

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DENSIDADES E ARRANJOS POPULACIONAIS DE MILHO E
COMPONENTES AGRONÔMICOS**

ELIZEU LUIZ BRACHTVOGEL

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Agricultura.

BOTUCATU – SP

Junho – 2008

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DENSIDADES E ARRANJOS POPULACIONAIS DE MILHO E
COMPONENTES AGRONÔMICOS**

ELIZEU LUIZ BRACHTVOGEL

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. SILVIO JOSÉ BICUDO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Agricultura.

BOTUCATU – SP

Junho – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B796d Brachtvogel, Elizeu Luiz, 1984-
Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agronômicos / Elizeu Luiz Brachtvogel. - Botucatu : [s.n.], 2008.
viii, 96 f. : il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008

Orientador: Silvio José Bicudo

Inclui bibliografia.

1. Milho - Espaçamento. 2. Milho - Cultura. 3. Milho - Plantio. 4. Produtividade agrícola. 5. Fitotecnia. I. Bicudo, Silvio José. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “DENSIDADES E ARRANJOS POPULACIONAIS DE MILHO E
COMPONENTES AGRONÔMICOS.”**

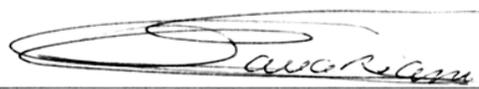
ALUNO: ELIZEU LUIZ BRACHTVOGEL

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO JOSÉ BICUDO

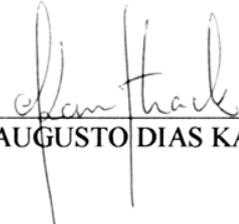
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SILVIO JOSÉ BÍCUDO



PROF. DR. CLAUDIO CAVARIANI



DR. RICARDO AUGUSTO DIAS KANTHACK

Data da Realização: 20 de junho de 2008.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida.

Aos meus pais, Irineu e Margarida, pelo exemplo, amor e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, e em mais essa etapa. Sou eternamente grato a vocês!

À FCA/UNESP, pela oportunidade do curso de pós-graduação.

Ao CNPQ, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Silvio J. Bicudo, pela orientação, incentivo, confiança e amizade.

Aos professores da FCA, pelo aprendizado.

Aos funcionários da FCA, pela colaboração na execução do trabalho.

Aos amigos Simério e Francisco Rafael, pela grande ajuda na execução do trabalho.

A todos que contribuíram de uma forma ou de outra, muito obrigado!

SUMÁRIO

1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	8
4.1 Aspectos gerais da distribuição espacial e área ocupada pela planta.....	8
4.2 População de plantas	12
4.3 Distribuição espacial de plantas	22
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1 – Descrição do local do experimento	30
5.2 – Tratamentos e delineamento experimental.....	31
5.3 – Preparo da área.....	32
5.4 – Tratos culturais.....	32
5.5 – Caracterização do clima e dados climatológicos.....	33
5.6 – Avaliações	33
5.6.1 - Diagnose foliar	33
5.6.2 - Altura das plantas	34
5.6.3 - Altura de inserção de espiga.....	34
5.6.4 - Relação entre altura da espiga e altura da planta.....	34
5.6.5 - Diâmetro do colmo	34
5.6.6 - Índice de área foliar (IAF).....	34
5.6.7 - Índices de persistência e de senescência foliares.....	35
5.6.8 - Massa de matéria seca por planta e por área	35
5.6.9 - Porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas.....	35
5.6.10 - Comprimento de espiga	35
5.6.11 - Número de fileiras de grãos por espiga	36
5.6.12 - Diâmetro da espiga	36
5.6.13 - Diâmetro do sabugo.....	36
5.6.14 - Comprimento do grão.....	36
5.6.15 - Massa de mil grãos	36
5.6.16 - Massa de grãos por espiga.....	36
5.6.17 - Número de grãos por espiga.....	37
5.6.18 - Número de espigas por hectare.....	37
5.6.19 - Número de grãos por hectare.....	37
5.6.20 - População final	37
5.6.21 - Índice de espiga	37
5.6.22 - Índice de colheita.....	37
5.6.23 - Índice de remobilização.....	38
5.6.24 - Produtividade.....	38
5.7 – Análise dos dados.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 – Diagnose foliar	39
6.2 – Características morfológicas	41
6.2.1 - Altura de plantas.....	43
6.2.2 - Altura de inserção de espiga.....	45
6.2.3 - Relação entre altura de inserção de espiga e altura de planta.....	46

6.2.4 - Diâmetro de colmo	47
6.2.5 - Índice de área foliar, taxa de persistência e senescência foliar	49
6.2.6 - Massa de matéria seca por planta e por área	53
6.2.7 - Índice de Remobilização	56
6.2.8 - Índice de Colheita.....	57
6.3 – Características de espiga e componentes de produção.....	57
6.3.1 - Comprimento de espiga.....	59
6.3.2 - Diâmetro de espiga	60
6.3.3 - Diâmetro do sabugo.....	61
6.3.4 - Comprimento do grão.....	62
6.3.5 - Número de fileiras de grãos.....	63
6.3.6 - Massa de grãos por espiga.....	64
6.3.7 - Número de grãos por espiga	64
6.3.8 - População final	65
6.3.9 - Porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas.....	66
6.3.10 - Número de espigas por hectare.....	67
6.3.11 - Índice de espiga	69
6.3.12 - Número de grãos por hectare.....	70
6.3.13 - Massa de mil grãos	70
6.3.14 - Produtividade.....	72
6.4 – Relações fonte dreno com a produtividade	73
6.4.1 - Comportamento dos elementos de fonte para as diferentes populações	73
6.4.2 - Comportamento dos elementos de dreno para as diferentes populações.....	75
6.4.3 - Correlações entre elementos de fonte, dreno e produtividade.....	76
6.5 – Considerações finais.....	78
7 CONCLUSÕES	79
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção por unidade de planta (g planta^{-1}) e por unidade de área (kg ha^{-1}) em função da população de plantas (plantas ha^{-1}) (DOURADO NETO et al., 2001).....	15
Figura 2 – Os três prismas que permitem ser colocados lado a lado sem deixar interstício: (A) seção triangular, (B) seção retangular, (C) seção hexagonal segundo Dourado Neto et al. (2001). Representação gráfica sugerida por Palhares (2003).....	24
Figura 3 – Dados climatológicos do período de outubro de 2007 a abril de 2008. Botucatu (SP), 2008.....	33
Figura 4 – Médias da altura de planta em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	44
Figura 5 – Médias da altura de inserção de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	45
Figura 6 – Médias da relação altura de inserção de espiga / altura de planta em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	47
Figura 7 – Médias de diâmetro do colmo em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	48
Figura 8 – Médias do índice de área foliar no florescimento em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	50
Figura 9 – Médias do índice de área foliar na maturidade fisiológica em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	50
Figura 10 – Médias do índice de persistência foliar em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	52
Figura 11 – Médias da taxa de senescência foliar em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	52
Figura 12 – Médias da produção de massa de matéria seca por planta no florescimento em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	54
Figura 13 – Médias da produção de massa de matéria seca por planta na maturidade fisiológica em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	54
Figura 14 – Médias da produção de massa de matéria seca por área no florescimento, em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	55
Figura 15 – Médias da produção de massa de matéria seca por área na maturidade fisiológica, em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	55
Figura 16 – Médias do comprimento de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	60

Figura 17 – Médias do diâmetro de espiga para populações de milho híbrido DOW 2B587, nos arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	61
Figura 18 – Médias do diâmetro do sabugo para populações de milho híbrido DOW 2B587, nos arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	61
Figura 19 – Médias de comprimento do grão em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	62
Figura 20 – Médias do número de fileiras de grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	63
Figura 21 – Médias de massa de grãos por espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	64
Figura 22 – Médias do número de grãos por espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	65
Figura 23 – Médias do número de indivíduos na maturidade fisiológica em relação à população inicial pretendida por ocasião da semeadura, em milho híbrido DOW 2B587 sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	66
Figura 24 – Médias da porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP). Dados transformados por $(x + 1)^{1/2}$	67
Figura 25 – Médias do número de espigas por hectare em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	68
Figura 26 – Médias do índice de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	69
Figura 27 – Médias do número de grãos por hectare em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	70
Figura 28 – Médias da massa de mil grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	71
Figura 29 – Médias de produtividade de grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).....	72
Figura 30 – Comportamento das médias dos índices de senescência [(IAFf-IAFm)/IAFf], e persistência foliar (IAFm/IAFf) (elementos de fonte) em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	74
Figura 31 – Comportamento das médias do número de grãos por hectare e massa de mil grãos (elementos de dreno) em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise química de solo da área utilizada no experimento	30
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, com as populações e respectivas áreas destinadas a cada planta, nas formas de arranjo espacial de plantas empregadas, especificando o espaçamento na linha e entrelinha correspondente. Botucatu (SP), 2008.	31
Tabela 3 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão e médias de populações, e formas de arranjo, para os teores de macronutrientes (g kg^{-1}) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	40
Tabela 4 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão e médias de populações e formas de arranjo, para os teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	41
Tabela 5 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para os caracteres morfológicos altura de planta (A) (cm), altura de inserção de espiga (AIE) (cm), relação altura de inserção de espiga/altura de planta (AIE/A), diâmetro do colmo (DC) (mm), índice de área foliar no florescimento (IAFf) e na maturidade fisiológica (IAFm), e taxa de persistência foliar (IAFm/IAFf) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	42
Tabela 6 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para os caracteres morfológicos taxa de senescência foliar [IAF(f-m)/IAFf], massa de matéria seca por planta (g), no florescimento [MS/PL(f)] e maturidade fisiológica [MS/PL(m)], massa de matéria seca por área (kg ha^{-1}) no florescimento (MST f) e na maturidade fisiológica (MST m), índice de remobilização e índice de colheita em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	43
Tabela 7 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações com seus respectivos coeficientes, e médias de formas de arranjo, para os caracteres comprimento de espiga (CE) (cm), diâmetro de espiga (DE) (mm), diâmetro do sabugo (DS) (mm), comprimento do grão (CG) (mm), número de fileiras de grãos (NF) massa de grãos por espiga (MGE), e número de grãos por espiga (NGE) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	58
Tabela 8 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para população (PF), porcentagem de plantas acamadas (% PA), número de grãos por hectare (NGH) (em milhares), número de espigas por hectare (NEH), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (1000 G) (g), e produtividade (P) (kg ha^{-1}) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	59
Tabela 9 – Matriz de correlação entre os caracteres de fonte taxa de persistência foliar (IAFm/IAFf) e taxa de senescência foliar (IAFf-m / IAFf), de dreno número de grãos por hectare (NGH) e massa de mil grãos (1000G) e produtividade em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).	77

1 RESUMO

A otimização da exploração dos recursos do ambiente é necessária para a maximização do rendimento do milho. Dentre os fatores que interferem na resposta ao ambiente está o arranjo de plantas, compreendido pelo arranjo espacial e área ocupada pela planta de milho, interagindo diretamente sobre a competição intraespecífica por fatores do meio. Desta forma, a hipótese desse trabalho é de que o arranjo espacial equidistante entre plantas de milho diminua os efeitos da competição intraespecífica principalmente em altas densidades, com conseqüente aumento da produtividade. Portanto, o objetivo deste trabalho é comparar as formas de distribuição espacial de plantas equidistante e o espaçamento de 0,80 metro na entrelinha, preconizado como o convencionalmente utilizado, em populações de 30000, 45000, 60000, 75000, 90000, 105000 plantas ha⁻¹. O ensaio foi conduzido em área de Nitossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa situada na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/Campus de Botucatu, na safra 2007/2008. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 X 6 (quatro repetições), em parcelas de 4,5 x 10 metros. Foram avaliados altura das plantas,

altura de inserção de espiga, relação entre altura da espiga e altura da planta e diâmetro do colmo em pleno florescimento; índice de área foliar no florescimento e na maturidade fisiológica, índice de persistência e senescência foliar, produção de massa de matéria seca por planta e por área no florescimento e na maturidade fisiológica, índice de remobilização, índice de colheita, comprimento de espiga, diâmetros de espiga e do sabugo, comprimento do grão, número de fileiras, massa de mil grãos, massa de grãos por espiga, índice de espiga, estimativa do número de espigas e grãos por hectare, população de plantas sobreviventes ao final do ciclo, porcentagem de plantas acamadas e quebradas, rendimento de grãos por área, bem como correlações entre elementos de fonte e dreno com a produtividade. Todos os parâmetros avaliados foram influenciados pelas populações testadas, com exceção do índice de remobilização e de colheita. Observou-se efeito estatisticamente significativo dos arranjos espaciais no diâmetro de colmo, relação altura de espiga/altura de planta, porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas e o diâmetro da espiga e do sabugo, sendo que nos últimos dois houve interação com as populações de plantas testadas. Dos componentes de fonte e de dreno, apenas o número de grãos por área correlacionou-se diretamente com produtividade. A análise de correlação e o comportamento de características de fonte, dreno e produtividade sugerem que quando se trabalha com densidades de plantas abaixo da que maximiza o rendimento de grãos por área, as plantas são dreno limitadas, e acima, fonte limitadas.

Palavras-chave: espaçamento equidistante, densidade de plantas, rendimento de grão.

MAIZE ARRANGEMENTS AND PLANT DENSITIES AND AGRONOMIC COMPONENTS. Botucatu, 2008. 96 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ELIZEU LUIZ BRACHTVOGEL

Adviser: SILVIO JOSÉ BICUDO

2 SUMMARY

The maximization of environmental resources exploration is necessary to maximize maize grain yield. Among the factors that interfere in response to the environment is the plant arrangement, understood by spatial arrangement and occupied area by the maize plant, interacting on the intraspecific competition by factors of the environment. Thus, the hypothesis of this work is that the equidistant plant spacing between maize plants can reduce the effects of intraspecific competition mainly at high densities, aiming improvement of maize grain yield. The objective of this essay was to compare the equidistant plant spacing and 0.80 m row width, in populations of 30000, 45000, 60000, 75000, 90000, 105000 plants ha⁻¹. The essay was located in a clay red alfisol area, in the Experimental Lageado Farm of the Agronomic Science College, UNESP-Botucatu-SP, in 2007/2008 growing season. The experimental design was a randomized block in four replications, in 4.5 x 10 m plots. It was evaluated plant and ear height, the relationship between ear and plant height and stem diameter at the flowering; leaf area index at the flowering and physiological maturity, leaf persistence and leaf senescence index, dry matter production per plant and per area at physiological maturity, steam remobilization index, harvest index, ear length, ear and cob diameter, grain length, number of grain rows, a thousand grains weight, grain weight per ear, ear index, ear and grain number per hectare, final plant population, percentage of stalk lodged plants, grain yield, as well the correlations between source and sink characteristics with yield. All parameters evaluated were affected by plant densities, except the mobilization and harvesting index. The spatial arrangements affected the relationship between ear and plant

height, percentage of stalk lodged plants, stem, ear and cob diameter, with the last two interacting with plant density. Among components of source and sink, only grain number per area was directly correlated to yield, indicating that until a optimum plant population density, the maize is sink limited, and above, source limited.

Keywords: equidistant plant spacing, plant density, grain yield.

3 INTRODUÇÃO

A produtividade de uma cultura depende, além dos fatores genéticos, das condições de solo e de clima, particularmente da radiação solar. Para obtenção de altos rendimentos de grãos, deve-se maximizar a interceptação da radiação solar. A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel exerce grande influência sobre o rendimento de grãos da cultura do milho quando os outros fatores ambientais são favoráveis. Uma das formas de se aumentar a interceptação de radiação e, conseqüentemente, o rendimento de grãos é através da escolha adequada do arranjo de plantas. A associação entre evolução do arranjo de plantas e aumento da produtividade de grãos de milho tem sido reportada na literatura.

O arranjo de plantas pode ser manipulado através de alterações na densidade de plantas, no espaçamento entre linhas, sendo que as variações na distância entre plantas na linha e nas entre linhas conferem os diferentes arranjos na lavoura. Teoricamente, o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. Idealmente, plantas espaçadas equidistantemente competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores de crescimento. A introdução de híbridos, o incremento na utilização de fertilizantes, novos herbicidas para

controle de plantas daninhas, entre outros fatores, estimulam o incremento das densidades de plantio.

Espaçamentos equidistantes entre plantas de milho possibilitam maior eficiência no uso da água, com menores perdas por evaporação pela melhor cobertura do solo, e melhor aproveitamento dos nutrientes devido ao maior volume de solo explorado pelas raízes; bem como maior interceptação da luz disponível, quando comparados aos espaçamentos entre plantas de milho convencionalmente utilizados. Porém, para sua utilização prover um maior potencial produtivo, deve-se levar em consideração as interações entre fatores ambientais e de manejo. Na literatura disponível verifica-se que a utilização de espaçamentos entrelinhas de 0,75 a 0,5 m aumentam a população ótima por área, especialmente quando híbridos simples, precoces, com alto potencial produtivo são cultivados em solos de alta fertilidade e sob irrigação. Isso se deve ao fato de os híbridos mais precoces geralmente apresentarem menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e melhor penetração de luz dentro do dossel da cultura.

Neste contexto, fica claro que as distâncias das plantas na linha em lavouras com espaçamentos nas entrelinhas mais largos podem tornar-se um fator limitante, inibindo a plena expressão do potencial produtivo dos cultivares ditos de arquitetura moderna. Estes cultivares começaram a ser disponibilizados no mercado a partir da década de 1970, quando os melhoristas passaram a se preocupar com plantas de arquitetura diferente, baseados na hipótese de que plantas com porte mais baixo e folhas mais eretas permitiriam um plantio mais denso, com maior capacidade fotossintética e assim maior rendimento (SANGOI, 2000).

Assim, estes híbridos requerem, normalmente, maior densidade de plantas para a maximização do rendimento de grãos por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar. Isso comprova que as alterações no arranjo de plantas em milho surgiram frente a uma necessidade imposta pelas modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica incorporadas pelos programas de melhoramento nas últimas décadas.

Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma prática de manejo importante para otimizar o rendimento de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação de radiação solar, que é um dos principais fatores determinantes da produtividade.

Tendo em vista os aspectos mencionados acima, este trabalho foi realizado tendo como hipótese de que o arranjo espacial equidistante entre plantas de milho diminua os efeitos da competição intraespecífica principalmente em altas densidades, com conseqüente aumento da produtividade. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar as formas de distribuição espacial de plantas equidistante e o espaçamento de 0,80 metro na entrelinha, preconizado como o convencionalmente utilizado, em populações de 30000, 45000, 60000, 75000, 90000, 105000 plantas ha⁻¹.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aspectos gerais da distribuição espacial e área ocupada pela planta

O milho ocupa atualmente, dentre as culturas produtoras de grãos, a segunda maior área cultivada do país, estando presente em todo território nacional, cultivado em 3,6 milhões de propriedades agrícolas e em todos os estados da federação, com grande diversidade nas condições de cultivo, havendo desde a agricultura tipicamente de subsistência até lavouras que utilizam o mais alto nível tecnológico, alcançando altas produtividades (EMBRAPA, 2007). Destaca-se como um dos produtos agrícolas de maior volume produzidos no Brasil, respondendo pelo segundo maior valor de produção (SOUZA; BRAGA, 2004), sendo superado apenas pela soja, também, em volume de produção e área cultivada, sendo que na safra 2006/2007 foram cultivados cerca de 14054,9 mil hectares, com produção estimada em torno de 51369,7 mil toneladas e produtividade média em torno de 3650 kg ha⁻¹ (CONAB, 2008).

Mesmo sendo o terceiro país em volume de produção, o Brasil não se destaca quanto à produtividade. Na safra 2006/07, a cultura do milho no Brasil teve uma

produtividade média em torno de 3650 kg ha⁻¹ (CONAB, 2008), no entanto quando analisa-se a produtividade de algumas regiões, como por exemplo a do Paraná, que obteve uma produtividade média de 5.220 kg ha⁻¹ na mesma safra (SEAB, 2008), verifica-se então que é possível obter altas produtividades no Brasil, mas que depende do nível tecnológico adotado. Carvalho (2007) cita que algumas lavouras brasileiras chegam a ultrapassar a produtividade média obtida pelos Estados Unidos na safra 2005, de 9.947 kg ha⁻¹.

A produtividade de uma cultura depende, além dos fatores genéticos, das condições de solo e de clima, particularmente da radiação solar (ARGENTA et al., 2001a). Para obtenção de altos rendimentos de grãos, Melges et al. (1989) sugere que se deva maximizar a interceptação da radiação solar. Assim, pode-se afirmar que a produção da planta é dependente da fotossíntese (ARGENTA et al., 2001a).

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel exerce grande influência sobre o rendimento de grãos da cultura do milho quando outros fatores ambientais são favoráveis (OTTMAN; WELCH, 1989). Uma das formas de se aumentar a interceptação de radiação e, conseqüentemente, o rendimento de grãos, é através da escolha adequada do arranjo de plantas. A associação entre evolução do arranjo de plantas e aumento da produtividade de grãos de milho tem sido reportada na literatura (CARDWELL, 1982; SANGOI, 2000).

Comparativamente a culturas como arroz, trigo e soja, o milho apresenta crescimento com baixa plasticidade. Isso decorre, principalmente, da ausência de perfilhamento e ramificações laterais na planta de milho. Assim, as plantas de milho apresentam pequena adaptação morfológica frente às mudanças na população e arranjo espacial das plantas (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2004). Portanto, a escolha adequada do arranjo de plantas pode favorecer a interceptação da radiação solar recebida pela cultura (ARGENTA et al., 2001b; OTTMAN; WELCH, 1989; LOOMIS; AMTHOR, 1999) que está intimamente relacionada à produtividade de grãos, desde que outros fatores como água e nutrientes estejam disponíveis sem limitações (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; OTTMAN; WELCH, 1989; MUCHOW et al., 1990).

O arranjo de plantas pode ser manipulado através de alterações na densidade de plantas, no espaçamento entre linhas, na distribuição de plantas na linha, sendo

que as variações na distância entre plantas na linha e nas entre linhas conferem os diferentes arranjos na lavoura (ARGENTA et al., 2001a).

Teoricamente, o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. Idealmente, plantas espaçadas equidistantemente competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores de crescimento (LAUER, 1994). A introdução de híbridos, o incremento na utilização de fertilizantes, novos herbicidas para controle de plantas daninhas, entre outros fatores, estimulam o incremento das densidades de semeadura (RUSSELL, 1991).

Pela melhor cobertura do solo, espaçamentos equidistantes entre plantas de milho possibilitam maior eficiência no uso da água, por apresentar menores perdas por evaporação, e nutrientes devido ao maior volume de solo explorado pelas raízes; bem como maior interceptação da luz disponível (LAUER, 1994; BULLOCK et al., 1988), quando comparados aos espaçamentos convencionalmente utilizados. De acordo com Bullock et al. (1988) e Flénet et al. (1996), modelos de distribuição mais favoráveis em virtude do uso de espaçamentos reduzidos aumentam a taxa de crescimento inicial da cultura, levando assim, a uma melhor interceptação da radiação solar e uma maior eficiência no uso dessa radiação, resultando em maiores produtividades de grãos devido ao aumento da produção fotossintética líquida.

Outro efeito positivo da redução do espaçamento entre fileiras de milho relaciona-se à qualidade de luz recebida pelas plantas. Com a disposição mais uniforme entre plantas em menores espaçamentos, ocorre maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na faixa do vermelho extremo (VE). Essa característica é especialmente importante para o milho em populações elevadas, pois nesses casos as plantas recebem mais VE refletida, aumentando a relação VE/V. O aumento da relação VE/V determina modificações no desenvolvimento das plantas como maior alongação do colmo, folhas finas e compridas e elevada perda de raízes (KASPERBAUER; KARLEN, 1994).

Neste contexto, fica claro que as distâncias das plantas na linha em lavouras com espaçamentos nas entrelinhas mais largos podem tornar-se um fator limitante, inibindo a plena expressão do potencial produtivo dos cultivares ditos de arquitetura moderna. Estes cultivares começaram a ser disponibilizados no mercado a partir da década de 1970, quando os melhoristas passaram a se preocupar com plantas de arquitetura diferente, baseados

na hipótese de que plantas com porte mais baixo e folhas mais eretas permitiriam um plantio mais denso, com maior capacidade fotossintética e assim maior rendimento (SANGOI, 2000).

Porém, para sua utilização prover um maior potencial produtivo, deve-se levar em consideração as interações entre fatores ambientais e de manejo. Sangoi e Salvador (1998) apontam que a utilização de espaçamentos entrelinhas de 0,75 a 0,5 m permitem aumentar a população ótima por área, especialmente quando híbridos simples, precoces, com alto potencial produtivo são cultivados em solos de alta fertilidade e sob irrigação. Isso se deve ao fato de os híbridos mais precoces geralmente apresentam menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e menor sombreamento do dossel da cultura (MUNDSTOCK, 1977).

