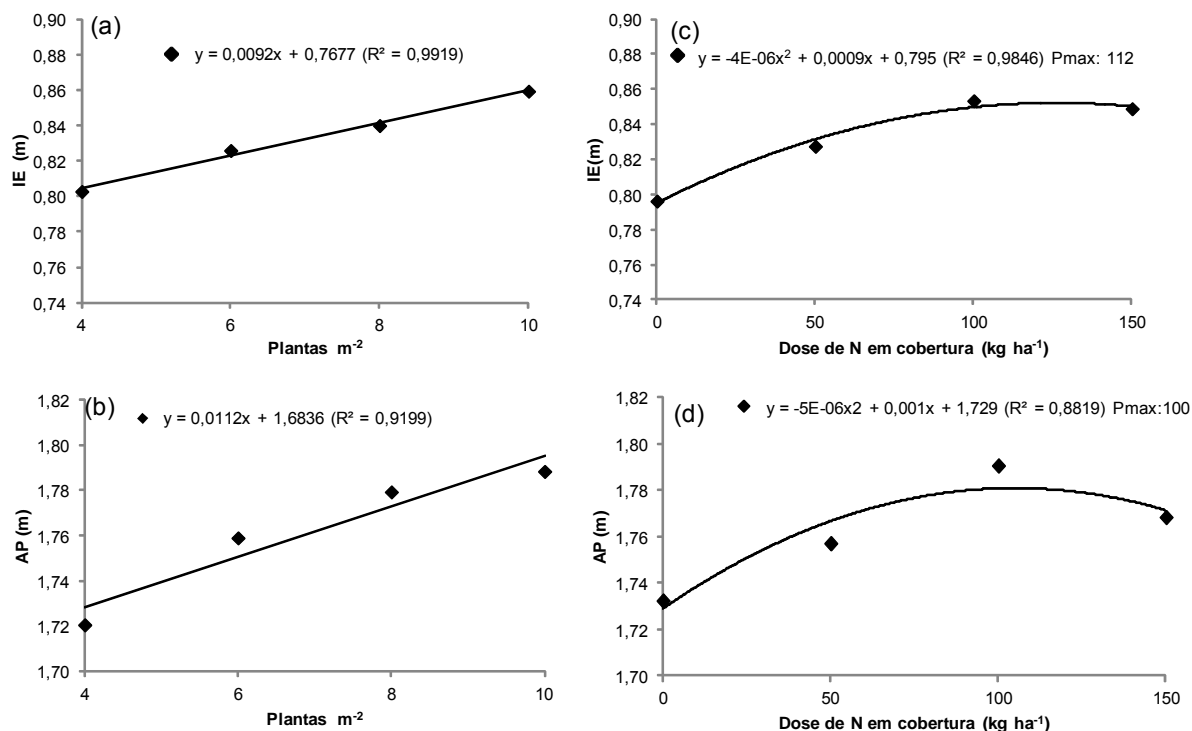
Em resposta ao incremento das doses de N em cobertura, os valores de IE e AP se ajustaram a uma equação quadrática com ponto de máxima de 112 e 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, independente da população de plantas e do ano de cultivo (Figura 3b e 3c). MAR et al. (2003), utilizando espaçamento de 0,9 m e ureia como fonte nitrogenada, também encontraram resposta quadrática para a IE e AP ao incremento de doses, contudo com ponto de máxima de 116 e 121 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. No entanto Soratto et al. (2010), encontrou respostas positiva somente para AP, sendo que a IE não foi afetada pelo incremento de doses de N em cobertura.

A altura de planta e inserção de espiga responde a dose de nitrogênio em cobertura, uma vez que o nutriente influencia diretamente na divisão e expansão celular e no processo fotossintético, isso evidencia que plantas nutridas adequadamente em N têm maior desenvolvimento vegetativo (BÜLL, 1993).

Houve efeito significativo de ano para altura de plantas. A média de AP do primeiro ano foi de 1,74 e no segundo ano de 1,78 m. Esse resultado deve-se, provavelmente, as diferenças nas condições climáticas ocorridas entre os anos avaliados. No segundo ano ocorreu maior volume de precipitação e menores temperaturas até o florescimento da planta, ocasionando alongação celular, resultando em maiores valores de AP.

Para altura de inserção de espiga, não houve diferença entre os anos, visto que, segundo Marchão et al. (2006), dependendo das condições climáticas, quando há incremento na densidade de plantas ocorre um maior crescimento da parte superior da planta, com isso a maior parte da interceptação da radiação fotossintética ocorre na parte superior do dossel, acima da altura da espiga.

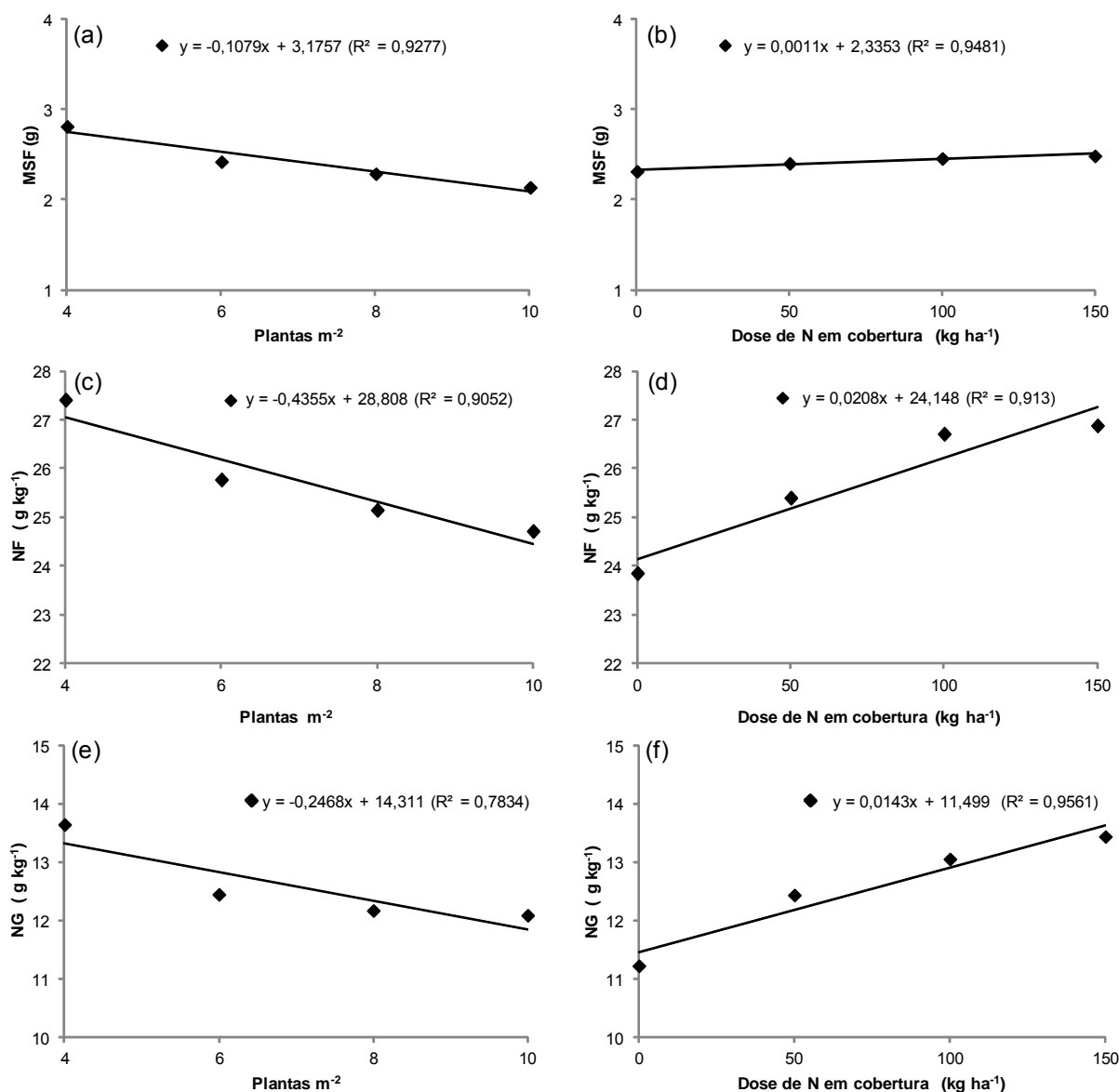
Figura 3 – Altura de planta e inserção de espiga (IE) em função da (a) e (b) densidade de plantas e de (c) e (d) doses de nitrogênio em cobertura, Cambé– PR (2012).