Duvick e Cassman (1999) atribuíram o grande avanço em produtividade nas lavouras dos EUA à utilização de híbridos modernos que, segundo os autores, permitiram maior uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas, avanços no manejo da cultura e principalmente aumento da população de plantas, alavancaram a produtividade.

Assim, estes híbridos normalmente requerem maior densidade de plantas para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar (SANGOI, 2000). Isso comprova que as alterações no arranjo de plantas em milho surgiram frente a uma necessidade imposta pelas modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica incorporadas pelos programas de melhoramento nas últimas décadas, (TOLLENAAR, et al., 1997; TOLLENAAR; WU, 1999).

Contudo, sob altas densidades populacionais, a competição intraespecífica pelos recursos do meio na cultura do milho é muito forte e as alterações morfofisiológicas promovidas na espécie nos últimos anos, como redução do porte, diminuição do ângulo de inserção das folhas, redução do ciclo de vida e aumento da velocidade de perda de água pelas espigas na senescência da planta, sugerem a revisão de procedimentos para o estabelecimento e condução da cultura. O espaçamento, a densidade de plantas e, até mesmo, aspectos ligados à nutrição ou à fertilização do solo, devem ser revistos, visando dar condições para otimização do rendimento (CANDIDO, 2005).

Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importante para otimizar o rendimento de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação de radiação solar (ARGENTA et al, 2001a; OTTMAN; WELCH, 1989; LOOMIS; AMTHOR, 1999), que é um dos principais fatores determinantes da produtividade (LOOMIS; AMTHOR, 1999), e está intimamente relacionada à produtividade de grãos, desde que outros fatores como água e nutrientes estejam disponíveis sem limitações (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; OTTMAN; WELCH, 1989; MUCHOW et al., 1990).

4.2 População de plantas

Entre as formas existentes de manejo do arranjo espacial, a densidade de plantas é a que tem maior interferência na produção de milho, já que pequenas alterações na população implicam em modificações relativamente grandes no rendimento de grãos. Esta resposta está associada ao fato de que a espécie *Zea mays* (L.) não possui um mecanismo de compensação de espaços tão eficiente quanto de outras espécies da família Poaceae, pois raramente perfilha efetivamente, bem como sua capacidade de expansão foliar e prolificidade são limitadas (ANDRADE et al. 1999).

Segundo Fornasieri Filho (1992), a partir de 1970, os melhoristas passaram a se preocupar com estudos sobre a arquitetura da planta, baseadas na premissa de que as plantas de menor porte, com folhas eretófilas permitiriam uma maior densidade populacional, possibilitando maior capacidade fotossintética por área e maior produtividade. 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).

Segundo Almeida et al. (1998), ideotipo de cultivar moderno 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. Em geral, as folhas acima da espiga são responsáveis por 50-80% da matéria seca acumulada nos grãos. Genericamente, os cultivares de ciclo mais curto exigem maior densidade de semeadura em relação a cultivares de ciclo mais longo para expressarem seu máximo

rendimento. A razão desta diferença é que cultivares de ciclo mais curto geralmente apresentam plantas de menores alturas e com menor massa. Estas características morfológicas determinam menor sombreamento dentro da cultura, possibilitando com isto um menor espaçamento entre plantas, para melhor aproveitamento de luz. Mesmo entre os grupos de cultivares superprecoce, precoce ou de ciclo normal, há diferença quanto à densidade ótima de plantio (ALMEIDA et al., 2000; SANGOI et al., 2003; SANGOI et al., 2002d).

Quanto às disponibilidades hídrica e de nutrientes, a relação com a densidade de semeadura é direta. Quanto maior a disponibilidade destes fatores maior poderá ser a densidade recomendada. Por outro lado, em situações como no milho safrinha, em que a disponibilidade hídrica é menor e os problemas com acamamento e quebramento são maiores, a densidade de semeadura deve ser menor do que na época normal (DUARTE; CRUZ, 2001). Essa é uma afirmativa com base em cultivares existentes, o que não impede que o melhoramento do milho para safrinha encontre cultivares adaptadas ao adensamento populacional.

O aumento da densidade populacional procura saturar o campo com plantas em disposição que intercepte o máximo de radiação solar, fixando sua energia quimicamente pela fotossíntese e promovendo maior translocação de fotoassimilados para os grãos. Porém o número ideal de plantas por hectare é variável, uma vez que a planta de milho altera o rendimento de grãos de acordo com o grau de competição intra-específica proporcionado pelas diferentes densidades de plantas (SILVA et al., 1999).

O aumento da população de plantas pode contribuir para a correta exploração do ambiente e do genótipo, com conseqüências no aumento do rendimento de grãos do milho. A população ótima para um determinado híbrido ou variedade seria aquela onde, com um menor número de plantas por área, obtém-se a maior produtividade. Para cada cultivar, região, época de semeadura e fertilidade do solo, tem-se a população ótima, portanto, todos esses fatores devem ser trabalhados em conjunto (NOVAIS, 1970).

Pereira (1991) cita que a população ótima depende do cultivar, da fertilidade de solo, disponibilidade hídrica e época de semeadura. Assim, a produtividade tende a aumentar com a elevação da população, até atingir um certo número de plantas por área, que é considerada a população ótima. Após esse ponto, a produtividade decresce com o aumento do número de plantas por área. Em populações menores, ocorre uma certa

compensação através do aumento no número de espigas devido a prolificidade do material, e/ou variação no tamanho da espiga, o que pode minimizar a diferença da produtividade.

Para Viana et al. (1983), a população ótima é aquela onde o número de plantas é capaz de explorar de maneira mais eficiente e completa uma determinada área do solo.

O incremento na densidade de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar. Contudo, ele também pode reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência de conversão dos fotoassimilados à produção de grãos, favorecendo a esterilidade feminina, aumentando o intervalo entre os florescimentos masculino e feminino e reduzindo o número de grãos por espiga (SANGOI et al. 2003).

Assim, o rendimento de grãos por unidade de área aumenta com a elevação na densidade de plantas até que o incremento no rendimento devido ao aumento de plantas seja inferior ao declínio do rendimento médio por planta, sendo que a densidade ótima é determinada pela cultivar, ambiente e pelo manejo (SANGOI, 2000; SANGOI et al., 2003).

O rendimento de uma lavoura se eleva com o aumento da densidade de plantas até atingir uma densidade ótima, que é determinada pela cultivar e por condições externas, resultantes das condições edafoclimáticas do local e do manejo da lavoura. A partir da densidade ótima, quando o rendimento é máximo, o aumento da densidade resultará em decréscimo progressivo no rendimento da lavoura. A densidade ótima é portanto, variável para cada situação, e pode ser definida como o número de plantas capaz de explorar de maneira mais eficiente os recursos ambientais de uma determinada área, para se obter o maior rendimento possível (ENDRES; TEIXEIRA, 1997).

Em baixas densidades, a produção individual por planta é máxima, mas o rendimento por área é pequeno. A espiga é grande e o colmo é forte, o que dificulta a colheita mecanizada. Aumentando-se a densidade, a produção individual tende a declinar, mas o rendimento por área aumenta, até alcançar um máximo, quando ambos, produção individual e produção por área declinam (FORNASIERI FILHO, 1992).

Para Sangoi et al. (2001b), a população ideal para maximizar a produtividade de grãos de milho varia de 30000 a 90000 plantas ha⁻¹, dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo do genótipo, época de semeadura e espaçamento entre linhas de semeadura. Quando o número de indivíduos por área é superior à

população ótima, há uma série de conseqüências negativas para a formação da espiga, que podem levar à esterilidade.

De acordo Dourado Neto et al. (2001), a produção de grãos por unidade de área aumenta linearmente com o aumento da população de plantas (fase A) até um determinado ponto denominado “ponto crítico”, conforme demonstrado na Figura 1. Em populações abaixo desse ponto crítico, a produção de grãos por unidade de planta permanece constante, pois não ocorre competição intra-específica por água, luz e nutrientes. Acima do ponto crítico começa ocorrer competição intra-específica e a produção por planta decresce e a produção por área aumenta de forma quadrática (fase B) até chegar a um outro ponto, que é denominado ponto de máxima produção por área. A população correspondente a esse ponto é a ideal para a combinação genótipo-ambiente. Em populações além desse ponto de máxima, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando dessa forma, queda da produtividade por hectare (fase C).

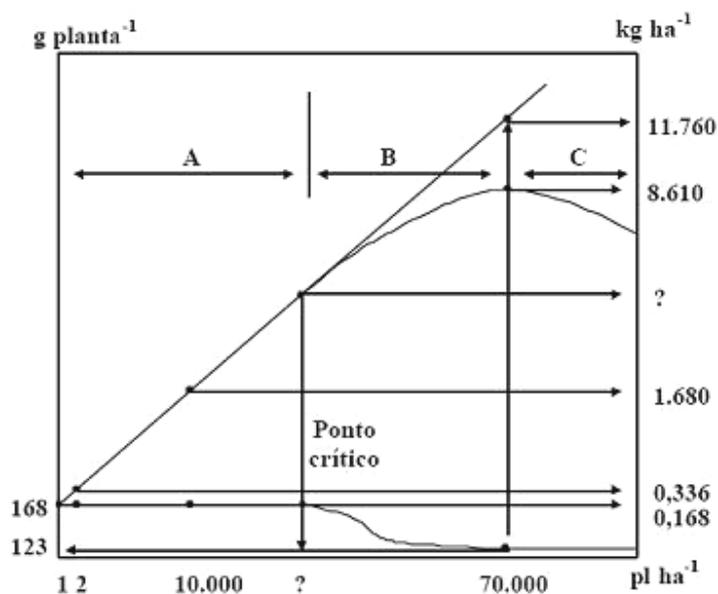


Figura 1 – Produção por unidade de planta (g planta⁻¹) e por unidade de área (kg ha⁻¹) em função da população de plantas (plantas ha⁻¹) (DOURADO NETO et al., 2001).

A melhor densidade de plantas para a obtenção de maiores produtividades de grãos depende 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 (RESENDE et al. 2003).

Sangoi et al. (2002d) relataram que as populações ótimas para maximizar a produtividade de grãos foram 71000, 79000 e 85000 plantas ha^{-1} para os híbridos AG 12, AG 303 e DKB 929, disponibilizadas na década de 70, 80 e 90, respectivamente. O nível máximo de produtividade do híbrido mais antigo e do mais recente foi semelhante, em torno de 9500 kg ha^{-1} . De acordo com Tollenaar e Aguilera (1992), normalmente os híbridos modernos necessitam maiores populações para maximizar a produtividade, pois possuem ciclo mais curto, porte mais baixo e melhor arquitetura foliar.

Outros estudos têm mostrado respostas quadráticas com aumento da população de plantas com o máximo em torno de 70000 plantas ha^{-1} (NAFZIGER, 1994; THOMISON; JORDAN, 1995; COX, 1996). Entretanto, é importante ressaltar que maiores populações devem ser utilizadas em condições de alta tecnologia, sem restrições de água e nutrientes (KARLEN; CAMP, 1985; PEIXOTO et al., 1997; SILVA et al., 1999; FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Aumentos na tolerância de diversos híbridos contemporâneos ao adensamento, em relação aos genótipos utilizados no passado, têm sido reportados na literatura, em diferentes regiões produtoras de milho (DUVICK; CASSMAN, 1999; SANGOI et al., 2002b). Grande parte deste avanço foi obtido utilizando-se como critério de seleção o rendimento de grãos das futuras cultivares em populações superiores às normalmente recomendadas (ARGENTA et al., 2003).

A melhor exploração do material do potencial produtivo, através do aumento da densidade populacional, pode ser enfatizada pelo lançamento de cultivares de menor porte, folhas menores e eretas. Este tipo de arquitetura de plantas faz com que a cultura tenha potencialmente melhores condições de apresentar um índice de produção satisfatório, mesmo em condições de elevada densidade populacional (ALMEIDA et al., 2000).

A arquitetura de plantas que caracteriza os híbridos superprecoces pode contribuir para aumentar sua eficiência de uso da radiação solar quando semeados em altas densidades. A presença de menor número de folhas, de folhas mais eretas e de menor área foliar reduz o nível de interferência de uma planta sobre a outra, proporcionando benefícios ao rendimento com a utilização de maior número de indivíduos por área

(TOLLENAAR et al., 1997). Isso se deve ao fato de, geralmente, apresentarem menor área foliar por planta e melhor penetração de luz dentro do dossel da cultura (SANGOI, 2000).

Com a evolução dos cultivares de milho para ciclo menor, porte mais baixo, folhas em menor número e mais eretas, o potencial de resposta ao aumento da densidade tem sido maior (DWYER et al., 1995).

Avaliando o comportamento de três cultivares em quatro populações (40000, 60000, 80000, e 100000 plantas ha⁻¹) em área irrigada, França et al. (1990) encontraram interação significativa entre cultivares x populações para produtividade, ou seja, a resposta ao aumento de população de plantas depende do material utilizado.

Ao avaliar a influência da densidade de semeadura e do ciclo do milho na produtividade, Jordanov (1984) observou que a população de plantas ha⁻¹ recomendada para híbridos precoces variou de 60000 a 70000 para híbridos semi-precoces, de 70000 a 90000 e para os tardios e de 40000 a 50000 plantas ha⁻¹.

Segundo Paterniani (1978), a utilização de um menor número de plantas por hectare leva à tendência de produção de espigas maiores e, um índice de espigas mais elevado, sendo que o número e tamanho das espigas tende a diminuir em plantios mais densos.

De acordo com Merotto Júnior et al. (1997), o uso de altas populações de plantas demonstra-se viável para aumentar o rendimento de grãos. Isto são proporcionadas pelo aumento do número espigas por área, que compensou a redução do peso do grão e do número de espigas por planta.

Comparando diferentes populações de quatro híbridos precoces, Reddy et al. (1987) obtiveram maiores produtividades de grãos com 76000 plantas ha⁻¹. Aumentos na população de 59200 a 88800 plantas ha⁻¹ proporcionaram decréscimos no tamanho de espiga, no número de grãos por espiga e no peso de 100 grãos.

Ao avaliar o efeito da densidade de semeadura sobre a produção de sementes, Brasil et al. (1996) concluíram que os componentes de produtividade número de plantas acamadas e quebradas, percentual de refugo na classificação por peneiras aumentaram significativamente com o aumento do estande, mas não influenciaram na altura de planta, altura de inserção da espiga e número de fileiras de grãos.

Experimentos realizados na safrinha em 1993, na região do Médio Vale do Paranapanema, no estado de São Paulo, por Duarte et al. (1994) não indicaram interação entre cultivares e população de plantas e os melhores rendimentos foram obtidos entre 33333 e 50000 plantas ha⁻¹. Praticamente não houve efeito do aumento da densidade de plantas sobre o rendimento de grãos, onde a média de rendimento esteve próxima a 2000 kg/ha em dois experimentos.

Shioga et al. (1999) verificaram, em trabalho desenvolvido no Paraná, que apenas nos locais onde o rendimento médio do milho safrinha foram próximos aos do milho cultivado em época normal, em torno de 6000 kg ha⁻¹, que os rendimentos do milho safrinha continuaram aumentando em populações superiores a 44444 plantas ha⁻¹.

Argenta et al. (2001b), que também encontraram redução nos três componentes da produção com aumento da população de plantas de 50000 plantas ha⁻¹ para 65000 plantas ha⁻¹, comentaram que tais perdas foram compensadas por um maior número de plantas por área, pois a produtividade de grãos não foi afetada.

No Rio Grande do Sul o aumento da densidade de plantas foi vantajoso somente na semeadura de outubro, obtendo-se maiores rendimentos de grãos na densidade de 70000 plantas ha⁻¹ nos experimentos de Silva et al. (1999), instalados nos meses de agosto, outubro e dezembro, nas densidades de 50000, 70000, 90000 e 110000 plantas ha⁻¹. Os autores observaram que os quatro híbridos estudados responderam de forma quadrática ao aumento da densidade de plantas, aumentando o rendimento de grãos com a elevação da densidade de 50000 para 70000 plantas ha⁻¹ e diminuindo nas densidades 90000 e 110000 plantas ha⁻¹.

Em trabalho desenvolvido no estado de São Paulo, Milani et al. (1999) avaliaram 300 progênies de meios irmãos com arquitetura “braquítica” em três densidades de semeadura. Este se mostrou adaptado às condições de adensamento, demonstrado pelo aumento de rendimento com a elevação do número de plantas por área.

Apesar de ocorrerem ganhos de produtividade com o aumento da população de plantas, normalmente os componentes da produção massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta são afetados negativamente (PALHARES, 2003; SILVA et al., 1999; PENARIOL et al., 2003), independente do ciclo do híbrido (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

A população de plantas também afeta outros caracteres da planta de milho. Materiais de pequeno porte podem ser cultivados em maiores densidades em função do baixo índice de quebramento e acamamento do colmo (MUNDSTOCK, 1978). Também outros pesquisadores como Nielsen (1988) e Milani, et al. (1999) constataram que estes índices são muito influenciados pela densidade de semeadura. Milani, et al. (1999), verificaram que o aumento da densidade provocou um considerável crescimento no índice de acamamento.

A prolificidade ou índice de espiga (número médio de espigas por planta) é outro caráter influenciado pela população de plantas. Segundo Arriel (1991) esse é um tema controvertido, pois na menor densidade, devido a uma competição menos intensa, as plantas expressam o caráter com maior intensidade. Contudo, esses materiais em densidades maiores geralmente não mantêm a expressão do caráter (SILVA et al., 1999; ARGENTA et al., 2001b; FLESC; VIEIRA, 2004; PENARIOL et al., 2003) o que é indesejável. Assim alguns autores preferem avaliar a prolificidade em altas densidades, pois os materiais que forem prolíficos nessa condição quase certamente o serão quando submetidos a populações menores.

Flesch e Vieira (2004) relataram que aumentos da população de 50000 plantas ha⁻¹ até 90000 plantas ha⁻¹, proporcionaram redução nos componentes da produção, mas a produtividade de grãos foi compensada por aumentar 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). Por outro lado, em lavouras com baixas populações de plantas, o limite genérico no número e tamanho de espiga pode reduzir a produtividade de grãos suficientes ao potencial do ambiente (STAGGENBORG et al., 1999).

A alta densidade populacional causa diversas alterações fisiológicas e morfológicas no milho, com respostas bem diferentes para cada cultivar. As espigas ficam menores, aumenta o número de plantas sem espiga, dentro de certos limites as plantas tendem a apresentar maior altura e maior uniformidade, os colmos ficam mais finos (PENARIOL et al., 2003; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002c), que juntamente com a maior estatura de plantas, e a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo causada pela alta

densidade (ARGENTA et al., 2001b), contribuem para o aumento do acamamento (FORNASIERI FILHO, 1992).

Cultivares precoces requerem maior densidade de plantas em relação aos de ciclo normal para atingir seu potencial de rendimento (MUNDSTOCK, 1977; SILVA, 1992; TOLLENAAR, 1992). Isso se deve ao fato das cultivares mais precoces geralmente apresentarem menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e menor sombreamento do dossel da cultura (MUNDSTOCK, 1977; SANGOI, 2000). Com o aumento da população de plantas, reduz-se a área foliar das plantas de milho, independente do híbrido utilizado (SANGOI et al, 2002c; PALHARES, 2003), que 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., 2000a). Apesar disso, nas maiores populações há um maior número de plantas por área que compensam a perda individual, aumentando o índice de área foliar (IAF) com aumento da população de plantas (MADDONNI et al., 2001; SILVA et al., 1999). Este fato é importante, pois o IAF está diretamente relacionado com a produtividade de grãos (BENINCASA; LEITE, 2002), sendo apontado como o ótimo ao redor de 5 (VIEIRA JÚNIOR, 1999). Sangoi et al. (2001b) concordam com a importância do IAF na interceptação da radiação, mas salientam que a maior atenção deve ser dada à eficiência da utilização dessa radiação solar interceptada.

Dentro deste contexto, a disponibilidade de água é, outro importante fator que afeta a escolha da densidade ótima de plantas (LOOMIS; CONNORS, 1992). A época mais crítica da planta de milho à deficiência hídrica situa-se no período entre duas a três semanas compreendidas ao redor do espigamento. Quando há alta probabilidade de falta de água nesta fase, deve-se diminuir a densidade para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas (MUNDSTOCK, 1977). Alguns trabalhos mostram que densidades mais elevadas só devem ser recomendadas sob condições de alta precipitação pluvial ou sob irrigação e com alto nível de manejo (SILVA et al., 1999), pois com maior densidade aumenta-se o índice de área foliar e, conseqüentemente, o consumo de água.

Recomenda-se a utilização de populações menores, em locais sujeitos ao déficit hídrico, em relação às regiões onde normalmente ocorre precipitação satisfatória para a cultura do milho (VIANA et al., 1987).

Pereira (1991), ao verificar o comportamento de três cultivares de milho nas densidades de 20000, 40000 e 60000 plantas ha⁻¹, observou que a produtividade aumentou linearmente com a elevação do número de plantas por área. No entanto, ocorreu uma certa compensação pela maior prolificidade das menores populações, o que contribuiu para que a diferença na produtividade não fosse tão acentuada.

Segundo Coors e Mardones (1989), ao se relacionar a expressão do caráter prolificidade com a população de plantas, observa-se que o tamanho das espigas decrescem, significativamente, com a utilização de menores espaçamentos. Os autores justificam tal fato pela maior competição por água, luz e nutrientes nas semeaduras mais adensadas.

Dozza (1997), avaliando a expressão dos caracteres prolificidade e produção de grãos em diferentes populações, concluiu que maiores densidades de semeaduras proporcionam maiores produtividades e menores densidades levam à expressão de prolificidade das plantas.

Uma das principais limitações ao uso de altas densidades de plantas é a de que esta forma de manipulação do arranjo espacial aumenta a susceptibilidade da cultura à quebra e acamamento de colmos (ARGENTA et al., 2001a). Isto ocorre porque o incremento na densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento dos grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000b). Após a floração, o fluxo de fotossintetizados da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidade suficiente para a manutenção de todos os drenos, a maior demanda exercida pelos grãos por estes produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões.

A necessidade nutricional das plantas é outro aspecto a ser considerado na escolha de densidade de plantas, pois a cultura do milho é muito exigente em fertilidade do solo. O milho responde progressivamente a altas adubações, desde que os demais fatores estejam em níveis ótimos, sendo que o nitrogênio é o nutriente ao qual apresenta maior resposta de aumento de rendimento de grãos. Trabalhos com genótipos, densidades de planta e níveis de fertilidade do solo evidenciam que à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessárias maiores doses de nutrientes. Por outro lado, com baixa disponibilidade de

nutrientes, na qual se espera menor rendimento de grãos, a densidade ótima recomendada deve ser reduzida (MUNDSTOCK, 1977).

4.3 Distribuição espacial de plantas

Pela importância das interações já mencionadas entre os fatores que afetam o desenvolvimento da cultura do milho é que se estudam os diferentes espaçamentos, visando a obtenção de arranjos mais adequados para a maximização da utilização dos recursos do ambiente, e conseqüentemente a produtividade. De modo geral, o baixo rendimento das lavouras de milho, no Brasil, é devido a uma densidade não adequada de plantas, fatores ligados à fertilidade dos solos e ao arranjo das plantas na área (FANCELI; DOURADO NETO, 2000).

Os principais fatores que influenciam a escolha do arranjo de plantas de milho são: cultivar, objetivo do produtor, nível tecnológico, época de semeadura e duração da estação de crescimento na região de cultivo (ARGENTA et al., 2001a). Avaliações de cultivares em diferentes espaçamentos e populações de plantas têm sido realizadas com relativa frequência no Brasil (CARVALHO, 2007; STRIEDER, 2006; FURTADO, 2005; LENZI, 1992; PINOTTI, 2003; PALHARES, 2003; MUNDSTOCK, 1978; ARRIEL et al., 1993; ENDRES; TEIXEIRA, 1997; ARGENTA et al., 2001b; ARGENTA et al., 2001a; REZENDE et al., 2003; PENARIOL et al., 2003; PAULO; ANDRADE, 2003).

Contudo, não tem sido observados testes com uso de espaçamentos equidistantes entre plantas, em que as distâncias entre as plantas na linha e na entrelinha são iguais, sendo considerada uma distribuição ideal já que, teoricamente, o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. Idealmente, plantas espaçadas equidistantemente competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores de crescimento (LAUER, 1994).

O incremento no rendimento de grãos resultante da utilização de menores espaçamentos é devido à melhor distribuição das plantas na lavoura, que evita a excessiva concorrência por luz dentro da fila, a qual ocorre somente quando a densidade de plantas é alta (ARGENTA et al., 2001a). A redução do espaçamento entre linhas também pode

aumentar a competitividade das plantas de milho com as plantas daninhas, a partir da maior quantidade de luz que é interceptada pelo dossel da cultura (TEASDALE, 1995).

A fisiologia da planta de milho faz com que esta seja altamente responsiva à intensidade de luz incidente (BORTOLINI, 2002). O aproveitamento da energia radiante incidente é fundamental para se atingir altos níveis de rendimento (SANTOS et al., 1980). A escolha adequada do arranjo de plantas aumenta a interceptação da radiação solar e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (ARGENTA et al., 2001a).