Para o efeito de incremento da densidade de plantas na massa seca da folha, obteve-se redução linear nos valores de MSF independentemente das doses de N em cobertura e dos anos avaliados (Figura 4a). Isso ocorreu porque conforme o aumento da densidade de plantas houve uma maior competição intraespecífica, reduzindo o índice de área foliar por planta. A menor área foliar pode implicar em redução da fotossíntese, resultando em menor disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento de grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000), porém, devido a um maior número de indivíduos por área, este valor é compensado.

Para a resposta ao incremento de doses de N em cobertura, a MSF respondeu de forma linear crescente conforme o aumento das doses, independente da densidade de plantas e dos anos de condução do experimento (Figura 4b). O aumento das doses de N em cobertura proporciona o aumento da MSF por planta. Contudo, quando há incremento de densidade de plantas o valor da massa seca por planta diminui, sendo o N uma ferramenta indispensável para manter o equilíbrio da MSF.

Figura 4 – (a) e (b) Massa seca da folha; (c) e (d) teor de nitrogênio na folha; (e) e (f) teor de nitrogênio nos grãos, em função de densidades de plantas e doses de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do milho, Cambé– PR, Brasil (2012).



Com o incremento de densidade de plantas na área, o teor de N foliar (NF) e o teor de N nos grãos (NG) diminuiriam linearmente independente das doses de N em cobertura e dos anos avaliados (Figura 4c e 4e). Para o incremento de doses de N em cobertura, o teor de N na folha e nos grãos respondeu com crescimento linear (Figura 4d e 4f). Amaral et al. (2005) também encontraram respostas positivas ao incremento de N em cobertura para teor de NF e o teor de NG e, Soratto et al. (2010) encontraram o mesmo resultado positivo utilizando diferentes fontes nitrogenadas, porém não encontrou diferença entre as fontes de N.

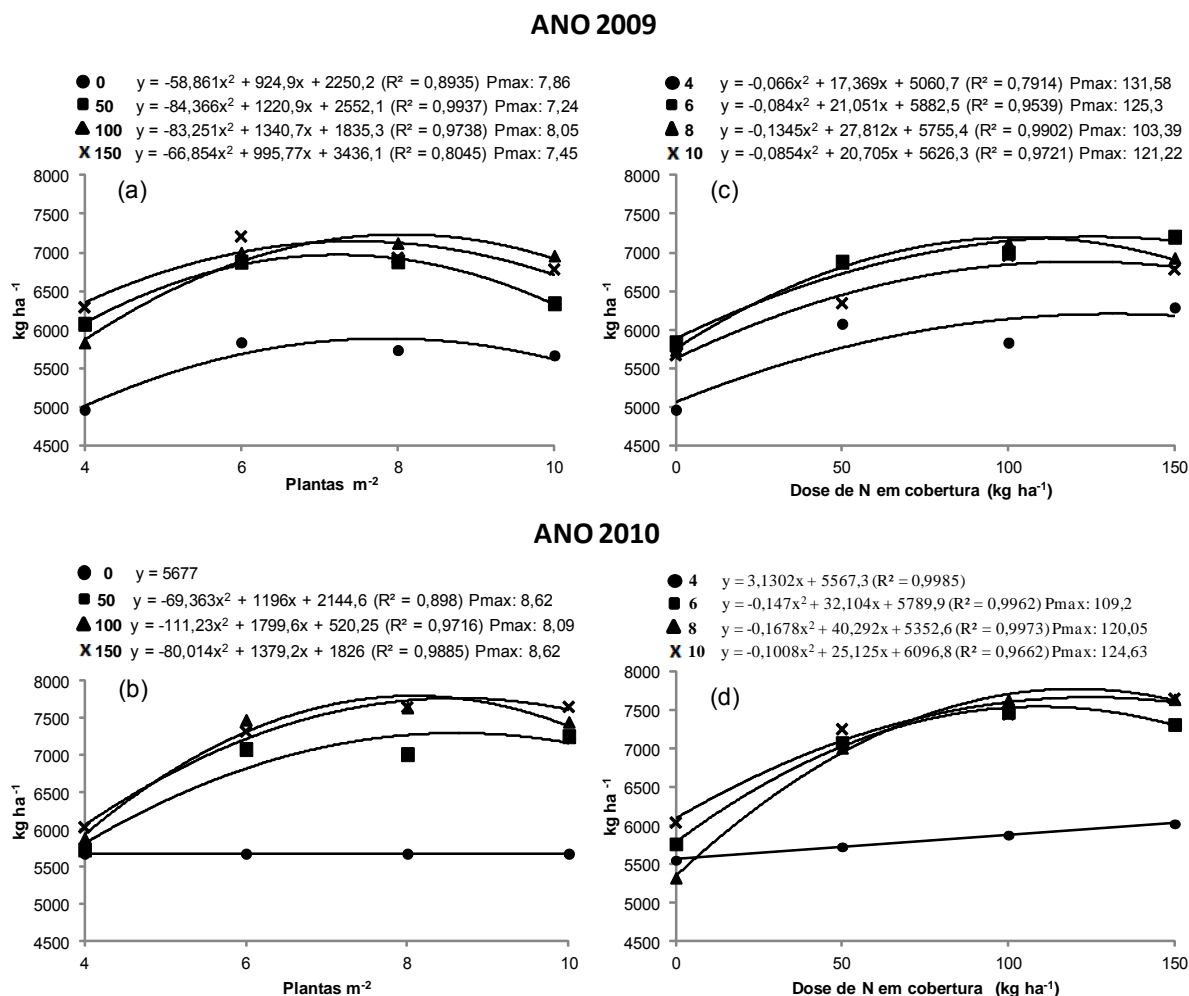
O teor de N na folha é uma característica eficiente para detectar possíveis deficiências de nitrogênio na planta, já o teor de N nos grãos serve para identificar quanto de N foi exportado pela cultura e para prever a quantidade de proteína nos grãos.

Quanto ao incremento da densidade de plantas na produtividade de grãos, as doses de 50, 100, 150 kg ha⁻¹ de N se ajustaram a uma equação quadrática nos dois anos avaliados, com uma variação do ponto de máxima de 7,24 a 8,62 plantas m⁻² dependendo da dose. No primeiro ano, a dose 0 kg de N em cobertura manteve o mesmo comportamento de regressão quadrática, com ponto de máxima de 7,86 plantas m⁻² (Figura 5a e 5b). Contudo, vale ressaltar que mesmo respondendo ao incremento de N, as produtividades são muito menores na dose 0 kg de N quando comparadas com a aplicação de qualquer dose de N. Já no segundo ano, não houve influência na produtividade de grãos com o incremento da densidade de plantas quando não se aplicou N em cobertura (Figura 5b).