A busca por um arranjo mais adequado na distribuição de plantas de milho pode ser feita a partir de alterações no sistema de produção, dentre elas, a redução no espaçamento entre linhas de semeadura. Segundo Paszkiewicz (1996), redução do espaçamento entre as linhas promove uma distribuição das plantas na área mais próxima a equidistante, o que pode aumentar a eficiência da utilização da radiação fotossintética ativa, água e nutrientes, levando a um incremento no rendimento de grãos. Além disso, permite que a cultura ocupe mais rapidamente os espaços disponíveis, reduzindo, não só o período crítico de competição entre as plantas daninhas e a cultura, mas também a erosão hídrica na superfície do solo (SWOBODA, 1996)

Mantendo-se a densidade constante na lavoura, a redução do espaçamento entre linhas apresenta várias vantagens potenciais. A primeira é a de que ela incrementa a distância entre as plantas na linha, propiciando um arranjo mais equidistante dos indivíduos na área de cultivo. Isto reduz a competição entre plantas pelos recursos do ambiente, otimizando a sua utilização (PORTER et al., 1997). Devido à essa prática reduzir a competição intra-específica das plantas na fileira, melhora a disponibilidade de luz, água e nutrientes por planta (PORTER et al., 1997; JOHNSON et al., 1998; FLÉNET et al., 1996), refletindo muitas vezes em incrementos da produtividade de grãos (BULLOCK et al., 1988; KARLEN; CAMP, 1985; ARGENTA et al., 2001b; MURPHY et al., 1996), devido ao aumento da fotossíntese líquida (BULLOCK et al., 1988)

O arranjo mais favorável de plantas propiciado pela aproximação das linhas estimula as taxas de crescimento da cultura no início do seu ciclo, incrementando a interceptação da luz solar, aumentando a eficiência de uso da radiação e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (WESTGATE et al., 1997). O fechamento mais rápido dos espaços

disponíveis pela cultura, advindo da presença de linhas mais próximas, reduz a transmissão da radiação através da comunidade.

A melhor distribuição teórica de plantas de milho numa determinada área é obtida quando a exploração do volume de solo disponível é maximizada, favorecendo o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, o que propicia à cultura um menor estresse ambiental, resultando numa maior produtividade de grãos (PALHARES, 2003). Para maximizar o volume de solo explorado, a melhor distribuição de plantas seria obtida em círculos, mas este arranjo não é possível sem deixar interstícios (espaços vazios). De acordo com Dourado Neto et al. (2001), os possíveis arranjos que não deixam interstícios são o triangular, o retangular e o hexagonal (Figura 2).

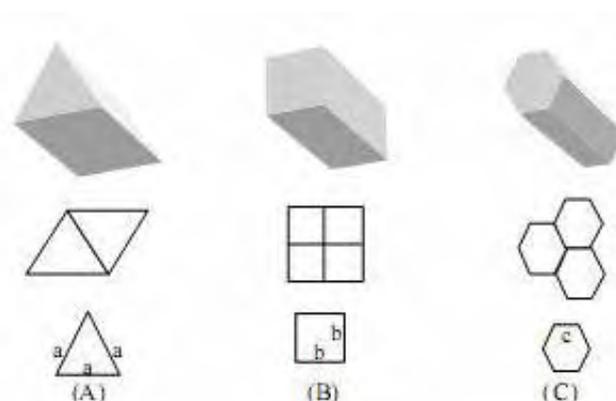


Figura 2 – Os três prismas que permitem ser colocados lado a lado sem deixar interstício: (A) seção triangular, (B) seção retangular, (C) seção hexagonal segundo Dourado Neto et al. (2001). Representação gráfica sugerida por Palhares (2003).

Os produtores do sul do Brasil vêm se interessando mais pelo uso de espaçamentos reduzidos, principalmente aqueles que utilizam populações acima de 50000 plantas ha^{-1} , possuem bom nível tecnológico e colhem acima de 6000 kg ha^{-1} de grãos (SANGOI et al., 1997). Deve-se destacar que a simples redução do espaçamento entre linhas não é garantia de incrementos na produtividade. Trabalhos conduzidos por Merotto Júnior et al. (1997) e Westgate et al. (1997) não detectaram qualquer benefício da utilização de linhas mais próximas sobre o rendimento de grãos de milho. Os resultados contraditórios existentes na literatura podem ser atribuídos a diversos fatores, entre os quais podem ser citados os tipos de

híbrido, população de plantas, características climáticas da região, nível de fertilidade do solo, entre outros. Nos Estados Unidos, a idéia de cultivar milho usando espaçamento reduzido tem sido discutido e experimentado pelos agricultores a mais de 30 anos, no entanto, sem adoção em grande escala (SWOBODA, 1996).

Já em 1973, a cultivar Piranão, que possui o alelo braquítico (br_2), foi comparada com duas cultivares de porte alto e foi considerada um material promissor para semeadura mais densa. Porém verificou-se a necessidade de melhorar a sua arquitetura, visando uma melhor utilização da energia luminosa (LEITE, 1973). Contudo, Pereira Filho (1977), avaliou a cultivar Piranão, em Minas Gerais nos espaçamentos 0,50, 0,75 e 1,00 m e verificou, para o caráter rendimento de grãos, resposta linear à redução do espaçamento.

Com o aumento do espaçamento de 0,70 a 0,90 m, Barbosa (1995) obteve aumento no índice de espigas e redução do número de plantas acamadas, no peso de espigas e no rendimento de grãos por hectare. No entanto, Rizzardi et al. (1994), avaliando a influência da distribuição de plantas na linha sobre o rendimento de grãos e seus componentes, em dois espaçamentos (70 e 90 cm), observaram que o rendimento e os componentes de produção não variaram com os dois espaçamentos e, também com a distribuição de plantas na linha.

De acordo com Pereira Filho et al. (1994), os cultivares de milho precoces, de porte baixo e folhas mais eretas, possibilitam o cultivo com densidades mais elevadas e espaçamentos menores. Isso foi comprovado através de experimento envolvendo fileiras simples e duplas (semeadas a 0,25 m uma da outra), com espaçamento de 0,75 e 0,90 m, e com densidade de 40000, 60000, 80000 e 100000 plantas ha^{-1} , utilizando o híbrido duplo precoce BR 201 e Cargill 805 triplo precoce. Demonstrou-se haver tendência dos híbridos em produzirem mais nos espaçamentos menores e, não mostrarem diferenças, quando semeados em fileiras duplas ou simples.

Vazquez et al. (2002), avaliando a influência do espaçamento entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho AG 9010, constatou que o espaçamento de 0,46 m em uma população final de cerca de 72000 plantas ha^{-1} promoveu maior altura de planta e um aumento de produtividade de 19,4% em relação ao espaçamento de 0,82 m. O mesmo não foi observado por Scheeren et al. (2004), em que o espaçamento entre linhas não interferiu na produtividade final do híbrido BRS 1010, independente da densidade

populacional utilizada, e por Zanon et al. (2004), em que a variação do espaçamento de 0,45 para 0,90 m, não afetou a produtividade de grãos, concluindo que o potencial genético do cultivar teve maior influência nos componentes de produtividade do que o espaçamento.

Já Palhares (2003), notou que na população de 90000 plantas ha⁻¹, a redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m, entre fileiras de plantas teve efeito positivo na produtividade de grãos no genótipo de arquitetura foliar aberta (AG 1051) devido a otimização da interceptação de luz. Entretanto, a redução do espaçamento não proporcionou diferenças significativas na produtividade dos híbridos de arquitetura foliar semi-ereta e ereta, em nenhuma das populações avaliadas.

Borges et al. (2004), verificaram que o espaçamento de 0,45 m proporcionou maior altura de plantas e maior produtividade que no espaçamento de 0,80 m. Entretanto, neste último, obtiveram-se plantas com maior altura de inserção de espigas.

Mesmo com vários trabalhos mostrando as vantagens da tecnologia, os prováveis benefícios do uso de espaçamento reduzido nem sempre são obtidos. Carvalho (2007) sumariza os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas encontrados em alguns trabalhos realizados nos Estados Unidos e no Brasil. Nos Estados Unidos, os ganhos de produtividade com a utilização de espaçamentos reduzidos têm variado de -1,7 a 5,4%, enquanto que no Brasil, foram observados ganhos entre 0 a 9,1%. De uma forma geral, vários estudos de espaçamentos entre fileiras têm sido conduzidos, analisados e discutidos, porém, também não são consensuais. Alguns trabalhos mostram clara vantagem na produtividade de grãos (BULLOCK et al., 1988; ARGENTA et al., 2001b; SANGOI et al., 2001b; PORTER et al., 1997; PENARIOL et al., 2003), enquanto que outros mostram que não houve efeito ou vantagem da redução do espaçamento sobre a produtividade de grãos de milho (STRIEDER et al., 2007; STRIEDER, 2006; MEROTTO JUNIOR et al., 1997; WESGATE et al., 1997; FORCELLA et al., 1992; TEASDALE, 1995). No sul do Brasil, incrementos de 5 a 8% foram reportados por Sangoi et al. (2001b) e Peixoto (2002), com a redução no espaçamento de 0,90-1,00 m para 0,45-0,50 m.

Com relação aos componentes da produção, há discordância entre autores sobre os efeitos da redução do espaçamento. Flesch e Vieira (2004) não observaram diferenças na massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta com mudança no espaçamento em três anos com dois híbridos. Palhares (2003), Scheeren et

al. (2004) Penariol et al (2003) Flesch e Vieira (2004), e Argenta et al. (2001b) também não observaram nenhuma alteração nos componentes da produção com a redução do espaçamento. Argenta et al. (2001b), analisando dois híbridos em dois anos de estudo, observaram variação apenas no número de grãos por espiga em um ano e em um híbrido. Já Sangoi et al. (2001b), Bullock et al. (1988) e Murphy et al. (1996) obtiveram aumento do número de grãos por espiga e massa de mil grãos com a redução do espaçamento, sem aumento no número de espigas por planta. Para justificar tais resultados, Sangoi et al. (2001b) sugerem que a menor competição entre plantas dentro da fileira por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais próxima a uma distribuição equidistante na área, aumenta a disponibilidade de carboidratos, permitindo que a planta forme maior número de grãos e com maior massa.

Penariol et al. (2003), que trabalharam na safrinha em Jaboticabal - SP, em condições ambientais desfavoráveis, obtiveram menor estatura de plantas e de inserção da espiga reduzindo o espaçamento de 80 para 40 cm, porém o espaçamento de 40 cm entre linhas possibilitou maior rendimento de grãos para as duas cultivares de milho estudadas, independente do híbrido. Os autores afirmam que isto é explicado fisiologicamente pela maior competição dentro da linha, quando se usa espaçamentos mais largos e a mesma população de plantas, indicando menor competição entre as plantas por luz. Já Argenta et al. (2001b) observaram que a estatura de planta não variou em função do espaçamento no híbrido C-901, mas houve resposta em produtividade de grãos. Já o híbrido XL 212 teve sua estatura reduzida nos menores espaçamentos, mas não respondeu em produtividade de grãos. Essas características podem ter sido beneficiadas em maior escala pela redução do espaçamento, levando à maior eficiência da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, e o aumento da produtividade de grãos mediante o incremento na produção fotossintética líquida (FLÉNET et al., 1996; BULLOCK et al., 1988).

Segundo Sangoi et al. (2001b), o espaçamento entre fileiras não interferiu significativamente na área foliar e no índice de área foliar (IAF), tanto no estágio V10, como no florescimento. Por isso, o aumento de produtividade em menores espaçamentos não pôde ser atribuído a alterações nos modelos de área foliar ou maior superfície foliar para interceptar a radiação solar. Por outro lado, a maior distância entre plantas na fileira, quando se utiliza espaçamentos reduzidos, pode ter aumentado a capacidade da planta em converter a radiação solar em produção de grãos. Maddonni et al. (2001) não obtiveram alterações na área

foliar das plantas entre os espaçamentos de 35 e 70 cm, em quatro híbridos de diferentes arquiteturas. Sharratt e McWilliams (2005), trabalhando com dois híbridos em dois anos, estimaram o IAF e também não encontraram diferença entre os diferentes espaçamentos. Mas obtiveram maior interceptação da radiação solar nos espaçamentos de 38 e 57 cm quando comparado a 76 cm. Dessa forma, a maior interceptação da radiação nos menores espaçamentos foi associada a uma maior uniformidade na distribuição foliar dentro do dossel e não a um aumento do IAF.

Palhares (2003) verificou que a soma térmica necessária para o início do florescimento é praticamente a mesma sob diferentes arranjos, variando exclusivamente em função do genótipo, que segundo o autor corresponde às informações técnicas fornecidas pelas empresas de sementes.

De acordo com Bullock et al. (1988), modelos mais favoráveis de distribuição de plantas em menores espaçamentos favorecem a taxa de crescimento das plantas de milho em estádios iniciais, levando a maior interceptação da radiação solar, maior eficiência no uso dessa radiação e maiores produtividades de grãos (SANGOI et al., 2001b; WESTGATE et al., 1997). Isso pode ser causa de maiores diâmetros de colmo encontrados em espaçamentos mais estreitos, como o encontrado por Palhares (2003), independente do híbrido, já que é no estádios iniciais da cultura que as plantas definem o diâmetro do colmo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Contudo, Penariol et al. (2003) não observaram alteração do diâmetro do colmo entre três espaçamentos para dois híbridos em dois anos.

Alguns autores têm notado que a produção de matéria seca da planta de milho possui maior relação com a eficiência na utilização da radiação solar do que sua interceptação (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; WESTGATE et al., 1997). O índice de colheita, que expressa a síntese, translocação, partição e acúmulo de produtos fotoassimilados, não foi alterado com a redução do espaçamento entre fileiras no trabalho de Argenta et al. (2001b).

Embora nem sempre possa surtir efeitos diretos no rendimento de grãos, STRIEDER (2006) relata outras vantagens potenciais para utilização da redução do espaçamento entrelinhas relatadas na literatura: (i) diminuição do desenvolvimento e da infestação de plantas daninhas (JOHNSON et al., 1998; ARGENTA et al., 2000); (ii) viabilidade de se reduzir a dose de herbicidas (FORCELLA et al., 1992; TEASDALE, 1995;

BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2004), principalmente os pré-emergentes (ARGENTA et al., 2000), diminuindo seus resíduos na superfície do solo e no lençol freático; (iii) aumento da habilidade competitiva de alguns genótipos de milho em suprimir o desenvolvimento de plantas invasoras (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005; JOHNSON et al., 1998); (iv) diminuição do risco de efeitos tóxicos provocados pela salinidade de adubos nas sementes, especialmente quando se utiliza cloreto de potássio como fonte de potássio, já que esse é distribuído em maior número de linhas na lavoura (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2002).; (v) maior eficiência na conservação do solo e da água, por antecipar o fechamento dos espaços entre as linhas de cultivo, diminuindo a evaporação, ocorrência de escoamento superficial e as perdas de solo e de água por erosão (KARLEN; CAMP, 1985; SANGOI et al., 2001b; COGO et al., 2003) e, (vi) aumento da eficiência de uso de equipamentos na propriedade, principalmente das semeadoras-adubadoras, por possibilitar o uso da mesma regulagem das entrelinhas para a semeadura das duas principais culturas de verão (milho e soja), sem necessidade de ajuste (MUNDSTOCK; SILVA, 2005).

O desenvolvimento de híbridos mais tolerantes a altas densidades de plantas, o maior número de herbicidas disponíveis para o controle seletivo de plantas daninhas e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas, no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas, têm favorecido o incremento na adoção desta prática cultural (SANGOI, et al., 2001b).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 – Descrição do local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Campus de Botucatu, localizada pelas coordenadas geográficas 22° 49' S e 48°25'W, altitude de 770 m, em área cujo solo foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

Anteriormente à instalação do experimento, realizou-se coleta de amostra de solo para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (1996), cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da análise química de solo da área utilizada no experimento

Profundidade (cm)	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							
0 - 20	5,1	24	18	1	38	2,7	31	14	48	85	56

5.2 – Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram de seis populações de plantas de milho em duas formas de arranjo espacial de plantas, combinados em esquema fatorial totalizando 12 tratamentos conforme demonstrado na Tabela 2. As populações de plantas utilizadas foram as de 30000, 45000, 60000, 75000, 90000 e 105000 plantas ha⁻¹, e as formas de arranjo espacial de plantas empregadas foram o espaçamento entrelinhas 0,80 m e o arranjo espacial eqüidistante entre plantas. No arranjo espacial eqüidistante entre plantas, as distâncias entre plantas foram iguais na linha e entrelinha, as quais foram obtidas efetuando-se a raiz quadrada da área destinada a cada planta nas respectivas populações. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições, e os tratamentos aplicados em parcelas de 4,5 x 10 m.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, com as populações e respectivas áreas destinadas a cada planta, nas formas de arranjo espacial de plantas empregadas, especificando o espaçamento na linha e entrelinha correspondente. Botucatu (SP), 2008.

m ² planta ⁻¹ (plantas ha ⁻¹)	Forma de arranjo espacial de plantas (espaçamento na entrelinha e na linha em metros)
0,0952 (105000)	Eqüidistante (0,3086 X 0,3086)
	Convencional (0,8000 X 0,1190)
0,1111 (90000)	Eqüidistante (0,3333 X 0,3333)
	Convencional (0,8000 X 0,1388)
0,1333 (75000)	Eqüidistante (0,3651 X 0,3651)
	Convencional (0,8000 X 0,1666)
0,1666 (60000)	Eqüidistante (0,4082 X 0,4082)
	Convencional (0,8000 X 0,2083)
0,2222 (45000)	Eqüidistante (0,4714 X 0,4714)
	Convencional (0,8000 X 0,2777)
0,3333 (30000)	Eqüidistante (0,5773 X 0,5773)
	Convencional (0,8000 X 0,4166)

Foi utilizado o híbrido simples de milho DOW 2B587, cujas características são ciclo precoce, porte baixo, arquitetura de folhas normal e grãos de coloração amarelo alaranjada com textura semidentada.

5.3 – Preparo da área

Dois meses antes da semeadura, foi realizada a calagem na dose de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ para elevar a saturação por bases a 70%, com posterior aração e gradagem. Os tratamentos foram implantados em semeadura convencional, com sulcagem por um sistema adaptado com “asa de andorinha”. As distribuições das sementes e do fertilizante (300 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16) foram feitas manualmente em 04/12/2007. A emergência das plântulas ocorreu no dia 10/12/2008.

5.4 – Tratos culturais

O controle de plantas invasoras foi realizado através de aplicação de herbicida em pós-emergência com o ingrediente ativo nicosulfuron, na dose de $16 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, mais $1250 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ de atrazine, dez dias após a emergência das plântulas. Para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foi utilizado um produto formulado à base do ingrediente ativo Spinosad, na dose de 25 g ha^{-1} . Em ambas as aplicações foi empregado pulverizador do tipo tratorizado com volume de calda de 200 l ha^{-1} .

As adubações nitrogenada e potássica em cobertura, tendo como fontes o sulfato de amônio e o cloreto de potássio, nas doses de 120 kg N ha^{-1} e $40 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente, foi realizada em 03/01/2008 quando as plantas apresentavam 6 folhas totalmente desdobradas.

A colheita das espigas da área útil de cada parcela foi realizada no dia 24/04/2008, manualmente, com descarte das linhas laterais e de 2,50 m em cada extremidade; assim, foram colhidos os cinco metros centrais.

5.5 – Caracterização do clima e dados climatológicos

O clima da região é, segundo a caracterização de Köppen, do tipo Cwa, tropical úmido, com inverno seco (junho a agosto) e verão chuvoso (dezembro a fevereiro). A Figura 3 contém os dados climatológicos relativos ao período experimental de outubro de 2007 a abril de 2008, coletados no posto meteorológico pertencente ao Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais da FCA/UNESP, Campus de Botucatu, SP.

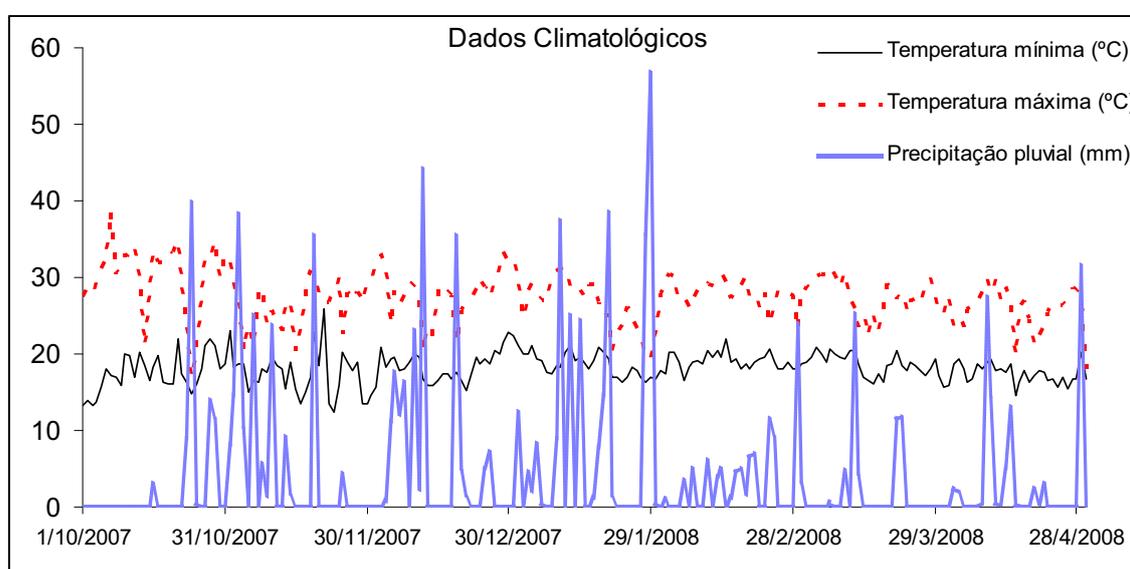


Figura 3 – Dados climatológicos do período de outubro de 2007 a abril de 2008. Botucatu (SP), 2008.

5.6 – Avaliações

Foram avaliados no decorrer do experimento os seguintes parâmetros:

5.6.1 - Diagnose foliar

Para avaliar o estado nutricional das plantas foram coletadas folhas diagnose de 10 plantas por parcela, segundo procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997), que em seguida, foram secas em estufa de circulação forçada de ar à 60° C até massa constante, e processadas em moinho. O material seco e moído foi analisado no

Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, da FCA/UNESP, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

5.6.2 - Altura das plantas

A altura de plantas (A) correspondeu à distância média, em centímetros, entre a superfície do solo e a folha bandeira, tomada, aleatoriamente, de 10 plantas da área útil de cada parcela, no florescimento.

5.6.3 - Altura de inserção de espiga

A altura de inserção de espiga (AIE) correspondeu distância média, em centímetros, entre a superfície do solo e a base da inflorescência feminina, tomada nas mesmas plantas a que se refere o item 5.6.2.

5.6.4 - Relação entre altura da espiga e altura da planta

A relação entre altura da espiga e altura da planta (AIE/A) foi obtida pela razão entre altura de inserção de espiga e altura da planta, tomada a partir das mesmas plantas a que se referem os itens 5.6.2 e 5.6.3, e efetuando-se a média.

5.6.5 - Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo (D) correspondeu ao diâmetro médio, em milímetros, do primeiro entrenó acima do colo da planta, tomado nas mesmas plantas a que se refere o item 5.6.2.

5.6.6 - Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar foi determinado pela área foliar média de quatro plantas provenientes da área útil da parcela, e dividindo-se pela área destinada à planta em cada tratamento, nos estádios fenológicos florescimento (IAFf) e na maturidade fisiológica

(IAFm), onde IAFf representa o índice de área foliar no florescimento e IAFm o representa o índice de área foliar na maturidade fisiológica.

5.6.7 - Índices de persistência e de senescência foliares

O índice de persistência foliar foi calculado pela expressão $IAFm/IAFf$, e o índice de senescência foliar pela expressão $(IAFf - IAFm)/IAFf$, descritos no item 5.6.6.

5.6.8 - Massa de matéria seca por planta e por área

A massa de matéria seca por planta, em gramas, foi obtida pela média da massa de matéria seca de quatro plantas provenientes da área útil da parcela, no florescimento [MS/PL(f)] e na maturidade fisiológica [MS/PL(m)], com secagem em estufa de circulação de ar à 60 °C até massa constante, medida em balança analítica com precisão de 0,01 g. As massas de matéria seca por área no florescimento (MST f) e na maturidade fisiológica (MST m) foram estimadas indiretamente pela multiplicação da massa de matéria seca por planta nos respectivos estádios fenológicos e a população correspondente ao tratamento, e expressos em $kg\ ha^{-1}$.

5.6.9 - Porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas

O número de plantas da área útil de cada parcela com ângulo superior à 45° com a vertical e/ou quebras abaixo da inserção da espiga, foi expresso em porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas (% PA).