Os maiores valores de produtividade nos dois anos avaliados foram encontrados em densidades próximas à 8 plantas m⁻², quando houve aplicação de N em cobertura, independente das doses. Amaral Filho et al. (2005) em condições de segunda safra, utilizando o híbrido AG9010, obtiveram os maiores valores de produtividade com até 10 plantas m⁻², com doses crescentes de N.

Como a cultura do milho de segunda safra é influenciada pelas condições climáticas (precipitações e temperaturas), quanto mais favoráveis às condições de clima e solo, maior é a densidade necessária para maximizar a produtividade de grãos (PEIXOTO et al., 1997). Nos dois anos de condução do experimento as precipitações foram desfavoráveis, limitando a produtividade em resposta de densidade de plantas, o que é normal para essa época de cultivo. Vale ressaltar que o híbrido AG9010 YG, específico para época de segunda safra, possui características favoráveis para resposta à alta densidade de plantas, visto que sua recomendação de densidade é uma das mais altas do mercado, estando entre 6 a 6,5 plantas m⁻² (SEMENTES AGROCERES, 2011). As respostas encontradas neste trabalho estão acima da recomendação, visto que os experimentos foram conduzidos em espaçamento reduzido de 0,45 m, favorecendo a resposta à maior densidade devido ao melhor arranjo de plantas na área.

Figura 5 – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função de (a) e (b) densidade de plantas, (c) e (d) doses de N em cobertura, Cambé– PR (2012).



Em relação à resposta ao aumento das doses de N em cobertura, a densidade de 4 plantas m^{-2} , no segundo ano, respondeu linearmente ao incremento das doses de N. No entanto a média de produtividade nesta densidade está muito abaixo em comparação as maiores densidades porque, de acordo com Andrade et al. (1996), o milho não compensa baixas densidades de semeadura, pois possui limitada capacidade de expansão foliar, de prolificidade e de emitir afilhos férteis.

As demais densidades, nos dois anos avaliados, se ajustaram a uma equação quadrática com respostas de incremento de produtividade até o ponto de máxima de 103 a 131 kg de N em cobertura (Figura 5c e 5d). Resultados semelhantes foram obtidos por Soratto et al. (2010), que observaram aumento da produtividade de grãos do milho segunda safra com a aplicação de até 120 kg de N, utilizando espaçamento de 0,8 m entre linhas e 8 plantas m^{-2} . No entanto, Amaral

Filho et al. (2005), também utilizando 8 plantas m^{-2} encontraram respostas lineares até 150 kg de N em cobertura, com espaçamento de 0,6 m.

Na comparação entre os anos, somente nas combinações de 8 plantas m^{-2} com dose de 150 kg e 10 plantas m^{-2} com doses de 50 e 150 kg de N em cobertura, os resultados de produtividade do segundo ano foram superiores ao primeiro ano. Nas demais combinações não houve diferença significativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de produtividade, em função de densidade de plantas e doses de nitrogênio aplicado em cobertura, comparando o ano de 2009 com o de 2010, na cultura do milho, Cambé – PR (2012).

Dose	0		50		100		150	
Ano	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Plantas m^{-2}	Produtividade (kg ha^{-1})							
4	4958a	5560a	6073a	5732a	5828a	5885a	6284a	6031a
6	5832a	5771a	6878a	7083a	6995a	7475a	7202a	7317a
8	5731a	5331a	6882a	7014a	7120a	7638a	6926b	7643a
10	5663a	6046a	6337b	7255a	6955a	7447a	6774b	7649a

Letras iguais na linha, para comparação entre anos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As diferenças observadas entre os anos, principalmente nas maiores populações de plantas, devem-se possivelmente as variações nas condições climáticas. No primeiro ano de condução do experimento, a precipitação total ocorrida foi de 513 mm, considerada normal para a região de cultivo do milho de segunda safra. Contudo, no início do ciclo da cultura, ocorreram baixos volumes pluviométricos sendo que, no mês de abril coincidindo com os estádios de V5 até R1, não ocorreram precipitações, afetando diretamente o potencial produtivo da planta. Porém, no segundo ano do experimento, a precipitação foi de 307 mm, um volume pluvial considerado abaixo do esperado para a cultura, mas, no início do desenvolvimento da planta, ocorreram volumes de precipitação adequados e bem distribuídos (Figura 1).

Quanto à temperatura mínima do primeiro ano, houve redução brusca no primeiro decêndio de junho (fase de enchimento de grãos), ficando abaixo de 8°C, o que provocou ocorrência de geada na região, contudo, sem afetar visivelmente o experimento. Já para o segundo ano, as temperaturas mínimas se mantiveram constantes com a chegada do inverno (junho e julho), sem a ocorrência

de geadas. O cultivo do milho segunda safra é fortemente influenciado pelos fatores climáticos (temperatura, luz e principalmente precipitação), portanto o efeito de anos é significativo e influencia na média de produtividade dos experimentos (PEREIRA et al., 2009).

Apesar das precipitações e temperaturas irregulares nos dois anos do experimento, os resultados de produtividade de grãos foram adequados para a condição de segunda safra.

A interação entre densidade de plantas e doses de N em cobertura demonstrou que a combinação entre estes dois fatores, eleva as respostas de produtividade de grãos. Dessa forma, maiores respostas de produtividade são esperadas quando concomitantemente se elevam as densidades de plantas e doses de N em cobertura até um ponto considerado como máxima resposta.

No experimento a máxima produtividade foi de 7771 kg ha⁻¹ com a combinação de 8 plantas m⁻² e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura em espaçamento reduzido de 0,45 m. Considerando que os agricultores da região na segunda safra utilizam espaçamento normal, com densidade de plantas de 5 a 6 plantas m⁻² e adubação de N em cobertura em torno de 50 a 80 kg ha⁻¹, os resultados indicam que é possível aumentar a produtividade do milho de segunda safra melhorando o arranjo de plantas, através do aumento da densidade, com espaçamento entre linhas reduzido, fornecendo uma dose de N adequada às características de resposta do híbrido utilizado.

CONCLUSÕES

O incremento da densidade de plantas aumenta a altura de plantas e a altura de inserção de espiga e diminui a massa seca da folha, o teor de N na folha e nos grãos, para os dois anos de avaliação.

O diâmetro de colmo diminui com o incremento da densidade de plantas com respostas diferentes para os anos.

Doses de nitrogênio em cobertura aumentam o diâmetro de colmo, a altura de planta, a altura de inserção de espiga, a massa seca da folha e o teor de N na folha e nos grãos.

A produtividade é influenciada positivamente pela interação de densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido AG9010 YG é obtida com a combinação de 8 plantas m⁻² e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M.; SANGOI, L. Conceito de ideotipo e o seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.2, p. 325-332, 1998.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, F. H; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. **Ecofisiologia del cultivo de maíz**. Buenos Aires: Dekalb Press, p. 292, 1996.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.
- CECCON, G.; XIMENES, A. C. A. **Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/SisSafrinha/index.htm>. Acesso em: 08 nov. 2010.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho. **Arquivo do agrônomo**, n. 2, Piracicaba: POTAFOS, 1995. 24p.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, 9º levantamento, ago. 2011, Brasília: Conab, 2011.
- DA ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.5, p. 799-804, 2003.
- DUARTE, A. P.; ALLIPRANDINI, L. F.; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R. A. D.; YUKI, V. A.; FANTIN, G. M.; DUDIENAS, C.; ITO, M. F. Avaliação de cultivares e densidade populacional em milho “segunda safra” no Vale do Paranapanema. In: Seminário sobre a cultura do milho “segunda safra”. n.2, p.49-58, 1994, Assis, SP. **Resumos...** Campinas: AC/CDV, 1994.
- EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 20 jul. 2011.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Introdução In: **Produção de milho**. Rio Grande do Sul: Agropecuária, 2000. p. 21.
- GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004.
- GOMES, J. Estudo de risco para o milho na "safrinha". In: Seminário sobre a cultura do milho "safrinha", n. 3, 1995, Assis. **Resumos...** Campinas: IAC/CDV, 1995. p. 147-52.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas**. Disponível em: <http://200.201.27.14/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm> Acesso em: 5 jul. 11.