5.6.10 - Comprimento de espiga

O comprimento de espiga (CE) correspondeu ao comprimento médio de 10 espigas provenientes da área útil de cada parcela, tomado em centímetros,

5.6.11 - Número de fileiras de grãos por espiga

O número médio de fileiras de grãos por espiga (NF) foi contado nas mesmas espigas a que se refere o item 5.6.10.

5.6.12 - Diâmetro da espiga

O diâmetro da espiga (DE) correspondeu ao diâmetro médio, em milímetros, da porção central das espigas a que se refere o item 5.6.10.

5.6.13 - Diâmetro do sabugo

O diâmetro do sabugo (DE) correspondeu ao diâmetro médio, em milímetros, da porção central dos sabugos das espigas a que se refere o item 5.6.10.

5.6.14 - Comprimento do grão

O comprimento do grão (CG) foi estimado indiretamente pela diferença entre diâmetro da espiga (item 5.6.12) e diâmetro do sabugo (item 5.6.13).

5.6.15 - Massa de mil grãos

A massa de mil grãos (1000 G) foi determinada segundo metodologia descrita por BRASIL (1992), com teor de água dos grãos corrigido para 13%.

5.6.16 - Massa de grãos por espiga

A massa de grãos por espiga (MGE) foi obtida a partir da pesagem dos grãos das espigas a que se refere o item 5.6.10, com teor de água dos grãos corrigido para 13%, medida em balança analítica com precisão de 0,01 g, e efetuando-se a média.

5.6.17 - Número de grãos por espiga

O número de grãos por espiga (NGE) foi estimado indiretamente pela razão da massa de grãos por espiga (item 5.6.16) e a massa de mil grãos (item 5.6.15).

5.6.18 - Número de espigas por hectare

O número de espigas por hectare (NEH) foi estimado indiretamente multiplicando-se a população final (item 5.6.20) e o índice de espiga (item 5.6.21).

5.6.19 - Número de grãos por hectare

O número de grãos por hectare (NGE) foi estimado indiretamente multiplicando-se o número de grãos por espiga (item 5.6.17) pelo número de espigas por hectare (item 5.6.18).

5.6.20 - População final

A população final (PF) foi obtida pela contagem das plantas na área útil da parcela, considerando-se inclusive as plantas acamadas e/ou quebradas, transformando-se a população obtida para a correspondente por hectare.

5.6.21 - Índice de espiga

O índice de espiga (IE) foi determinado pela razão entre número de espigas produtivas e número de plantas da área útil da parcela.

5.6.22 - Índice de colheita

O índice de colheita (IC) foi determinado, na maturidade fisiológica, pela razão entre a média de produção de grãos e a média de produção de massa de matéria seca da parte aérea de quatro plantas provenientes da área útil da parcela, com secagem em estufa de circulação de ar à 60 °C até massa constante, medida em balança analítica com precisão de 0,01 g.

5.6.23 - Índice de remobilização

O índice de remobilização (IR) foi calculado utilizando-se a expressão apresentada por Rajcan e Tollenaar (1999): $I.R. = (MSF - MSC) / MSF \times 100$, em que MSF representa a massa de matéria seca média de colmos e pendões no florescimento e MSC a massa de matéria seca média de colmos e pendões na colheita.

5.6.24 - Produtividade

A produtividade de grãos (P) foi obtida a partir da colheita e pesagem de grãos provenientes das espigas da área útil de cada parcela, determinando-se o teor de água pelo método gravimétrico (BRASIL, 1992), para obter-se este componente em $Kg\ ha^{-1}$, calculado em equivalente a 13% de umidade.

5.7 – Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando constatada interação entre os fatores avaliados, procedeu-se desdobramento do fator população para cada arranjo espacial de plantas. Em caso contrário, se significativo, procedeu-se com teste de média para arranjo espacial de plantas, e para populações, análise de regressão, calculada para equações lineares e quadráticas. Foram consideradas apenas as equações significativas a 1 (**) e 5 (*) % de probabilidade pelo teste F; quando ambas apresentaram significância, foi feita a opção por aquela com maior coeficiente de determinação (R^2).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – Diagnose foliar

Os resultados da análise de variância relacionados aos teores de macronutrientes e micronutrientes são dispostos nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, e incluem os valores de F calculados para as causas de variação, bem como o desdobramento dos graus de liberdade para as populações e suas médias, e as médias dos arranjos populacionais.

Os teores de macronutrientes encontrados na folha diagnose no florescimento das plantas, à exceção do enxofre, foram influenciados, exclusivamente, pelas populações de plantas (Tabela 3). Destes, o N, o P, o K e o Ca ajustaram-se ao modelo de regressão linear, e o Mg ao modelo quadrático de regressão, os quais foram significativos pelo teste F. Desta forma, a tendência dos teores de N, P e Ca encontrados são de decréscimo com o aumento da população, ao contrário do K. Já para os teores de Mg encontrados na folha diagnose das plantas, a tendência conforme a equação ajustada, foi a de decréscimo da menor população até a população intermediária, voltando a crescer a partir de então (Tabela 3). Esses resultados podem, possivelmente, estar relacionados ao fato de que os elementos N, P e Ca

serem constituintes da planta e o K um elemento que se encontra, em sua maior parte, na forma iônica dentro da planta, sendo uma das principais funções do elemento a abertura e fechamento estomático (MALAVOLTA, 1980). Assim, com maior produção de matéria seca por área pelo aumento da população, é esperado que ocorra o efeito de diluição dos teores de nutrientes nas plantas, já que a adubação foi a mesma. Contudo, para o K os resultados obtidos indicam que a resposta da planta é contrária em relação aos demais.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão e médias de populações, e formas de arranjo, para os teores de macronutrientes (g kg^{-1}) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Macronutrientes (g kg^{-1})					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	1,418 ^{NS (1)}	1,161 ^{NS}	0,403 ^{NS}	6,915 ^{**}	0,885 ^{NS}	11,419 ^{**}
População (P)	2,535 [*]	2,944 [*]	3,489 [*]	4,510 ^{**}	4,344 ^{**}	1,288 ^{NS}
Modelo ⁽²⁾	L [*]	L ^{**}	L [*]	L ^{**}	Q [*]	-
30000 (P ₁)	32,71	3,50	19,56	3,27	1,81	2,30
45000 (P ₂)	31,92	3,47	20,10	3,06	1,67	2,25
60000 (P ₃)	31,74	3,22	17,96	2,72	1,53	2,12
75000 (P ₄)	31,89	3,33	20,78	3,03	1,88	2,29
90000 (P ₅)	32,13	3,13	20,65	2,91	1,70	2,09
105000 (P ₆)	30,73	3,19	21,36	2,77	1,85	2,24
Arranjo (A)	0,192 ^{NS}	1,419 ^{NS}	1,861 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,678 ^{NS}
Convencional	31,78	3,27	19,71	2,96	1,74	2,25
Equidistante	31,93	3,35	20,43	2,97	1,75	2,19
P x A	0,884 ^{NS}	0,442 ^{NS}	0,463 ^{NS}	0,540 ^{NS}	0,655 ^{NS}	0,123 ^{NS}
Média	31,85	3,31	20,07	2,96	1,74	2,22
C.V. (%)	3,61	7,69	9,07	9,15	10,20	9,92
R²	0,5696	0,7255	0,3592	0,4793	0,2748	-

⁽¹⁾ NS: não significativo ($P > 0,05$) *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$. ⁽²⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

A exceção do boro, os teores de micronutrientes na folha diagnose no florescimento não foram influenciados pelos fatores testados (Tabela 4). O teor de boro, observou-se efeito significativo das populações testadas nos seus teores, os quais diminuiram com o aumento da população (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão e médias de populações e formas de arranjo, para os teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Micronutrientes (mg kg^{-1})				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Bloco	6,392** ⁽¹⁾	0,702 ^{NS}	0,374 ^{NS}	1,891 ^{NS}	4,668**
População (P)	6,813**	0,681 ^{NS}	1,055 ^{NS}	0,418 ^{NS}	1,597 ^{NS}
Modelo ⁽²⁾	L**	-	-	-	-
30000 (P ₁)	20,98	12,50	135,50	46,00	28,50
45000 (P ₂)	18,20	12,00	140,75	51,75	30,25
60000 (P ₃)	16,58	13,62	128,62	46,50	27,75
75000 (P ₄)	16,35	12,25	145,12	48,37	30,75
90000 (P ₅)	17,28	12,25	140,12	47,50	29,37
105000 (P ₆)	15,23	11,87	143,00	46,25	28,00
Arranjo (A)	2,245 ^{NS}	1,784 ^{NS}	0,000 ^{NS}	0,084 ^{NS}	0,800 ^{NS}
Convencional	17,91	12,00	138,87	47,33	28,75
Eqüidistante	16,97	12,83	138,83	48,12	29,45
P x A	0,228 ^{NS}	0,746 ^{NS}	0,410 ^{NS}	0,492 ^{NS}	0,388 ^{NS}
Média	17,44	12,41	138,85	47,72	29,1000
C.V. (%)	12,42	17,41	11,82	19,80	9,43
R²	0,7205	-	-	-	-

⁽¹⁾ NS: não significativo ($P > 0,05$), *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$. ⁽²⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

6.2 – Características morfológicas

Os resultados da análise de variância referente aos caracteres morfológicos são apresentados nas Tabelas 5 e 6, com os valores de F calculado para as causas

de variação, bem como o desdobramento dos graus de liberdade para as populações e as médias dos arranjos populacionais já inclusas. Na Tabela 5, encontra-se o resumo da análise de variância para os caracteres morfológicos altura de planta, altura de inserção de espiga, relação altura de inserção de espiga/altura de planta, diâmetro do colmo, índice de área foliar no florescimento e na maturidade fisiológica, e taxa de persistência foliar. Os caracteres índice de persistência foliar, massa de matéria seca por planta, no florescimento e maturidade fisiológica, massa de matéria seca por área, no florescimento e na maturidade fisiológica, índice de remobilização e índice de colheita, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para os caracteres morfológicos altura de planta (A) (cm), altura de inserção de espiga (AIE) (cm), relação altura de inserção de espiga/altura de planta (AIE/A), diâmetro do colmo (DC) (mm), índice de área foliar no florescimento (IAFf) e na maturidade fisiológica (IAFm), e taxa de persistência foliar (IAFm/IAFf) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros						
	A	AIE	AIE/A	DC	IAFf	IAFm	IAFm/IAFf
Bloco	1,212 ^{NS}	3,411*	5,095*	9,662**	9,724**	12,462**	8,594**
População (P)	16,853**	38,971**	12,247**	66,177**	398,939**	10,079**	46,788**
Modelo ⁽³⁾	Q*	Q*	L**	Q*	Q**	Q*	Q**
Arranjo (A)	2,799 ^{NS}	1,254 ^{NS}	6,548*	6,045*	0,188 ^{NS}	0,226 ^{NS}	0,291 ^{NS}
Convencional	207,53	120,99	0,5824 b ⁽²⁾	28,55 b	2,9236	1,4111	0,5739
Eqüidistante	204,77	122,40	0,5970 a	29,51 a	2,9066	1,4591	0,5965
P x A	1,744 ^{NS}	2,026 ^{NS}	0,448 ^{NS}	0,820 ^{NS}	1,462 ^{NS}	0,960 ^{NS}	1,733 ^{NS}
Média	206,15	121,69	0,5897	29,03	2,9151	1,4351	0,5852
C.V. (%)	2,77	3,59	3,36	4,66	4,68	24,39	24,71
R²	0,9321	0,9898	0,9702	0,9891	0,9883	0,9419	0,9986

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05) *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste tukey (P>0,05). ⁽³⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para os caracteres morfológicos taxa de senescência foliar [IAF(f-m)/IAFf], massa de matéria seca por planta (g), no florescimento [MS/PL(f)] e maturidade fisiológica [MS/PL(m)], massa de matéria seca por área (kg ha⁻¹) no florescimento (MST f) e na maturidade fisiológica (MST m), índice de remobilização e índice de colheita em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros						
	IAF(f-m)/IAFf	MS/PI(f)	MS/PI(m)	MST (f)	MST (m)	IR	IC
Bloco	8,181** ⁽¹⁾	6,911**	7,235**	6,323**	6,001**	6,520**	0,311 ^{NS}
População (P)	44,657**	71,830**	45,328**	54,930**	19,815**	1,485 ^{NS}	1,057 ^{NS}
Modelo ⁽²⁾	Q**	Q*	L**	Q**	Q**	-	-
Arranjo (A)	0,278 ^{NS}	0,334 ^{NS}	1,176 ^{NS}	0,068 ^{NS}	0,797 ^{NS}	1,163 ^{NS}	0,080 ^{NS}
Convencional	0,3997	157,17	312,26	9711,9	20826,9	22,21	0,5100
Eqüidistante	0,4221	159,50	317,01	9768,4	21314,5	18,52	0,5082
P x D	1,776 ^{NS}	1,428 ^{NS}	0,786 ^{NS}	1,483 ^{NS}	1,517 ^{NS}	0,734 ^{NS}	0,634 ^{NS}
Média	0,4108	158,33	314,63	9.740,1	21070,7	20,36	0,5091
C.V. (%)	35,72	8,78	4,82	7,68	8,98	58,19	4,29
R² (%)	0,9981	0,9858	0,9755	0,9705	0,9817	0,7683	-

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05) *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

6.2.1 - Altura de plantas

O fator arranjo de plantas não influenciou significativamente na altura de plantas; no entanto, quanto à população de plantas foi revelada significância. O desdobramento dos graus de liberdade para efeito de regressões polinomiais de primeiro (linear) e segundo (quadrática) graus, indicou significância de ambas pelo teste F (Tabela 5), e, assim optou-se pelo modelo de melhor ajuste (maior coeficiente de determinação - R²). Os efeitos de população estão graficamente representados na Figura 4.

O aumento da altura das plantas com a elevação da população detectada no presente estudo também foi observado por Marchão et al. (2005), com comportamento quadrático na altura média de plantas de seis híbridos em função da densidade populacional, sob espaçamento reduzido.

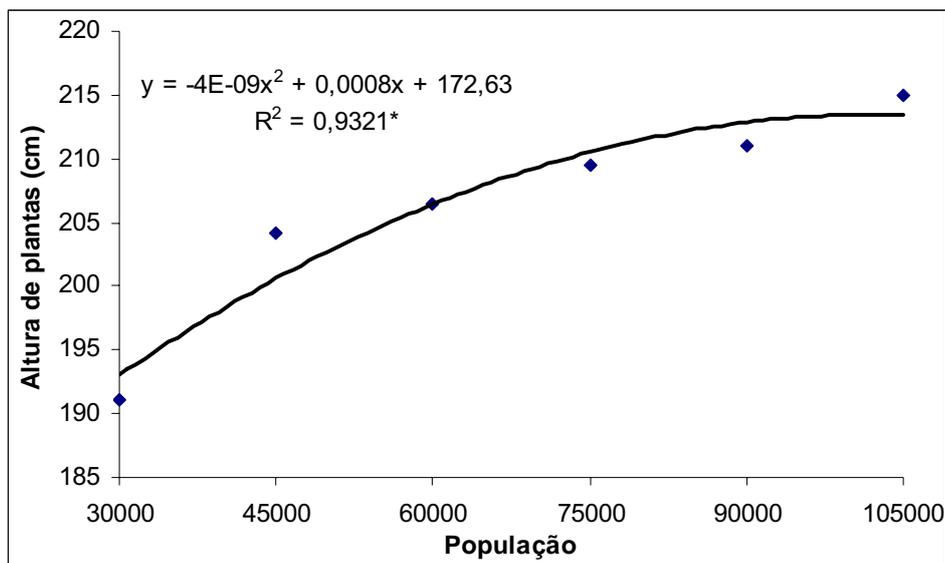


Figura 4 – Médias da altura de planta em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Os dados obtidos neste trabalho também estão de acordo com Sangoi et al. (2000a) e Sangoi (2000), de maneira geral, a altura de planta é tanto maior quanto maior for a população de plantas, devido ao efeito da competição intra-específica por luz, com conseqüente estímulo da dominância apical das plantas. Argenta et al. (2001b), também verificaram um aumento em altura de plantas, conforme aumentou a população de plantas de 40000 para 100000 plantas ha⁻¹.

Com relação à ausência de significância para os arranjos de plantas testados, os resultados obtidos neste trabalho concordam com os dados obtidos por Silva (2004), que não verificou efeito do espaçamento entre linhas sobre a altura de plantas, e também com os obtidos por Alvarez et al. (2006), que visando estudar o comportamento de dois híbridos de milho de diferentes arquiteturas foliares em dois espaçamentos entre linhas (0,7 e 0,9m) e duas densidades de plantas (55000 e 75000 plantas ha⁻¹), em dois anos agrícolas, verificaram inexistência de alteração da altura de plantas com a redução do espaçamento entre linhas de 0,90 m para 0,70 m, independentemente do ano de plantio e da densidade de plantas. Os autores concluem que o aumento da densidade de plantas de 55000 plantas ha⁻¹ para 75000 plantas ha⁻¹ proporciona aumento na altura de planta, independente do

ano de plantio e do espaçamento entre linhas, corroborando com os dados obtidos.

6.2.2 - Altura de inserção de espiga

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, o fator arranjo não influenciou a altura de inserção de espiga, ao contrário do fator população, que foi maior à medida que aumentou a população de plantas ha^{-1} , obtendo-se assim como para altura de plantas, um padrão de crescimento quadrático (Figura 5).

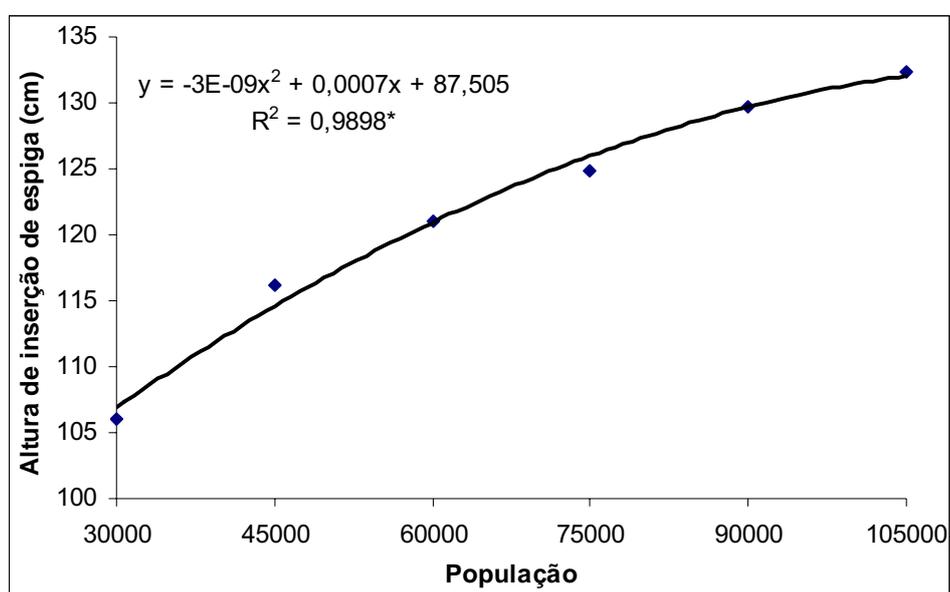


Figura 5 – Médias da altura de inserção de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Os resultados do presente estudo concordam com os encontrados por Furtado (2005), onde o aumento da população de plantas dos cultivares testados determinou elevação na altura de inserção de espigas acompanhado por um aumento de altura de plantas. Semelhantemente, Mateus et al. (2004) também observaram que quando se elevou a densidade de semeadura de 40000 para 97700 plantas ha^{-1} , houve um incremento na altura de inserção da espiga e da altura das plantas.

Já Alvarez et al. (2006), visando estudar o comportamento de dois híbridos de milho com diferentes arquiteturas foliares, em dois espaçamentos entre linhas (0,7

e 0,9m) e duas densidades de plantas (55000 e 75000 plantas ha⁻¹), em dois anos agrícolas, verificaram que tanto a redução do espaçamento entre linhas quanto o aumento na densidade de plantas altera a altura de inserção de espiga, o que concorda em parte com os dados obtidos neste estudo.

6.2.3 - Relação entre altura de inserção de espiga e altura de planta

Ambos os fatores arranjo e população de plantas exerceram efeito sobre a relação entre altura de inserção de espiga e altura de planta (Tabela 5) sem, contudo, haver interação entre os fatores testados. O arranjo equidistante entre plantas promoveu, em média, plantas com altura de inserção de espiga maior em relação à altura total da planta, quando se comparou ao arranjo convencionalmente utilizado.

Para as populações testadas, houve efeito linear sobre a relação entre altura de espiga e altura de planta, graficamente representado na Figura 6. O aumento da população de plantas promoveu aumento nessa característica e confirmou o efeito de estiolamento reportado por Ballaré e Cassal (2000), por Rajcan e Swanton (2001) e por Sangoi et al. (2002c). Segundo Sá (1993), o porte das plantas de milho deve ser de médio à baixo, com o objetivo de obter maior eficiência na colheita mecânica e evitar problemas de quebra e acamamento.

O porte baixo tolera maiores densidades populacionais de plantas, mantendo a uniformidade das espigas. Nas densidades mais altas de semeadura, a relação AIE/A mais alta contribui para o acamamento e quebramento de colmo pois, geralmente, nestas situações o diâmetro de colmo é menor. Segundo Sangoi et al. (2003), estas características são fundamentais, pois quanto maior é a relação entre altura de inserção da espiga e estatura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta, e portanto, maior possibilidade de quebra de colmos, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final do ciclo.

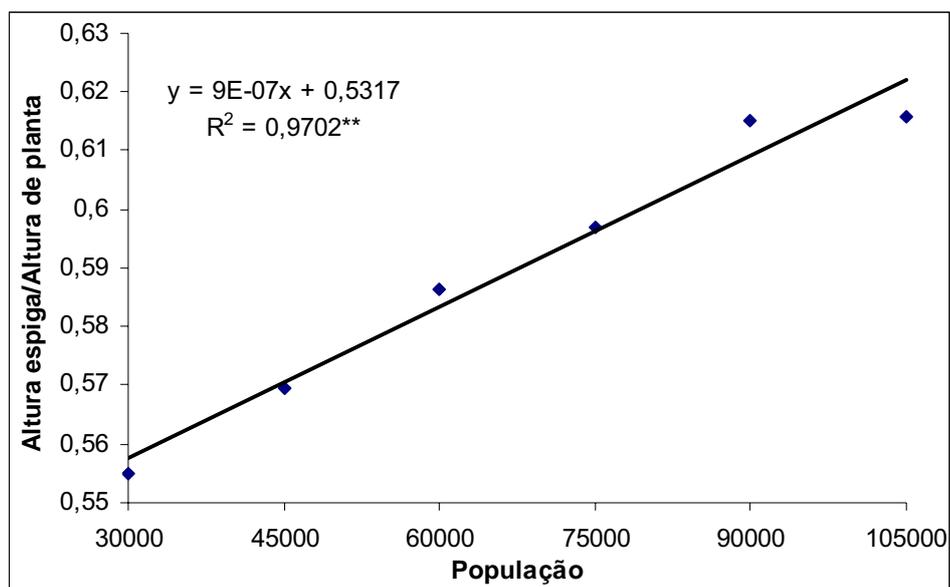


Figura 6 – Médias da relação altura de inserção de espiga / altura de planta em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.2.4 - Diâmetro de colmo

Os fatores arranjo e população influenciaram significativamente a característica diâmetro do colmo (Tabela 5). Em relação à população de plantas, houve resposta de decréscimo do diâmetro do colmo à medida que se aumentou a população de plantas, conforme demonstrado na Figura 7, e que confirma os resultados de diversos autores (CARVALHO, 2007; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002c).

Em altas populações, as plantas respondem com um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento e aumentar suas chances de crescer acima do dossel, o que, porém, sacrifica o desenvolvimento do diâmetro do colmo e área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004). O efeito do estiolamento detectado no presente estudo é confirmado por Ballaré e Cassal (2000) e Rajcan e Swanton (2001), que o atribuem a alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de alta competição intra-específica. Em consequência disso, a suscetibilidade ao acamamento e quebramento de colmo aumenta consideravelmente, como verificado neste trabalho, e discutido posteriormente no item 6.3.9.

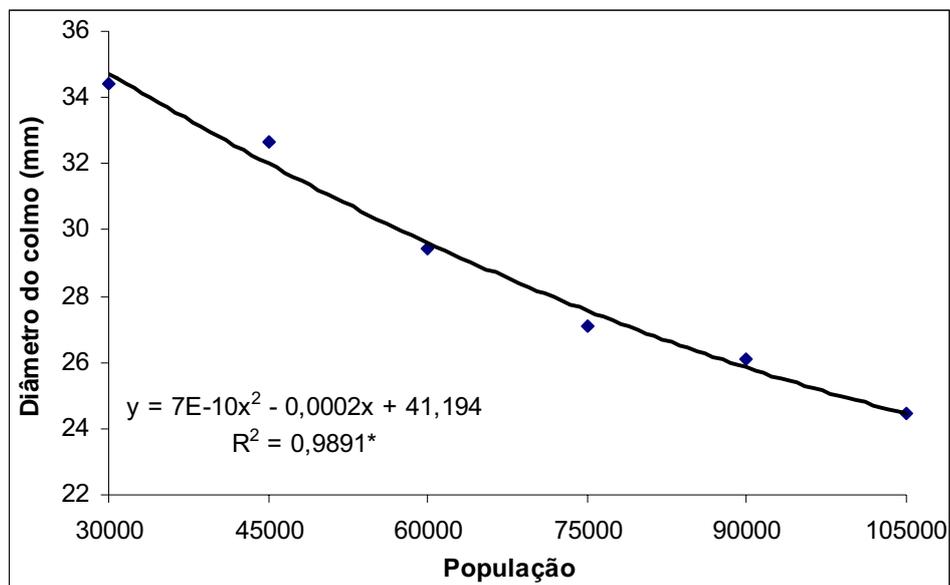


Figura 7 – Médias de diâmetro do colmo em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Em relação ao arranjo de plantas, independente da população de plantas, no espaçamento equidistante foi constatado maior diâmetro do colmo, quando comparado ao espaçamento convencionalmente utilizado (Tabela 5). Também Palhares (2003) constatou maior diâmetro de colmo no menor espaçamento entrelinhas, em altas populações, independente do genótipo estudado. Também com relação ao diâmetro do colmo, o referido autor cita elevação do diâmetro do colmo com a redução de população de plantas, independentemente dos genótipos e espaçamentos utilizados.

Este fato pode ser explicado pela melhor interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura nos maiores espaçamentos em estádios iniciais e anteriores ao florescimento, pois Bullock et al. (1988) comprovaram que o modelo de distribuição equidistante entre plantas favoreceu a taxa de crescimento das plantas de milho em estádios iniciais, período quando há a definição do diâmetro do colmo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), minimizando a competição intra-específica por luz, a dominância apical, o estiolamento das plantas e, conseqüentemente, a redução do diâmetro do colmo (SANGOI et al., 2002c).

Contudo, Amaral Filho (2002) não encontrou o mesmo resultado, e o fator espaçamento não influenciou significativamente no diâmetro médio dos colmos, tendo efeito apenas da população de plantas, sendo que quanto maior o número de plantas ha^{-1} , menor o diâmetro de colmo.

6.2.5 - Índice de área foliar, taxa de persistência e senescência foliar

Os índices de área foliar no florescimento, e na maturidade fisiológica, a taxa de persistência foliar, e a taxa de senescência foliar revelaram efeito, apenas, de população de plantas (Tabelas 5 e 6), graficamente representados nos Figuras 8, 9, 10 e 11. Não foi constatado efeito de arranjo bem como interação dos fatores testados nas referidas características avaliadas ($P > 0,05$).

O melhor aproveitamento da luz possibilita acréscimo na produção de grãos através do aumento da densidade de plantas e redução do espaçamento entre linhas, otimizando a eficiência da interceptação da luz pelo aumento de área foliar por unidade de área (MOLIN, 2000). À medida que se eleva a densidade de plantas, a área foliar por planta diminui (SANGOI et al., 2005b), mas devido ao maior número de plantas por área, o índice de área foliar aumenta (Diniz, 1996). Incrementos crescentes no índice de área foliar avaliado em pleno florescimento foram obtidos com o aumento da população de plantas, consequência do aumento do número de indivíduos na área (Figura 8), concordando com Sangoi et al. (2005a; 2005b), Maddonni et al. (2001), Silva et al. (1999), Anda e Løke (2005) e Machado et al. (1982).

Esse mesmo aumento de indivíduos proporcionou diminuição da área foliar que permaneceu fotossinteticamente ativa ao final do ciclo, representado graficamente no Figura 9. Dados semelhantes foram reportados por Zanin (2007) e Sangoi (2005a), que constataram redução na área foliar aos 56 dias após o florescimento dos genótipos testados à medida em que se elevou a população de plantas.

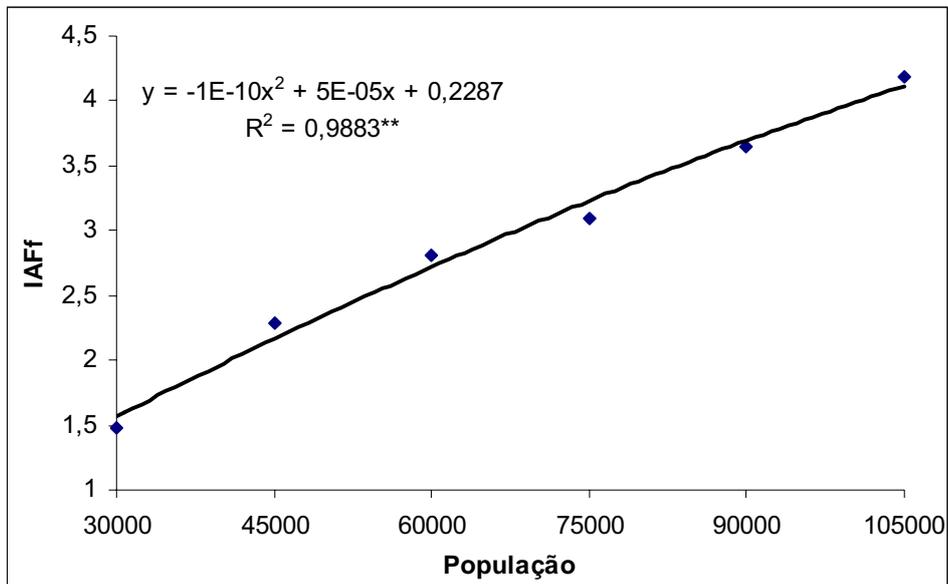


Figura 8 – Médias do índice de área foliar no florescimento em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

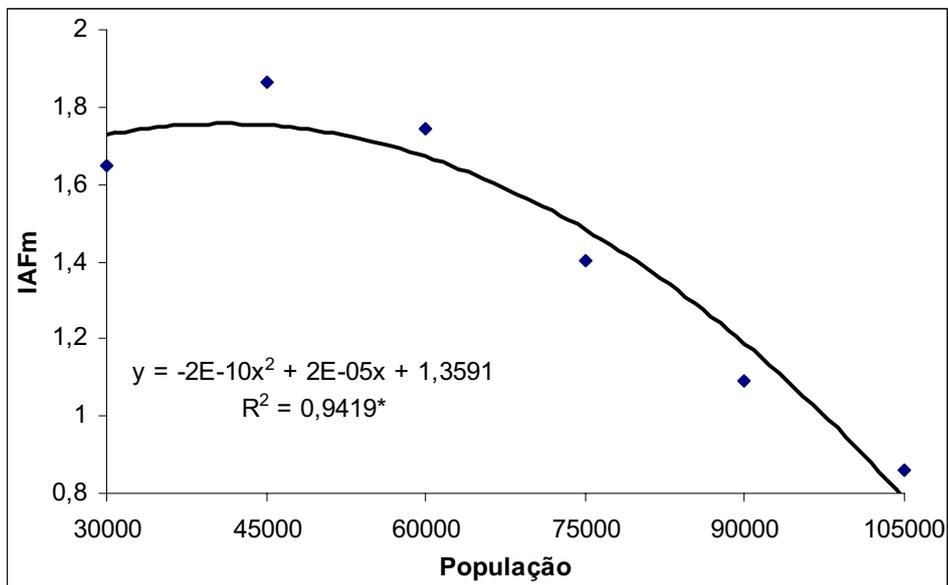


Figura 9 – Médias do índice de área foliar na maturidade fisiológica em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Com relação à taxa de persistência foliar, foi verificada progressiva perda de área fotossinteticamente ativa após o florescimento com o aumento da população, ao longo do período de enchimento de grãos (Figura 10). Na menor população foi observada a manutenção da área fotossinteticamente ativa e progressiva perda de área foliar com aumento da densidade de plantas, sendo que na maior das densidades o índice de área foliar na maturidade fisiológica correspondeu a aproximadamente 20% do obtido no florescimento. Dados semelhantes foram reportados por Zanin (2007) e Sangoi (2005a), que constataram redução na área foliar aos 56 dias após o florescimento dos genótipos testados a medida em que se elevou a população de plantas, obtendo-se para o híbrido simples cerca de 25% da área foliar mensurada na floração, enquanto que para o híbrido duplo, apenas cerca de 3,5%.

Segundo Sangoi et al. (2002a), diversos fatores podem contribuir para manter altas taxas fotossintéticas por unidade de área foliar nas plantas cultivadas, adiando a senescência. Outro aspecto importante, relatado por Westgate et al. (1997), é que a quantidade de radiação solar interceptada pela superfície fotossinteticamente ativa da cultura atua favoravelmente para aumentar a eficiência de uso da radiação solar, pois aumenta a longevidade do aparelho fotossintético e, ao mesmo tempo, mantém o acúmulo de massa nas folhas por mais tempo. Desta forma, infere-se que na menor densidade de semeadura empregada neste estudo, houve maior atividade da fonte em relação a demanda do dreno, principalmente no início do enchimento dos grãos, quando a força de dreno da espiga é pequena (FANCELLI, 2000). A alta relação fonte: dreno permitiu à cultura investir simultaneamente no acúmulo de matéria seca de folhas, colmos e grãos, conforme observou-se em relação ao híbrido testado neste ensaio, o que corrobora com os resultados encontrados por Sangoi et al. (2002a), com o híbrido P32R21 na densidade de 25000 plantas por hectare.

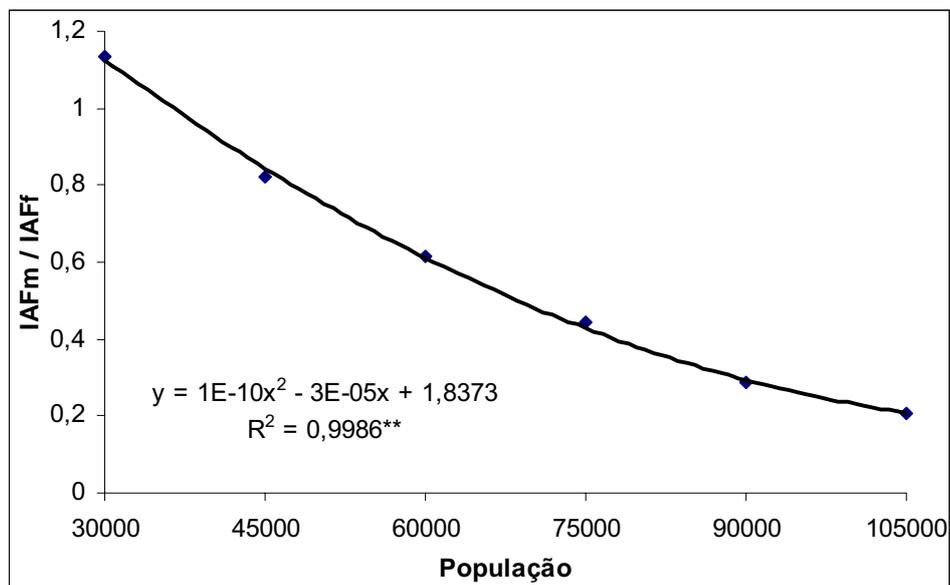


Figura 10 – Médias do índice de persistência foliar em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

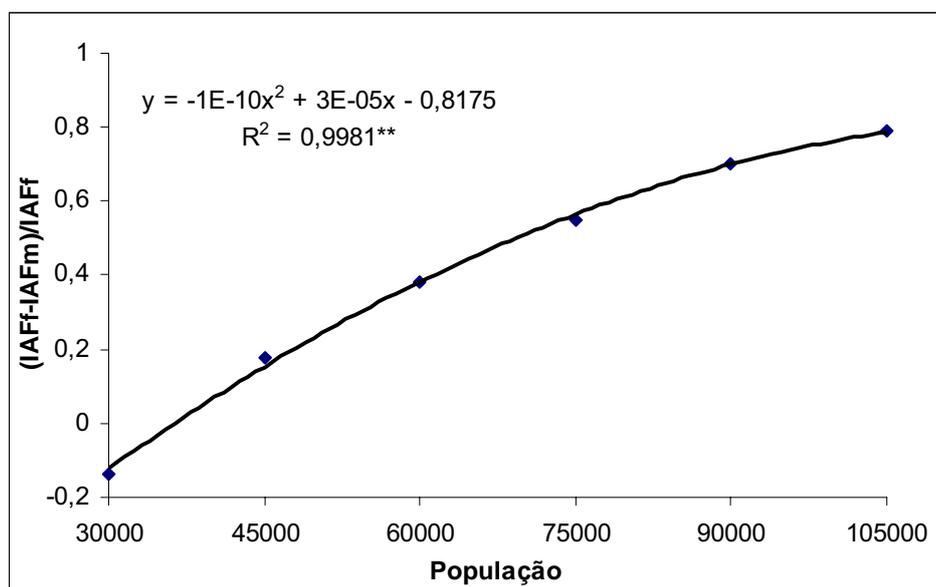


Figura 11 – Médias da taxa de senescência foliar em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Da mesma forma que a taxa de persistência foliar, a taxa de senescência foliar indicou progressiva perda de área fotossinteticamente ativa após o florescimento com o aumento da população, ao longo do período de enchimento de grãos (Figura 11). Na menor população foi observada a manutenção da área fotossinteticamente ativa e progressiva perda de área foliar com aumento da densidade de plantas. Este comportamento, possivelmente, pode estar relacionado ao aumento da demanda pelo aumento do dreno em relação à fonte, pois Rajcan e Tollenaar (1999) e Sangoi et al. (2002a) constataram que a promoção do aumento da relação da demanda com a fonte pela diminuição da área foliar aumentou a senescência das folhas em relação às plantas mantidas com área foliar intacta. Também Zanin (2007), avaliando a senescência foliar em populações de 25, 50, 75, 100 e 125 mil plantas ha⁻¹ em três tipos de híbridos, reportou incrementos na senescência foliar ao longo do enchimento de grãos com o aumento da população, da mesma forma que Sangoi (2005a).

6.2.6 - Massa de matéria seca por planta e por área

Em relação à produção de massa de matéria seca por planta e a total por hectare, tanto no florescimento quanto na maturidade fisiológica, verifica-se efeito apenas de população, sendo que os arranjos espaciais testados não interferiram ($P > 0,05$) na expressão destas características (Tabela 6). Para produção massa de matéria seca por planta na maturidade fisiológica, houve significância ($P < 0,05$) apenas para regressão linear, no entanto para as demais observou-se também ajuste para regressão quadrática (Tabela 6), sendo as utilizadas para explicar o comportamento destas, tendo em vista o critério adotado e já discutido anteriormente.

De um modo geral, houve decréscimo da massa seca por planta com o aumento da população de plantas tanto no florescimento (Figura 12) quanto na maturidade fisiológica (Figura 13). Palhares (2003) e Sangoi et al. (2005b) também relataram redução da massa de matéria seca da parte aérea por planta com o aumento da população. O fato indica, claramente, o aumento da competição intraespecífica por recursos do meio à medida que se eleva a população de plantas (SANGOI, 2000; CARVALHO, 2007). Contudo, da mesma forma ao observado neste trabalho, estes autores observaram um aumento da produção de

massa seca total por hectare com aumento da população de plantas por área.

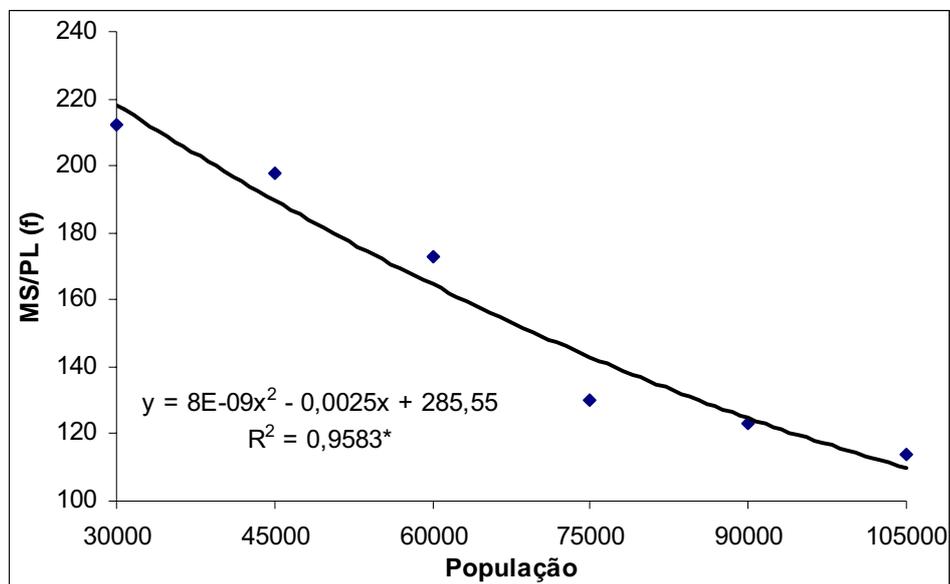


Figura 12 – Médias da produção de massa de matéria seca por planta no florescimento em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e eqüidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

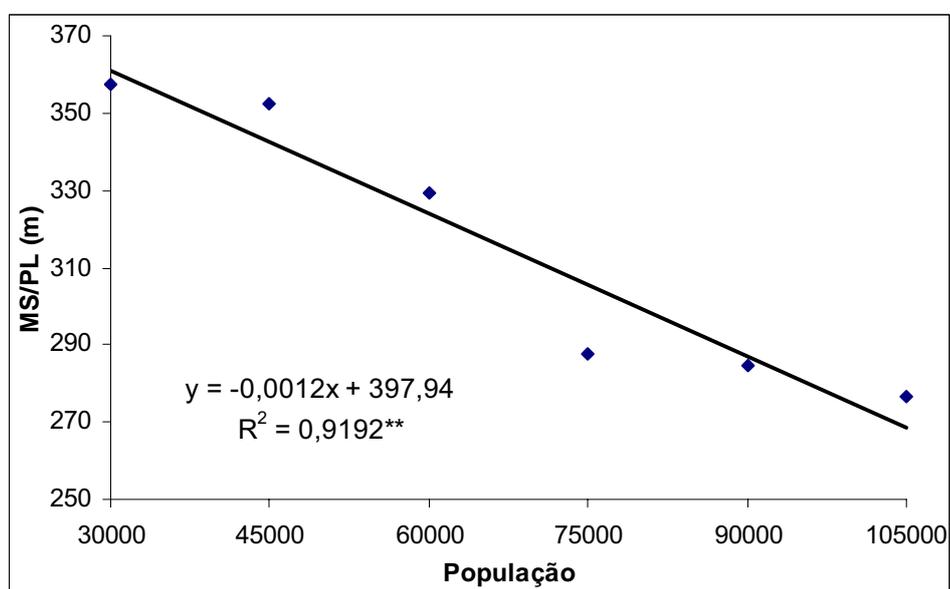


Figura 13 – Médias da produção de massa de matéria seca por planta na maturidade fisiológica em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e eqüidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

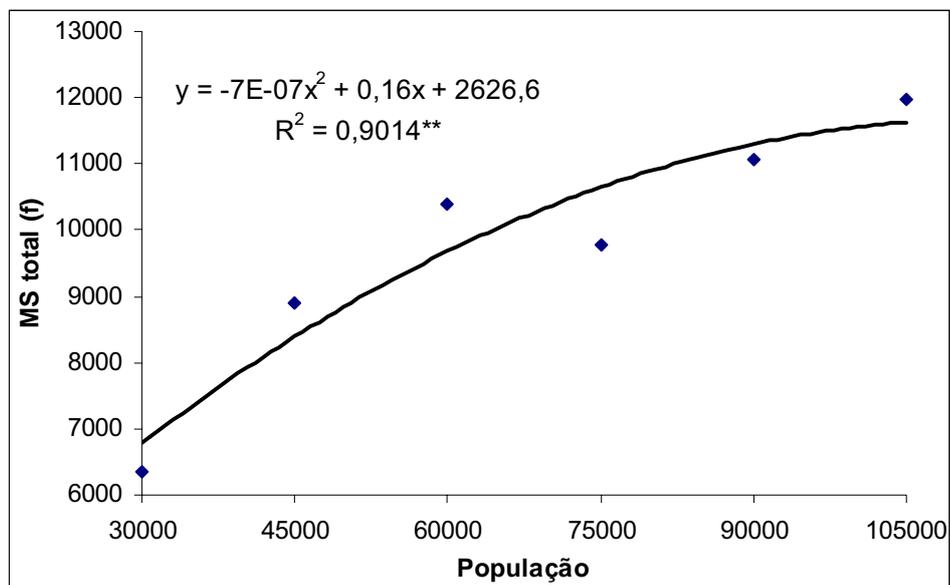


Figura 14 – Médias da produção de massa de matéria seca por área no florescimento, em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e eqüidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

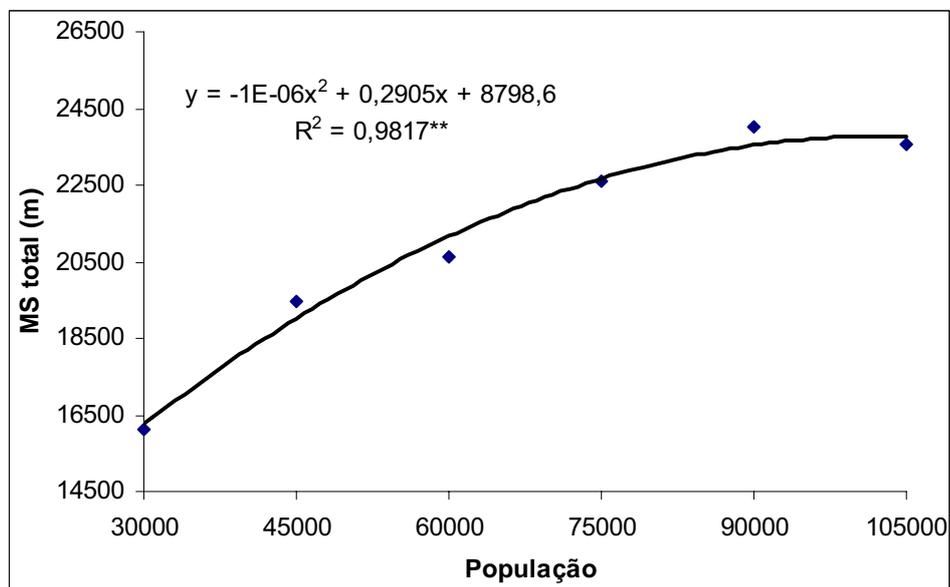


Figura 15 – Médias da produção de massa de matéria seca por área na maturidade fisiológica, em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e eqüidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Turgut et al. (2005), testando três híbridos (DK-585, ADA 95-10 e C-955), em espaçamento alternado de 0,40 : 0,25 m e 0,65 m com quatro densidades de plantas em milho (65000, 85000, 105000 e 125000 plantas ha⁻¹) em algumas características morfológicas, rendimento de forragem e de matéria seca, encontraram incrementos no rendimento de massa seca à medida que se elevou a população de 65000 para 85000 plantas ha⁻¹, decrescendo a partir de então, similarmente ao verificado neste experimento. No entanto, quando se comparou a produção de massa seca nos espaçamentos, foi verificado incremento estatisticamente significativo nos espaçamentos menores e alternados, o que não foi verificado no presente experimento.

Ainda com relação aos arranjos testados, também Alvarez et al. (2006), encontraram resultados divergentes em relação aos obtidos neste estudo. Os dois híbridos de milho de diferentes arquiteturas foliares testados, submetidos a dois espaçamentos entre linhas (0,7 e 0,9m) e a duas densidades de plantas (55000 e 75000 plantas ha⁻¹), em dois anos agrícolas, a redução do espaçamento entre linhas de 0,90 m para 0,70 m proporcionou maiores produções de matéria seca e de grãos de milho, independentemente do ano de plantio e da densidade de plantas. Contudo, o aumento da densidade de plantas de 55000 plantas ha⁻¹ para 75000 plantas ha⁻¹ proporcionou aumento na produção de massa de matéria seca e na produção de grãos de milho, o que concorda com o presente estudo.

6.2.7 - Índice de Remobilização

Os fatores testados não interferiram no índice de remobilização (Tabela 6), concordando com os resultados de Sangoi et al. (2001a), que testaram três híbridos contrastantes em exigência calórica para florescimento, quatro densidades populacionais com sua área foliar intacta e com remoção de metade das folhas verdes presentes durante o espigamento. Os autores verificaram efeitos de híbridos e desfolha, mas as populações testadas não interferiram no índice de remobilização.

6.2.8 - Índice de Colheita

De maneira geral, o índice de colheita não foi alterado em razão dos fatores testados (Tabela 6). Segundo Durães et al. (2002), geralmente, quando as densidades de plantas são aumentadas, especialmente acima do nível em que o rendimento de grãos é máximo, o índice de colheita decresce; constatando índices de colheita de cultivares de milho entre 0,3 a 0,6. Maddonni e Otegui (2006) também constataram alteração de índice de colheita em populações de 30 a 150 mil plantas ha⁻¹.

No entanto, o decréscimo no índice de colheita de um estande de plantas de milho, comumente reportado em altas densidades populacionais (ECHARTE; ANDRADE, 2003), é resultado da alta variabilidade do estande (MADDONNI; OTEGUI, 2006), reportado recentemente na literatura (ZANIN, 2007; MADDONNI; OTEGUI, 2006; SANGOI, 2005a). A primeira explicação para o fenômeno, dada por Maddonni e Otegui (2006), é a que com o estabelecimento de hierarquias ou as chamadas “plantas dominadas”, estas, pela reduzida capacidade de produzir fotoassimilados e conseqüentemente alocar aos grãos, acabam contribuindo para a diminuição deste índice. Argenta et al. (2001b) não obtiveram diferença entre populações para o índice de colheita, mas testou-se populações não tão altas (50000 e 65000 plantas ha⁻¹) quanto nos outros trabalhos citados.

Embora não avaliado neste ensaio, infere-se que nas condições do ensaio, a uniformidade obtida tenha sido suficientemente uniforme a ponto de não interferir no índice de colheita, como relatado por Maddonni e Otegui (2006).

6.3 – Características de espiga e componentes de produção

Os resultados da análise de variância feita para os caracteres de espiga e componentes de produção encontram-se resumidos nas Tabelas 7 e 8, onde são apresentados os valores de F calculado para as causas de variação, bem como o desdobramento dos graus de liberdade para as populações e as médias dos arranjos populacionais já inclusas. Na Tabela 7, encontra-se o resumo da análise de variância para o comprimento de espiga, diâmetro de espiga e do sabugo, comprimento do grão, número de fileiras de grãos, massa de grãos por espiga e número de grãos por espiga. Para os caracteres população final, porcentagem de plantas acamadas, número de grãos por hectare, número de espigas por hectare, índice de

espiga, massa de mil grãos, e produtividade, são demonstrados na Tabela 8.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações com seus respectivos coeficientes, e médias de formas de arranjo, para os caracteres comprimento de espiga (CE) (cm), diâmetro de espiga (DE) (mm), diâmetro do sabugo (DS) (mm), comprimento do grão (CG) (mm), número de fileiras de grãos (NF) massa de grãos por espiga (MGE), e número de grãos por espiga (NGE) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros						
	CE	DE	DS	CG	NF	MGE	NGE
Bloco	0,858 ^{NS(1)}	3,032*	5,505**	2,792 ^{NS}	0,679 ^{NS}	2,196 ^{NS}	1,082 ^{NS}
População (P)	21480**	34,205**	37,518**	13,037**	6,472**	28,509**	9,463**
Modelo ⁽²⁾	Q*	-	-	L**	L**	Q*	Q**
Arranjo (A)	0,168 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,560 ^{NS}	0,139 ^{NS}	2,771 ^{NS}	0,044 ^{NS}	0,976 ^{NS}
Convencional	15,1	49,71	25,78	11,97	15,5	153,87	471,46
Eqüidistante	15,2	49,72	25,87	11,92	15,6	154,76	471,45
P x A	0,979 ^{NS}	2,723*	5,642**	1,176 ^{NS}	2,194 ^{NS}	1,118 ^{NS}	1,236 ^{NS}
Média	15,1	49,71	25,82	11,95	15,5	154,32	476,46
C.V. (%)	5,12	1,97	1,75	3,43	2,45	9,54	7,35
R²	0,9324	-	-	0,9893	0,6816	0,9829	0,9645

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05) *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as causas de variação e sua interação, efeitos de regressão para populações, e médias de formas de arranjo, para população (PF), porcentagem de plantas acamadas (% PA), número de grãos por hectare (NGH) (em milhares), número de espigas por hectare (NEH), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (1000 G) (g), e produtividade (P) (kg ha⁻¹) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros						
	PF	% PA	NGH	NEH	IE	1000 G	P
Bloco	2,220 ^{NS(1)}	1,071 ^{NS}	0,670 ^{NS}	0,473 ^{NS}	0,401 ^{NS}	3,809*	2,321 ^{NS}
População (P)	21500,658**	46,718**	8,334**	19,394**	144,290**	28,105**	3,491*
Modelo ⁽³⁾	L**	Q**	Q**	L**	Q**	L**	Q**
Arranjo (A)	1,000 ^{NS}	4,896*	3,294 ^{NS}	1,716 ^{NS}	3,683 ^{NS}	1,472 ^{NS}	1,655 ^{NS}
Convencional	66097,00	20,49 b ⁽²⁾	72708,3	72708,3	1,22	325,38	11031,90
Equidistante	66250,00	27,46 a	75575,3	75575,3	1,27	318,46	11669,90
P x A	1,860 ^{NS}	1,171 ^{NS}	0,389 ^{NS}	0,392 ^{NS}	0,486 ^{NS}	0,754 ^{NS}	0,523 ^{NS}
Média	66173	23,97	34983,0	74141,8	1,25	321,92	11350,9
C.V. (%)	0,80	45,49	10,65	10,23	7,51	6,14	15,13
R²	0,9999	0,9745	0,9390	0,9869	0,9926	0,9534	0,9454

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05) *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste tukey (P>0,05). ⁽³⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

6.3.1 - Comprimento de espiga

Para a característica comprimento de espiga, observa-se pela análise de variância efeito apenas de população, conforme se verifica na Tabela 7. No desdobramento dos graus de liberdade detectou-se significância para os modelos de regressão polinomial linear e quadrático, onde este último foi o adotado em função do melhor ajuste, graficamente demonstrado na Figura 16. Neste, fica evidente a progressiva redução no comprimento de espigas em função do aumento da população, caracterizando aumento da competição intraespecífica, constatada por Dozza (1997). Também Mateus et al. (2004) observaram diminuição dos valores de comprimento e diâmetro de espiga com a elevação da densidade de semeadura de 40000 para 97700 plantas ha⁻¹. O presente estudo concorda também com os resultados obtidos por Palhares (2003) e também Paulo e Andrade (2003), os quais observaram redução no comprimento de espiga pelo aumento na população de plantas, favorecendo a formação de espigas pequenas, devido, provavelmente, ao aumento da

competição intra-específica por água, nutrientes e luminosidade.

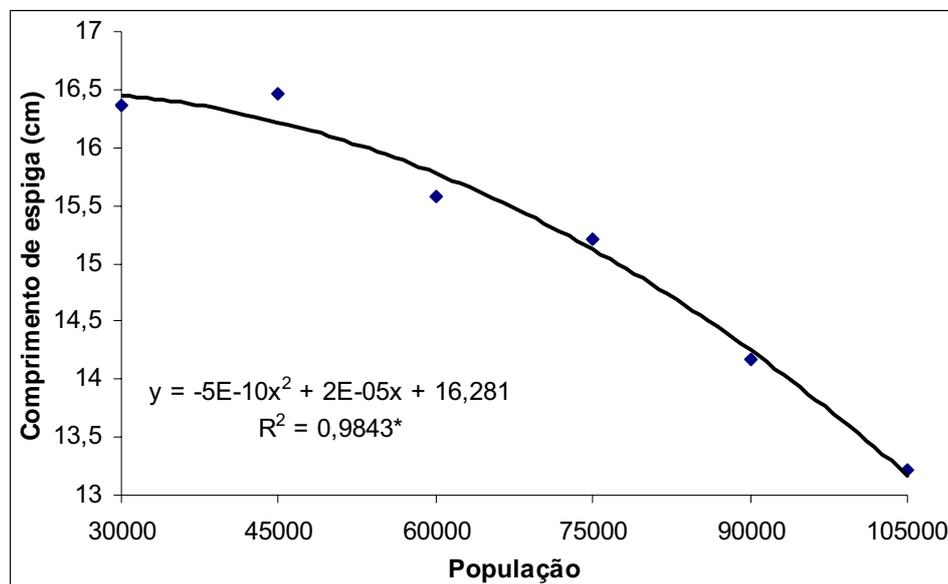


Figura 16 – Médias do comprimento de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.2 - Diâmetro de espiga

Observa-se na análise de variância para os dados de diâmetro de espiga interação entre os fatores testados (Tabela 7). Quando foi realizada a regressão para os níveis de população dentro de cada arranjo, verificou-se que houve comportamento diferenciado para cada um destes (Figura 17). Quando se desdobrou as médias de distribuição dentro de cada população, houve diferença significativa apenas na maior população, sendo as demais estatisticamente semelhantes ($P > 0,05$). De um modo geral, com o aumento da população de plantas, o diâmetro da espiga decresceu, o que corrobora com os resultados encontrados por Lenzi (1992).

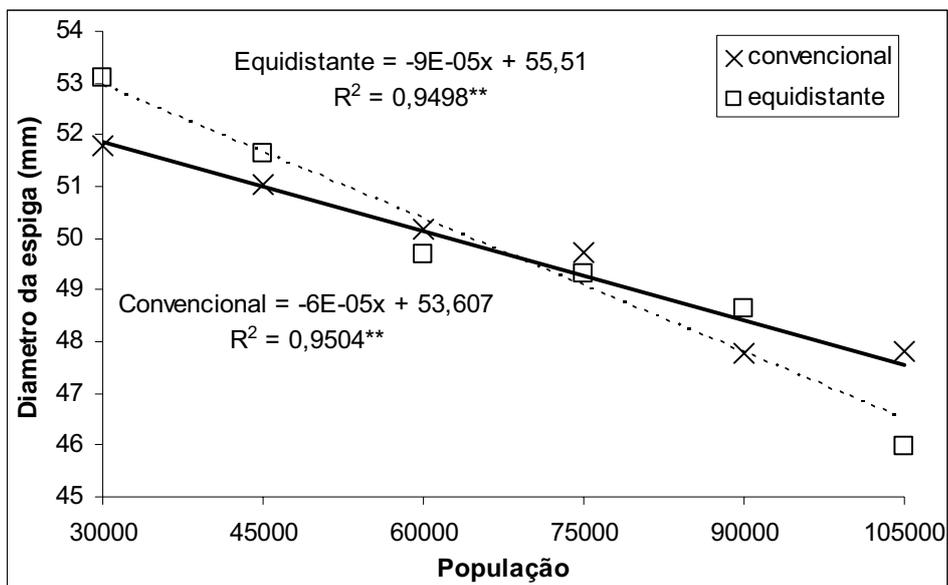


Figura 17 – Médias do diâmetro de espiga para populações de milho híbrido DOW 2B587, nos arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.3 - Diâmetro do sabugo

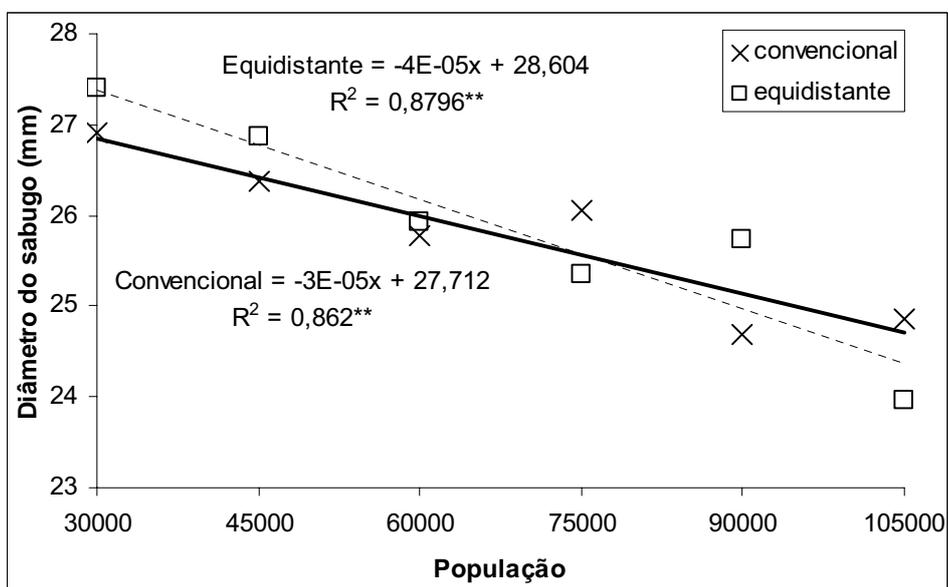


Figura 18 – Médias do diâmetro do sabugo para populações de milho híbrido DOW 2B587, nos arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

A exemplo do que ocorreu para o diâmetro da espiga, a análise de variância para os dados de diâmetro do sabugo demonstrou haver interação entre os fatores testados (Tabela 7). Quando foi realizada a regressão para os níveis de população dentro de cada arranjo, verificou-se que houve comportamento diferenciado para cada um destes (Figura 18). Quando se desdobrou as médias de distribuição dentro de cada população, houve diferença significativa nas três maiores populações, sendo as demais semelhantes ($P > 0,05$). De um modo geral, com o aumento da população de plantas, o diâmetro do sabugo decresceu, o que corrobora com os resultados encontrados por Lenzi (1992).

6.3.4 - Comprimento do grão

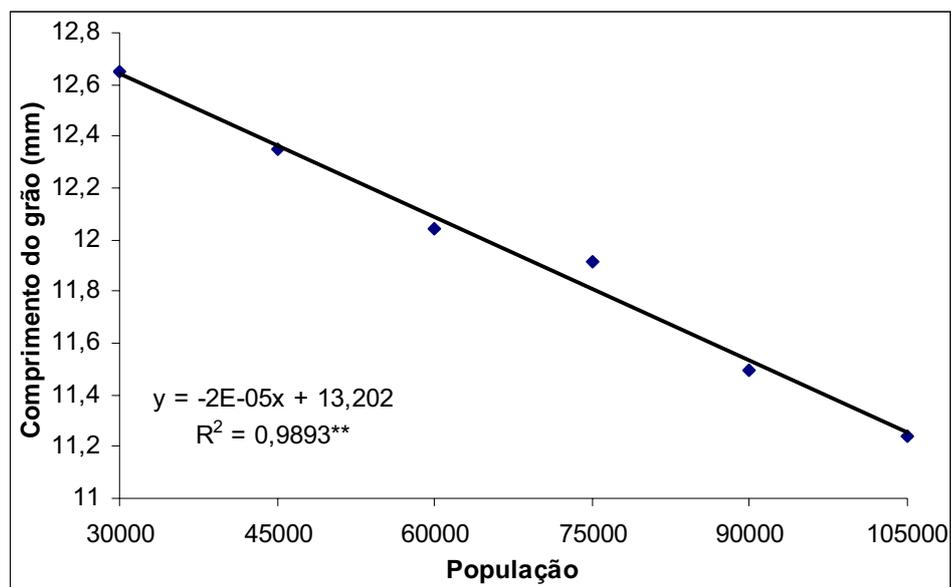


Figura 19 – Médias de comprimento do grão em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

A análise de variância para comprimento do grão demonstrou haver efeito apenas das populações testadas (Tabela 7). A exemplo do que ocorreu com os diâmetros de espiga e de sabugo, o comprimento do grão reduziu linearmente à medida que se elevou a densidade de plantas (Figura 19), sem contudo, apresentar interação entre os fatores testados. Desta forma, infere-se que a resposta diferencial no diâmetro do sabugo influenciou o

aparecimento de uma mesma tendência no diâmetro da espiga, sendo este consequência do primeiro.

6.3.5 - Número de fileiras de grãos

Quanto ao número médio de fileiras de grãos por espiga, a análise de variância demonstrou haver efeito apenas das populações estudadas (Tabela 7), a qual decresceu de forma linear com o aumento da população de plantas (Figura 20). Os dados obtidos corroboram com os obtidos por Lenzi (1992), Pinotti (2003) e Furtado (2005), onde se observou que à medida que se elevou a densidade de plantas, o número de fileiras de grãos diminuiu. Entretanto, Marchão et al. (2004) obtiveram resultados contrários aos obtidos neste experimento, pois os autores chegaram à conclusão que o número de fileiras de grãos não foi influenciado pelo aumento na densidade de semeadura.

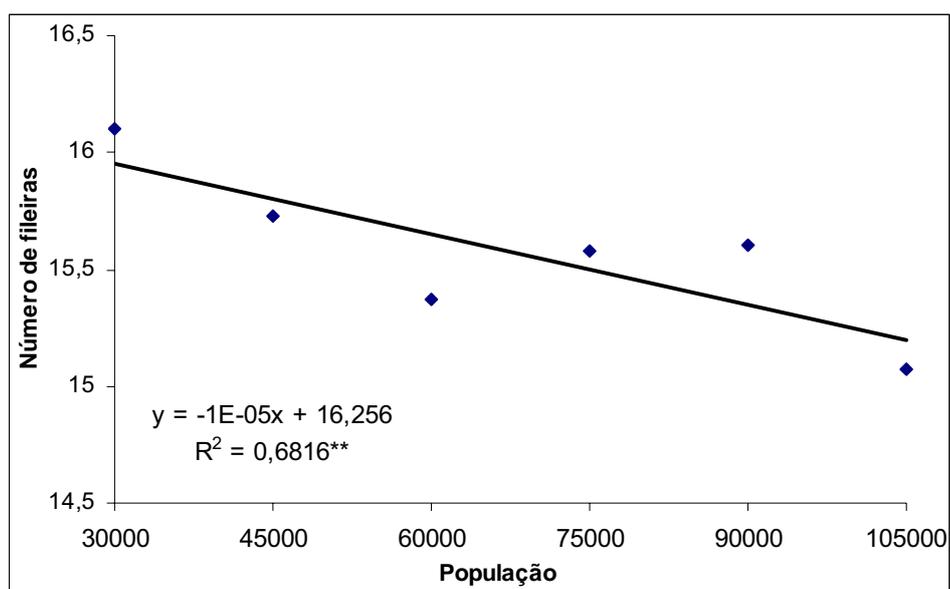


Figura 20 – Médias do número de fileiras de grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.6 - Massa de grãos por espiga

Quanto à massa de grãos por espiga, a análise de variância demonstrou haver efeito apenas das populações estudadas, a qual se ajustou a ambos os modelos testados, sendo escolhido o modelo de regressão polinomial quadrático, pois foi o que apresentou o maior R^2 (Tabela 7). Com o aumento da população, houve decréscimo da massa de grãos por espiga (Figura 21), concordando com os dados obtidos por Revoredo e Cazetta (2006) e Pinotti (2003), ambos em populações compreendidas entre 30000 e 90000 plantas ha^{-1} .

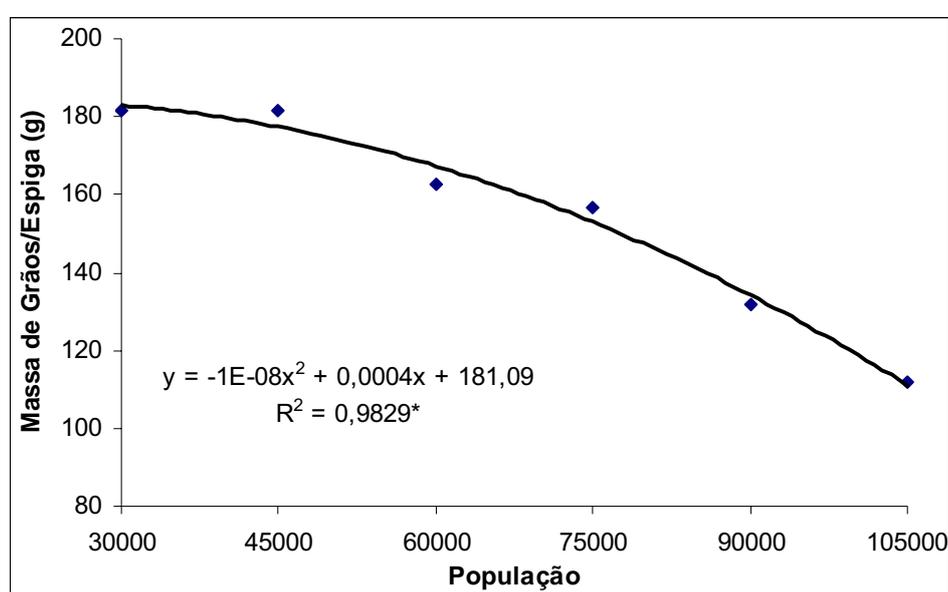


Figura 21 – Médias de massa de grãos por espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.7 - Número de grãos por espiga

O número de grãos por espiga estimado foi influenciado apenas pelo efeito das populações testadas, conforme se verifica na Tabela 7. O desdobramento dos graus de liberdade detectou significância para os modelos de regressão polinomial linear e quadrático, onde este último foi o adotado em função do melhor ajuste, graficamente demonstrado na Figura 22. A diminuição do número de grãos por espiga com o incremento da população de plantas, conforme foi detectado neste estudo, é relatada com certa frequência na

literatura (REVOREDO; CAZETTA 2006; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SILVA et al., 1999; PINOTTI, 2003), independentemente do híbrido (FLESCH; VIEIRA, 2004; SANGOI et al., 2005b), e do espaçamento entre linhas (PALHARES, 2003; SCHEEREN et al., 2004; PENARIOL et al., 2003), corroborando com os resultados do presente estudo. No entanto, alguns trabalhos reportam aumento do número de grãos por espiga com a diminuição do espaçamento entrelinhas (SANGOI et al., 2001b; e MURPHY et al., 1996), contrariando os resultados obtidos.

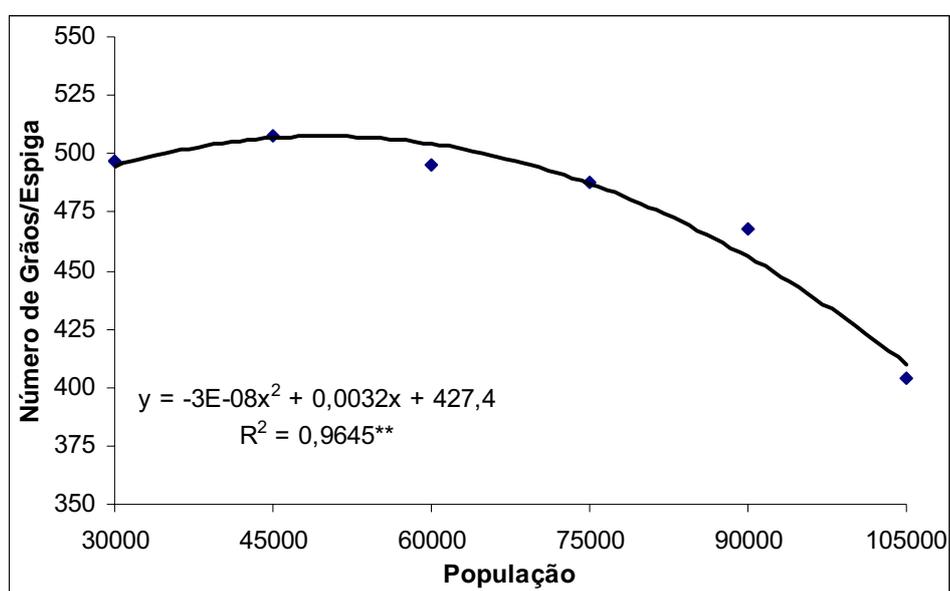


Figura 22 – Médias do número de grãos por espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.8 - População final

A população de plantas ao final do ciclo, incluindo-se as plantas acamadas e/ou quebradas, avaliada na maturidade fisiológica, não foi diminuída pela forma de arranjo das plantas, sendo a sobrevivência considerada alta, conforme demonstrado graficamente na Figura 23. Comprova-se, desta maneira, que a maneira de instalação / condução do ensaio foi eficiente em proporcionar condições para adequada germinação, emergência e estabelecimento, assegurando boas condições de desenvolvimento das plantas, e conseqüentemente, o correta aplicação e efeito dos tratamentos testados.

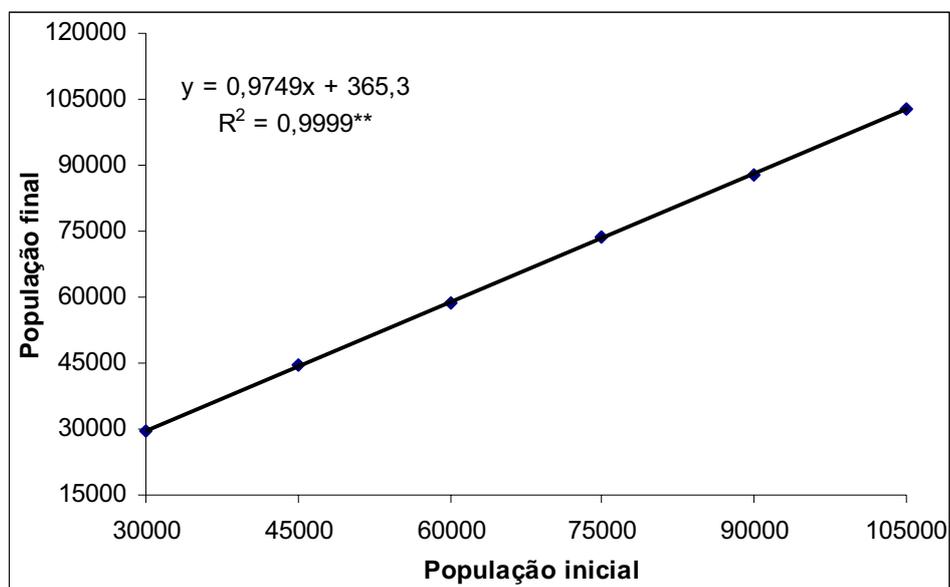


Figura 23 – Médias do número de indivíduos na maturidade fisiológica em relação à população inicial pretendida por ocasião da semeadura, em milho híbrido DOW 2B587 sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.9 - Porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas

A porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas foi influenciada pelas populações e arranjos espaciais de plantas testadas, mas não houve interação dos fatores testados (Tabela 8). Verifica-se um incremento acentuado da porcentagem de plantas acamadas e quebradas com o aumento da população, conforme pode ser observado na Figura 24, bem como no arranjo de plantas equidistante comparado ao convencional (Tabela 8).

Supõe-se que este comportamento seja associado a uma diminuição do diâmetro do colmo e um aumento da relação altura de planta e altura de inserção de espiga, observados com o aumento da população, e também com a adoção do espaçamento equidistante, pois houve aumento da relação altura de planta e altura de inserção de espiga com o aumento da população. Assim, quanto menor o diâmetro do colmo e maior é a relação entre altura de inserção da espiga e estatura da planta, menor é a resistência do colmo e mais deslocado estará o centro de gravidade da planta, favorecendo a quebra de colmos (SANGOI et al., 2003).

O aumento do acamamento / quebramento de colmo com aumento da

população relatado no presente estudo também foi relatado por outros autores (NIELSEN, 1988; SANGOI et al. 2002c; PINOTTI, 2003; FURTADO, 2005), contudo, discordando de Amaral Filho (2002) e Carvalho (2007), que não observaram influência das populações de plantas sobre esta variável.

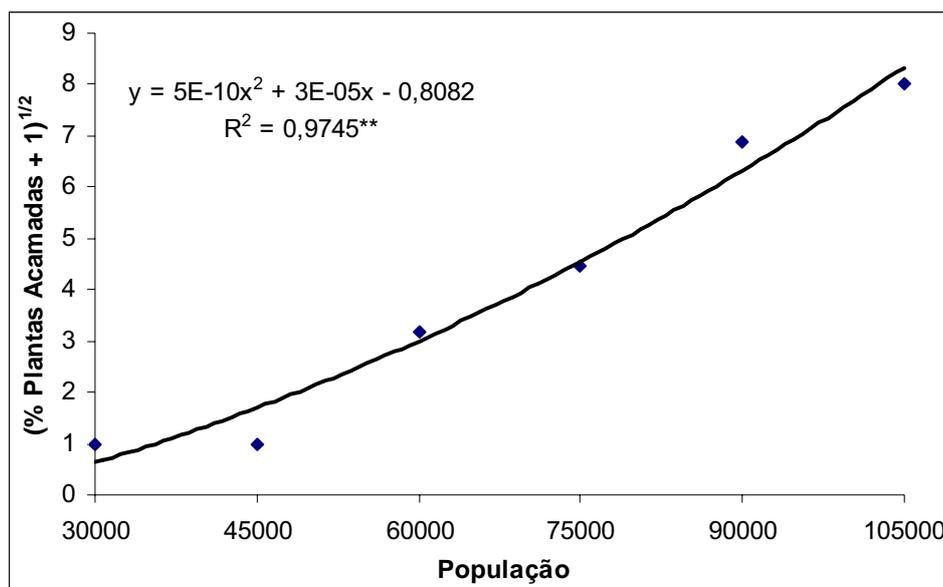


Figura 24 – Médias da porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP). Dados transformados por $(x + 1)^{1/2}$.

6.3.10 - Número de espigas por hectare

Assim como para o índice de espigas, o número de espigas por hectare foi influenciado pelas populações de plantas testadas, não sendo influenciado pelo arranjo espacial de plantas tampouco pela interação destes, conforme a Tabela 8 e a Figura 25. Apesar do decréscimo do índice de espiga com o aumento da população de plantas, o número de espigas por hectare aumentou, pois a redução no índice de espiga observada, ao redor de 1,0 espiga por planta ou 50%, foi menor que o aumento da população promovido, cerca de 3,5 vezes, promovendo assim, acréscimos no número final de espigas.

Este aspecto relatado no presente estudo confirma o comportamento encontrado em alguns trabalhos em que, apesar de ocorrerem ganhos de produtividade com o

aumento da população de plantas, normalmente os componentes da produção massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta são afetados negativamente (PALHARES, 2003; SILVA et al., 1999, PENARIOL et al., 2003), independente do ciclo do híbrido (FLESCH; VIEIRA, 2004), e que possivelmente está associada ao aumento na competição intraespecífica (TOLLENAAR et al., 1992).

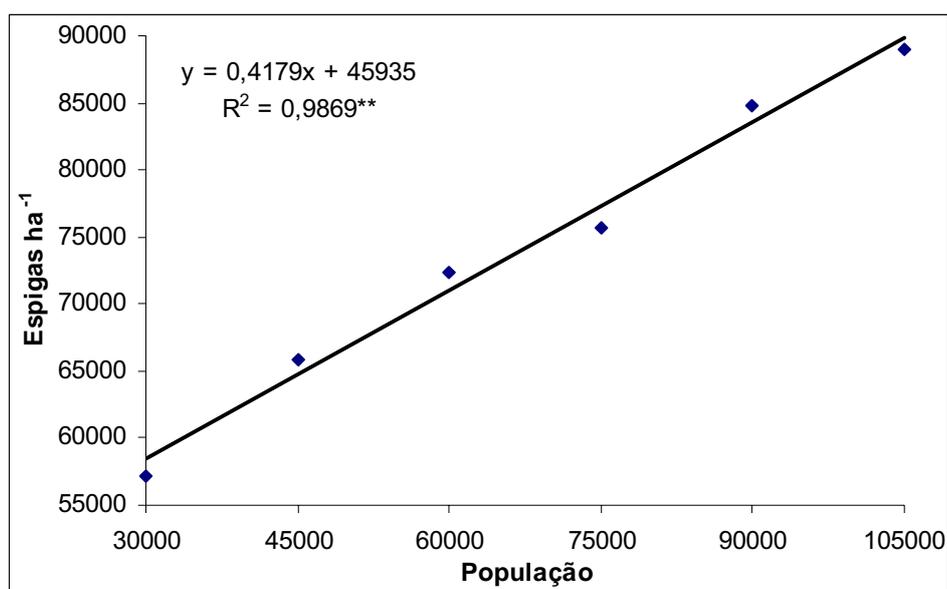


Figura 25 – Médias do número de espigas por hectare em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Outros autores também encontraram redução nesses componentes da produção com aumento da população de plantas de 50000 plantas ha⁻¹ para 65000 plantas ha⁻¹ (ARGENTA et al., 2001b) e 50000 plantas ha⁻¹ até 90000 plantas (FLESCH; VIEIRA, 2004), relatando que tais perdas foram compensadas por um maior número de plantas, conseqüentemente número de espigas por área, pois a produtividade de grãos não foi afetada, concordando com os resultados obtidos no presente estudo. Segundo esses autores, em lavouras com alta população de plantas e sob boas condições de crescimento, as espigas adicionais por hectare resultarão em maior produtividade de grãos, por maximizar o número de grãos por hectare, daí a importância dessa característica. 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 (CARVALHO, 2007).

6.3.11 - Índice de espiga

O índice de espigas foi afetado pelas populações de plantas testadas, não sendo influenciado pelo arranjo espacial de plantas, tampouco pela interação destes (Tabela 8). O índice de prolificidade é um importante indicativo da capacidade dos híbridos modernos em suportar maiores populações, sem diminuir muito a emissão e manutenção das espigas (ALMEIDA et al., 2000).

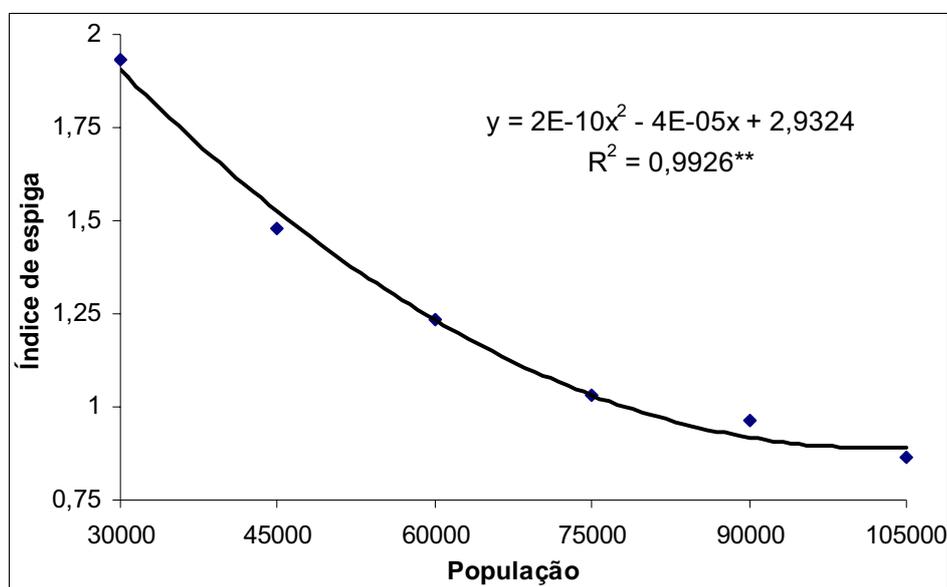


Figura 26 – Médias do índice de espiga em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Conforme se observa na Figura 26, houve decréscimo do número de espigas por planta à medida que se elevou a população de plantas. Dados semelhantes foram encontrados por Pereira Filho et al. (1991), Barbosa (1995), Merotto Júnior et al. (1996), Silva et al. (1999), Argenta et al. (2001b), Flesch e Vieira (2004) e Penariol et al. (2003), que também trabalharam com diferentes híbridos e obtiveram redução do índice de prolificidade com o aumento da população de plantas.

Entre os arranjos não houve diferença para o índice de espiga (Tabela

8). Outros autores, trabalhando com diferentes híbridos em diferentes locais e anos, também não encontraram variação do índice de espiga com a redução do espaçamento (CARVALHO, 2007; FLESCHE; VIEIRA, 2004; PALHARES, 2003; SCHEEREN et al., 2004; PENARIOL et al., 2003; ARGENTA et al., 2001b; SANGOI et al., 2001b; MURPHY et al., 1996).

6.3.12 - Número de grãos por hectare

Para o número de grãos produzido por hectare, foi detectado efeito apenas das populações testadas (Tabela 8), representado na Figura 27. Para ambas as formas de arranjo, obteve-se um aumento quadrático do número de grãos por área com o aumento da população, o que concorda com os resultados de Sangoi et al. (2002b) e discorda de Strieder et al. (2007) e Sangoi et al. (2005b), que relataram crescimento linear do número de grãos por área com ao aumento da população de plantas.

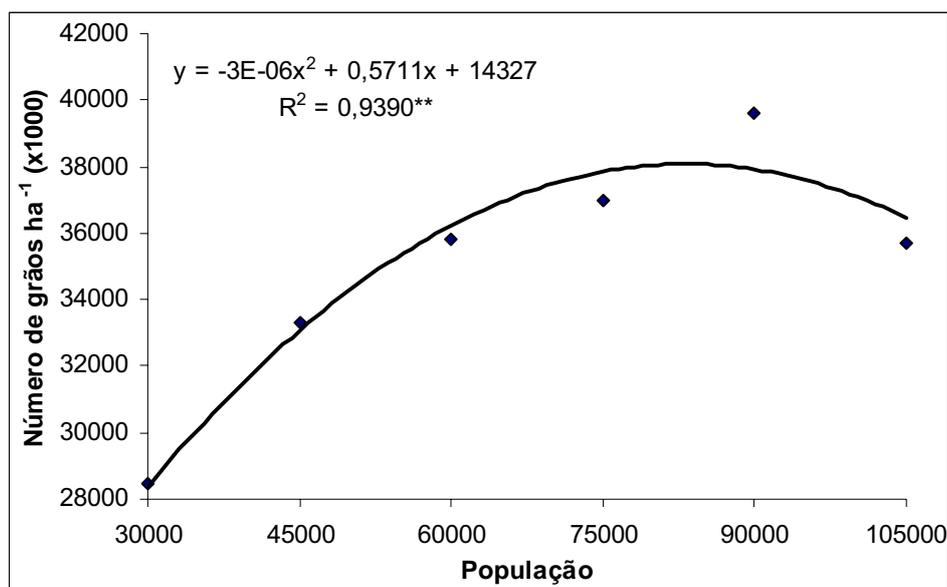


Figura 27 – Médias do número de grãos por hectare em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

6.3.13 - Massa de mil grãos

Na análise de variância para a massa de mil grãos, observa-se efeito

apenas das populações testadas (Tabela 8). A exemplo do que ocorreu com o comprimento do grão, a massa de mil grãos reduziu linearmente à medida que se elevou a densidade de plantas (Figura 28), sem contudo, apresentar interação entre população e formas de distribuição.

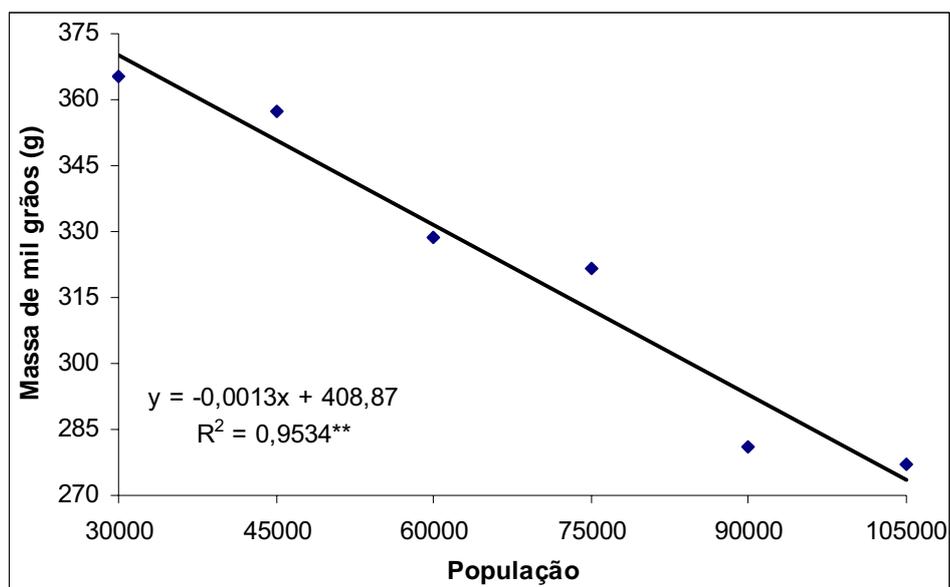


Figura 28 – Médias da massa de mil grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Outros autores também encontraram redução da massa de mil grãos com o aumento da população de plantas (STRIEDER et al, 2007; CARVALHO, 2007; FURTADO, 2005; PALHARES, 2003; SILVA et al., 1999; PENARIOL et al., 2003; REDDY et al. 1987, MEROTTO JÚNIOR et al., 1996; FLESCHE; VIEIRA, 2004, LENZI, 1992). Essa redução possivelmente está associada ao aumento da competição intra-específica provocada pelo aumento da população de plantas (SANGOI, 2000; MEROTTO JUNIOR et al., 1999), agravado nas situações de desuniformidade de desenvolvimento das plantas, onde as “plantas dominadas” são mais afetadas pelo aumento da população de plantas, demonstrando que os efeitos da competição intra-específica acontecem tanto quando as plantas estão em maior população ou quando são dominadas por plantas vizinhas que emergiram mais rapidamente (ZANIN, 2007; MEROTTO JUNIOR et al., 1999).

6.3.14 - Produtividade

Para a produtividade de grãos, obteve-se influência das populações testadas, sem ter sido detectados efeitos significativos de formas de distribuição, tampouco interação entre os fatores testados (Tabela 8).

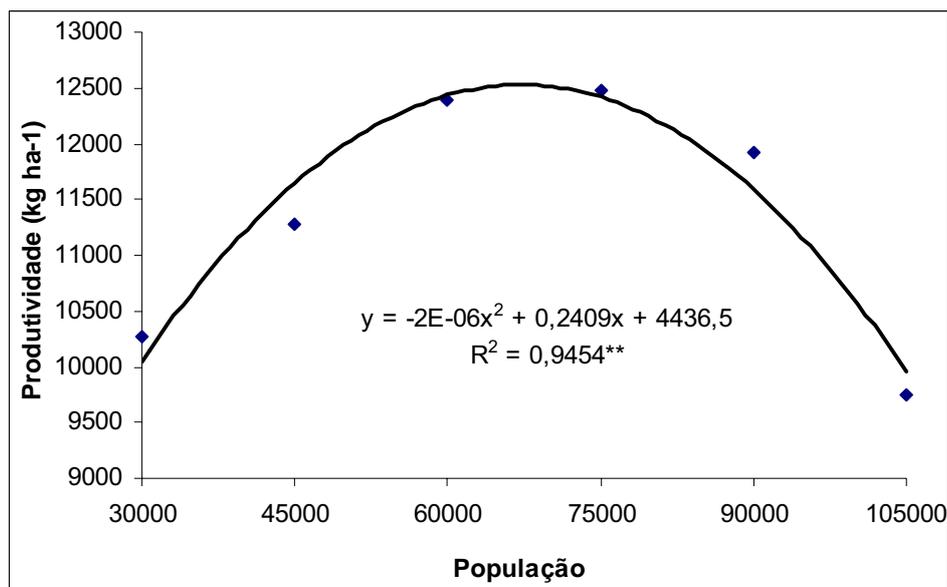


Figura 29 – Médias de produtividade de grãos em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Para a produtividade de grãos em relação as diferentes densidades populacionais, não foi possível ajuste ao modelo de regressão linear, mas somente ao modelo de regressão quadrático, pois se verifica um padrão quadrático de crescimento característico, com produção máxima estimada entre 60000 e 75000 plantas ha⁻¹ ou 0,16 e 0,13 m² planta⁻¹, conforme pode ser observado na Figura 29. O referido comportamento da produtividade de grãos concorda com outros estudos, em variados espaçamentos, os quais relatam maiores produtividades nas populações de plantas próximas de 70000 a 75000 plantas ha⁻¹, também apresentando um comportamento quadrático (NAFZIGER, 1994; THOMISON; JORDAN, 1995; COX, 1996; PINOTTI, 2003; FURTADO, 2005; FLESCHE; VIEIRA, 2004), Esses últimos, trabalhando com dois híbridos de ciclo precoce e normal, quatro espaçamentos entre fileiras (70, 85, 100 e 115 cm) e quatro densidades populacionais (30000, 50000, 70000 e

90000) plantas ha^{-1} , ambos os híbridos responderam de forma quadrática ao aumento da população de plantas, incrementando a produtividade de grãos a partir de 30000 plantas até 70000 plantas, ha^{-1} e diminuindo a 90000 plantas, ha^{-1} .

6.4 – Relações fonte dreno com a produtividade

6.4.1 - Comportamento dos elementos de fonte para as diferentes populações

Segundo enumera Noodén (1997), a senescência foliar é acentuada por limitações ambientais (hídrica ou nutricional), de manejo da lavoura (distribuição espacial desfavorável entre plantas) e por fatores endógenos à planta, como a regulação hormonal. A alta taxa de senescência foliar obtida nas maiores populações do presente trabalho, indicam que algumas destas limitações podem ter se acentuado com o aumento de população, principalmente acima do número de plantas por área necessário para se alcançar a produtividade máxima de grãos, induzindo o processo de senescência foliar. Assim, a interação entre taxa de senescência e sobrevivência foliar atingem um equilíbrio entre as populações de 60000 e 75000 plantas ha^{-1} , ou seja, um ponto a partir do qual se a população for aumentada, a perda de área foliar é maior que o ganho com o acréscimo da população, e se a população for reduzida, o contrário é verificado (Figura 30).

Dados obtidos por outros autores (EIK; HANWAY, 1965; BORRÁS et al., 2003; VALENTINUZ; TOLLENAAR, 2004) demonstram que a senescência foliar é um evento fisiológico que ocorre simultaneamente ao desenvolvimento da planta. Embora não avaliado no presente estudo, Valentinuz e Tollenaar (2004) verificaram que a evolução da senescência foliar é mais intensa no período reprodutivo, em relação ao vegetativo. Utilizando híbridos com diferentes décadas de lançamento no mercado, os autores verificaram que na primeira fase, do florescimento à metade do período de enchimento dos grãos, a taxa de senescência foliar é baixa, enquanto na segunda fase, da metade do enchimento à maturação fisiológica do grão, a intensidade de senescência se potencializa. Esse comportamento é atribuído ao maior acúmulo de reservas nos grãos na segunda fase, quando há intensa translocação de fotoassimilados das diferentes partes da planta aos grãos, ao contrário da primeira fase, quando ocorre a definição do número de grãos fixados e a formação de suas

estruturas teciduais.

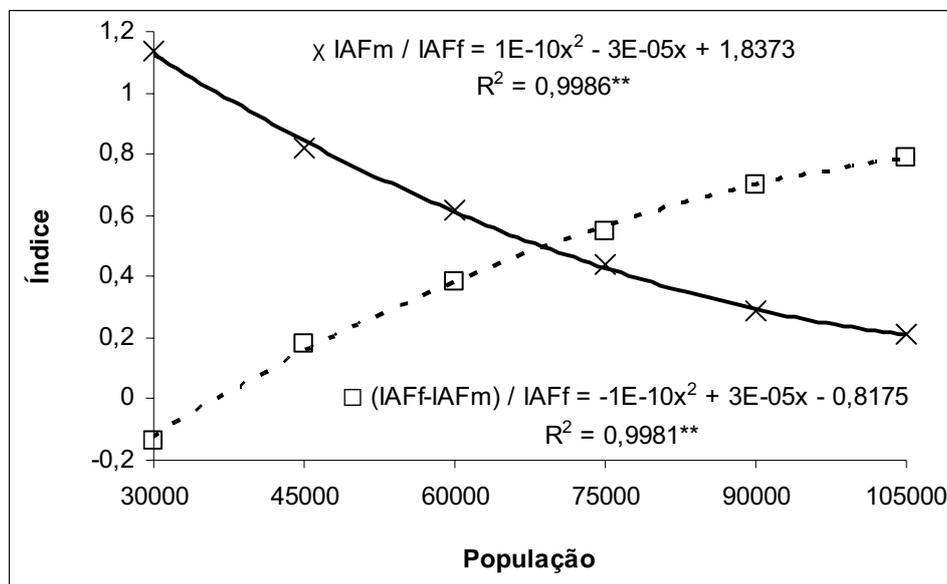


Figura 30 – Comportamento das médias dos índices de senescência [(IAFf-IAFm)/IAFf], e persistência foliar (IAFm/IAFf) (elementos de fonte) em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Resultados previamente encontrados por outros autores para diferentes espécies produtoras de grãos, apontam aumento da senescência foliar também sob déficit de Nitrogênio (EIK; HANWAY, 1965; PEARSON; JACOBS, 1987) de fósforo (COLOMB et al., 2000) e hídrico (MUCHOW; CARBERY, 1989; SADRAS et al., 1991), alta densidade populacional (EIK; HANWAY, 1965) ou incremento na temperatura do ar (SLAFER; MIRALLES, 1992). A competição intraespecífica promovida pelo aumento da população conferiu um aumento do estresse, intensificando de forma gradual a senescência foliar. Rajcan e Tollenaar (1999) também confirmam este comportamento, concluindo que uma relação fonte:dreno mais alta é que confere o caráter “staygreen”, com aumento da longevidade foliar. No Brasil, Zanin (2007) e Sangoi (2005a) também verificaram a diminuição da área fotossinteticamente ativa ao final do ciclo com o aumento da população de plantas, confirmando a tendência observada neste trabalho.

6.4.2 - Comportamento dos elementos de dreno para as diferentes populações

Da mesma forma que se observa para os elementos de fonte, o comportamento dos elementos de dreno parece atingir um equilíbrio, pelo fato da massa de mil grãos decrescer com o aumento da população de plantas e o número de grãos por área crescer no mesmo sentido, contudo, até a população de 90000 plantas ha⁻¹. No entanto, ao contrário dos elementos de fonte, não é possível precisar a que população se dá o equilíbrio entre estes, já que na Figura 31 o número de grãos por hectare e massa de mil grãos estão representados em escalas diferentes.

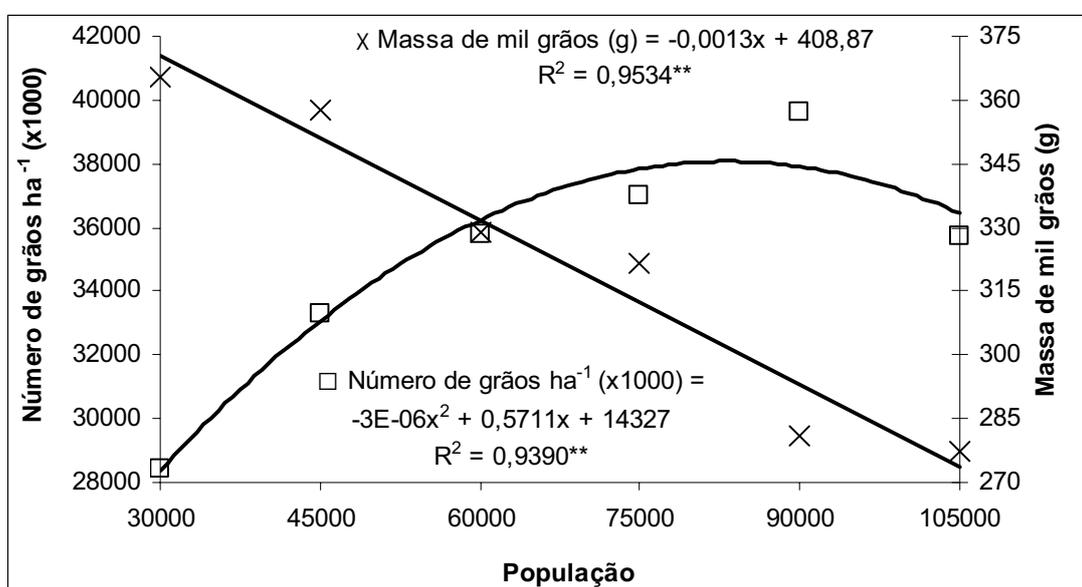


Figura 31 – Comportamento das médias do número de grãos por hectare e massa de mil grãos (elementos de dreno) em populações de milho híbrido DOW 2B587, sob arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas, cultivadas na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

O estudo do comportamento destes elementos de dreno é importante pois o número de grãos produzidos por área é o componente do rendimento que mais interfere no rendimento do milho (VEGA et al., 2001). Nesse contexto, Sangoi et al. (2002b) e Sangoi et al. (2005b) constataram que a característica mais importante para o melhor comportamento de genótipos de milho moderno em comparação aos mais antigos em altas densidades foi o maior número de grãos produzidos por área. Esta característica é afetada pelo número de

plantas por área, número de espigas por planta e pelo número de grãos por espiga (ANDRADE et al., 2002). O número de grãos que atingem a maturação fisiológica é modificado pela capacidade da planta de produzir e distribuir fotoassimilados para atender às diferentes demandas entre duas e três semanas depois do espigamento (ANDRADE et al., 2002). Além disso, a produção de grãos por área de genótipos de milho sob condições de estresse está relacionada à taxa de crescimento da cultura, à partição da massa seca total produzida às espigas e ao número de grãos produzidos por unidade de biomassa alocada à inflorescência feminina (OTEGUI & ANDRADE, 2000).

Assim, a compreensão do comportamento deste componente do rendimento é importante para que se possa maximizá-lo e, conseqüentemente, otimizar a produtividade de cultivares de milho em ambientes de grande competição intraespecífica (ZANIN, 2007) como o promovido no presente trabalho.

6.4.3 - Correlações entre elementos de fonte, dreno e produtividade

Conforme demonstra Tabela 9, dos caracteres de fonte e dreno apenas o número de grãos por hectare se correlacionou diretamente com a produtividade de grãos. Todos os caracteres de fonte e dreno se correlacionaram entre si, ora positivamente, ora negativamente. Este fato é observado devido a todos estes fatores terem tendência a linearidade, possíveis de serem ajustados a regressões lineares para as diferentes densidades populacionais. Ao se correlacionar as variáveis duas a duas, as que tiverem um comportamento semelhante, se correlacionam positivamente, e com um comportamento diverso (uma crescente e outra decrescente), elas se correlacionaram negativamente.

O ajuste dos dados de produtividade de grãos só foi possível para o modelo de equação polinomial quadrática, resultando em um gráfico em formato de parábola (Figura 29), ao contrário da tendência à linearidade dos demais, excetuando o número de grãos por área (Figuras 30 e 31). Assim, fica claro o motivo da produtividade correlacionar-se apenas com número de grãos por área e não com as demais variáveis de fonte e dreno. Isso reforça a idéia que a mesma é uma característica complexa, que depende de vários fatores, e que estão todos integrados, mas que o número de grãos produzidos por área ao final do ciclo é o componente do rendimento que mais interfere no rendimento de grãos em milho (VEGA et

al., 2001), o qual está intimamente associado ao rendimento (SANGOI et al., 2002b; SANGOI et al., 2005b; ANDRADE et al., 2002). O número de grãos produzidos por área ao final do ciclo é apontado como a característica mais importante para o maior rendimento de genótipos de milho moderno em comparação aos mais antigos em altas densidades populacionais (SANGOI et al., 2002b); e é afetado pelo número de plantas por área, número de espigas por planta e pelo número de grãos por espiga (ANDRADE et al., 2002).

Tabela 9 – Matriz de correlação entre os caracteres de fonte taxa de persistência foliar (IAFm/IAFf) e taxa de senescência foliar (IAFf-m / IAFf), de dreno número de grãos por hectare (NGH) e massa de mil grãos (1000G) e produtividade em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

	IAF M / F	IAF(f-m) / IAFf	NGH	1000 G
IAF(f-m) / IAFf	-1,000**	-		
NGH	-0,574**	0,572**	-	
1000 G	0,802**	-0,800**	-0,494**	-
Produtividade	-0,010 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,550**	0,117 ^{NS}

⁽¹⁾ NS: não significativo ($P > 0,05$) *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$.

Contudo, ao se observar o comportamento dos elementos de fonte em relação às diferentes populações, na Figura 30, as equações de regressão encontradas se interceptam entre 60000 e 75000 plantas ha^{-1} , o que coincide com o pico de produtividade de grãos estimado pela equação de regressão, visualizado na Figura 29. Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que quando há um equilíbrio entre fonte e dreno é que a produtividade de grãos é maximizada, ou seja, a população de plantas por área onde este equilíbrio é alcançado é considerada ótima, que maximiza a produtividade.

Assim, infere-se que o aumento da população de plantas por hectare até a considerada ótima, o aumento do número de grãos por área (dreno) contribui para o aumento da produtividade, e acima da população ótima, a progressiva diminuição da capacidade da fonte em suportar a competição intraespecífica e uma força de dreno cada vez maior, é que é responsável pelo decréscimo da produção. Portanto, infere-se que quando se trabalha com densidades de plantas abaixo da ótima, as plantas são dreno limitadas, e acima, fonte limitadas.

6.5 – Considerações finais

A distribuição equidistante entre plantas no presente estudo influenciou o diâmetro do colmo, relação altura de espiga/altura de planta e porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas, aumentados no arranjo equidistante, e o diâmetro da espiga e sabugo, interagindo com o fator população. Todos os fatores foram afetados pelas populações testadas, com exceção do índice de remobilização e o índice de colheita, os quais não apresentaram efeito dos tratamentos aplicados.

Em geral com o aumento de população, houve aumento na altura de planta, altura de inserção de espiga, relação entre altura de inserção de espiga e altura de planta, índice de área foliar no florescimento, índice de senescência foliar, massa de matéria seca por área no florescimento e na maturidade fisiológica, porcentagem de plantas acamadas e/ou quebradas, número de espigas e grãos por hectare; e decréscimo dos diâmetros de colmo, espiga e sabugo, índice de área foliar na maturidade fisiológica, índice de persistência foliar, massa de matéria seca por planta e por área no florescimento e na maturidade fisiológica, massa e número de grãos por espiga, comprimento do grão e da espiga, número de fileiras de grãos, índice de espiga e massa de mil grãos. A produtividade de grãos se correlacionou ao número de grãos por hectare, e ambos se comportaram, em relação às diferentes populações, diferentemente de todos os outros parâmetros avaliados. A produtividade de grãos apresentou um padrão quadrático de crescimento característico, com produção máxima estimada entre 60000 e 75000 plantas ha⁻¹ ou 0,16 e 0,13 m² planta⁻¹.

7 CONCLUSÕES

A correlação e o comportamento de características de fonte, dreno e produtividade sugerem que, em densidades de plantas abaixo da que maximiza o rendimento de grãos, as plantas são dreno limitadas, e acima, fonte limitadas. Pode-se concluir que, nas condições que o ensaio foi instalado e conduzido, o desenvolvimento e a produtividade de plantas de milho é influenciada pela área alocada a cada planta, e não pela forma como é alocada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.

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.

ALVAREZ, C. G. D.; PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 30, n.3, p. 402-408, 2006.

AMARAL FILHO, J. P. R. do. **Influência do espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

ANDA, A.; LØKE, Z. Radiation balance components of maize hybrids grown at various plant

densities. **Journal of Agronomy and Crop Science**. Berlin, v. 191, n. 3, p. 202 – 209, 2005.

ANDRADE, F. H. et al. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1173-1179, 2002.

ANDRADE, F. H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Estratégias de melhoramento das empresas para otimizar a resposta a densidade de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 4., 2003, Lages. **Resumos expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003, p. 30-34.

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

ARGENTA, G. et al. Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001b.

ARGENTA, G. et al. Redução da dose de herbicida utilizada na cultura do milho através da adoção de menor espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, Não-Me-Toque, v. 58, p. 66-69, 2000.

ARRIEL, E. F. **Avaliação de famílias de meios-irmãos da população de milho CMS-39 em duas densidades de semeadura**. 1991. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 415-421, 2005.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 245-252, 2004.

BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 149-160, 2000.

BARBOSA, J. A. **Influência de espaçamento e arquitetura foliar no rendimento de grãos e outras características agronômicas do milho. (Zea mays L.)**. 1995, 48 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1995.

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

BORGES, I. D. et al. Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de N e espaçamentos entre fileiras de milho no sistema plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004. 1 CD-ROM.

BORRÁS, L.; MADONNI, G. A.; OTEGUI, M. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v. 82, p. 13-26, 2003.

BORTOLINI, C. G. Influência do espaçamento entre linhas e do estande de planta de milho sobre o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2002. CD-ROM.

BRASIL, E.M.; et al. Efeito da densidade de plantio em características ligadas à produção de sementes na cultura do milho (Zea mays L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., 1996, Londrina. **Resumos...** Londrina: [s.n.], 1996. p. 200.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Secretária Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.

BULLOCK, D. G.; NIELSEN, R. L.; NYQUIST, W. E. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 2, p. 254-258, 1988.

CÂNDIDO, L. S. **Potencial do composto flintisa anão de milho para melhoramento em condições de espaçamento reduzido e na safrinha**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

CARDWELL, V. B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 984-990, 1982.

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

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 743-753, 2003.

COLOMB, B. KINIRY, J. R.; DEBAEKE, P. H. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 428-435, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos: oitavo levantamento, maio 2008. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em 17 maio 2008.

COORS, J.; MARDONES, M. C. Twelve cycles of mass selection for prolificity in maize. I. Direct and correlated responses. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 262-266. 1989.

COX, W. J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 489-496, 1996.

DINIZ, W. R. **Efeitos de cultivares, espaçamentos e níveis de potássio, no rendimento de massas e qualidade da silagem de milho (*Zea mays L.*)**. 1996. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1996.

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

DOZZA, M. **Influência da densidade de semeadura na seleção e expressão dos caracteres prolificidade e produção de grãos na população de milho (*Zea Mays L.*) CMS-39**. 1997. 67 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1977.

DUARTE, A. P.; CRUZ, J. C. Manejo do solo e semeadura do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 6., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 2001. p. 45-71.

DUARTE, A. P. et al. Avaliação de cultivares e densidade populacional em milho “safrinha” no Vale do Paranapanema. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 2., Assis, 1994. **Resumos...** Campinas: AC/CDV, 1994. p. 49-58.

DURÃES, F. O. M. ; MAGALHÃES, P. C. ; OLIVEIRA, A. C. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, p. 33-40, 2002.

DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1622-1630, 1999.

DWYER, L. M.; TOLLENAR, M.; STEWART, D. W. Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal Plant Science**, Quebec, v. 71, n. 1, p. 1-11, 1995.

ECHARTE, L., ANDRADE, F. Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**, v. 82, n. 1, p. 1-12, 2003.

EIK, K.; HANWAY, J. J. Some factors affecting development and longevity of leaves of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 57, p. 7-12, 1965.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do milho**. 3^a ed. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS, 2007 (Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em 17 maio 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412p.

ENDRES, V. C.; TEIXEIRA, M. R. O. População de plantas e arranjo entre fileiras. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Milho**: informações técnicas. Dourados: EMBRAPA, CPAO, 1997. p. 108-110. (Circular técnica, 5).

FANCELLI, A. L. Fisiologia da produção e aspectos básicos de manejo para alto rendimento. In: SANDINI, I.; FANCELLI, A. L. (Eds.) **Milho**: estratégias de manejo para a região Sul. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 103-116.

FANCELLI, A.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

360 p.

FLÉNET, F. et al. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 185-190, 1996.

FLESCH, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaços e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 25-31, 2004.

FORCELLA, F.; WESTGATE, M. E.; WARNES, D. D. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 7, n. 1, p. 161-167, 1992.

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

FRANÇA, G. E. et al. Comportamento de cultivares de milho sob irrigação com diferentes densidades de plantio e doses de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 18., 1990, Vitória. **Resumos...** Vitória: EMCAPA, 1990. p. 106.

FUNDAÇÃO RIO VERDE. **Resultados de pesquisa arroz, milho, soja - safra 2001/2**. Lucas do Rio Verde, 2002. 65 p. (Boletim Técnico, 7). Disponível em <[http://www.fundacaorioverde.com.br/download/Boletim_Tecnico_07_- Safra_2002-03_-_Resultados_de_Pesquisa.zip](http://www.fundacaorioverde.com.br/download/Boletim_Tecnico_07_-Safra_2002-03_-_Resultados_de_Pesquisa.zip)>. Acesso em 17 maio 2008.

FURTADO, M. B. F. **Sistemas de preparo do solo e populações de plantas em espaçamentos reduzido: comportamento de cultivares de milho (*Zea mays* L.)**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow row spacing, herbicides and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

JORDANOV, J. Optimization of factors in intensive maize production. **Internationale Zeitschrift der Land Wirtschaft**, Knesha, v. 5, p. 465-467, 1984.

KARLEN, D. L.; CAMP, C. R. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 393-398, 1985.

KASPERBAUER, M. J.; KARLEN, D. L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 6, p. 1564-1569, 1994.

LAÜER, J. Should I be planting corn at a 30-inch row spacing. **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v. 1, n. 6, p. 6-8, 1994.

LEITE, D. R. **Comportamento de milho *Zea mays* L. braquítico – 2 em diferentes densidades de plantio**. 1973. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.

LENZI, E. A. **População e distribuição espacial de plantas em cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1992. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

LOOMIS, R. S.; AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1584-1596, 1999.

LOOMIS, R. S.; CONNORS, D. J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge: Cambridge University, 1992. 550p.

MACHADO, E. et al. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Intra-specific competition in maize: contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. **Field Crops Research**, v. 97, p. 155–166, 2006.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de**

plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARCHÃO, R. L. et al. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MATEUS, G. P. et al. Produção de forragem de milho consorciado com *Brachiaria brizantha* em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004. 1 CD-ROM.

MELGES, E.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 9, p. 1073-1080, 1989.

MEROTTO JUNIOR, A.; ALMEIDA, M. L.; FUCHS, O. Aumento do rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 549-554, 1997.

MEROTTO JUNIOR, A. et al. Aumento do rendimento de grãos de milho proporcionado pelo aumento da população de plantas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., 1996, Londrina. **Resumos...** Londrina: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1996. p. 193.

MEROTTO JUNIOR, A. et al. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 595-601, 1999.

MILANI, M.; OSUNA, J. T. A.; CHURATA, B. G. M.; Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de meios-irmãos do composto Arquitetura de milho (*Zea mays L.*) em três densidades de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 264, p. 199-207, 1999.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. p. 1 -2.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R.; BENNET, J. N. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 2, p. 338-343, 1990.

MUCHOW, R. C.; CARBERRY, P. S. Environmental control of phenology and leaf growth in a tropically adapted maize. **Field Crops Research**. v. 20, p. 221-236, 1989.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. da. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Plantas de Lavoura; Evangraf, 2005. 51p.

MUNDSTOCK, C. M. Efeitos de espaçamentos entre linhas e de populações de plantas de milho (*Zea mays* L) de tipo precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 13-17, 1978.

MUNDSTOCK, C. M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS; ASCAR, 1977. 35 p.

MURPHY, S. D. et al. Effect of planting patterns on intrarow cultivation and competition between corn and late emerging weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 6, p. 856-870, 1996.

NAFZIGER, E. D. Corn planting date and plant population. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, p. 59-62, 1994.

NIELSEN, R. L. Influence of hybrids and plant density on grain yield and stalk breakage in corn grown in 15-inch row spacing. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 1, p. 190-195, 1988.

NOÓDEN, L. D.; GUIAMÉT, J. J.; JOHN, I. Senescence mechanism. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, p. 746-753, 1997.

NOVAĚS, R. F. **Comportamento de 2 milhos híbridos duplos (*Zea mays* L.) AG 206 e H 6000 em três populações de planta e três níveis de nitrogênio**. 1970. 64 f.. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1970.

OTEGUI, M.; ANDRADE, F. H. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: WESTGATE, M. E.; BOOTE, K. J. **Physiology and modeling kernel set in maize**. Madison: CSSA, 2000. chap. 5, p. 89-102.

OTTMAN, M. J., WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p. 167-174, 1989.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura

Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PASZKIEWICZ, S. Narrow row spacing influence on corn yield. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 51., 1996, Chicago. **Proceedings...** Chicago: American Seed Company Association, 1996. p. 130 - 138.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Marprint, 1978. 650 p.

PAULO, E. M.; ANDRADE, J. A. da C. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 12, n. 1, p. 77-88, 2003.

PEARSON, C. J.; JACOBS, B. C. Yield components and nitrogen partitioning of maize in response to nitrogen before and after anthesis. **Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v. 38, p. 1001-1009, 1987.

PEIXOTO, C. M. Mais plantas, menos espaço. **Revista Cultivar**, Pelotas, p. 25-28, 2002.

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, n. 1, p. 63-71, 1997.

PENARIOL, F. G. et al. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

PEREIRA FILHO, L. A.; CRUZ, J. C.; RAMALHO, M. A. P. Produtividade e prolificidade de três cultivares de milho em sistemas de consórcio com feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 5, p. 745-751, 1991.

PEREIRA FILHO, L. A. et al. Cultivares de milho precoces semeadas em fileiras duplas e simples. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, 1994. p. 241 - 243.

PEREIRA FILHO, L.A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) “Piranão” e “Centralmex” em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de**

nitrogênio. 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1977.

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.

PINOTTI, E. B. **Características de três cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob quatro populações de plantas em espaçamento reduzido**. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

PORTER, P. M. et al. Corn response to row width and plant population in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 10, n. 2, p. 293-300, 1997.

RAIJ, B. van; et al. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 285, (Boletim técnico, 100).

RAJCAN, L., SWANTON, C. J. Understanding maize-weed competition: resource competition light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, v. 71, n. 1, p. 139-150, 2001.

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

REDDY, B. B. et al. Effect of plant population the performance of maize hybrids at different fertility levels in a semi-arid environment. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 57, n. 10, p. 75-79, 1987.

REVOREDO, M. D.; CAZETTA, J. O. Efeito de diferentes densidades populacionais sobre os componentes produtivos da cultura do milho. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 26., 2006. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CNPMS, 2006. v. 1. p. 1-5.

REZENDE, 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.

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

RIZZARDI, M. A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, DF, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1231-1236, 1994.

RUSSELL, W. A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 46, p. 245-298, 1991.

SÁ, J. C. M. Sistema de produção de milho visando alta produtividade na região dos campos gerais no centro-sul do Paraná. In: BÜLL, L. T; CANTARELLA, H. (Orgs.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 301 p.

SADRAS, V. O.; WHITFIELD, D. M.; CONNOR, D. J. Regulation of evapotranspiration and its partitioning between transpiration and soil evaporation by sunflower crops: a comparison between hybrids of different stature. **Field Crops Research**, v. 28, p. 17-37, 1991.

SANGOI, L. et al. Bases morfofisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milhos a altas densidades populacionais – senescência foliar. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 5., 2005, Chapecó. **Resumos...** Chapecó: Newsprint, 2005a. p. 143-147.

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 1, p. 25-31, 2005b.

SANGOI, L. et al. Bases morfo-fisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 4., 2003, Lages, SC. **Resumos expandidos...** Lages: CAV-ÜDESC, 2003. p. 19-24.

SANGOI, L. et al. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 259-267, 2002a.

SANGOI, L. et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002b.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 1, n. 2, p. 1, 2002c.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABMS, 2002d. 1 CD ROM.

SANGOI, L. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.271-276, 2001a.

SANGOI, L. et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 861-869, 2001b.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p 159-168, 2000.

SANGOI, L. et al. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 17-21, 2000a.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, H. F. Incremento da densidade de plantas, uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 23-29, 2000b.

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

SANGOI, L. et al. Redução do espaçamento entre linhas para cultivares de milho de ciclos contrastantes em duas épocas de semeadura. In: REUNIÃO ANUAL DO MILHO E SORGO, 42., 1997, Erechim. **Anais...** Erechim: COTREL; EMATER-RS; FEPAGRO, 1997. p. 27-30.

SANTOS, J. M. et al. Balanço da radiação solar de ondas curtas em três densidades de plantio do milho (*Zea mays*, L. cv. Cargill 501). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E

SORGO, 3., 1980, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1980. p. 60.

SCHEEREN, B. R. et al. Efeitos de diferentes arranjos populacionais sobre um híbrido simples de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá **Resumos...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004. 1 CD-ROM.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ.
Comparativo da área e da produção de produtos selecionados, no Paraná - safras 2005/06 a 2007/08. Disponível em: < <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: 17 maio 2008.

SHARRATT, B. S.; McWILLIAMS, D. A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow row versus conventional row corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1129-1135, 2005.

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”, 5., 1999, Barretos. **Anais...** Campinas: IAC, 1999. p. 123-126.

SILVA, A. R. B. da. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

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, DF, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. R. F. Densidade e arranjo de plantas em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992, Porto Alegre, RS. **Conferências...** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura; CIENTEC-ABMS, 1992. p. 291-294.

SLAFFER, G. A.; MIRALLES, D. J. Green area duration during grain filling period of an argentine wheat cultivar as influenced by sowing date, temperature and sink strength. **Journal of Agronomy and Crop Science**. Berlin, v. 168, p. 191 - 200, 1992.

SOUZA, M. P.; BRAGA, J. M. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. cap. 1, p. 13-55.

STAGGENBORG, S. A. et al. Selecting optimum planting dates and plant populations for dryland corn in Kansas. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 12, n. 1, p. 85-90, 1999.

STRIEDER, M. L. et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

STRIEDER, M.L. **Resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas em diferentes sistemas de manejo**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SWOBODA, R. Interest grows in narrow corn. **Wallaces Farmer**, Urbandale, v. 21, p. 6-7. 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEASDALE, J. R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 1, p. 113 - 118, 1995.

THOMISON, P. R.; JORDAN, D. M. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, p. 394- 400, 1995.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1597-1604, 1999.

TOLLENAAR, M ; AGUILERA, A.; NISSENKA, S. P. Grain yield reduce more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 239-246, 1997.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize?. **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 305 - 311, 1992.

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.

TOLLENAAR, M.; DWER, L. M.; STEWART, D. W. Ear and kernel formation in maize

hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 2, p. 432 - 438, 1992.

TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, 1988.

TURGUT, I. et al. Alternate row spacing and plant density effects on forage and dry matter yield of corn hybrids (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**. Berlin, v. 191, p. 146 - 151, 2005.

VALENTINUZ, O. R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v.44, p.827-834, 2004.

VAZQUEZ, G. H.; SILVA, M. R. R. da. Influência do espaçamento entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

VEGA, C. R. C.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. **Field Crops Research**, v. 72, p. 165-173, 2001.

VIANA, A. C. et al. Semeadura do milho. In: EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 3.ed. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1987. p. 100. (Circular Técnica, 4).

VIANA, A. C. et al. Práticas culturais. In: EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Cultura do milho**. Brasília, DF, 1983. p. 87-99.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. Milho. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, p. 41-72, 1999.

WESTGATE, M. E. et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, v. 49, n. 2, p. 249-258, 1997.

ZANIN, C. G. **Senescência foliar lenta e desenvolvimento uniforme como características favoráveis a adaptação de cultivares de milho ao incremento na população de plantas.**

2007, 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.

ZANON, G. D. et al. Produtividade de híbridos de milho em sistema de plantio direto irrigado em diferentes espaçamentos In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25 ., 2004, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004. 1 CD-ROM.