MALAVOLTA, E.; BASSO, L. C.; OLIVEIRA, G. D. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade 'Piranão' em condições controladas. **Anais....** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v.33, p. 479-499, 1976.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

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

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

MARCHÃO R. L.; BRASIL E. M.; XIMENES P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p. 170-181, 2006.

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

PEIXOTO, C. M.; SILVA, P. R. F.; REZER, F. CARMONA, R. C. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, n.1, p. 63-71, 1997.

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

PEREIRA FILHO, I. A; CRUZ, J. C; ALVARENGA, R. C; GONTIJO NETO, M. M; VIANA, J. H. M; OLIVEIRA, M. F; MATRANGOLO, W. J. R. Cultivo do milho. In: _____. **Sistemas de produção**. EMBRAPA milho e sorgo, n.2, 4 ed. 4, set. 2008. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/manejomilho.htm> Acesso em: 5 jan. 2012.

PEREIRA FILHO, I. A. CRUZ, J. C. **Plantio, espaçamento, densidade, quantidade de sementes**. Barraca Missões, 29 set. 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35671/1/Plantio-espacamento.pdf>> Acesso em: 5 jan. 2012.

PEREIRA, J. L. A. R.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, A. M. A. R.; LIMA, T. G. Cultivares, doses de fertilizantes e densidades de semeadura no cultivo de milho safrinha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.3, p. 676-683, 2009.

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

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Iowa State University. Special report, n. 48, 1993. Disponível em: <www.maize.agron.iastate.edu/corngrow_s.html> Acesso em: 3 ago. 2011.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2000.

SANGOI, L. SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; HORN, D. Bases morfo-fisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, n. 4, 2003, Lages, SC. **Resumos Expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003. p. 19-24.

SANGOI, L; SILVA, P. R. F; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010. 64p.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SEMENTES AGROCERES. **AG 9010 YG**. Disponível em: <http://www.sementesagrocres.com.br/milho_segunda_safra>. Acesso em: 27 jul. 11.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 452-455, jul./set. 2003.

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, out./dez., p. 511-518, 2010.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Arned, 2004. 710p.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Primeira Safra

As características fitométricas e a produtividade de grãos na cultura do milho em resposta a densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura são influenciadas pelo ano de cultivo.

O diâmetro de colmo das plantas de milho aumenta com o incremento de doses de N em cobertura, com respostas diferenciadas em função do ano de avaliação e, diminui pelo incremento de densidade de plantas em todas as doses de N em cobertura.

A altura de plantas e produtividade de grãos nos dois anos e, a inserção de espiga em 2009/2010, aumentaram com o incremento da densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido DKB240YG é obtida com a combinação de 10,5 plantas m⁻² e 185 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Segunda Safra

O incremento da densidade de plantas aumenta a altura de plantas e a altura de inserção de espiga e diminui a massa seca da folha, o teor de N na folha e nos grãos, para os dois anos de avaliação.

O diâmetro de colmo diminui com o incremento da densidade de plantas com respostas diferentes para os anos.

Doses de nitrogênio em cobertura aumentam o diâmetro de colmo, a altura de planta e altura de inserção de espiga, a massa seca da folha e o teor de N na folha e nos grãos.

A produtividade é influenciada positivamente pela interação de densidade de plantas e doses de N em cobertura. A maior produtividade de grãos do híbrido AG9010 YG é obtida com a combinação de 8 plantas m⁻² e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura.