

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM AGRONOMIA

IGOR QUIRRENBACH DE CARVALHO

ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS E POPULAÇÃO DE PLANTAS EM MILHO

PONTA GROSSA

2007

IGOR QUIRRENBACH DE CARVALHO

ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS E POPULAÇÃO DE PLANTAS EM MILHO

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, área de concentração Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Zagonel

PONTA GROSSA

2007

IGOR QUIRRENBACH DE CARVALHO

ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS E POPULAÇÃO DE PLANTAS EM MILHO

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de Concentração Agricultura.

Ponta Grossa, 31 de Julho de 2007.

Prof. Dr. Jeferson Zagonel – Orientador
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Ricardo Antonio Ayub
Doutor em Biologia Celular e Molecular
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Edelclaiton Daros
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jeferson Zagonel, pela dedicação na orientação desta dissertação.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Agronomia e pelo acolhimento de seus professores e funcionários.

À Fundação ABC pela estrutura oferecida à condução dos trabalhos e liberação dos dados para serem utilizados nesta dissertação.

Aos colegas de trabalho Rudimar Molin e Volnei Pauletti pela disposição e colaboração em todas as etapas do trabalho.

Aos demais funcionários da Fundação ABC, estagiários e trabalhadores temporários que depositaram seu suor no campo dos experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

"Leva tempo para alguém ser bem sucedido porque o êxito não é mais do que a recompensa natural pelo tempo gasto em fazer algo direito."

(Joseph Ross)

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito do espaçamento entre fileiras e da população de plantas sobre a produtividade de grãos e características agronômicas de híbridos de milho, foram conduzidos dois experimentos na região dos Campos Gerais do Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com a parcela principal composta de três espaçamentos entre fileiras (40, 60 e 80 cm) e as subparcelas pela combinação de três populações de plantas (60.000, 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) e três híbridos P 30F53, P 30R50 e AG 9020 em Arapoti e P 30F53, P 30R50 e DOW 2A120 em Castro. Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que: (i) a resposta para redução do espaçamento e aumento da população de plantas não depende do híbrido utilizado, (ii) em Arapoti houve aumento da produtividade de grãos com a redução do espaçamento de 80 para 40 cm, independente da população de plantas, (iii) em Castro o aumento da produtividade com a redução do espaçamento de 80 para 40 cm ocorreu somente na população de 100.000 plantas ha⁻¹, (iv) a redução do espaçamento não afetou dias para floração, dias para colheita, estatura de plantas, massa de mil grãos, a porcentagem de colmos doentes, de colmos quebrados, de plantas acamadas e de grãos ardidos, (v) o aumento da população de plantas provocou redução do diâmetro do colmo e, dependendo do híbrido, promoveu aumento da porcentagem de colmos doentes, de colmos quebrados e de grãos ardidos.

Palavras-chave: arranjo; distribuição; densidade; *Zea mays* L.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the effects of row spacing and plant population on grain yield and agronomic characteristics of corn, two trials were carried out in the region of Campos Gerais, state of Paraná. The experimental design was complete randomized blocks arranged in split plot, with main plot composed of tree rows spacing (40, 60 and 80 cm) and subplot composed for combination of tree plant populations (60.000, 80.000 and 100.000 plants ha⁻¹) and tree hybrids, P 30F53, P 30R50 and AG 9020 in Arapoti and P 30F53, P 30R50 and DOW 2A120 in Castro. The results of this study showed: (i) the answers for spacing reduction and increase of plant population don't depends of hybrid, (ii) in Arapoti grain yield increased with row reduction from 80 to 40 cm, independent of plant population, (iii) in Castro the increase of grain yield with row reduction from 80 to 40 cm occurred only at population of 100.000 plants ha⁻¹, (iv) the reduction of row width didn't influenced the days for silking, days for harvest, plants height, grains mass, percentage of rot stalks, stalk lodging, plant lodging and injured grains, (v) the increase of plant population caused reduction of stalk diameter and, depending of the hybrid, increased rot stalks, stalk lodging and injured grains.

Keywords: arrangement; distribution; density; *Zea mays* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Os três prismas que permitem ser colocados lado a lado sem deixar interstício: (A) seção triangular, (B) seção retangular, (C) seção hexagonal (PALHARES, 2003).....	23
FIGURA 2 -	Variação da 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; FANCELLI; LOPES, 2001).....	36
FIGURA 3 -	Semeadura manual do ensaio e detalhe da régua, cova e sementes. Arapoti, 2006.....	60
FIGURA 4 -	Semeadura manual do ensaio e detalhe da régua, cova e sementes. Arapoti, 2006.....	60
FIGURA 5 -	Desbaste manual das plântulas de milho e última aplicação de agrotóxicos. Arapoti, 2006.....	61
FIGURA 6 -	Desbaste manual das plântulas de milho e última aplicação de agrotóxicos. Arapoti, 2006.....	61
FIGURA 7 -	Balanço hídrico utilizando evapotranspiração da cultura no decorrer do experimento. Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.....	66
FIGURA 8 -	Balanço hídrico utilizando evapotranspiração da cultura no decorrer do experimento. Fundação ABC, Castro, PR, 2006.....	66
FIGURA 9 -	Precipitação ocorrida no decorrer do experimento. Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.....	67
FIGURA 10 -	Precipitação ocorrida no decorrer do experimento. Fundação ABC, Castro, PR, 2006.....	67
FIGURA 11 -	Temperatura média no decorrer do experimento (TEMP MED 2005/06) e média histórica dos últimos cinco anos (TEMP MED HIST). Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.....	68
FIGURA 12 -	Temperatura média no decorrer do experimento (TEMP MED 2005/06) e média histórica dos últimos cinco anos (TEMP MED HIST). Fundação ABC, Castro, PR, 2006.....	68
FIGURA 13 -	Radiação solar global média no decorrer do experimento (RADIAÇÃO 2005/06) e média histórica dos últimos quatro anos (RADIAÇÃO HIST). Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.....	69
FIGURA 14 -	Radiação solar global média no decorrer do experimento (RADIAÇÃO 2005/06) e média histórica dos últimos quatro anos (RADIAÇÃO HIST). Fundação ABC, Castro, PR, 2006.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Ganho médio em produtividade de grãos com a redução do espaçamento segundo diversos autores, no Brasil e Estados Unidos.....	27
TABELA 2 -	Coordenadas geográficas, altitude, temperatura média do mês mais frio, temperatura média do mês mais quente e precipitação média no verão dos locais dos experimentos. Dados dos últimos cinco anos (2002 a 2006) das estações meteorológicas da Fundação ABC em Arapoti e Castro, PR, 2006.....	54
TABELA 3 -	Características químicas e físicas dos solos dos experimentos. Arapoti e Castro, PR, setembro de 2005.....	55
TABELA 4 -	Tratamentos estudados. Arapoti e Castro, PR, 2006.....	57
TABELA 5 -	Características agrônômicas dos híbridos utilizados nos ensaios. Embrapa, 2007c.....	58
TABELA 6 -	Reação às doenças dos híbridos utilizados nos ensaios. Embrapa, 2007c.....	58
TABELA 7 -	Estande e distância entre plantas de acordo com o espaçamento e população de plantas.....	60
TABELA 8 -	Dias para floração em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.	71
TABELA 9 -	Dias para floração em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	72
TABELA 10 -	Dias para colheita em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	73
TABELA 11 -	Dias para colheita em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	74
TABELA 12 -	Estatura de plantas de milho (cm) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Castro, 2006.....	75

TABELA 13 - Estatura de plantas de milho (cm) em função de três espaçamentos, média de três híbridos e três populações. Castro, 2006.....	77
TABELA 14 - Estatura de inserção da espiga (cm) em função de três híbridos, média de três espaçamentos e três populações. Castro, 2006.....	78
TABELA 15 - Estatura de inserção da espiga (cm) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Castro, 2006.....	78
TABELA 16 - Diâmetro de colmo (mm) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Castro, 2006.....	80
TABELA 17 - Diâmetro de colmo (mm) em função de três espaçamentos, média de três híbridos e três populações. Castro, 2006.....	81
TABELA 18 - Porcentagem de colmos doentes (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	82
TABELA 19 - Porcentagem de colmos doentes (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	83
TABELA 20 - Porcentagem de colmos quebrados (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	84
TABELA 21 - Porcentagem de colmos quebrados (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	85
TABELA 22 - Porcentagem de plantas acamadas (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	86
TABELA 23 - Porcentagem de plantas acamadas (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	87

TABELA 24 - Índice de prolificidade (espigas planta ⁻¹) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	88
TABELA 25 - Índice de prolificidade (espigas planta ⁻¹) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Arapoti e Castro, 2006.....	89
TABELA 26 - Massa de mil grãos de milho (g) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.....	91
TABELA 27 - Massa de mil grãos de milho (g) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	91
TABELA 28 - Porcentagem de grãos ardidos (%) em função de três híbridos, três espaçamentos e três populações de plantas. Arapoti, 2006....	93
TABELA 29 - Porcentagem de grãos ardidos (%) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Castro, 2006.....	94
TABELA 30 - Produtividade de grãos de milho (kg ha ⁻¹) em função de três híbridos em dois locais, média de três espaçamentos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.....	96
TABELA 31 - Produtividade de grãos de milho (kg ha ⁻¹) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Arapoti e Castro, 2006.....	100

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 ECOFISIOLOGIA DA PLANTA DE MILHO.....	19
2.2 ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS	22
2.2.1 Ganhos em produtividade de grãos	24
2.2.2 Efeito nos componentes da produção.....	27
2.2.3 Alterações morfofisiológicas.....	28
2.2.4 Outros efeitos.....	31
2.3 POPULAÇÃO DE PLANTAS	34
2.3.1 Recomendações oficiais	34
2.3.2 Ganhos em produtividade de grãos	35
2.3.3 Efeitos nos componentes da produção.....	37
2.3.4 Alterações morfofisiológicas.....	39
2.3.5 Outros efeitos.....	43
2.4 INTERAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO E POPULAÇÃO.....	49
2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	53
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3.1 LOCAIS DOS EXPERIMENTOS	54
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	55
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	56
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO	57
3.5 UNIDADES EXPERIMENTAIS	58
3.6 SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS	59
3.7 ADUBAÇÃO.....	61

3.8 AVALIAÇÕES	62
3.8.1 Dias para floração	62
3.8.2 Dias para colheita.....	62
3.8.3 Estatura de planta	62
3.8.4 Estatura de inserção da espiga	63
3.8.5 Diâmetro de colmo	63
3.8.6 Colmos doentes	63
3.8.7 Colmos quebrados	63
3.8.8 Plantas acamadas.....	64
3.8.9 Índice de prolificidade.....	64
3.8.10 Massa de mil grãos	64
3.8.11 Grãos ardidos.....	64
3.8.12 Produtividade de grãos	65
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE O EXPERIMENTO.....	66
4.2 DIAS PARA FLORAÇÃO	70
4.3 DIAS PARA COLHEITA.....	72
4.4 ESTATURA DE PLANTAS	75
4.5 ESTATURA DE INSERÇÃO DA ESPIGA.....	77
4.6 DIÂMETRO DE COLMO.....	79
4.7 COLMOS DOENTES	81
4.8 COLMOS QUEBRADOS	83
4.9 PLANTAS ACAMADAS	85
4.10 ÍNDICE DE PROLIFICIDADE	87

4.11 MASSA DE MIL GRÃOS	90
4.12 GRÃOS ARDIDOS.....	92
4.13 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	95
5 CONCLUSÕES	107
6 REFERÊNCIAS.....	108

1 INTRODUÇÃO

A adoção de melhores tecnologias de cultivo é de extrema importância para que os produtores brasileiros melhorem os índices de produtividade da cultura do milho, a exemplo do que ocorre na região dos Campos Gerais, no Paraná. Dentre as tecnologias passíveis de adoção e que poderiam elevar a produtividade de grãos de milho, mesmo nas regiões mais tecnificadas, está a alteração no arranjo de plantas, com variação do espaçamento entre fileiras e aumento da população de plantas.

Existem várias formas de distribuir as plantas na área, sendo que as variações na distância entre as fileiras e entre as plantas dentro da fileira determinam os diferentes arranjos na lavoura. O arranjo ideal é aquele que proporciona distribuição mais uniforme das plantas na área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes.

A escolha do arranjo de plantas pode ser influenciada por diversos fatores, como o nível tecnológico do produtor, época de semeadura, comprimento da estação de crescimento, arquitetura de planta, tipo e fertilidade do solo, população de plantas e disponibilidade de máquinas compatíveis aos diferentes arranjos. A introdução de híbridos de alto potencial produtivo, acompanhada do aumento do uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas e de pragas e aprimoramento do manejo da cultura, tem contribuído para o aumento da população de plantas e a redução do espaçamento entre fileiras.

A população de plantas é uma das práticas culturais que mais afeta a produtividade de grãos de milho, pois os híbridos modernos não perfilham, normalmente produzem apenas uma espiga por planta e, portanto, não possuem a capacidade de compensar eventuais falhas na emergência. A produtividade de grãos de milho aumenta com o incremento na população de plantas até atingir um

nível ótimo, que é determinado pelo genótipo e pelas condições do ambiente e diminui com posteriores aumentos da população. Em populações além do ótimo, ocorre aumento da competição entre as plantas por luz, água e nutrientes, o que afeta negativamente a produtividade final, pois decresce o número de espigas produzidas por planta, a massa e o número de grãos por espiga.

Normalmente boas condições de fertilidade do solo, temperatura, radiação, e principalmente disponibilidade hídrica, favorecem o aumento da população de plantas. Já a ocorrência de condições adversas, favorece os ganhos em produtividade com a redução do espaçamento, por permitir melhor distribuição das plantas na área, reduzindo a competição intra-específica pelos recursos do meio.

Como até o momento existem respostas variáveis conforme o híbrido, população de plantas, região e safra, há necessidade de maior aporte de informações científicas condizentes com o clima, solo e sistema de produção regional quanto à escolha do melhor arranjo de plantas.

Espera-se que menores espaçamentos entre fileiras e maiores populações de plantas possam contribuir para o aumento da produtividade de grãos de milho na região dos Campos Gerais do Paraná.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a redução do espaçamento entre fileiras associado ao aumento da população de plantas, na produtividade e nas características agrônômicas de três híbridos de milho, em dois locais do Estado do Paraná, cultivados em sistema de plantio direto na palha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No Brasil, o milho é 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, 2007a). É uma cultura de grande e diversificada utilização na sociedade moderna e um dos produtos agrícolas de mais ampla distribuição mundial, tanto na produção, quanto no consumo. Dentre as espécies originárias das Américas, o milho é, certamente, o de maior importância econômica e social em nível mundial. No Brasil, em termos de área semeada, o milho ocupa a segunda posição com 13.857.600 de hectares, atrás somente da soja com 20.654.000 de hectares. Em produção, o milho também é o segundo colocado com 50.658.500 de toneladas, atrás da soja com 58.020.200 toneladas, sendo que somente a partir da safra 2001/02 a produção nacional de soja ultrapassou a de milho (CONAB, 2007a). O Paraná é o maior estado produtor de milho, sendo responsável por 18,4% da produção nacional (CONAB, 2007b).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, somente atrás dos Estados Unidos e China (USDA, 2005). Porém, não se destaca quanto à produtividade. Na safra 2005/06, a cultura do milho no Brasil (1ª safra) ocupou 9.652,8 milhões de hectares, com uma produção de 31.809,0 milhões de toneladas, resultando numa produtividade média de 3.295 kg ha⁻¹ (CONAB, 2007a). Na mesma safra o Paraná obteve uma produtividade de 5.218 kg ha⁻¹ (SEAB, 2007) e os produtores do Grupo ABC 8.913 kg ha⁻¹ (FUNDAÇÃO ABC, 2007). Verifica-se então que é possível obter altas produtividades no Brasil, mas depende do nível

tecnológico adotado. Algumas lavouras brasileiras chegam a ultrapassar os 9.947 kg ha⁻¹ obtidos pelos Estados Unidos na safra 2005 (USDA, 2007).

Nas lavouras americanas, o grande avanço em produtividade ocorreu devido à utilização de híbridos modernos, permitindo um maior uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas, avanços no manejo da cultura e aumento da população de plantas (DUVICK; CASSMAN, 1999). Somente a elevação da população de plantas foi responsável pelo aumento de 21% na produtividade de grãos de milho no período de 1930 a 1979 na região de Minnesota (CARDWELL, 1982).

Apesar de ainda ser baixa na maioria das regiões, a produtividade brasileira tem crescido sistematicamente, passando de 1.632 kg ha⁻¹, na safra 1976/77 (1ª safra), para 3.295 kg ha⁻¹, na safra 2005/06 (CONAB, 2007b). Parte desse aumento de produtividade se dá pelo uso cada vez mais amplo, pelos agricultores, de híbridos melhorados com maior heterose e modificações nas práticas culturais, com a adoção de tecnologias modernas como correção do solo, adubação, maior utilização de fertilizantes nitrogenados, controle eficiente de plantas daninhas e pragas, uso de máquinas mais eficientes e precisas para a semeadura, aplicação de agrotóxicos e aumento da população de plantas (TOLLENAAR, 1994). Porém, os pequenos produtores, que utilizam baixa tecnologia, ainda costumam usar maiores espaçamentos entre fileiras e menores populações de plantas para diminuir os riscos caso o clima não seja favorável (FLESCH; VIEIRA, 2004).

A utilização de espaçamentos reduzidos tem sido discutida e experimentada por agricultores há mais de 30 anos, mas até hoje não houve adoção efetiva em grande escala (SWOBODA, 1996). Atualmente, existem fatores que podem auxiliar na disseminação dessa técnica. Os híbridos modernos possuem maior tolerância a

altas populações de plantas do que materiais usados no passado (ALMEIDA; SANGOI, 1996; ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000). Este fato é importante, pois de acordo com Sangoi (1996), as maiores respostas com redução de espaçamento ocorrem em altas populações de plantas. Além disso, o mercado nacional já dispõe de equipamentos que permitem semeadura e colheita de milho em menores espaçamentos.

O melhor arranjo de plantas é aquele que proporciona distribuição mais uniforme por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. As plantas podem ser distribuídas de várias formas, sendo que as variações na distância entre elas na fileira e entre as fileiras determinam os diferentes arranjos na lavoura (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). De acordo com esses autores, a escolha do arranjo de plantas é influenciada pela cultivar, forma de uso do milho pelo produtor, nível tecnológico, época de semeadura e comprimento da estação de crescimento. As principais alterações no arranjo de plantas ocorreram após a introdução dos híbridos simples, que foi acompanhada pelo aumento do uso de fertilizantes e controle mais eficiente de plantas daninhas e de pragas. O aprimoramento do manejo da cultura, associado ao uso de híbridos de alto potencial produtivo, contribuiu para o aumento da população de plantas e a redução do espaçamento entre fileiras.

Para Argenta et al. (2001), ainda há necessidade de maiores estudos para reavaliar as recomendações de práticas de manejo para a cultura do milho, em virtude das modificações introduzidas nos genótipos de milho mais recentes, tal como menor estatura de planta e de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendoamento-espigamento, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo.

2.1 ECOFISIOLOGIA DA PLANTA DE MILHO

Comparativamente a culturas como arroz, trigo e soja, o milho apresenta crescimento com baixa plasticidade. Isso decorre, principalmente, da ausência de afilamento e ramificações laterais na planta de milho. Dessa forma, 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, 2001; 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; SINCLAIR; BENNET, 1990).

As modificações verificadas na arquitetura das plantas de milho, como menor estatura, menor número de folhas, folhas mais eretas e pequeno acamamento de plantas (ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000), têm permitido maior infiltração de luz no dossel, mesmo com alto índice de área foliar, e a diminuição de competição intra-específica por recursos naturais sob altas populações de plantas. Este novo ideotipo de milho possibilita alterações no arranjo de plantas que podem levar a maior eficiência de uso da radiação solar em ambientes para obtenção de altas produtividades (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

Sangoi et al. (2001) enfatizam que uma disponibilidade de água adequada durante as fases críticas da cultura do milho, associada à elevada fertilidade do solo contribuem para se ter maior número de grãos por espiga e também maior massa de mil grãos, resultando em elevadas produtividades. Em condições de disponibilidade hídrica semelhante, as variações entre anos podem estar relacionadas à

temperatura do ar, insolação e radiação solar. Tollenaar e Bruulsema (1988) e Muchow; Sinclair e Bennet (1990) também relatam que sob fertilidade e condições hídricas adequadas, a produtividade de milho está intimamente relacionada à quantidade de radiação solar interceptada pela cultura.

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).

De acordo com Bullock; Nielsen e Nyquist (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.

Segundo Sangoi et al. (2001), a redução do espaçamento entre fileiras na cultura do milho pode ser positiva principalmente em semeaduras “do cedo” no sul do Brasil. A combinação de latitudes entre 25 e 30°S e altitudes acima de 800 m, que caracterizam essa região, diminuem o número disponível de unidades de calor para o desenvolvimento da cultura e a duração da estação de crescimento (SANGOI, 1993). Sangoi et al. (2001), observaram que as maiores respostas em

produtividade de grãos com redução do espaçamento ocorrem em semeaduras no cedo (01/10) devido aos efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Quando os híbridos foram semeados no início de outubro, foram encontradas menores temperaturas do solo e do ar durante os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas. A menor quantidade de unidades de calor acumuladas por dia, fez com que as plantas crescessem mais lentamente, aumentando o número de dias para o híbrido atingir o florescimento. Esse modelo de crescimento e desenvolvimento mais lento levou a produção de folhas menores e em menor quantidade por planta, resultando em menor área foliar e índice de área foliar na semeadura de outubro do que em novembro. Dessa forma, os autores concluíram que as baixas temperaturas registradas no início da primavera, época de semeadura da cultura do milho, reduzem a velocidade de desenvolvimento das plantas, limitando a interceptação de luz, favorecendo a erosão e tornando o controle de plantas daninhas mais difícil. Assim, o uso de espaçamentos menores poderia ser uma maneira de minimizar tais problemas.

Como as maiores respostas em produtividade de grãos nos espaçamentos reduzidos ocorreram em semeaduras do início da primavera, Sangoi et al. (2001) postularam que a melhor distribuição de plantas em menores espaçamentos é mais pronunciada com a ocorrência de baixas temperaturas, que impõe alguma limitação na produção de área foliar e biomassa. Esse resultado é reforçado com os dados de Westgate et al. (1997), que demonstra que o uso de espaçamento reduzido pode aumentar a eficiência no uso da radiação e também a produtividade de grãos em estações de crescimento curtas e com menores temperaturas.

A temperatura atua de forma inversamente proporcional ao número de grãos definidos por unidade de taxa de crescimento. Em temperaturas inferiores a 20°C,

há redução na eficiência que a cultura de milho converte radiação solar em biomassa (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993). Esse fato faz com que o número de grãos determinados por unidade de taxa de crescimento seja maior em temperaturas amenas, possivelmente devido ao maior tempo disponível para interceptar a radiação solar (MUCHOW; SINCLAIR; BENNETT, 1990), sendo que esta radiação recebida pela cultura está intimamente relacionada à produtividade de grãos (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; OTTMAN; WELCH, 1989; LOOMIS; AMTHOR, 1999). A maior produtividade de milho em regiões temperadas é obtida quando ocorrem temperaturas médias amenas sob elevada radiação incidente (DIDONET et al., 2002).

O número de dias entre emergência e floração é um importante referencial do desenvolvimento da planta de milho, pois há correlação positiva entre essa variável e área foliar, índice de área foliar, número de folhas e estatura de planta (SANGOI et al., 2001).

2.2 ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS

A redução do espaçamento entre fileiras na cultura do milho tem potenciais vantagens em uma determinada população de plantas. Essa prática reduz a competição intra-específica das plantas na fileira, melhorando a disponibilidade de luz, água e nutrientes por planta, devido à distribuição mais eqüidistante das plantas (PORTER et al., 1997; JOHNSON; HOVERSTAD; GREENWALD, 1998; FLÉNET et al., 1996), refletindo muitas vezes em incrementos da produtividade de grãos (KARLEN; CAMP, 1985; ARGENTA et al., 2001; PARVEZ; GARDNER; BOOTE, 1989; MURPHY et al., 1996).

A melhor distribuição teórica de plantas de milho numa determinada área é obtida quando o volume de solo é maximizado, 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; Fancelli e Lopes (2001), dentre os possíveis arranjos (triangular, retangular e hexagonal), o que possibilita maior área útil explorada por planta é o hexagonal, que mais se aproximada do círculo (Figura 1).

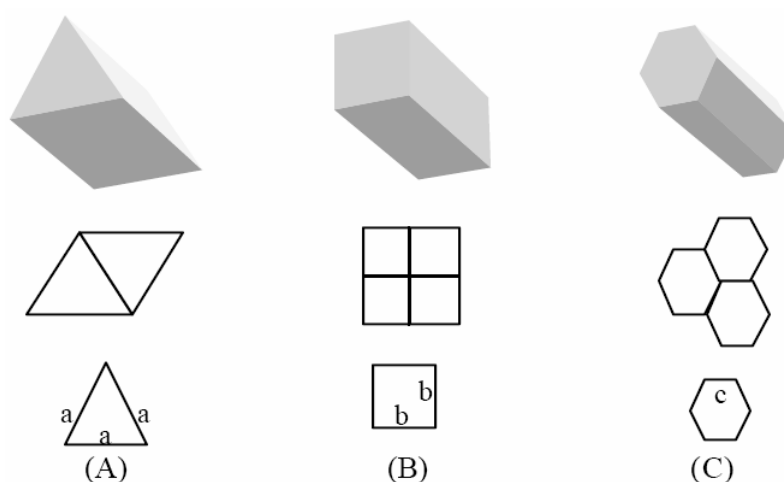


FIGURA 1 – Os três prismas que permitem ser colocados lado a lado sem deixar interstício: (A) seção triangular, (B) seção retangular, (C) seção hexagonal (PALHARES, 2003).

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).

De acordo com Flesch e Vieira (1999), uma significativa fração dos agricultores brasileiros ainda utilizava espaçamentos variando entre 90 e 100 cm. Nos últimos anos, os produtores do sul do Brasil vêm se interessando mais pelo uso de espaçamentos reduzidos, principalmente aqueles que utilizam populações acima de 50.000 plantas ha^{-1} , possuem bom nível tecnológico e colhem acima de 6.000 kg ha^{-1} de grãos (SANGOI et al., 1998).

Atualmente, alguns fatores podem auxiliar na disseminação dessa tecnologia. A partir dos anos 90, as empresas vêm lançando híbridos mais tolerantes a altas populações de plantas do que os híbridos do passado (ALMEIDA; SANGOI, 1996; ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000). Este é um fator importante, já que os maiores benefícios do uso de espaçamentos reduzidos ocorrem em altas populações de plantas (SANGOI, 1996). Além disso, nos dias atuais, os produtores dispõem de um arsenal de herbicidas para o controle químico de plantas daninhas, permitindo o controle em pós-emergência, sem a necessidade de controle mecânico com cultivador, além da existência de equipamentos adaptados a menores espaçamentos.

2.2.1 Ganhos em produtividade de grãos

O uso de espaçamento reduzido aumenta a produtividade de grãos de milho e as vantagens dessa tecnologia são maiores em semeaduras “do cedo” em regiões de curta estação de crescimento como é o caso da região Sul do Brasil (SANGOI et al, 2001). Porter et al. (1997), reduzindo o espaçamento de 75 até 25 cm e Bullock; Nielsen; Nyquist (1988) de 76 até 38 cm também obtiveram aumento da produtividade de grãos com a redução do espaçamento.

Flesch e Vieira (2004), testando híbridos de ciclo normal e precoce, em três anos de estudo, obtiveram resultado positivo à redução de espaçamento apenas para o de ciclo precoce em um dos três anos, mostrando que a resposta pode variar conforme o híbrido e o ambiente. O ganho ocorrido foi de 129 kg ha⁻¹ de grãos de milho para cada 20 cm de redução do espaçamento. No trabalho de Argenta et al. (2001), a resposta do espaçamento variou em função do ano, híbrido e população de plantas. No primeiro ano de seu trabalho, não houve resposta do híbrido XL 212, mas o híbrido C 901 obteve 716 kg ha⁻¹ de ganho para cada 20 cm de redução do

espaçamento. No segundo ano, nenhum híbrido teve resposta na população de 65000 plantas ha⁻¹, mas na população de 50000 plantas ha⁻¹, os híbridos C 901 e XL 214 obtiveram resposta de 280 e 130 kg ha⁻¹ para cada 20 cm de redução, respectivamente. Em outros números, enquanto o híbrido XL 214 obteve 4% de ganho em produtividade de grãos, com redução de 100 para 40 cm entre fileiras, o híbrido C 901 obteve 11% de ganho. Dessa forma, os autores concluem que o aumento na produtividade de grãos de milho com redução do espaçamento se dá principalmente em híbridos de ciclo superprecoce e de baixa estatura. Já no trabalho de Sangoi et al. (2001), o ciclo do híbrido e sua arquitetura não influenciaram a resposta à redução do espaçamento. Os autores encontraram ganhos entre 192 e 568 kg de milho para cada redução de 20 cm no espaçamento, sendo essa variação dependente do ano e data de semeadura. As semeaduras em época normal (10/01) tiveram maior resposta à redução do espaçamento do que em época tardia (15/11), principalmente no ano de maior produtividade média (1996/97).

Ao contrário de Argenta et al. (2001) e Flesch e Vieira (2004), Kunz (2005) não encontrou relação entre característica genética (híbrido simples, triplo, duplo ou variedade) ou fenotípica (arquitetura de planta) das cultivares com o aumento de produtividade em função de uma melhor distribuição espacial de plantas. Segundo o autor, a diferenciação genética e arquitetura de plantas não são indicativos de resposta direta das cultivares a alteração do espaçamento entre fileiras.

Mesmo com vários trabalhos mostrando as vantagens da tecnologia, os prováveis benefícios do uso de espaçamento reduzido nem sempre são obtidos. Resultados obtidos por Forcella; Westgate e Warnes (1992); Teasdale (1995); Merotto Júnior; Almeida e Fuchs (1997) e Westgate et al. (1997) mostram que não houve efeito da redução do espaçamento sobre a produtividade de grãos de milho.

Em 1958, Dungan et al. (1958 apud FLESCHE; VIEIRA, 2004), resumiram vários experimentos sobre espaçamento entre fileiras de milho e relataram que os resultados eram inconclusivos. Segundo o autor desse levantamento, grandes variações foram encontradas entre os anos e entre locais, dependentes do ambiente e das condições climáticas. No Brasil, em tempos atuais, vários estudos de espaçamentos entre fileiras têm sido analisados e discutidos, porém, também não são consensuais. Alguns trabalhos mostram clara vantagem na produtividade de grãos (BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1998; ARGENTA et al., 2001) e outros não mostram vantagem alguma para o milho cultivado em fileiras estreitas (MEROTTO JUNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; WESGATE et al., 1997). Para Kunz (2005), o aumento de produtividade com a redução do espaçamento variou de -2,7%, 1,2%, 2,1% a 2,9% em função do híbrido. Essa variação entre os resultados para redução do espaçamento de 80 para 40 cm no Brasil, e de 76 para 38 cm nos Estados Unidos, pode ser observada na Tabela 1, onde foram sumarizados os resultados de diversos trabalhos.

Como podem ser observados na Tabela 1, os resultados em produtividade de grãos são muito variáveis. Nos Estados Unidos, os ganhos de produtividade com a utilização de espaçamentos reduzidos têm variado de -1,7 a 5,4%. No Brasil, foram observados ganhos entre 0 a 9,1%, sendo que trabalhos regionais indicam ganho médio de produtividade de grãos entre 1,5 e 2,0%, ocorrendo variações entre híbridos, locais e anos, quando se reduz o espaçamento e mantém-se a população de plantas (MOLIN, 2004).

Tabela 1 – Ganho médio em produtividade de grãos com a redução do espaçamento segundo diferentes autores e locais, no Brasil e Estados Unidos.

Locais	N° Locais	N° Anos	N° Híbridos	N° Populações	Compa- rações	Ganho (%)	Autores
<u>Brasil</u>							
Eldorado do Sul, RS	1	2	2	2	6	3,5	ARGENTA et al, 2001
Lages, SC	1	2	2	1	8	6,1	SANGOI et al, 2001
Chapecó, RS	2	3	2	4	48	1,8	FLESCHE; VIEIRA, 2004
Piracicaba, SP	1	1	3	3	9	0,7	PALHARES, 2003
Campos Gerais, PR	6	4	17	3	72	1,4	MOLIN, 2004
Campo Grande, MS	1	1	1	4	4	0,0	SCHEEREN et al., 2004
Castro, PR	1	1	1	4	4	9,1	KUGLER, 2004
Ponta Grossa, PR	1	1	4	5	20	0,8	KUNZ, 2005
Arapoti, PR	1	1	6	3	18	4,2	QUIRRENBACH, 2005
Castro, PR	1	1	6	3	18	3,5	QUIRRENBACH, 2005
Itaberá, SP	1	1	6	3	18	5,2	QUIRRENBACH, 2005
Arapoti, PR	1	1	5	3	15	3,4	QUIRRENBACH, 2006
Castro, PR	1	1	5	3	15	4,3	QUIRRENBACH, 2006
Itaberá, SP	1	1	5	3	15	5,8	QUIRRENBACH, 2006
Média						2,8	
<u>Estados Unidos</u>							
Iowa	6	3	6	4	432	-1,7	FARNHAM, 2001
Michigan	6	2	6	5	360	3,8	WIDDICOMBE; THELEN, 2002
Corn Belt	5	1	1	1	5	4,6	LAMBERT; DeBOER, 2003
Minnesota	1	2	2	1	4	5,4	SHARRATT; McWILLIAMS, 2005
Média						0,8	

Pode-se notar que de modo geral, os ganhos em produtividade com a redução do espaçamento são pequenos e variam em função do local e ano. Os resultados contrastantes encontrados na literatura são atribuídos a vários fatores, tais como a escolha do híbrido, a população de plantas utilizada, a fertilidade do solo, a época de semeadura e às condições climáticas.

2.2.2 Efeito nos componentes da produção

Há discordância entre autores sobre os efeitos da redução do espaçamento nos componentes da produção. 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) e Penariol; Fornasier Filho e Coivev (2003) também não

observaram nenhuma alteração nos componentes da produção com a redução do espaçamento. Argenta et al. (2001), analisando dois híbridos em dois anos de estudo, observaram variação apenas no número de grãos por espiga em um ano e em um híbrido. No trabalho de Kunz (2005), o único componente influenciado pelo espaçamento foi a massa de grãos por espiga, que foi maior no espaçamento de 90 cm em relação a 45 cm. O índice de prolificidade, que expressa o número de espigas por planta, não sofreu alteração com redução do espaçamento entre fileiras para os quatro híbridos avaliados, porém há diferença entre híbridos, indicando que esta característica está intimamente ligada à característica do cultivar. A ausência de resposta da redução do espaçamento nos componentes da produção também foram encontrados por Flesch e Vieira (2004), Argenta et al. (2001), Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003) e Scheeren et al. (2004).

Já Sangoi et al. (2001), Bullock; Nielsen e Nyquist (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. (2001) sugerem que a menor competição entre plantas dentro da fileira por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais eqüidistante na área, aumenta a disponibilidade de carboidratos, permitindo que a planta forme maior número de grãos e com maior massa.

2.2.3 Alterações morfofisiológicas

Modelos mais favoráveis de distribuição de plantas em menores espaçamentos favorecem a taxa de crescimento das plantas de milho em estádios iniciais (BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1998), levando a maior interceptação da radiação solar, maior eficiência no uso dessa radiação e maiores produtividades de grãos (SANGOI et al., 2001; WESTGATE et al., 1997).

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 (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), correspondendo às informações técnicas fornecidas pelas empresas de sementes.

Kunz (2005) não obteve influência do espaçamento entre fileiras sobre a estatura de plantas e de inserção da espiga principal em quatro híbridos de milho, evidenciando não ter ocorrido competição entre plantas por luz nos espaçamentos de 90 e 45 cm, provavelmente em decorrência das condições ambientais favoráveis no estágio vegetativo ou características dos híbridos. Já Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (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, independente do híbrido, indicando menor competição entre as plantas por luz.

Argenta et al. (2001) 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. O aumento de produtividade do híbrido C-901 no espaçamento de 40 cm foi atribuído ao fato de ser um híbrido de ciclo superprecoce, e por isso tem menor exigência térmica para florescer, que o leva a produzir menor número de folhas por planta e menor área foliar. 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; NIELSEN; NYQUIST, 1998).

Segundo Sangoi et al. (2001), 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; Otegui e Cirilo (2001) não obtiveram alterações na área foliar das plantas entre os espaçamentos de 35 e 70 cm, em quatro híbridos de diferentes arquiteturas. Quirrenbach; Zagonel e Ribas (2007) também não observaram alterações do número de folhas por planta, largura média das folhas, comprimento médio das folhas, área foliar por planta e IAF com a redução do espaçamento. 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.

Kunz (2005) constatou que não houve diferença do número de folhas com redução do espaçamento, mas aumentou o comprimento e largura média das folhas. A área foliar por planta aumentou no espaçamento reduzido apenas para um dos quatro híbridos avaliados.

Alguns autores têm notado que a produção de matéria seca da planta de milho possui maior relação com a utilização da radiação solar do que sua interceptação (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; WESTGATE et al., 1997).

A literatura sobre alteração no diâmetro de colmo com a redução do espaçamento é contraditória. Palhares (2003) encontrou maior diâmetro de colmo no menor espaçamento, independente do híbrido. Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003) não observaram alteração do diâmetro do colmo entre três espaçamentos para dois híbridos em dois anos. Kunz (2005) obteve interação entre híbridos e espaçamento para diâmetro de colmo. Houve aumento do diâmetro do colmo no menor espaçamento para dois híbridos (Penta e IPR 114), redução em um híbrido (Garra) e sem efeito para outro híbrido (Traktor).

A produção de massa seca da parte aérea por planta não foi afetada pelo espaçamento, mas a produção por hectare foi superior em 3,6% no espaçamento de 45 cm (KUNZ, 2005).

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 nos trabalhos de Argenta et al. (2001) e Kunz (2005).

2.2.4 Outros efeitos

A redução do espaçamento entre fileiras maximiza a interceptação de luz pelas plantas, devido ao fechamento mais rápido dos espaços entre as fileiras e dessa forma reduz a transmitância de luz através do dossel (McLACHLAN et al., 1993). A menor quantidade de luz que atinge o solo diminui o potencial de interferência das plantas daninhas, principalmente para as espécies intolerantes à sombra (TEASDALE, 1995; JOHNSON; HOVERSTAD; GREENWALD, 1998), aumentando a capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas (TEASDALE, 1998).

Embora não tenha havido vantagens na produtividade de grãos com a redução do espaçamento entre fileiras, Flesch e Vieira (2004) e Johnson; Hoverstad e Greenwald (1998) salientaram que esta prática mostrou-se efetiva no controle integrado de plantas daninhas.

Menores espaçamentos permitem a cobertura mais rápida e maior sombreamento do solo nas fases iniciais da cultura, resultando em menor perda de água por evaporação (KARLEN; CAMP, 1985). Em condições de baixa umidade do solo, esse fato se torna importante, pois favorecendo a manutenção da água no solo haverá melhores condições para as plantas de milho realizar fotossíntese e demais processos de crescimento (LAUER, 1994). Além disso, o uso de espaçamentos reduzidos é um instrumento para melhorar a proteção do solo, reduzindo o escoamento superficial de água e a erosão do solo (SANGOI et al., 1998).

Outra vantagem do espaçamento reduzido seria a secagem mais rápida dos grãos na lavoura, devido ao maior arejamento no dossel. Farnham (2001) e Widdicombe e Thelen (2002) obtiveram 0,1 e 0,4% menos umidade dos grãos, respectivamente, no espaçamento de 38 cm quando comparado a 76 cm.

Algumas variáveis como colmos doentes, plantas acamadas e colmos quebrados, normalmente são pouco estudados pelos pesquisadores que trabalham com arranjo de plantas de milho. Contudo, as podridões de colmo são freqüentes e problemáticas para a produção de milho nas regiões produtoras do Brasil (BLUM et al., 2000). Além de debilitarem e reduzirem a produção da cultura pode ocasionar o acamamento e morte das plantas, dificultando a colheita (REIS; CASA, 1996). O único trabalho encontrado na literatura relacionando espaçamento com essas variáveis foi o de Kunz (2005), que obteve menor acamamento de plantas no espaçamento de 90 cm em relação a 45 cm, mas não justificou o motivo.

Nos Estados Unidos, foram relatados danos (perda de produtividade) causados pelas podridões do colmo do milho de 10 a 20% em híbridos susceptíveis e em outros países de 25 a 30%, chegando a 50% em algumas regiões (SHURTLEFF, 1992). No Brasil, a ocorrência é freqüente e prejuízos econômicos em lavouras de milho têm sido apontados (REIS; CASA, 1996). Nazareno (1989) relata valores de incidência entre 15 e 85% e danos entre 12 e 40%. Dependendo do ano e do genótipo, a incidência pode variar de 4 a 72% e os danos de 0,67 e 50% (REIS et al., 1998; DENTI; TRENTO; REIS, 1999).

As podridões de colmo do milho podem ser provocadas por diferentes fungos, tais como *Colletotrichum graminicola*, *Diplodia maydis*, *Stenocarpella maydis*, *Diplodia zea*, *Fusarium moniliforme*, *Gibberella zea*, *Physoderma maydis* e *Pythium* sp. (REIS; CASA, 1996; PINTO; FERNANDES; OLIVEIRA, 1997).

A ocorrência das podridões de colmo é favorecida por alterações nas relações fonte e dreno de nutrientes ocorridos durante a fase de enchimento dos grãos (REIS; CASA, 1996). Fatores que reduzam a fotossíntese e a produção de carboidratos predispõem as plantas às podridões (PINTO; FERNANDES; OLIVEIRA, 1997). A desfolha durante o florescimento, a população de plantas e a precocidade dos híbridos, alteram a partição de fotoassimilados entre as diferentes estruturas da planta, podendo influenciar na incidência das doenças do colmo do milho (BLUM et al., 2000; SANGOI et al., 2000). Híbridos de milho mais antigos são potencialmente mais susceptíveis às podridões de colmo devido a sua menor eficiência fotossintética, principalmente quando cultivados em altas populações de plantas. Os híbridos cultivados atualmente são mais produtivos, resistentes a distúrbios provocados por populações mais elevadas, deficiência hídrica, e possivelmente, menos sensíveis a doenças (SANGOI et al., 2000).

2.3 POPULAÇÃO DE PLANTAS

O termo população de plantas pode ser definido como o número de plantas por unidade de área. É uma das práticas culturais que mais afeta a produtividade de grãos de milho, que é a espécie da família das Poáceas mais sensível a sua variação (ALMEIDA; SANGOI, 1996). Isso porque os híbridos modernos não perfilham e, usualmente, produzem somente uma espiga por planta, portanto, não possuem a capacidade de compensar eventuais falhas na emergência como as demais espécies desta família.

Nos últimos anos, com o avanço do melhoramento genético na cultura do milho, os melhoristas têm visado à obtenção de materiais de ciclo mais curto, porte mais baixo, melhor arquitetura foliar, colmos mais fortes e além de tudo, alto potencial produtivo. O ingresso desses novos híbridos no mercado torna necessário o estudo da população ideal para explorar o máximo de seu potencial produtivo, sem que haja problemas com sanidade da planta e estresses por competição intra-específica. Normalmente esses híbridos modernos têm tolerado maior população de plantas do que os híbridos antigos (TOLLENAAR; AGUILERA, 1992).

2.3.1 Recomendações oficiais

As recomendações oficiais de população de plantas ainda são poucas e normalmente generalistas, sem critérios específicos por região, solo, época de semeadura, híbrido ou nível de tecnologia.

Carneiro e Gerage (1991) já recomendavam para o Paraná populações de 55.000 plantas ha⁻¹ para híbridos de ciclo normal e 65.000 plantas ha⁻¹ para híbridos de ciclo precoce, com espaçamento de 90 cm entre fileiras. Em 1997, a EPAGRI recomendava para o Estado de Santa Catarina, 50.000 a 60.000 plantas ha⁻¹ para híbridos precoces e superprecoces e 40.000 a 50.000 plantas ha⁻¹ para híbridos de

ciclo normal, com espaçamento variando entre 80 e 100 cm entre fileiras (EPAGRI, 1997). Em 2000, Almeida; Sangoi e Ender (2000) sugeriram a utilização de populações variando entre 65.000 e 80.000 plantas ha^{-1} para as regiões de planalto do Sul do Brasil. Nos Estados Unidos, na região meio-oeste, são utilizadas populações que variam entre 62.000 e 75.000 plantas ha^{-1} (STAGGENBORG et al., 1999; COX, 1996; WESTGATE et al., 1997). Em 2004, Flesch e Vieira (2004), com base em três anos de estudo em Chapecó, SC, com dois híbridos de diferentes ciclos, recomendaram a utilização de 74.000 plantas ha^{-1} em boas condições de crescimento e entre 50.000 e 70.000 plantas ha^{-1} em caso de alguma restrição, como falta de água ou baixo uso de insumos. A Embrapa recomenda para os híbridos modernos de 40.000 a 70.000 plantas ha^{-1} , com espaçamento entre fileiras de 80 a 100 cm, podendo chegar a 80.000 plantas ha^{-1} em espaçamentos reduzidos de 45 a 50 cm (EMBRAPA, 2007b). Em 1999, Flesch e Vieira (1999) fizeram um levantamento em Santa Catarina, na região de Chapecó e Concórdia, e observaram que muitos produtores ainda utilizam populações entre 40.000 e 45.000 plantas ha^{-1} .

2.3.2 Ganhos em produtividade de grãos

De acordo Dourado Neto; Fancelli e Lopes (2001), a produção de grãos por unidade de área ($kg\ ha^{-1}$) aumenta linearmente com o aumento da população de plantas (fase A) até um determinado ponto denominado “ponto crítico” (Figura 2). 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).

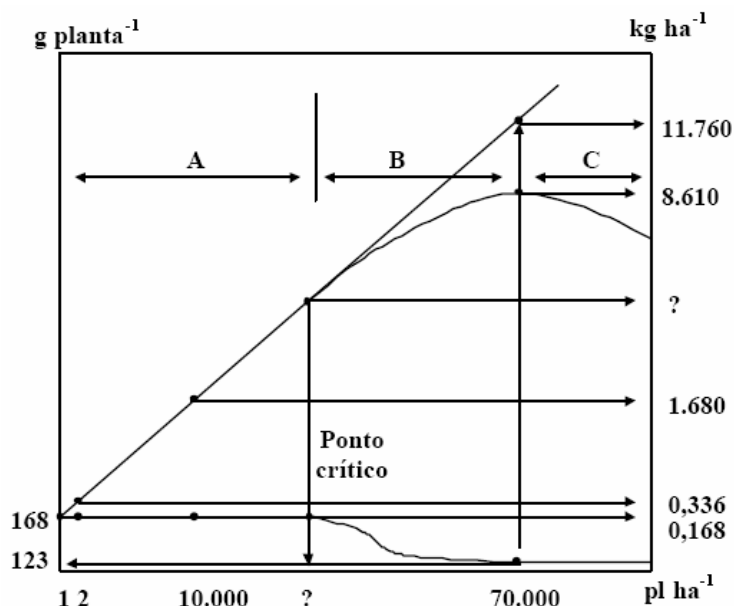


FIGURA 2 – Produção por unidade de planta (g planta⁻¹) e por unidade de área (kg ha⁻¹) em função da população de plantas (plantas ha⁻¹) (DOURADO NETO; FANCELLI; LOPES, 2001).

No trabalho de Flesch e Vieira (2004), realizado com dois híbridos, o de ciclo normal produziu mais que o de ciclo precoce, porém a resposta para população de plantas foi quadrática e semelhante para os dois híbridos, sendo 74.000 plantas ha⁻¹ a população de máxima produtividade de grãos.

Sangoi et al. (2002) relataram que as populações ótimas para maximizar a produtividade de grãos foram 71.000, 79.000 e 85.000 plantas ha⁻¹ para os híbridos AG 12 (década de 70), AG 303 (80) e DKB 929 (90), respectivamente. O nível máximo de produtividade do híbrido mais antigo e do mais recente foi semelhante, em torno de 9.500 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 70.000 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; SILVA; REZERA, 1997; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999; FLESCHE; VIEIRA, 2004).

De acordo com Kunz (2005), a população ideal vai depender do híbrido e do espaçamento entre fileiras. Em dois híbridos avaliados, o ponto crítico de máxima produção foi atingido com menores populações no espaçamento de 45 cm em relação a 90 cm, indicando maior eficiência da utilização dos recursos pelas plantas no menor espaçamento. Já outros dois híbridos aumentaram a produtividade até aproximadamente 80.000 plantas ha⁻¹, independente do espaçamento.

Para Sangoi et al. (2001), a população ideal para maximizar a produtividade de grãos de milho varia de 30.000 a 90.000 plantas ha⁻¹, dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo do genótipo, época de semeadura e espaçamento entre fileiras. 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.

2.3.3 Efeitos nos componentes da produção

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; KUNZ, 2005; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003), independente do ciclo do híbrido (FLESCHE; VIEIRA, 2004). No trabalho de Kunz (2005), a massa de mil grãos foi influenciada

pela interação entre híbridos e população de plantas, sendo que houve redução desse componente de forma linear com o aumento da população para três híbridos e de forma quadrática para um híbrido. Essa perda nos componentes da produção possivelmente está associada ao aumento na competição entre plantas, devido a menor radiação solar na comunidade (TOLLENAAR; DWER; STEWART, 1992). Argenta et al. (2001), que também encontraram redução nos três componentes da produção com aumento da população de plantas de 50.000 plantas ha⁻¹ para 65.000 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.

Flesch e Vieira (2004) relataram que aumentos da população de 50.000 plantas ha⁻¹ até 90.000 plantas ha⁻¹, proporcionaram redução nos componentes da produção, mas a produtividade de grãos foi compensada por aumentar o número de espigas na área. 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, 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. Kunz (2005) confirma esses dados, pois apesar da perda nos demais componentes da produção, o número de grãos por metro quadrado aumentou de forma quadrática com aumento da população no espaçamento de 45 cm e de forma linear no espaçamento de 90 cm, resultando em maior produtividade de grãos nas maiores populações. 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).

No trabalho de Kunz (2005), houve interação entre híbrido e população de plantas para o índice de prolificidade, sendo que todos híbridos reduziram esse índice com o aumento da população, porém de forma mais acentuada para dois dos quatro híbridos utilizados. Segundo o autor, a redução no índice de prolificidade ocorre com maior intensidade justamente nos híbridos mais prolíferos. Esses resultados corroboram com Silva; Argenta e Rezera (1999), Argenta et al. (2001), Flesch e Vieira (2004) e Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003) que também trabalharam com diferentes híbridos e obtiveram redução do índice de prolificidade com aumento da população de plantas. O índice de prolificidade é um importante indicativo da capacidade dos híbridos modernos em suportar maiores populações, sem diminuir acentuadamente a emissão e manutenção das espigas (ALMEIDA et al., 2000).

2.3.4 Alterações morfofisiológicas

Sob altas populações aumenta a competição intra-específica por luz, água e nutrientes (SANGOI, 2000), o que afeta a produtividade final porque estimula a dominância apical, induz a esterilidade, decresce o número de espigas produzidas por planta e o número de grãos por espiga (SANGOI; SALVADOR, 1998a). Portanto, a produtividade de grãos de milho aumenta com o incremento da população de plantas até atingir um nível máximo, que é determinado pelo genótipo e pelas condições do ambiente e diminui com posteriores aumentos da população.

Um fator que pode limitar a semeadura em altas populações é o aumento na taxa de esterilidade feminina (SANGOI, 1996). O fracasso das plantas produzirem espigas em altas populações pode ser acentuado em situações de déficit hídrico e

solos de baixa fertilidade (SANGOI; SALVADOR, 1998a). Por isso, uma combinação de fatores como adequada distribuição de água durante o ciclo de crescimento, alta fertilidade do solo, adequada adubação nitrogenada, uso de híbridos de elevado potencial genético, semeadura na época preferencial e em menores espaçamentos, permitem reduzir as taxas de infertilidade em altas populações.

Altas populações de plantas reduzem o suprimento de nitrogênio, fotoassimilados e água às espigas (LEMCOFF; LOOMIS, 1994; JACOBS; PEARSON, 1991). Tais restrições atrasam eventos ontogênicos vitais ao desenvolvimento da espiga, reduzindo o número de espiguetas femininas que apresentam flores férteis na fase de florescimento e retardando a exteriorização dos estigmas (SANGOI; SALVADOR, 1998b; PEIXOTO; SILVA; REZERA, 1997; ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000). Como o período de liberação de pólen da planta é curto e definido, a assincronia entre antese e espigamento, promovida por populações elevadas, contribui substancialmente para reduzir o número de espiguetas fertilizadas, sendo decisiva para a redução no rendimento potencial da cultura (SANGOI; SALVADOR, 1998b). Palhares (2003) e Sangoi; Gracietti e Bianchet (2002) observaram pequena tendência de aumento na manifestação da natureza protândrica do milho nos arranjos espaciais que proporcionaram maior competição intra-específica.

Quanto à alteração na estatura de plantas e de inserção da espiga em diferentes populações, há resultados contrastantes. Alguns autores encontraram aumento linear com aumento da população de plantas (KUNZ, 2005; PALHARES, 2003; MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; SANGOI et al., 2002; SCHEEREN et al., 2004). Esse aumento, decorrente do maior alongamento dos entrenós, ocorre pelo efeito combinado da competição intra-específica por luz e

estímulo da dominância apical das plantas (SANGOI, 2000). Segundo Sangoi et al. (2002), a menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas em populações elevadas estimula a alongação celular. Com isso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a estatura da planta e de inserção da espiga.

O incremento da população de plantas aumenta a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes, reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados para atender a demanda da fase de enchimento de grãos e manutenção das demais estruturas da planta (SANGOI; SALVADOR, 1997). Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente ao enchimento de grãos. Quando o aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (TOLLENAAR; AGUILERA, 1992).

A maior estatura de plantas, a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo e o solo, o menor diâmetro do colmo e a sua maior fragilidade em altas populações favorecem o aumento da porcentagem de plantas acamadas e quebradas antes da colheita. A redução na sustentabilidade da planta e a maior incidência de doenças são as duas limitações mais importantes ao aumento da população na lavoura de milho (ARGENTA et al., 2001).

A redução do diâmetro do colmo com o aumento da população de plantas foi relatada por diversos autores (KUNZ, 2005; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002). Em altas populações, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento, aumentando suas chances de crescer acima do dossel, porém sacrificando o diâmetro do colmo e área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004). O efeito do

estiolamento é confirmado por Ballaré e Cassal (2000) e Rajcan e Swanton (2001), decorrente das alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de alta competição intra-específica.

O aumento da população de plantas reduz linearmente a área foliar das plantas de milho, independente do híbrido utilizado (SANGOI et al, 2002; KUNZ, 2005; QUIRRENBACH; ZAGONEL; RIBAS, 2007; PALHARES, 2003). A menor área foliar por planta pode implicar em redução da fotossíntese, pois existe relação direta entre a área foliar e razão fotossintética (OMETTO, 1981), resultando em menor disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento de grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI, et al., 2000).

Apesar do aumento da população reduzir a área foliar por planta, nas maiores populações há um maior número de plantas por área que compensam a perda individual. Resultados mostram que o índice de área foliar (IAF) aumenta linearmente com aumento da população de plantas (KUNZ, 2005; QUIRRENBACH; ZAGONEL; RIBAS, 2007; MADDONNI; OTEGUI; CIRILO, 2001; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999). Este fato é importante, pois o IAF está diretamente relacionado com a produtividade de grãos (BENINCASA; LEITE, 2002). Sangoi et al. (2001) concordam com a importância do IAF na interceptação da radiação, mas salienta que a maior atenção deve ser dada à eficiência da utilização dessa radiação solar interceptada.

A massa seca da parte aérea por planta é reduzida com o aumento da população (PALHARES, 2003; KUNZ, 2005), indicando o aumento da competição entre plantas. Contudo, esses autores observaram que devido ao maior número de plantas por área, ocorre um aumento da produção de massa seca total por hectare com aumento da população. No trabalho de Kunz (2005), esse aumento foi

quadrático, com a máxima produção de massa seca total por hectare em aproximadamente 80.000 plantas ha^{-1} , e além da massa seca da parte aérea por planta diminuir com aumento da população, a produção de grãos por planta diminui mais ainda, resultando na redução do índice de colheita. Argenta et al. (2001) não obtiveram diferença entre populações para o índice de colheita, mas trabalhou apenas com 50.000 e 65.000 plantas ha^{-1} .

2.3.5 Outros efeitos

Palhares (2003) observou que a quantidade relativa de raiz no florescimento, em relação à massa de matéria seca total da planta, diminui de 26% para 19% com o aumento da população de 30.000 para 90.000 plantas ha^{-1} . Já a parte aérea, aumenta de 74% para 81%. Segundo o autor, isso pode explicar porque populações mais elevadas apresentam maior porcentagem de quebra e tombamento de plantas.

Apesar de normalmente ocorrerem ganhos em produtividade de grãos com o aumento da população de plantas, ocorre a fragilização do colmo do milho. De acordo com Sangoi et al. (2002), a resistência do colmo à quebra antes da colheita é fundamental para que o potencial produtivo de híbridos de milho possa ser devidamente explorado através do aumento da população de plantas. Esses autores observaram aumento da relação estatura de planta/diâmetro de colmo com o aumento da população de plantas. Esse efeito de estiolamento também foi obtido por Ballaré e Cassal (2000) e Rajcan e Swanton (2001), decorrente das alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente verificada em ambientes de alta competição intra-específica. Outros autores obtiveram redução do diâmetro do colmo com o aumento da população de plantas (KUNZ, 2005; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002).

Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidade suficiente para 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 essas regiões (TOLLENAAR et al., 1994).

Altas populações de plantas também interferem na qualidade da luz que atinge o interior da comunidade, incrementando a quantidade de vermelho extremo (VE) e diminuindo a quantidade de vermelho (V) (RAJCAN; SWANTON, 2001). O aumento da relação VE/V altera diversas características morfológicas que interferem na arquitetura de planta, estimulando a dominância apical e a alongação dos entrenós, diminuindo o diâmetro de colmo e suprimindo a produção de afilhos, aumentando assim a porcentagem de plantas acamadas e quebradas (BALLARÉ; CASSAL, 2000).

No entanto, a ocorrência de acamamento com o aumento da população é dependente do material genético utilizado. Kunz (2005) observou aumento do acamamento em dois dos quatro híbridos avaliados. Essa diferença entre híbridos é justificada pelo autor por três motivos: alguns híbridos são naturalmente susceptíveis ao acamamento em altas populações, ao aumento de doenças de colmo e à redução do sistema radicular, fragilizando a sustentação da planta.

Para demonstrar o avanço obtido pelo melhoramento genético para tornar as plantas mais tolerantes a estresses em populações elevadas, Sangoi et al. (2002) avaliaram as populações ótimas para maximizar a produtividade de grãos dos híbridos AG 12 (década de 70), AG 303 (80) e DKB 929 (90), e obtiveram 71.000, 79.000 e 85.000 plantas ha⁻¹, respectivamente. O nível máximo de produtividade do híbrido mais antigo e do mais recente foi semelhante, em torno de 9.500 kg ha⁻¹.

Mas quando foram colhidas apenas as plantas que se mantiveram eretas, a população ótima do híbrido moderno continuou em 85.000 plantas ha⁻¹, enquanto que dos híbridos antigos ficou próxima a 50.000 plantas ha⁻¹. O menor número de folhas e a presença de folhas mais curtas e eretas do híbrido contemporâneo podem ter reduzido a absorção seletiva de radiação na faixa do vermelho pelos estratos superiores do dossel, diminuindo a relação VE/V e, conseqüentemente, o estiolamento. O ideotipo compacto da planta de milho do híbrido moderno também pode ter minimizado o sombreamento intra-específico em estandes adensados, aumentando a eficiência de interceptação da radiação solar por todos os estratos da comunidade. Com isto, incrementa-se a capacidade fotossintética da planta e a disponibilidade de fotoassimilados para formação de compostos estruturais que minimizem a fragilidade do colmo ao final do enchimento de grãos.

Entre os fatores que limitam a produtividade da cultura de milho, enquadram-se os agentes bióticos, dos quais se destacam as podridões da base do colmo (PBC). Por PBC entende-se a presença de sintomas e/ou sinais de patógenos na superfície da epiderme e/ou subepiderme e a menor resistência da base colmo, nos primeiro e segundo entrenós acima da superfície do solo. Tais alterações comprometem a translocação de água e nutrientes do solo para os órgãos aéreos da planta, afetando o rendimento potencial e a qualidade do grão (DENTI; REIS, 2001). As podridões do colmo do milho têm sido apontadas como as doenças mais preocupantes pelo seu efeito destrutivo (AGRIOS, 2004).

Um fator relevante para a ocorrência das PBC do milho é a população de plantas, que aliada a um desequilíbrio nutricional devido a maior competição intra-específica, predispõe as plantas às PBC (MACHADO, 1994; AGRIOS, 2004).

Sangoi et al. (2000) obtiveram maior incidência de doenças do colmo do milho nas maiores populações de plantas. Denti e Reis (2001), também observaram que à medida que a população de plantas aumentou, independente do sistema de cultivo, monocultura ou rotação, também aumentou a incidência das PBC do milho. Já o dano (perda de produtividade), aumentou com maiores populações de plantas somente na monocultura. Segundo o autor, o maior dano ocorrido nas maiores populações está relacionado com a competição por água e nutrientes e desequilíbrio nutricional entre colmos e espigas. Além disso, maiores populações de plantas, aliadas a um desequilíbrio nutricional, podem determinar uma maior predisposição das plantas às podridões de colmo (MACHADO, 1994; AGRIOS, 2004; SHURTLEFF, 1992). No trabalho de Denti e Reis (2001), as menores populações (30.000 plantas ha⁻¹) foram as que apresentaram as menores incidências, ao passo que as maiores populações (70.000 plantas ha⁻¹), resultaram nas maiores incidências de PBC. Os autores relatam que ocorreu deficiência hídrica durante os estádios fenológicos 4 e 6, afetando assim a abertura de estômatos e consequentemente a fotossíntese, resultando em menor acúmulo de carboidratos nos colmos das plantas, sobretudo nas parcelas de maior população, aumentando a predisposição às PBC. Sangoi et al. (2001) confirmam o fato de que em populações mais elevadas ocorre aumento da competição intra-específica por luz, reduzindo a atividade fotossintética da planta, tornando-os mais susceptíveis ao ataque de patógenos.

Blum et al. (2003) observaram que o incremento da população de plantas provocou aumento significativo da severidade e da incidência de doenças de colmo em plantas intactas. Mas houve redução da severidade e incidência com aumento da população nas plantas que haviam sido desfolhadas. Segundo o autor, as

parcelas com plantas desfolhadas e com maiores populações permitiram maior ventilação e maior penetração de radiação solar criada pela desfolha, que pode ter desfavorecido parcialmente a incidência das podridões, o que possivelmente não ocorreu nos lotes de plantas intactas.

No trabalho de Blum et al. (2003), o híbrido superprecoce P32R21 foi significativamente mais afetado pelas podridões de colmo do que os híbridos mais tardios, Premium e C333B. De acordo com Fancelli (2000), quanto maior a precocidade de um híbrido, menor é a sua área foliar. Por isso, Blum et al. (2003) atribuem o aumento da ocorrência de podridão de colmo no híbrido superprecoce, em relação aos demais híbridos avaliados, pela sua menor área foliar, que aumenta a contribuição do colmo no suprimento de fotoassimilados ao enchimento de grãos. A maior relação entre fonte e dreno dos híbridos tardios contribuiu para que os colmos fossem menos fragilizados, devido a um maior número de folhas e menor poder de drenagem de carboidratos pelas espigas.

Portanto, percebe-se que as modificações na relação fonte e dreno através da desfolha, da população de plantas e da precocidade de híbridos, ocasionam alterações na fisiologia da planta, as quais influenciam a intensidade das podridões de colmo do milho.

Os maiores progressos com o melhoramento de milho foram obtidos através do aumento da tolerância dos híbridos modernos a estresses bióticos e abióticos e não através do incremento do potencial de rendimento da espécie (SANGOI et al., 2002; DUVICK; CASSMAN, 1999; TOLLENAAR; WU, 1999; TOLLENAAR; LEE, 2002). Mesmo assim, a melhor forma de manejo para as podridões de colmo, é utilizar a prática de rotação de culturas e população de plantas adequadas para cada híbrido e situação de lavoura (DENTI; REIS, 2001).

Além das podridões de colmo, outro fator importante é o quebramento dos colmos, que é agravado pela distância entre o ponto de inserção da espiga e o solo. Uma menor distância contribui para o melhor equilíbrio da planta, minimizando a quebra de colmos, principalmente nas populações mais elevadas, nas quais o diâmetro desta estrutura é menor (SANGOI et al., 2002).

As podridões de espiga (PE), que originam os grãos ardidos, caracterizados por sintomas de descoloração devida à infecção de fungos, são as principais responsáveis pela baixa qualidade dos grãos, especialmente na região Sul, onde as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento da doença (PEREIRA, 1995). A incidência desses fungos nos grãos normalmente ocorre pela infecção da espiga sendo favorecida por clima úmido e quente na fase de polinização, mau empalhamento e por injúrias causadas por insetos nas espigas (SHURLEFF, 1992). Os fungos podem ser responsáveis pela produção de micotoxinas, as quais causam danos à saúde humana e animal (MOLIN, 1999). Além dos riscos causados pelas micotoxinas, os grãos ardidos podem ocasionar danos à produtividade, afetando diretamente a rentabilidade do produtor e também a qualidade do produto (TRENTO; IRGANG; REIS, 2002). A utilização de populações elevadas de plantas, aliada a desequilíbrios nutricionais e à susceptibilidade dos genótipos, contribui para o aumento da incidência das PE e de grãos ardidos (AGRIOS, 2004).

Trento; Irgang e Reis (2002) observaram que à medida que se aumentou a população de plantas, houve também um aumento na incidência de fungos causadores de PE, tanto em lavouras conduzidas em sistema de monocultura como em rotação de culturas. Por outro lado, o aumento da população de plantas resultou em ganhos de produtividade, que de acordo com os autores, são maiores do que as perdas ocasionadas pelo aumento da incidência de grãos ardidos. Agrios (2004) cita

a alta população de plantas, os altos níveis de nitrogênio e os baixos níveis de potássio como fatores que indicam maior susceptibilidade aos patógenos causadores de PE, principalmente de *Fusarium* sp. Reis e Casa (1996) afirmam que além do aumento das podridões de colmo de milho, populações de plantas muito elevadas também favorecem as podridões de espiga. Blum et al. (1998) verificaram aumento de 5% na incidência de grãos ardidos quando a população de plantas passou de 50.000 para 70.000 plantas ha⁻¹. A utilização de populações elevadas de plantas aumenta a competição das mesmas por água, nutrientes e luminosidade, aumentando sua vulnerabilidade ao ataque de patógenos.

A prática da rotação de culturas pode ser considerada uma medida importante de controle para os patógenos causadores das PE. A utilização de população de plantas adequada às condições da lavoura e do híbrido e o conhecimento dos ciclos biológicos das espécies de fungos envolvidas com a produção de micotoxinas podem contribuir para a redução da incidência de grãos ardidos, conseqüentemente, reduzindo os danos na quantidade e qualidade dos grãos de milho e beneficiando de forma significativa os produtores rurais e o consumidor final (TRENTO; IRGANG; REIS, 2002).

2.4 INTERAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO E POPULAÇÃO

Como visto anteriormente, o arranjo de plantas é determinado pelas variações na distância entre as plantas na fileira e entre as fileiras. Como o arranjo de plantas é determinado por esses dois fatores (espaçamento e população), logo imaginamos que eles interagem entre si.

Porém Widdicombe e Thelen (2002), Nielsen (1988) e Farnham (2001), não encontraram correlação entre população de plantas e espaçamento entre fileiras. Segundo Widdicombe e Thelen (2002), um determinado híbrido terá comportamento

semelhante frente ao aumento da população de plantas seja em espaçamento reduzido ou convencional.

Porter et al. (1997) obtiveram interação entre espaçamento e população em apenas um de três locais de estudo. Os autores sugerem que a redução do espaçamento pode ser realizada utilizando a mesma faixa de população. Flesch e Vieira (2004) em três anos de estudo com dois híbridos, também obtiveram interação entre espaçamento e população em apenas um ano, tanto no híbrido de ciclo normal como no precoce. O comportamento diferenciado dos híbridos entre os anos foi relatado por Cox (1996), que salienta que alguns híbridos interagem fortemente com a população de plantas em anos de estresse ambiental.

Sangoi (1996) afirma que em altas populações de plantas, os ganhos em produtividade com a utilização de espaçamentos reduzidos são potencializados, pois a competição intra-específica por recursos ambientais em espaçamentos largos é muito severa. Contudo, Argenta et al. (2001), trabalhando com as populações de 50.000 e 65.000 plantas ha^{-1} , obtiveram resposta em produtividade de grãos à redução do espaçamento apenas na menor população. Segundo os autores, esse fato é contraditório à expectativa, pois se esperava haver melhor resposta em populações mais elevadas, pela diminuição da competição intra-específica. Os autores justificam esse resultado com a hipótese de ter ocorrido uma alteração no tipo de competição, passando de intra-específica na fileira para competição entre plantas das fileiras laterais conforme colocação de Tollenaar; Dwer e Stewart (1992).

Farnham (2001) conduziu experimentos em seis locais, durante três anos, com seis híbridos. Concluiu que a população ótima depende do híbrido, mas não tem relação com o espaçamento, ou seja, a população ótima para cada híbrido pode ser utilizada para ambos os espaçamentos avaliados, 76 cm e 38 cm. No entanto, o

espaçamento pode variar em função do híbrido utilizado, sendo que o autor observou que dos seis híbridos avaliados, um produziu mais no espaçamento de 76 cm, outro produziu mais com 38 cm e os outros quatro não tiveram diferença.

Já Kunz (2005) que desenvolveu seu trabalho num ano sem deficiência hídrica, observou que a resposta da produtividade de grãos de milho variou em função do espaçamento entre fileiras, híbridos e população de plantas. Para o híbrido Penta, houve resposta quadrática para o espaçamento de 45 cm, sendo o ponto de máxima produtividade em 74.000 plantas ha⁻¹, onde seriam obtidos 12.427 kg ha⁻¹ de grãos. Já no espaçamento de 90 cm, a resposta ao aumento de população foi linear, e para obter os mesmos 12.427 kg ha⁻¹ seria necessário uma população de aproximadamente 111.000 plantas ha⁻¹. Esse diferencial foi atribuído ao maior IAF do espaçamento de 45 cm, pois o IAF é altamente correlacionado com a produtividade de grãos por proporcionar maior interceptação da radiação solar (BENINCASA; LEITE, 2002; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Para o híbrido Traktor, houve resposta quadrática em ambos os espaçamentos, sendo o ponto de máxima de 76.000 plantas ha⁻¹ para 45 cm, e 83.000 plantas ha⁻¹ para 90 cm, ou seja, também há necessidade de maior população no espaçamento de 90 cm. As cultivares Garra e IPR 114, não tiveram diferença entre os espaçamentos, mas houve resposta quadrática para população de plantas, semelhantes em ambos os espaçamentos. Segundo o autor, estudando isoladamente as populações entre 65.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, que estão mais próximas do recomendado, há maior produtividade no espaçamento de 45 cm, indicando que nessas populações a diminuição do espaçamento pode ser vantajosa. No entanto, em menores populações (35.000 plantas ha⁻¹), o maior espaçamento promove maior produtividade.

Almeida; Sangoi e Ender (2000), no comparativo de dois anos, obtiveram resposta linear ao aumento da população em um ano e quadrática em outro, indicando influência edafoclimática. A queda de produtividade além da população ótima está associada ao aumento do IAF com o aumento da população, pois existe estreita associação entre IAF e evapotranspiração das plantas (OLIVEIRA; SILVA; CAMPOS, 1993). Dessa forma, é favorecida a evapotranspiração e a demanda por água, o que em condições de deficiência hídrica, pode reduzir a taxa fotossintética das plantas e diminuir a capacidade dos drenos em acumular fotoassimilados disponíveis (COX, 1996).

Dados de Sangoi et al. (2001), mostram que apesar de diferentes respostas entre híbridos à redução do espaçamento para características morfológicas, não houve interação entre híbridos e espaçamento para produtividade de grãos. Também não houve correlação entre produtividade e período entre emergência e floração, mostrando que o potencial para ganho de produtividade em menores espaçamentos pode ocorrer tanto em híbridos precoces como tardios.

Westgate et al. (1997) afirmam que as respostas para redução do espaçamento, ocorrem preferencialmente quando são comparados híbridos de diferente angulação das folhas ou que um dos híbridos tenha maior capacidade para alterar a disposição das folhas quando submetido a uma nova situação. Sangoi et al. (2001), justificam a ausência da interação entre híbridos e espaçamento devido aos híbridos utilizados no experimento possuírem uma arquitetura de folhas similar.

Quanto aos componentes da produção, Flesch e Vieira (2004) além de não detectarem efeito do espaçamento entre fileiras sobre a massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta, também não observaram efeito da interação entre espaçamento e população para essas variáveis.

Sangoi et al. (2001) postulam que a combinação de alta fertilidade do solo, adequada distribuição hídrica durante o ciclo de crescimento, uso de híbridos geneticamente superiores pouco propensos à esterilidade feminina, semeadura em altas populações, são fatores combinados que podem auxiliar a explicar os efeitos positivos da redução do espaçamento na melhor eficiência da utilização da radiação e ganhos em produtividade de grãos.

2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Quando se opta pelo uso de espaçamento reduzido, algumas adaptações em máquinas e tratos culturais podem ser necessárias. Havendo maior número de linhas na semeadora sofrendo desgaste, pode ser necessário o uso de tratores com maior potência. Há necessidade de adaptação na bitola dos tratores ou uso de “rastros” para aplicação de agrotóxicos e distribuição de fertilizantes e se faz necessário adquirir uma plataforma de colheita adequada ao espaçamento utilizado (SANGOI et al., 2001; PORTER et al., 1997). O espaçamento reduzido deve ser adotado somente após um estudo comparativo entre prováveis vantagens da tecnologia e aumento nos custos de produção (SANGOI et al., 2001). Segundo esses autores, como os ganhos percentuais da produtividade de grãos não são tão grandes e há um acréscimo no custo, há maior chance de viabilidade econômica em áreas de alto potencial produtivo, com altas populações de plantas, boa fertilidade do solo e condições climáticas favoráveis.

Nos Estados Unidos, Lambert e Lowenberg-DeBoer (2003) afirmam que os agricultores terão benefícios em utilizar algum sistema de espaçamento reduzido. Contudo, ainda não está bem claro se a tecnologia é mesmo superior. Na maioria dos casos o retorno líquido para sistemas de espaçamento reduzido é menor que US\$ 2,00 por hectare.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAIS DOS EXPERIMENTOS

Foram realizados dois experimentos na região do Grupo ABC, sendo um em região mais fria e de maior altitude (Castro, PR) e o outro em região mais quente e de menor altitude (Arapoti, PR), com as características descritas na Tabela 2.

Devido ao clima ser normalmente mais favorável à cultura do milho em Castro, era esperado maiores ganhos de produtividade com o aumento da população de plantas do que com a redução do espaçamento entre fileiras. Já em Arapoti, por ser mais quente, era esperado maiores ganhos de produtividade com a redução do espaçamento entre fileiras do que com o aumento da população de plantas.

TABELA 2 – Coordenadas geográficas, altitude, temperatura média do mês mais frio, temperatura média do mês mais quente e precipitação média no verão dos locais dos experimentos. Dados dos últimos cinco anos (2002 a 2006) das estações meteorológicas da Fundação ABC em Arapoti e Castro, PR, 2006.

Locais	Latitude (° S)	Longitude (° W)	Altitude (m)	Temperatura média mês mais frio (° C)	Temperatura média mês mais quente (° C)	Precipitação média verão* (mm)
Arapoti	24°11'	49°52'	863	14,8	21,6	901
Castro	24°51'	49°56'	1026	13,0	20,7	834

* Verão: Outubro a Março.

O clima de ambas as regiões é classificado por Köppen como Cfb (IAPAR, 2007), ou seja, clima temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (Tabela 2).

O experimento de Castro foi realizado na Fazenda Cipó, situada em frente à estação experimental da Fundação ABC, em área comercial de produção de grãos e silagem de milho. A cultura antecessora foi aveia preta comum para cobertura de solo e antes desta, soja para produção de grãos.

O experimento de Arapoti foi realizado na Fazenda Siriema, situada ao lado da estação experimental da Fundação ABC, em área comercial de produção de grãos. A cultura antecessora também foi aveia preta comum, porém, teve suas sementes colhidas pelo produtor, e antes da aveia também havia soja.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Antes da implantação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo das camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm e encaminhadas para análise física e de rotina no laboratório de solos da Fundação ABC. Os resultados (Tabela 3) revelaram teores médios de matéria orgânica (MO) em ambos os locais. O teor de fósforo (P) estava alto na camada de 0 a 10 cm em Arapoti e 0 a 20 cm em Castro. Em Arapoti, o potássio (K) estava alto na camada de 0 a 10 e baixo de 0 a 20 cm e em Castro médio na camada de 0 a 10 e baixo de 0 a 20 cm. Os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) estavam altos nos dois locais, nas duas camadas. A saturação por bases em Arapoti estava de alta e média nas camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente e em Castro baixa nas duas camadas. A saturação por alumínio estava muito baixa em ambos locais e camadas. Segundo análise física, o solo de Arapoti possui textura média e o solo de Castro textura argilosa (PAULETTI, 2004).

TABELA 3 – Características químicas e físicas dos solos dos experimentos. Arapoti e Castro, PR, setembro de 2005.

Local	Prof. cm	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³						%		g kg ⁻¹			
					H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	Al	Areia	Silte	Argila
Arapoti	0-10	64	37	5,9	20	0	4,3	51	23	78	98	80	0	701	26	273
	10-20	28	19	5,3	28	0	1,2	24	10	35	63	56	0	699	48	253
Castro	0-10	107	50	4,9	72	1	2,4	46	18	66	138	48	2	416	96	488
	10-20	60	46	4,9	72	1	1,3	37	12	50	122	41	2	228	121	651

O solo da área experimental de Castro é classificado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura argilosa, fase relevo suave ondulado (2-4%) (EMBRAPA, 1999). O solo da área experimental de Arapoti é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, fase relevo suave ondulado (2-4%) (EMBRAPA, 1999).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por três espaçamentos entre fileiras (40, 60 e 80 cm) e as subparcelas formadas por três populações de plantas (60.000, 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) combinadas com três híbridos (P 30F53, P 30R50 e AG 9020 em Arapoti e P 30F53, P 30R50 e DOW 2A120 em Castro). Os tratamentos podem ser visualizados na Tabela 4.

Em cada experimento foram utilizados dois híbridos de ciclo precoce, P 30F53 e P 30R50, e um de ciclo superprecoce, AG 9020 ou DOW 2A120 (EMBRAPA, 2007c). A fim de que os resultados tenham representatividade para as lavouras comerciais, foram escolhidos os híbridos mais semeados em cada região. Em Arapoti, os três híbridos utilizados no experimento representam 39% da área total de milho para consumo e em Castro representam 67% da área total (FUNDAÇÃO ABC, 2007).

TABELA 4 – Tratamentos estudados. Arapoti e Castro, PR, 2006.

Tratamento	Espaçamento (cm)	Híbrido	População (plantas ha ⁻¹)
1			60.000
2		P 30F53	80.000
3			100.000
4			60.000
5	40	P 30R50	80.000
6			100.000
7			60.000
8		AG 9020 ou DOW 2A120*	80.000
9			100.000
10			60.000
11		P 30F53	80.000
12			100.000
13			60.000
14	60	P 30R50	80.000
15			100.000
16			60.000
17		AG 9020 ou DOW 2A120*	80.000
18			100.000
19			60.000
20		P 30F53	80.000
21			100.000
22			60.000
23	80	P 30R50	80.000
24			100.000
25			60.000
26		AG 9020 ou DOW 2A120*	80.000
27			100.000

* AG 9020 em Arapoti e DOW 2A120 em Castro.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO

Como descrito nos tratamentos, os híbridos escolhidos para os ensaios foram P 30F53 e P 30R50 da Sementes Pioneer, AG 9020 da Monsanto e DOW 2A120 da Dow Agrosiences. A seguir (Tabelas 5 e 6) são descritas as principais características agrônômicas e tolerância a doenças de cada híbrido, segundo Embrapa (2007c).

TABELA 5 – Características agronômicas dos híbridos utilizados nos ensaios. Embrapa, 2007c.

Híbrido	Tipo	Ciclo	Soma Térmica	Época Sem.	Uso	Cor Grão	População Plantas	Textura Grão	Acama- mento	Estatuta Espiga	Estatuta Planta
AG 9020	HS	SP	820	C/N	G/SGU	AM	50-60	DENT	A	1,15	2,15
DOW 2A120	HS	HP	790	C/N/S	GRÃO	AL	60-65	SMD	R	1,10	2,15
P 30F53	HS	P		N	GRÃO		55-72	SMD	A		
P 30R50	HS	P		N	GRÃO		55-72	SMD	M		

Legenda: HS: híbrido simples; SP: superprecoce; HP: hiperprecoce; P: Precoce; C/N: cedo e normal; N: normal; G/SGU: grão e silagem de grão úmido; AM: amarelo; AL: alaranjado; DENT: dentado; SMD: semiduro; A: altamente resistente; M: medianamente resistente; R: resistente.

TABELA 6 – Reação às doenças dos híbridos utilizados nos ensaios. Embrapa, 2007c.

Híbrido	P. Sorgho	P. Polysora	Phaeos- phaeria	Enfeza- mento	E. Turcicum	Cercos- pora	Doenças Colmo	Doenças Grãos
AG 9020	AT	BT	BT	BT	MT	BT	T	T
DOW 2A120	MR	S	S	S	MR	S	MR	MR
P 30F53	MR	S	MS	S	MR	MS	MS	MR
P 30R50	MR	S	MS	S	R	MS	MS	MR

Legenda: AT: altamente tolerante; MR: moderadamente resistente; BT: baixa tolerância; S: susceptível; MT: moderadamente tolerante; R: resistente; T: tolerante; MS: moderadamente susceptível.

3.5 UNIDADES EXPERIMENTAIS

Em cada local, o experimento foi composto por 12 parcelas principais (espaçamentos) e 144 subparcelas (populações e híbridos). As subparcelas tinham 3,2 m de largura por 6,0 m de comprimento (19,2 m²). As subparcelas possuíam quatro fileiras de semeadura no espaçamento de 80 cm, cinco fileiras no espaçamento de 60 cm e sete fileiras no espaçamento de 40 cm. A área útil compreendeu as duas fileiras centrais com 3,75 m de comprimento, nas subparcelas com espaçamento de 80 cm, quatro fileiras centrais com 3,75 m de comprimento nas subparcelas com espaçamento de 40 cm e três fileiras centrais com 3,33 m de comprimento nas subparcelas com espaçamento de 60 cm, totalizando sempre 6,0 m² de área útil por subparcela.

3.6 SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS

Trinta dias antes da semeadura, foi realizada a primeira dessecação das áreas experimentais com $0,72 \text{ kg ha}^{-1}$ do ingrediente ativo glyphosate. Na área de Arapoti, a aveia-preta estava recém colhida e em Castro estava no estágio de 50% de floração.

Na semana que antecedeu a semeadura, as áreas foram sulcadas nos espaçamentos pré-estabelecidos nos tratamentos, com semeadora de plantio direto modelo SHM-1517. O mecanismo sulcador utilizado foi tipo guilhotina. Nessa operação também foi realizada a adubação de base no sulco de semeadura.

Um dia antes da semeadura realizou-se mais uma dessecação para controle das plantas daninhas recém emergidas com $0,72 \text{ kg ha}^{-1}$ do ingrediente ativo glyphosate. Nessa aplicação foram adicionados os inseticidas lufenuron na dose de 20 g ha^{-1} e methomyl na dose de 172 g ha^{-1} para o controle da lagarta *Spodoptera frugiperda* que estava presente na palhada.

As sementes foram tratadas com thiodicarb e thiamethoxam nas doses de 600 g e 42 g para 100 kg de sementes, respectivamente.

No dia 10/10/2007 foi realizada a semeadura em Castro e no dia 18/10/2007 em Arapoti. A semeadura foi realizada com “matracas”, depositando-se três sementes por cova, na profundidade de 3 cm. As covas foram distanciadas entre si utilizando-se réguas de madeira (Figuras 3 e 4), a fim de se obter a população desejada após o desbaste (Tabela 7).



FIGURAS 3 e 4 – Semeadura manual do ensaio e detalhe da régua, cova e sementes. Arapoti, 2006.

Sete dias após a emergência foi realizado o desbaste manual das plântulas deixando-se apenas uma planta por cova (Figura 5). No dia seguinte ao desbaste foi realizada uma aplicação de atrazine na dose de $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ visando o controle de plantas daninhas. Também foi aplicado lufenuron na dose de 20 g ha^{-1} e thiamethoxam + cipermetrina na dose de 330 e 660 g ha^{-1} para o controle de lagartas e percevejos.

TABELA 7 – Estande e distância entre plantas de acordo com o espaçamento e população de plantas.

Espaçamento (cm)	População (plantas ha^{-1})	Estande (plantas m^{-1} linear)	Distância Entre Plantas (cm)
40	60000	2,4	41,7
	80000	3,2	31,3
	100000	4,0	25,0
60	60000	3,6	27,8
	80000	4,8	20,8
	100000	6,0	16,7
80	60000	4,8	20,8
	80000	6,4	15,6
	100000	8,0	12,5

Quando o milho se encontrava no estágio de duas folhas expandidas foi realizada uma aplicação dos herbicidas atrazine e mesotrione nas doses de $1,2 \text{ kg}$ e 60 g ha^{-1} , respectivamente. Juntamente foi realizada uma aplicação de lufenuron na

dose de 20 g ha^{-1} e methomyl na dose de 172 g ha^{-1} para o controle de lagartas. Uma última aplicação de lufenuron na dose de 20 g ha^{-1} e methomyl na dose de 172 g ha^{-1} foi realizada no limite de entrada com trator, quando as plantas apresentavam em torno de oito folhas expandidas (Figura 6). As doses dos agrotóxicos utilizados foram de acordo com recomendações da Fundação ABC ou do fabricante do produto.



FIGURAS 5 e 6 – Desbaste manual das plântulas de milho e última aplicação de agrotóxicos. Arapoti, 2006.

3.7 ADUBAÇÃO

Previamente à semeadura, foi realizada uma aplicação a lanço de cloreto de potássio na dose de 240 kg ha^{-1} . No momento do sulcamento do ensaio foram aplicados 500 kg ha^{-1} da fórmula 13-28-08 + 1% de Zn, incorporado no sulco. Quando as plantas de milho apresentavam quatro folhas expandidas, foi aplicado a lanço, 400 kg ha^{-1} de nitrato de amônio. A adubação com fósforo (P) e potássio (K) foi calculada para suprir uma possível extração de nutrientes correspondente a uma produtividade de 16 t ha^{-1} de grãos de milho (PAULETTI, 2004). Dessa forma, esses dois elementos não seriam os limitantes de produtividade.

O nitrogênio foi aplicado de acordo com curvas de resposta obtidas pela Fundação ABC. Segundo essas curvas, a dose de 195 kg ha^{-1} de N seria suficiente para obter máximas produtividades.

Então, o total aplicado de nutrientes foi 195 kg ha^{-1} de N, sendo 65 kg na base e 130 em cobertura, 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 apenas na base e 184 kg ha^{-1} de K_2O , sendo 144 kg ha^{-1} a lanço antes da semeadura e 40 kg ha^{-1} no sulco.

3.8 AVALIAÇÕES

3.8.1 Dias para floração

A data de floração menos a data de emergência das plântulas resultou nos dias para floração. A data de floração foi avaliada no centro de cada parcela, anotando-se o dia em que 50% das inflorescências femininas estavam expostas.

3.8.2 Dias para colheita

A cada dois dias era retirada uma espiga de cada tratamento, fora da área útil, para verificar a umidade dos grãos. Quando os grãos apresentavam umidade entre 20 e 23%, era realizada a colheita. Se a umidade estava um pouco acima de 23%, a colheita era realizada um ou dois dias depois. Os dias para colheita resultaram da diferença entre a data de colheita e a emergência das plântulas.

3.8.3 Estatura de planta

Quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica foi medida a estatura de plantas, do chão até a base da folha bandeira, em cinco plantas seguidas no centro de cada parcela. Utilizou-se uma régua graduada em centímetros. Essa avaliação foi realizada apenas em Castro.

3.8.4 Estatura de inserção da espiga

Simultaneamente à determinação da estatura de planta, nas mesmas cinco plantas, foi medida a distância do chão até a base da espiga principal de cada planta. Essa avaliação também foi realizada apenas em Castro.

3.8.5 Diâmetro de colmo

Simultaneamente às duas determinações de estatura, nas mesmas cinco plantas, foi medido o diâmetro do colmo no segundo entre nó acima do solo. Como equipamento, foi utilizado um paquímetro de alumínio graduado em décimos de milímetro. Essa avaliação também foi realizada apenas em Castro.

3.8.6 Colmos doentes

A porcentagem de colmos doentes foi obtida simultaneamente à colheita de grãos, a partir da contagem de colmos afetados em todas as plantas da área útil das parcelas. A avaliação foi manual, sendo considerado colmo doente aqueles que apresentavam menor resistência à pressão dos dedos polegar e indicador, no segundo entre nó acima do solo, conforme metodologia proposta por Reis et al. (1998).

3.8.7 Colmos quebrados

A porcentagem de colmos quebrados também foi obtida simultaneamente a colheita de grãos, a partir da contagem dos colmos quebrados das plantas da área útil da parcela. A avaliação foi visual e os colmos quebrados acima da espiga principal não eram contabilizados.

3.8.8 Plantas acamadas

A porcentagem de plantas acamadas também foi obtida no momento da colheita, a partir da contagem das plantas afetadas na área útil da parcela. A avaliação foi visual, considerando como acamadas as plantas com inclinação inferior a 45° em relação ao solo.

3.8.9 Índice de prolificidade

Após a colheita manual, foi realizada a contagem do número de espigas produzidas na área útil da parcela. A divisão entre o número de espigas pelo número de plantas colhidas resultou no índice de prolificidade. Para ser considerada, a espiga devia possuir pelo menos um grão formado.

3.8.10 Massa de mil grãos

Da amostra utilizada para determinação da produtividade de grãos, foram contados 250 grãos e pesados em balança analítica. Esse valor foi multiplicado por quatro e corrigido a 13% de umidade.

3.8.11 Grãos ardidos

Da amostra utilizada para determinação da produtividade de grãos foram retirados 250 gramas de grãos, dos quais foram separados manualmente os grãos caracterizados como ardidos. A relação entre massa dos grãos afetados e massa da amostra resultou na porcentagem de grãos ardidos.

3.8.12 Produtividade de grãos

A cada dois dias eram retiradas espigas das bordaduras das parcelas para se verificar a umidade de grãos. Quando essa umidade atingia entre 20 e 23%, era realizada a colheita manual de todas as parcelas do mesmo híbrido. Como descrito no item 3.4 (unidades experimentais), a área útil de cada subparcela compreendeu 6,0 m². No momento da colheita, as espigas eram contadas e ensacadas com identificação do número da parcela. Após a colheita no campo, as espigas foram trilhadas, os grãos pesados e medida a umidade. A produtividade de grãos de milho foi calculada pela massa da amostra, corrigindo-se a 13% de umidade e extrapolado para kg ha⁻¹.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o tratamento estatístico dos dados, procedeu-se a análise de variância individual por local, utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando o teste F indicou diferença entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.1 for Windows (SAS, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE O EXPERIMENTO

Conforme o balanço hídrico seqüencial, utilizando evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith multiplicado pelo coeficiente da cultura (kc) (DOORENBOS; KASSAM, 1994), em Arapoti ocorreram quatro decêndios com deficiência hídrica entre os meses de outubro e março, que foi o período total de desenvolvimento do milho (Figura 7). Já em Castro, nesse mesmo período ocorreram onze decêndios com deficiência hídrica (Figura 8).

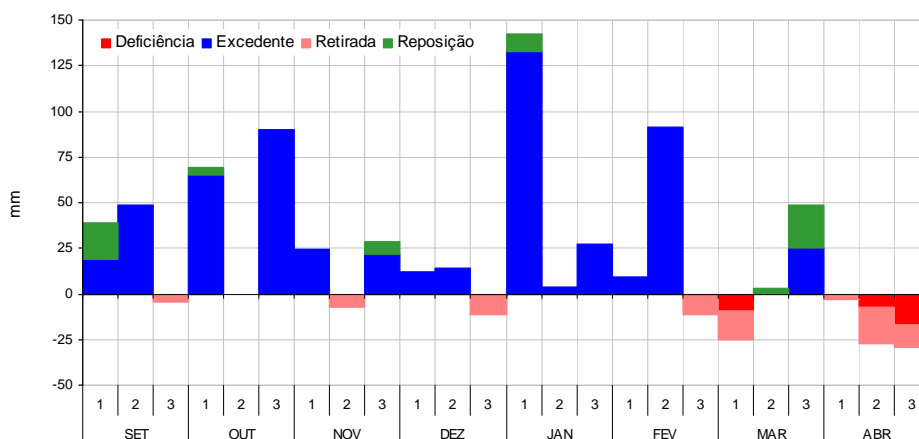


FIGURA 7 – Balanço hídrico utilizando evapotranspiração da cultura, no decorrer do experimento. Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.

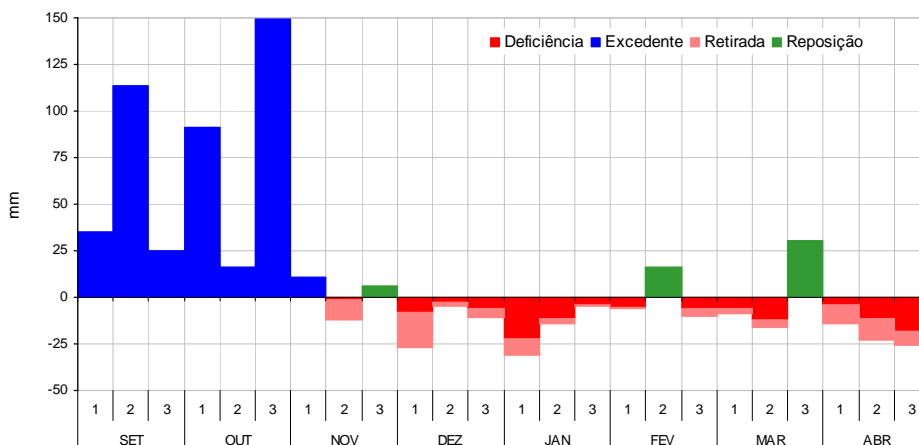


FIGURA 8 – Balanço hídrico utilizando evapotranspiração da cultura, no decorrer do experimento. Fundação ABC, Castro, PR, 2006.

A precipitação durante o experimento foi maior em Arapoti, tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva da cultura do milho, ocorrendo em todo período da cultura 1083 mm (Figura 9) contra 722 mm em Castro (Figura 10).

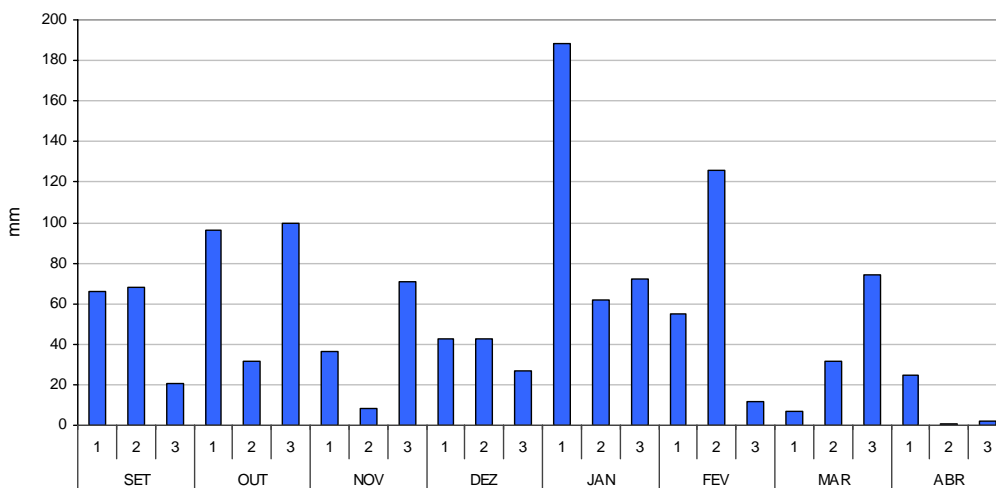


FIGURA 9 – Precipitação ocorrida no decorrer do experimento. Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.

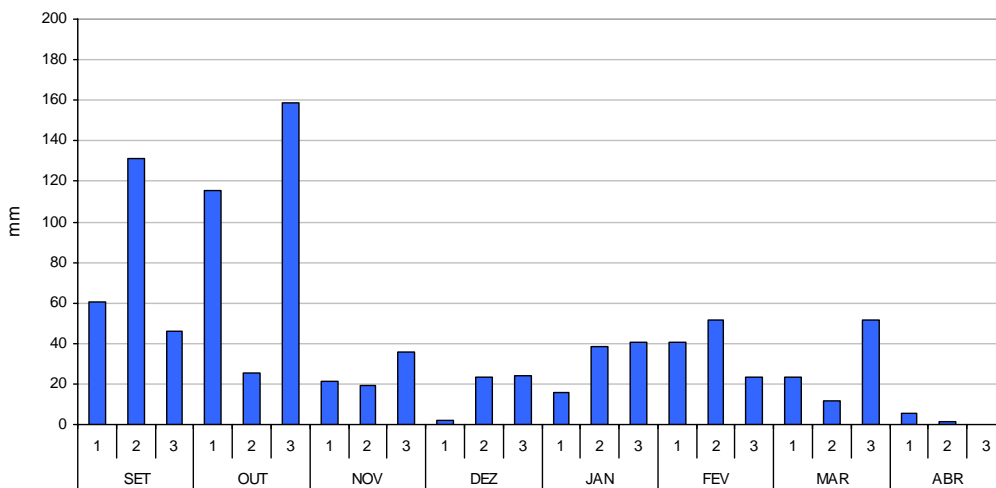


FIGURA 10 – Precipitação ocorrida no decorrer do experimento. Fundação ABC, Castro, PR, 2006.

As temperaturas ocorridas durante o desenvolvimento da cultura variaram entre 19,7°C e 21,6°C em Arapoti (Figura 11) e entre 17,0°C e 21,4°C em Castro (Figura 12). Esses dados mostram que Castro foi mais frio do que Arapoti, concordando com a série histórica de cinco anos. Contudo, pode-se observar que a temperatura média em Arapoti na safra 2005/06, apesar de ser maior que Castro, nos meses de dezembro e fevereiro foi em torno de 1°C inferior à série histórica.

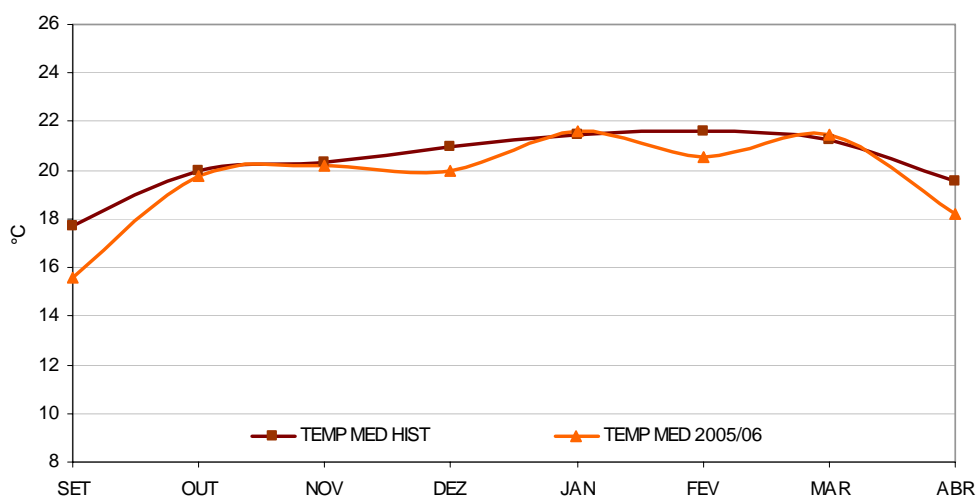


FIGURA 11 – Temperatura média no decorrer do experimento (TEMP MED 2005/06) e média histórica dos últimos cinco anos (TEMP MED HIST). Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.

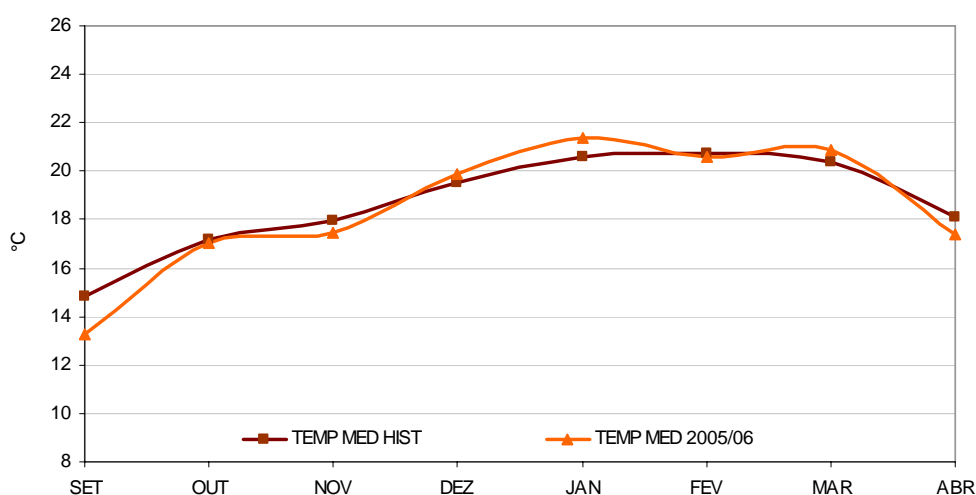


FIGURA 12 – Temperatura média no decorrer do experimento (TEMP MED 2005/06) e média histórica dos últimos cinco anos (TEMP MED HIST). Fundação ABC, Castro, PR, 2006.

A radiação solar global no ano do experimento em Arapoti foi superior à média histórica nos meses de novembro, dezembro e janeiro, período de desenvolvimento vegetativo e floração da cultura (Figura 13). Em Castro a radiação foi superior à média histórica nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, período de floração e enchimento de grãos (Figura 14).

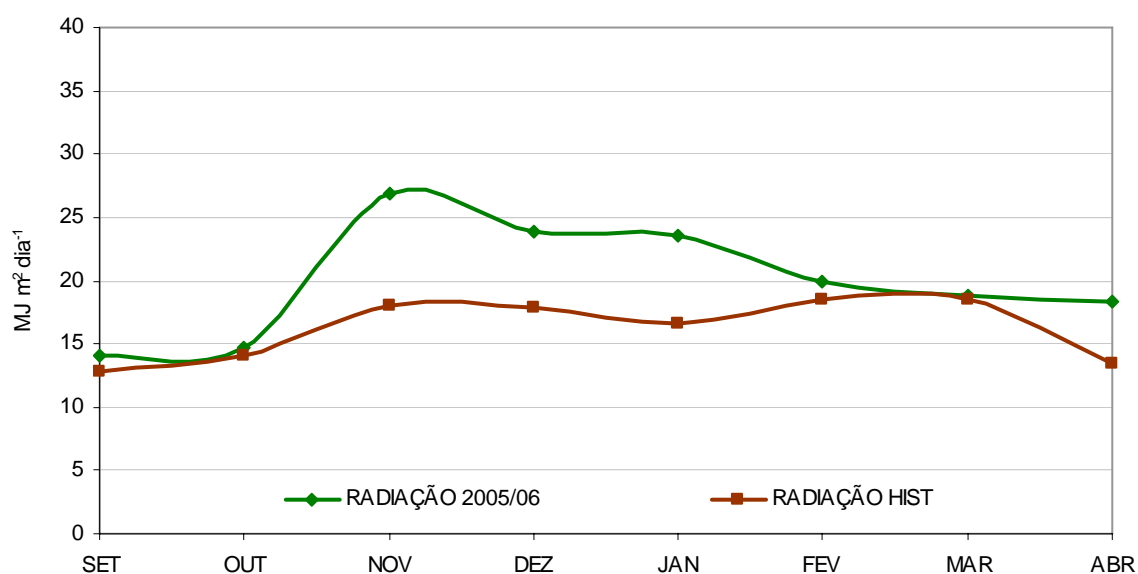


FIGURA 13 – Radiação solar global média no decorrer do experimento (RADIÇÃO 2005/06) e média histórica dos últimos quatro anos (RADIÇÃO HIST). Fundação ABC, Arapoti, PR, 2006.

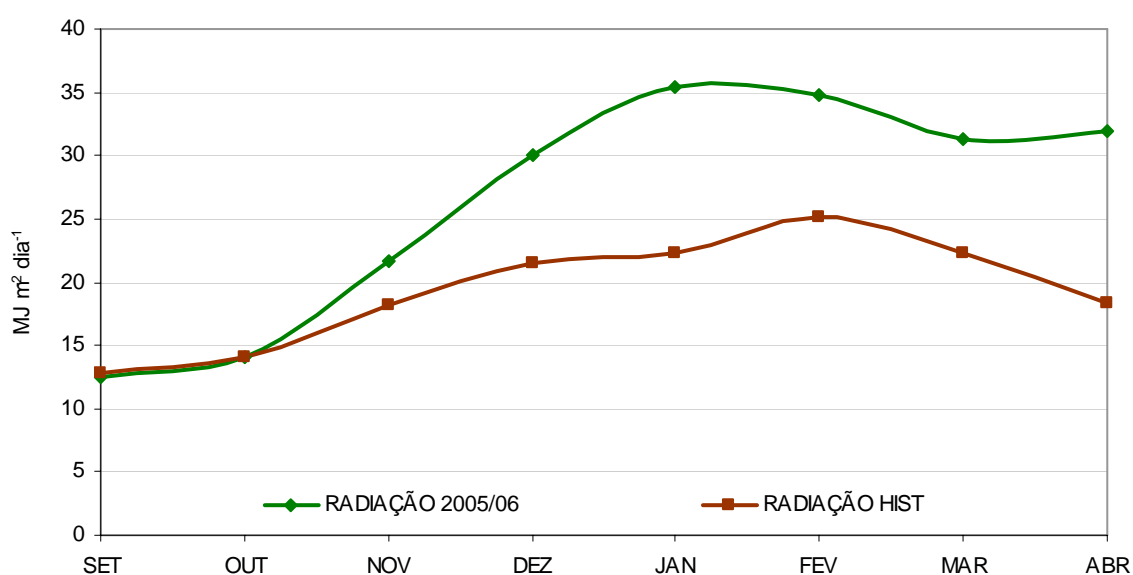


FIGURA 14 – Radiação solar global média no decorrer do experimento (RADIÇÃO 2005/06) e média histórica dos últimos quatro anos (RADIÇÃO HIST). Fundação ABC, Castro, PR, 2006.

De modo geral, o clima foi favorável à cultura em Arapoti, ocorrendo adequada precipitação, disponibilidade hídrica, temperatura e radiação solar durante o desenvolvimento da cultura.

Já em Castro, houve um grande período de deficiência hídrica, Porém, em relação à Arapoti, houve menor temperatura média na fase inicial de desenvolvimento e maior radiação solar global na fase de floração e enchimento de grãos, condições importantes para a produtividade de milho. A maior radiação observada em Castro provavelmente está relacionada à menor precipitação pluviométrica. De acordo com Didonet et al. (2002), maiores produtividades de milho são obtidas quando ocorrem temperaturas médias amenas sob elevada radiação incidente, condições observadas em Castro.

4.2 DIAS PARA FLORAÇÃO

Não houve interação entre híbrido, população de plantas e espaçamento entre fileiras tanto em Arapoti quanto em Castro. O período entre emergência e floração foi influenciado pelo híbrido e pela população de plantas, não sendo afetado pelo espaçamento entre fileiras.

Quanto à soma térmica acumulada da emergência das plântulas à floração, conforme metodologia proposta por Barbano et al. (2001), em Arapoti, os híbridos P 30F53, P 30R50 e AG 9020 tiveram 856, 856 e 831 graus dia, respectivamente. Em Castro, os híbridos P 30F53, P 30R50 e DOW 2A120 tiveram 824, 852 e 762 graus dia, respectivamente. Esses dados comprovam a maior precocidade dos híbridos AG 9020 e DOW 2A120, conforme Embrapa (2007c). Os dias necessários à floração para cada híbrido em Arapoti e Castro podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dias para floração em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	69,2	69,7	68,0	68,9 b	77,8	79,6	72,2	76,5 b
80000	69,8	69,9	68,3	69,3 ab	78,6	80,5	72,3	77,1 ab
100000	70,0	70,5	68,8	69,8 a	79,2	80,4	73,8	77,8 a
Média	69,6 A	70,0 A	68,4 B	69,3	78,5 B	80,2 A	72,8 C	77,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 1,3%; Castro CV = 1,8%.

Todos os híbridos, nos dois locais, tiveram aumento de um dia para atingirem 50% de floração na maior população de plantas, sendo um sinal de aumento na assincronia entre antese e espigamento. Palhares (2003) e Sangoi; Gracietti e Bianchet (2002) também observaram tendência de aumento da natureza protândrica do milho nos arranjos espaciais que proporcionavam maior competição intra-específica.

Como o período de liberação de pólen da planta de milho é curto, essa assincronia pode contribuir substancialmente para reduzir o número de espiguetas fertilizadas, sendo decisiva para a redução da produtividade potencial da cultura (SANGOI; SALVADOR, 1998b). Isso ocorre em altas populações, pois as plantas reduzem o suprimento de nitrogênio, fotoassimilados e água às espigas (LEMCOFF; LOOMIS, 1994; JACOBS; PEARSON, 1991), atrasando eventos ontogênicos vitais ao desenvolvimento da espiga, reduzindo o número de espiguetas femininas que apresentam flores férteis na fase de florescimento e retardando a exteriorização dos estigmas (SANGOI; SALVADOR, 1998b; PEIXOTO; SILVA; REZERA, 1997; ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000).

O espaçamento não influenciou os dias para floração (Tabela 9), confirmando resultados de Sangoi et al. (2001). A soma térmica necessária para o início do florescimento é praticamente a mesma sob diferentes arranjos (PALHARES, 2003), variando exclusivamente em função do genótipo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) e do local. Pode-se notar que esse período foi em média 69 dias em Arapoti, contra 77 dias em Castro (Tabela 9), indicando que o acúmulo de soma térmica ocorreu antes em Arapoti, onde as temperaturas foram mais elevadas durante os estádios vegetativos da cultura (Figuras 11 e 12).

Tabela 9 – Dias para floração em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento	Dias Floração	Espaçamento	Dias Floração
40	69,6 a	40	77,4 a
60	69,3 a	60	77,0 a
80	69,2 a	80	77,0 a
Média	69,3	Média	77,1

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 1,3%; Castro CV = 1,8%.

O número de dias entre emergência e floração é um importante referencial do desenvolvimento da planta de milho, pois há correlação positiva entre essa variável e a área foliar, o índice de área foliar, o número de folhas e a estatura de planta (SANGOI et al., 2001), podendo resultar em maior produtividade de grãos.

4.3 DIAS PARA COLHEITA

Da mesma forma que os dias para floração, os dias para colheita não foram afetados pelo espaçamento entre fileiras, mas sim pelo híbrido e população de plantas.

Entre os dois locais, Arapoti por ser mais quente (Tabela 2, Figuras 5 e 6), acumula antes a soma térmica, reduzindo o ciclo da cultura. Assim como para florescimento, os híbridos AG 9020 em Arapoti e DOW 2A120 em Castro, também foram mais rápidos para atingir o ponto de colheita (Tabela 10). Mesmo sob diferentes condições ambientais, a ordem de precocidade dos híbridos para a colheita se mantém, e depende basicamente de sua genética, o que concorda com Widdicombe e Thelen (2002).

Tabela 10 – Dias para colheita em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	154	151	143	149 b	170	168	164	167 b
80000	155	152	143	150 ab	171	170	166	169 ab
100000	155	153	143	150 a	171	171	167	170 a
Média	154 A	152 B	143 C	150	171 A	170 A	169 B	169

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 1,1%; Castro CV = 1,7%.

A maior população de plantas aumentou os dias para colheita nos dois locais (Tabela 10). Não foi encontrado outro trabalho no Brasil que relate esse fato. Nos Estados Unidos, Farnham (2001) não observou diferença na umidade de colheita entre populações de 59.000 a 89.000 plantas ha⁻¹. Já Widdicombe e Thelen (2002) tiveram redução da umidade de colheita com aumento da população de plantas. Segundo os autores, a região onde foram conduzidos os estudos possui uma curta estação de crescimento, sendo que o final do enchimento de grãos ocorre em condições de estresse para as plantas. Em maiores populações esse estresse pode ter sido maior, acelerando a senescência das plantas. No caso do presente trabalho, o fato de atrasar a colheita nas maiores populações pode estar relacionado à maior

velocidade de perda de água dos grãos na população de 60.000 plantas ha⁻¹, já que em menores populações o IAF é menor (KUNZ, 2005; QUIRRENBACH; ZAGONEL; RIBAS, 2007; MADDONNI; OTEGUI; CIRILO, 2001; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), permitindo maior aeração e infiltração da radiação solar no interior do dossel (ALMEIDA et al., 2000).

O espaçamento não teve influência nos dias para colheita (Tabela 11), o que discorda de Farnham (2001) e Widdicombe e Thelen (2002), que avaliaram a umidade de grãos na colheita e obtiveram estatisticamente menores valores para o espaçamento de 38 cm em relação ao de 76 cm. Contudo, em seus trabalhos, essa umidade foi de apenas 0,1 a 0,4% menor no espaçamento de 38 cm.

Tabela 11 – Dias para colheita em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento	Dias Colheita	Espaçamento	Dias Colheita
40	149 a	40	169 a
60	150 a	60	168 a
80	150 a	80	169 a
Média	150	Média	169

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 1,1%; Castro CV = 1,7%.

Nas condições de Sul do Brasil fica evidenciado que o principal fator determinante da precocidade da emergência à colheita é a soma térmica, que depende do local, época de semeadura e clima, e secundariamente a genética do híbrido.

4.4 ESTATURA DE PLANTAS

A estatura de plantas foi dependente do híbrido em conjunto com a população de plantas, sendo que o espaçamento não afetou a estatura de plantas.

Como pode ser observada na Tabela 12, a estatura do híbrido DOW 2A120 não foi afetada pelo aumento da população de plantas. Este resultado corrobora com Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003) e Silva; Argenta e Rezera (1999), que trabalharam com dois e três híbridos respectivamente, e também não observaram variação na estatura das plantas com o aumento da população. Porém, o híbrido P 30F53 mostrou maior estatura nas populações de 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹, confirmando resultados de diversos autores (KUNZ, 2005; PALHARES, 2003; MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; SANGOI et al., 2002; SCHEEREN et al., 2004). Esse aumento da estatura de plantas ocorre pelo maior alongamento dos entrenós, devido ao efeito combinado da competição intra-específica por luz e estímulo da dominância apical das plantas (SANGOI, 2000). A menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas em populações elevadas estimula a alongação celular. Com isso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a estatura da planta e de inserção da espiga (SANGOI et al., 2002).

Tabela 12 – Estatura de plantas de milho (cm) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Híbrido			Média
	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	
60000	213 bB	234 abA	232 aA	226
80000	219 aB	236 aA	237 aA	231
100000	219 aC	229 bB	238 aA	229
Média	217	233	236	229

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 2,9%.

Para o híbrido P 30R50 ocorreu redução da estatura de plantas com o aumento da população de 80.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Este fato é contrário à expectativa e somente Sangoi et al. (2002) encontraram resultado semelhante, ao obterem aumento da estatura de plantas de 25.000 até 75.000 plantas ha⁻¹, e redução de 75.000 para 100.000 plantas ha⁻¹, com as plantas passando de 286 para 280 cm na maior população. Apesar de ser um fato inédito, os autores não justificaram o ocorrido. Conforme observação prática durante a medição das plantas, foi percebido que nesse híbrido haviam mais plantas “vencidas”, com estatura bem abaixo do padrão. Como eram medidas cinco plantas em seqüência no centro da parcela, não houve tendência de medir apenas as plantas normais. Dessa forma, as plantas “vencidas” reduziram a média da estatura de plantas na população de 100.000 plantas ha⁻¹ para o híbrido P 30R50. Como exercício, ao serem excluídas as plantas “vencidas” da média, não houve diferença na estatura de plantas entre as populações para o híbrido P 30R50.

A estatura de plantas não foi alterada com o espaçamento (Tabela 13). Isso confirma resultados de Kunz (2005), que também conduziu seu trabalho na região dos Campos Gerais e não obteve influência do espaçamento entre fileiras sobre a estatura de plantas em quatro híbridos de milho, evidenciando não ter ocorrido competição entre plantas por luz nos dois espaçamentos, provavelmente em decorrência das condições ambientais favoráveis no estágio vegetativo ou características dos híbridos. Sangoi et al. (2001), em Lages – SC, também não observaram efeito da redução do espaçamento na estatura de plantas em condições favoráveis de ambiente. Já Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003), trabalhando na safrinha no Estado de São Paulo e Scheeren et al. (2004) em safra normal no Estado de Mato Grosso do Sul, ambos em condições ambientais desfavoráveis,

obtiveram plantas de menor estatura de plantas no menor espaçamento, independente do cultivar, indicando menor competição entre as plantas por luz.

No decorrer do presente trabalho a radiação solar global foi superior à média histórica, sugerindo que não houve limitação para as plantas no espaçamento de 80 cm.

Tabela 13 – Estatura de plantas de milho (cm) em função de três espaçamentos, média de três híbridos e três populações. Castro, 2006.

Espaçamento (cm)	Estatura de Plantas
40	230 a
60	230 a
80	226 a
Média	229

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 2,9%.

4.5 ESTATURA DE INSERÇÃO DA ESPIGA

O comportamento da estatura de inserção da espiga principal foi um pouco diferente em relação à estatura de plantas. Houve interação entre espaçamento e população de plantas, independentemente dos híbridos, que tiveram cada qual sua estatura (Tabela 14). Estes dados confirmam resultados de Kunz (2005) que também obteve diferenças para estatura de inserção da espiga entre híbridos, independente do espaçamento entre fileiras e população de plantas. A estatura de inserção da espiga é uma característica específica de cada híbrido (MADDONNI; OTEGUI; CIRILO, 2001), podendo variar em decorrência de condições ambientais pontuais ou de anos agrícolas (SANGOI et al., 2001).

Tabela 14 – Estatura de inserção da espiga (cm) em função de três híbridos, média de três espaçamentos e três populações. Castro, 2006.

Híbrido	Estatura Inserção Espiga
30F53	120 b
30R50	130 a
DOW 2A120	119 b
Média	123

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 5,0%.

Nas populações de 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, não houve diferença da estatura de inserção das espigas com a variação nos espaçamentos entre fileiras (Tabela 15). Scheeren et al. (2004) também não obtiveram variações na estatura de inserção da espiga entre os espaçamentos de 40, 50, 60, 70 e 80 cm, com populações de 50.000 a 87.500 plantas ha⁻¹.

Na população de 100.000 plantas ha⁻¹ houve aumento da estatura de inserção da espiga no espaçamento de 40 cm em relação ao de 80 cm, indicando maior competição por luz na fase inicial de desenvolvimento, pois conforme Argenta et al. (2001) e Tollenaar; Dwer e Stewart (1992), em populações elevadas, mesmo com a distribuição mais uniforme das plantas quando se utiliza menores espaçamentos, pode ocorrer maior competição por luz entre plantas de fileiras diferentes, alterando o tipo de competição.

Tabela 15 – Estatura de inserção da espiga (cm) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Espaçamento (cm)			Média
	40	60	80	
60000	117 bA	122 aA	117 bA	119
80000	127 aA	125 aA	125 aA	126
100000	130 aA	126 aAB	120 abB	125
Média	125	124	121	123

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 5,0%.

O aumento da população de plantas de 60.000 para 80.000 ou 100.000 plantas ha⁻¹ promoveu maior estatura de plantas nos espaçamentos de 40 e 80 cm (Tabela 15). Sangoi et al. (2002), trabalhando no espaçamento de 75 cm, obtiveram aumento linear da estatura de inserção da espiga nas populações de 25.000 até 75.000 plantas ha⁻¹, ficando estável de 75.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Penariol; Fornasieri Filho e Coivev (2003), trabalhando com os mesmos espaçamentos do presente trabalho, 40, 60 e 80 cm, e populações de 40.000, 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ obtiveram aumento linear da estatura de inserção da espiga com aumento da população. Esses trabalhos confirmam os dados do presente trabalho, já que houve aumento da estatura de inserção da espiga até a população de 80.000 plantas ha⁻¹. Esse aumento, decorrente do maior alongamento dos entrenós, ocorre pelo efeito combinado da competição intra-específica por luz e estímulo da dominância apical das plantas (SANGOI, 2000).

No espaçamento de 60 cm não houve aumento da estatura de inserção da espiga com aumento da população. Isso é indicativo de que a competição entre as plantas, na fase inicial da cultura, é menor nesse espaçamento do que com 80 cm, onde há competição entre as plantas dentro da fila (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001), e menor que 40 cm, onde pode ocorrer competição entre as plantas das fileiras vizinhas (TOLLENAAR; DWER; STEWART, 1992).

4.6 DIÂMETRO DE COLMO

O diâmetro do colmo do milho foi afetado pela interação entre híbrido e população de plantas. O espaçamento teve efeito independente sobre essa variável.

O híbrido DOW 2A120 teve maior diâmetro de colmo em relação aos demais, nas populações de 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. Na população de 100.000 plantas ha⁻¹ os três híbridos foram semelhantes (Tabela 16). Este fato pode ser explicado

pela maior redução do diâmetro do colmo observado no DOW 2A120. Enquanto o híbrido P 30F53 teve redução de apenas 2 mm, passando de 60.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ e o híbrido P 30R50, 4 mm, o DOW 2A120 teve redução de 6 mm.

Tabela 16 – Diâmetro de colmo (mm) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Híbrido			Média
	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	
60000	25 aB	26 aB	28 aA	26
80000	24 bB	24 bB	26 bA	25
100000	23 cA	22 cA	23 cA	23
Média	24	24	25	24

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 4,5%.

Mesmo que em diferentes escalas, todos os híbridos tiveram redução do diâmetro do colmo com o aumento da população de plantas, confirmando resultados de diversos autores (KUNZ, 2005; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002). Em altas populações, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento, aumentando suas chances de crescer acima do dossel, porém sacrificando o diâmetro do colmo e área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004). O efeito do estiolamento é confirmado por Ballaré e Cassal (2000) e Rajcan e Swanton (2001), decorrente das alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de alta competição intra-específica.

Independente do híbrido e da população de plantas, o diâmetro de colmo foi maior no espaçamento de 40 cm em relação ao de 80 cm (Tabela 17), concordando com Palhares (2003), que também encontrou maior diâmetro de colmo no menor espaçamento, independente do híbrido. Este fato pode ser explicado pela menor

interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura nos maiores espaçamentos (SHARRATT; McWILLIANS, 2005), aumentando a competição intra-específica por luz, favorecendo a dominância apical, o estiolamento das plantas e a redução do diâmetro do colmo (SANGOI et al, 2002).

Tabela 17 – Diâmetro de colmo (mm) em função de três espaçamentos, média de três híbridos e três populações. Castro, 2006.

Espaçamento (cm)	Diâmetro de Colmo
40	24,8 a
60	24,3 ab
80	24,2 b
Média	24,4

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV = 4,5%.

4.7 COLMOS DOENTES

A porcentagem de colmos doentes foi dependente da população de plantas para cada híbrido em ambos os locais, não sendo influenciado pelo espaçamento.

Em Arapoti, os híbridos P 30F53 e P 30R50 não tiveram alteração da porcentagem de colmos doentes com o aumento da população. Já o híbrido superprecoce AG 9020 teve um aumento de 8% quando a população variou de 60.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 18). Em Castro, apenas o híbrido P 30F53 não teve variação na porcentagem de colmos doentes, com valores baixos, entre 1 e 2%. O híbrido P 30R50 teve aumento da porcentagem de colmos doentes com aumento da população e o superprecoce DOW 2A120 ficou estável de 60.000 para 80.000 plantas ha⁻¹ e teve aumento de 80.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Estes dados indicam haver variação genética para os efeitos da população da plantas sobre a ocorrência de colmos doentes.

Tabela 18 – Porcentagem de colmos doentes (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	18 aA	26 aA	29 bA	24	1 aB	3 bB	11 bA	5
80000	12 aB	26 aA	31 abA	23	2 aB	9 abB	20 bA	10
100000	12 aB	17 aB	37 aA	22	2 aC	13 aB	32 aA	16
Média	14	23	32	23	2	8	21	10

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 36,3%; Castro CV = 72,2%.

No trabalho de Blum et al. (2003), o híbrido superprecoce foi mais afetado pelas podridões de colmo do que os híbridos precoces. Os autores atribuem a maior ocorrência de podridão de colmo no híbrido superprecoce pela sua menor área foliar, que aumenta a contribuição do colmo no suprimento de fotoassimilados ao enchimento de grãos. A maior relação entre fonte e dreno dos híbridos tardios contribuiu para que os colmos fossem menos fragilizados, devido a um maior número de folhas e menor poder de drenagem de carboidratos pelas espigas.

Em populações mais elevadas ocorre aumento da competição intra-específica por luz, reduzindo a atividade fotossintética da planta, tornando-as mais susceptíveis ao ataque de patógenos (SANGOI et al., 2001). De acordo com Machado (2004) e Agrios (2004), a população de plantas é um fator relevante para a ocorrência das doenças de colmo do milho, que aliada a um desequilíbrio nutricional, devido a maior competição intra-específica, predispõe as plantas às podridões de colmo. Sangoi et al. (2000) obtiveram maior incidência de doenças do colmo do milho nas maiores populações de plantas. Denti e Reis (2001) também observaram que à medida que a população de plantas aumentou, independente do sistema de cultivo, monocultura ou rotação, também aumentou a incidência de colmos doentes no milho.

Os diferentes espaçamentos não afetaram a porcentagem de colmos doentes (Tabela 19). Talvez por esse fato não tenha sido encontrado literatura que relacione espaçamento com colmos doentes.

Tabela 19 – Porcentagem de colmos doentes (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento (cm)	Colmos Doentes	Espaçamento (cm)	Colmos Doentes
40	24 a	40	11 a
60	24 a	60	10 a
80	20 a	80	10 a
Média	23	Média	10

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 36,3%; Castro CV = 72,2%.

4.8 COLMOS QUEBRADOS

A porcentagem de plantas com colmos quebrados foi muito baixa no presente trabalho, sendo inferior a 3,3%. Teoricamente, todos os colmos que estavam doentes tinham possibilidade de quebrar. Dessa forma, os valores baixos para colmos quebrados podem ser explicados por não ter ocorrido condições favoráveis para o quebramento, como granizo, chuvas e ventos fortes.

Mesmo assim houve diferença estatística entre os híbridos em Arapoti, e entre híbridos e populações em Castro, sem influência do espaçamento.

Em Arapoti o híbrido P 30R50 teve mais quebramento que o híbrido AG 9020. Em Castro, o híbrido P 30R50 também teve mais quebramento que os híbridos P 30F53 e DOW 2A120. Entre as populações, não houve diferença no quebramento de plantas em Arapoti, e em Castro, a porcentagem de colmos quebrados foi maior apenas na população de 100.000 plantas ha⁻¹ em relação às demais (Tabela 20).

Tabela 20 – Porcentagem de colmos quebrados (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	0,9	2,6	0,0	1,2 a	0,5	0,5	0,2	0,4 b
80000	1,9	2,3	0,9	1,7 a	0,4	1,1	0,0	0,5 b
100000	2,1	3,3	1,3	2,2 a	0,6	2,4	0,6	1,2 a
Média	1,6 AB	2,7 A	0,7 B	1,7	0,5 B	1,3 A	0,3 B	0,7

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 142,5%; Castro CV = 158,0%.

Sangoi et al. (2002) mostraram que há diferença entre híbridos para quebra de colmos, sendo que a porcentagem de colmos quebrados aumentou com maiores populações de plantas nos dois híbridos antigos, das décadas de 70 (AG 12) e 80 (AG 303), e não houve diferença no híbrido da década de 90 (DKB 929). Segundo os mesmos autores, o que agrava o quebra de colmos é a distância entre o ponto de inserção da espiga e o solo. Uma menor distância contribui para o melhor equilíbrio da planta, minimizando a quebra de colmos, principalmente nas populações mais elevadas, nas quais o diâmetro desta estrutura é menor. Então o maior quebra de colmo do híbrido P 30R50 pode ter ocorrido em função de sua maior estatura de inserção de espiga em relação aos demais, como pôde ser observado na Tabela 14.

O maior quebra de plantas na população de 100.000 plantas ha⁻¹ em relação às demais, observada em Castro, pode ter ocorrido em função da qualidade da luz que atinge o interior da comunidade, já que em populações elevadas aumenta a quantidade de vermelho extremo (VE) e diminui a quantidade de vermelho (V) (RAJCAN; SWANTON, 2001). O aumento da relação VE/V altera diversas características morfológicas que interferem na arquitetura de planta, estimulando a

dominância apical e a alongação dos entrenós, diminuindo o diâmetro de colmo e suprimindo a produção de afilhos, aumentando assim a porcentagem de plantas acamadas e quebradas (BALLARÉ; CASSAL, 2000).

Assim como para colmos doentes, a porcentagem de colmos quebrados não variou com os diferentes espaçamentos (Tabela 21). Como já foi comentado, não foi encontrado literatura relacionando quebramento de colmo e espaçamento.

Tabela 21 – Porcentagem de colmos quebrados (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento (cm)	Colmos Quebrados	Espaçamento (cm)	Colmos Quebrados
40	1,5 a	40	0,7 a
60	2,3 a	60	0,8 a
80	1,3 a	80	0,5 a
Média	1,7	Média	0,7

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 142,5%; Castro CV = 158,0%.

4.9 PLANTAS ACAMADAS

Assim como para colmos quebrados, a porcentagem de plantas acamadas também foi baixa em ambos os ensaios, possivelmente por não terem ocorrido condições adversas como granizo, chuvas e ventos fortes. Em Arapoti, não houve diferença entre híbridos, populações e espaçamentos. Em Castro houve diferença apenas entre os híbridos, sendo que o DOW 2A120 teve maior acamamento de plantas (Tabela 22).

Concordando com os resultados de Arapoti e Castro, Sangoi et al. (2002) não observaram variação na porcentagem de plantas acamadas com o aumento da população de plantas de 25.000 até 100.000 plantas ha⁻¹ em três híbridos de milho.

Já Kunz (2005) confirma a diferença entre híbridos observada em Castro. Em seu trabalho houve interação entre híbridos e população de plantas para acamamento de plantas. Dois híbridos tiveram o acamamento aumentado pelo incremento da população e outros dois não foram influenciados. O autor justifica essa diferença entre os híbridos por três motivos: alguns híbridos são naturalmente susceptíveis ao acamamento em altas populações, pelo aumento de doenças de colmo e pela redução do sistema radicular, fragilizando a sustentação da planta.

Tabela 22 – Porcentagem de plantas acamadas (%) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	0,0	0,2	0,0	0,1 a	0,0	0,2	0,9	0,4 a
80000	0,0	0,2	0,0	0,1 a	0,0	0,0	3,3	1,1 a
100000	0,0	0,0	0,0	0,0 a	0,0	0,8	1,9	0,9 a
Média	0,0 A	0,1 A	0,0 A	0,1	0,0 B	0,4 B	2,1 A	0,8

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 742,3%; Castro CV = 253,5%.

Apesar de não ocorrer diferença entre as populações no presente trabalho, era esperado um aumento da porcentagem plantas acamadas em populações mais elevadas, pois a quantidade relativa de raiz no florescimento, em relação à massa de matéria seca total da planta, diminui com o aumento da população (PALHARES, 2003). Além disso, após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidade suficiente para 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 essas regiões (TOLLENAAR et al., 1994).

Os espaçamentos entre fileiras também não afetaram a porcentagem de plantas acamadas (Tabela 23), ao contrário do resultado de Kunz (2005) que obteve menor acamamento no espaçamento de 90 cm em relação ao de 45 cm. Essa foi a única literatura encontrada sobre acamamento de plantas em diferentes espaçamentos, mas o autor não justificou o porquê do menor acamamento com 90 cm. Dessa forma, não é possível chegar a uma conclusão quanto ao efeito do espaçamento sobre essa variável.

Tabela 23 – Porcentagem de plantas acamadas (%) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento (cm)	Plantas Acamadas	Espaçamento (cm)	Plantas Acamadas
40	0,0 a	40	0,6 a
60	0,1 a	60	1,2 a
80	0,1 a	80	0,6 a
Média	0,0	Média	0,8

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 742,3%; Castro CV = 253,5%.

4.10 ÍNDICE DE PROLIFICIDADE

O índice de prolificidade foi afetado pela interação entre híbridos e populações em Arapoti e Castro. Em Castro também houve interação entre espaçamento e população de plantas.

Em Arapoti, o híbrido AG 9020 foi mais prolífero para qualquer população de plantas, mas todos os híbridos tiveram redução desse índice com aumento da população de plantas (Tabela 24). O híbrido P 30F53 teve redução do índice de prolificidade com o aumento da população de 60.000 para 80.000 plantas ha⁻¹, enquanto o P 30R50 teve redução com o aumento de 80.000 para 100.000 plantas

ha⁻¹ e o AG 9020 teve redução a cada aumento da população. Já em Castro, o híbrido DOW 2A120 não teve o índice de prolificidade afetado pelo aumento da população, mas os híbridos P 30F53 e P 30R50 tiveram redução desse índice quando a população aumentou de 80.000 para 100.000 plantas ha⁻¹.

Tabela 24 – Índice de prolificidade (espigas planta⁻¹) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	1,02 aB	1,01 aB	1,41 aA	1,15	0,99 aA	0,99 aA	1,00 aA	0,99
80000	0,99 bB	0,99 aB	1,12 bA	1,03	1,00 aA	0,98 aB	1,00 aA	0,99
100000	0,97 bB	0,95 bB	1,01 cA	0,98	0,98 bB	0,95 bC	1,00 aA	0,98
Média	0,99	0,98	1,18	1,05	0,99	0,97	1,00	0,99

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 5,2%; Castro CV = 1,5%.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Kunz (2005), que obteve interação entre híbrido e população de plantas para o índice de prolificidade, sendo que todos os híbridos reduziram esse índice com o aumento da população, porém de forma mais acentuada para dois dos quatro híbridos utilizados. Segundo o autor, a redução no índice de prolificidade ocorre com maior intensidade justamente nos híbridos mais prolíferos, fato observado também no presente trabalho, em Arapoti, onde a redução foi maior no híbrido AG 9020 que apresentou o maior índice de prolificidade na população de 60.000 plantas ha⁻¹. Esses resultados corroboram com Silva; Argenta e Rezera (1999), Argenta et al. (2001), Flesch e Vieira (2004) e Penariol; Fornasier Filho e Coivev (2003) que também trabalharam com diferentes híbridos e obtiveram redução do índice de prolificidade com aumento da população de plantas.

O fato do híbrido DOW 2A120 não ter reduzido o índice de prolificidade com o aumento da população é um importante indicativo da capacidade dos híbridos modernos em suportar maiores populações, sem diminuir acentuadamente a emissão e manutenção das espigas (ALMEIDA et al., 2000).

Entre os espaçamentos não houve diferença para o índice de prolificidade em Arapoti (Tabela 25), confirmando resultados de Kunz (2005), que não obteve alteração do índice de prolificidade com a redução do espaçamento entre fileiras para os quatro híbridos avaliados, porém houve diferença entre híbridos, indicando que esta característica está intimamente ligada à característica do híbrido. Outros autores, trabalhando com diferentes híbridos em diferentes locais e anos, também não encontraram variação do índice de prolificidade com a redução do espaçamento (FLESCHE; VIEIRA, 2004; PALHARES, 2003; SCHEEREN et al., 2004; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003; ARGENTA et al., 2001; SANGOI et al., 2001; BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1988; MURPHY et al., 1996).

Tabela 25 – Índice de prolificidade (espigas planta⁻¹) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Espaçamento (cm)				Espaçamento (cm)			
	40	60	80	Média	40	60	80	Média
60000	1,17	1,15	1,12	1,15	1,00 aA	0,99 aA	0,99 aA	0,99
80000	1,04	1,03	1,02	1,03	0,99 aA	0,99 abA	0,99 aA	0,99
100000	0,98	0,98	0,96	0,97	0,99 aA	0,97 bB	0,96 bB	0,97
Média	1,06 A	1,05 A	1,03 A	1,05	0,99	0,98	0,98	0,98

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 5,2%; Castro CV = 1,5%.

Em Castro houve efeito combinado do espaçamento e população de plantas. Enquanto que nos espaçamentos de 60 e 80 cm houve redução do índice de prolificidade ao aumentar a população de 60.000 para 100.000 plantas ha⁻¹, no

espaçamento de 40 cm não houve diferença entre as populações (Tabela 25). No espaçamento de 40 cm, mesmo em alta população as plantas foram capazes de manter uma espiga por planta. Tal resultado pode ser justificado pela menor competição entre as plantas dentro da fileira por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais equidistante na área no espaçamento de 40 cm, aumentando a disponibilidade de carboidratos para a formação da espiga (SANGOI et al., 2001).

4.11 MASSA DE MIL GRÃOS

Em ambos os locais houve interação entre híbrido e população para a massa de mil grãos (MMG), enquanto que o espaçamento não influenciou essa variável.

O híbrido P 30R50 teve maior MMG que os demais híbridos em qualquer população, nos dois locais, mostrando ser uma característica desse genótipo. Com o aumento da população, todos os híbridos tiveram redução da MMG (Tabela 26). Em Arapoti, os híbridos P 30F53 e P 30R50 tiveram redução da MMG a cada aumento da população e o AG 9020 teve redução apenas de 80.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Em Castro os híbridos P 30R50 e DOW 2A120 também mostraram redução dessa variável a cada aumento da população e o P 30F53 mostrou redução apenas de 60.000 para 80.000 plantas ha⁻¹, ficando estável até 100.000 plantas ha⁻¹.

Esses resultados confirmam os de Kunz (2005), onde a MMG foi influenciada pela interação entre híbridos e população de plantas, sendo que houve redução desse componente de forma linear com o aumento da população para três híbridos e de forma quadrática para um híbrido. Outros autores também encontraram redução da MMG com o aumento da população de plantas (PALHARES, 2003; KUNZ, 2005; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003), independente do ciclo do híbrido (FLESCH; VIEIRA, 2004). Essa redução da

MMG possivelmente está associada ao aumento da competição intra-específica provocada pelo aumento da população de plantas.

Tabela 26 – Massa de mil grãos de milho (g) em função de três híbridos e três populações de plantas, média de três espaçamentos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Híbrido				Híbrido			
	P 30F53	P 30R50	AG 9020	Média	P 30F53	P 30R50	DOW 2A120	Média
60000	360 aB	395 aA	339 aC	365	368 aB	408 aA	365 aB	380
80000	340 bB	373 bA	342 aB	352	344 bB	371 bA	343 bB	352
100000	327 cB	354 cA	323 bB	335	333 bAB	337 cA	320 cB	330
Média	342	374	335	351	348	372	342	354

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 3,3%; Castro CV = 3,9%.

O espaçamento entre fileiras não influenciou a MMG (Tabela 27), indicando não ter ocorrido variação da competição entre plantas nos diferentes espaçamentos na fase de enchimento de grãos.

Flesch e Vieira (2004) também não observaram diferenças na MMG com a mudança do espaçamento em dois híbridos e três safras, concordando com outros autores (PALHARES, 2003; SCHEEREN et al., 2004; KUNZ, 2005; PENARIOL; FORNASIERI FILHO; COIVEV, 2003; ARGENTA et al., 2001).

Tabela 27 – Massa de mil grãos de milho (g) em função de três espaçamentos em dois locais, média de três híbridos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Espaçamento (cm)	MMG	Espaçamento (cm)	MMG
40	352 a	40	354 a
60	348 a	60	353 a
80	352 a	80	355 a
Média	351	Média	354

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 3,3%; Castro CV = 3,9%.

Já Sangoi et al. (2001), Bullock; Nielsen e Nyquist (1988) e Murphy et al. (1996) observaram aumento do número da MMG com a redução do espaçamento. Para justificar tais resultados, Sangoi et al. (2001) sugerem que a menor competição entre plantas dentro da fileira por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais eqüidistante na área, nos menores espaçamentos, aumenta a disponibilidade de carboidratos, permitindo que a planta forme grãos com maior massa.

4.12 GRÃOS ARDIDOS

A porcentagem de grãos ardidos em Arapoti foi afetada pela interação híbrido, espaçamento e população de plantas. Em Castro houve diferença apenas entre as populações.

Em Arapoti, o híbrido AG 9020 não teve os grãos ardidos afetados pela população de plantas e espaçamento entre fileiras, com valores abaixo de 3,3% (Tabela 28). Para os híbridos P 30F53 e P30R50, nas populações de 60.000 e 100.000 plantas ha⁻¹, não houve diferença entre os espaçamentos. Na população de 80.000 plantas ha⁻¹ o espaçamento de 40 cm teve menos grãos ardidos em relação ao de 80 cm (Tabela 28), indicando menor competição das plantas por água, nutrientes e luminosidade nesse espaçamento, que indiretamente propicia aumento da resistência da planta ao ataque de patógenos causadores das podridões de espiga (BLUM et al., 1998).

No espaçamento de 80 cm não houve efeito da população sobre grãos ardidos nos três híbridos. No espaçamento de 60 cm, apenas o híbrido P 30F53 teve aumento dos grãos ardidos quando a população aumentou de 60.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. No espaçamento de 40 cm, o híbrido P 30F53 teve maior porcentagem de ardidos nas populações de 60.000 e 100.000 plantas ha⁻¹, e o híbrido P 30R50 teve maior porcentagem de grãos ardidos na população de 100.000 plantas ha⁻¹.

Tabela 28 – Porcentagem de grãos ardidos (%) em função de três híbridos, três espaçamentos e três populações de plantas. Arapoti, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Espaçamento (cm)			Média
	40	60	80	
<u>P 30F53</u>				
60000	3,6 aA	2,2 bA	3,1 aA	3,0
80000	2,0 bB	3,6 abAB	5,8 aA	3,8
100000	4,0 aA	5,6 aA	5,3 aA	5,0
Média	3,2	3,8	4,7	3,9
<u>P 30R50</u>				
60000	1,7 bA	3,8 aA	3,4 aA	3,0
80000	1,9 bB	2,6 aB	5,0 aA	3,2
100000	5,5 aA	3,4 aA	5,3 aA	4,7
Média	3,0	3,3	4,6	3,6
<u>AG 9020</u>				
60000	2,4	2,1	2,4	2,3 a
80000	2,8	2,3	2,5	2,5 a
100000	3,3	2,7	2,4	2,8 a
Média	2,8 A	2,4 A	2,4 A	2,5

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 38,2%.

A utilização de populações elevadas de plantas, aliada a desequilíbrios nutricionais e à susceptibilidade dos genótipos, contribui para o aumento da incidência das podridões de espiga (PE) e de grãos ardidos (AGRIOS, 2004). Como no presente trabalho a adubação foi elevada, possivelmente não tenha ocorrido desequilíbrio nutricional mesmo na maior população. Então, o aumento da porcentagem de grãos ardidos verificado na população de 100.000 plantas ha⁻¹ para os híbridos P 30F53 e P 30R50 deve estar relacionado à maior susceptibilidade desses híbridos em elevadas populações de plantas.

Em Castro, a porcentagem de grãos ardidos não foi afetada pelo espaçamento, mas aumentou com o aumento da população de 60.000 para 80.000 ou 100.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 29), concordando com Trento; Irgang e Reis (2002),

Reis e Casa (1996) e BLUM et al. (1998), que observaram que à medida que se aumentou a população de plantas, houve também um aumento na incidência de fungos causadores das PE pela maior competição das mesmas por água, nutrientes e luminosidade, aumentando sua vulnerabilidade ao ataque de patógenos.

Tabela 29 – Porcentagem de grãos ardidos (%) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Espaçamento (cm)			Média
	40	60	80	
60000	1,7	1,6	1,7	1,7 b
80000	2,3	3,4	3,4	3,0 a
100000	2,7	3,3	3,6	3,2 a
Média	2,2 A	2,8 A	2,9 A	2,6

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Castro CV = 55,3%.

De modo geral, a porcentagem de grãos ardidos foi baixa e variou entre 1,6 a 5,8%, sendo classificados como Tipo 1 (até 3% de ardidos) ou Tipo 2 (de 3 a 6% de ardidos) (CLASPAR, 2007). Possivelmente esses baixos valores estão relacionados às menores precipitações ocorridas na fase de polinização (final de dezembro) (Figuras 9 e 10), já que a infecção da espiga é favorecida por clima úmido e quente nessa fase (SHURLEFF, 1992). Porém, mesmo com baixos valores a porcentagem de grãos ardidos praticamente dobrou com o aumento da população de plantas em Castro. Talvez em anos com condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento de doenças causadoras das PE, possam ocorrer maiores diferenças, como foi relatado por BLUM et al. (1998) que encontraram aumento de 5% na incidência de grãos ardidos com o aumento da população e Trento; Irgang e Reis (2002) que observaram aumento de 7 para 15% na porcentagem de grãos ardidos, com o aumento da população de 30.000 para 70.000 plantas ha⁻¹.

4.13 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A produtividade de grãos foi elevada em ambos os locais, confirmando a aptidão da região dos Campos Gerais para a cultura do milho. Em Castro, apesar do longo período de deficiência hídrica ocorrida durante o desenvolvimento da cultura (Figura 8), a produtividade média do experimento foi de 12.162 kg ha⁻¹, contra 11.370 kg ha⁻¹ de Arapoti. Os fatores que podem ter favorecido a produtividade em Castro foram a menor temperatura média do ar em relação à Arapoti (Figuras 11 e 12), a maior radiação solar global, principalmente nos períodos de floração e enchimento de grãos (Figuras 13 e 14) e o tipo de solo, mais argiloso e com maior teor de matéria orgânica, que pode ter favorecido o suprimento de água às plantas no período de deficiência hídrica.

A temperatura atua de forma inversamente proporcional ao número de grãos definidos por unidade de taxa de crescimento. Em temperaturas inferiores a 20°C, como ocorreu em Castro até início de dezembro, há redução na eficiência com que a cultura de milho converte radiação solar em biomassa (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993), aumentando o ciclo da cultura. Esse fato faz com que o número de grãos determinados por unidade de taxa de crescimento seja maior em temperaturas amenas, possivelmente devido ao maior tempo disponível para interceptar a radiação solar (MUCHOW; SINCLAIR; BENNETT, 1990), sendo que esta radiação recebida pela cultura está intimamente relacionada à produtividade de grãos (ARGENTA et al., 2001; OTTMAN; WELCH, 1989; LOOMIS; AMTHOR, 1999). Então, a maior produtividade de milho em regiões temperadas é obtida quando ocorrem temperaturas médias amenas sob elevada radiação incidente (DIDONET et al., 2002), condições ocorridas em Castro durante a safra 2005/06.

Em Arapoti a produtividade de grãos de milho foi afetada de forma isolada pelos fatores espaçamento, população de plantas e híbrido. Em Castro, a resposta ao espaçamento entre fileiras foi dependente da população de plantas, ocorrendo diferença entre os híbridos de forma isolada.

Os híbridos de ciclo precoce, P 30F53 e P30R50, foram mais produtivos que os superprecoces, AG 9020 e DOW 2A120, tanto em Arapoti como Castro (Tabela 30), concordando com Flesch e Vieira (2004) e Argenta et al. (2001) que obtiveram maior produtividade para os híbridos precoces em relação ao superprecoce. A superioridade dos híbridos de ciclo mais longo pode ser explicada pelo maior período que possuem entre a emergência das plantas e o florescimento, já que o número de grãos e a produtividade de grãos de milho são determinados pela quantidade de radiação solar incidente até o espigamento (DIDONET et al., 2002).

Tabela 30 – Produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) em função de três híbridos em dois locais, média de três espaçamentos e três populações. Arapoti e Castro, 2006.

Arapoti		Castro	
Híbrido	Produtividade	Híbrido	Produtividade
30F53	11902 a	30F53	12358 a
30R50	11840 a	30R50	12259 a
AG 9020	10367 b	DOW 2A120	11875 b
Média	11370	Média	12162

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 6,3%; Castro CV = 5,2%.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que para produtividade de grãos, as respostas ao aumento da população de plantas e à redução do espaçamento entre fileiras não dependem do híbrido, mesmo que estes possuam diferentes ciclos e arquitetura de planta.

Para o espaçamento, esta informação contradiz algumas literaturas (WESTGATE et al., 1997; ARGENTA et al., 2001; FLESCHE e VIEIRA, 2004), as quais observaram que a resposta à redução do espaçamento, ocorre preferencialmente em híbridos com maior capacidade para alterar a disposição das folhas quando submetido a uma nova situação, ou em híbridos de ciclo superprecoce e de estatura baixa.

Por outro lado, muitos autores confirmam os resultados encontrados no presente trabalho, não obtendo interação entre diferentes híbridos e espaçamentos (COX; CHERNEY; HANCHAR, 1998; SHARRATT; McWILLIAMS, 2005; SCHEEREN et al., 2004; WIDDICOMBE; THELEN, 2002; NIELSEN, 1988; PORTER et al., 1997), indicando assim que os efeitos da redução do espaçamento ocorrem de forma semelhante para qualquer híbrido. Esses autores obtiveram aumento da produtividade com a redução do espaçamento, em diferentes níveis, sem variação de resposta entre híbridos de diferente arquitetura foliar, estatura e ciclo.

Sangoi et al. (2001) observaram que até houve diferenças entre híbridos quanto à redução do espaçamento para características morfológicas, mas não houve interação entre híbridos e espaçamento para produtividade de grãos. Também não observaram correlação entre produtividade e dias para floração, mostrando que o potencial para ganho de produtividade com a redução do espaçamento pode ocorrer tanto em híbridos precoces como tardios.

Farnham (2001) também encontrou diferentes respostas dos híbridos aos espaçamentos para produtividade de grãos, mas afirmou que ao contrário do que normalmente se prega, não foi verificada nenhuma relação entre ciclo do híbrido, arquitetura foliar e resposta à redução do espaçamento. Da mesma forma, Kunz (2005) concluiu que a diferenciação genética (híbridos simples, triplo, duplo e

variedade) e a arquitetura de planta não foram características indicadoras de cultivares mais responsivas a um melhor arranjo de plantas.

A ausência de interação entre híbrido e população de plantas foi contraditória à expectativa, mas se assemelha aos resultados obtidos por Flesch e Vieira (2004), onde populações ao redor de 74.000 plantas ha^{-1} proporcionaram maior produtividade de grãos tanto para híbridos de ciclo precoce como normal. Resultados semelhantes também foram encontrados por Silva; Argenta e Rezera (1999). No primeiro ano avaliaram três híbridos e três populações em três épocas de semeadura, e obtiveram resposta da população de plantas somente na melhor época avaliada (10/10), independente do híbrido. No segundo ano avaliaram quatro híbridos e quatro populações em apenas uma época, sendo que a melhor população de plantas ficou em 81.000 plantas ha^{-1} , também independente dos híbridos avaliados.

No entanto, ao contrário desse trabalho, muitos autores obtiveram interação entre população de plantas e híbridos. Porém, as populações ótimas para cada híbrido não são muito diferentes entre si. As maiores diferenças entre populações foram observadas por Sangoi et al. (2002), que trabalharam com híbridos de décadas diferentes, muito contrastantes, e concluíram que as populações ótimas para maximizar a produtividade de grãos eram de 71.000, 79.000 e 85.000 plantas ha^{-1} para híbridos da década de 70, 80 e 90, respectivamente. Inclusive o nível máximo de produtividade do híbrido mais antigo foi semelhante ao do híbrido mais recente, em torno de 9.500 kg ha^{-1} . As variações da população ótima que ocorre entre os anos são mais pronunciadas do que entre os híbridos (ALMEIDA; SANGOI; ENDER, 2000), pois há forte influência edafoclimática. Farnham (2001) que trabalhou em seis locais, com seis híbridos e quatro populações de plantas,

encontrou interação entre híbridos e populações, mas destacou que as interações entre populações e anos e entre populações e locais são mais fortes do que entre populações e híbridos, sugerindo assim que a população ótima irá variar de ano para ano e de local para local.

Dessa forma, ainda é questionável se existe resposta diferenciada entre híbridos, em que condições podem ocorrer essas diferenças e quais as características que um híbrido precisa ter para ser mais responsivo à melhor distribuição das plantas na área.

Em Arapoti, o espaçamento de 40 cm proporcionou aumento de produtividade em relação a 80 cm, independente da população de plantas e do híbrido (Tabela 31). A falta de interação entre população de plantas e espaçamento entre fileiras também foi relatada por Nielsen (1988) e Widdicombe e Thelen (2002), que afirmam que um determinado híbrido terá comportamento semelhante frente ao aumento da população de plantas seja em espaçamento reduzido ou convencional. A falta de interação entre população de plantas e espaçamento observada em Arapoti, pode estar relacionada às condições ambientais ocorridas durante o experimento, principalmente pela favorável disponibilidade hídrica. Outros autores confirmam que ocorre variação de resposta para população e espaçamento entre os anos (FLESCHE; VIEIRA, 2004) e entre diferentes locais (PORTER et al., 1997). Mesmo assim, sugerem que a redução do espaçamento pode ser realizada utilizando a mesma faixa de população do espaçamento normal. Farnham (2001) também concluiu que a população ótima não tem relação com o espaçamento, ou seja, a população ótima para cada híbrido poderia ser utilizada tanto no espaçamento normal (76 cm), quanto no espaçamento reduzido (38 cm).

O aumento de produtividade para o espaçamento de 40 cm em relação a 80 cm, foi de 5,0% em Arapoti. Esse ganho é semelhante ao encontrado por diversos autores no Brasil (ARGENTA et al, 2001; SANGOI et al., 2001; QUIRRENBACH 2005; QUIRRENBACH 2006) e Estados Unidos (WIDDICOMBE; THELEN, 2002; LAMBERT; DeBOER, 2003; SHARAATT, McWILLIANS, 2005). Em Arapoti, para cada 20 cm de redução do espaçamento, houve ganho de 274 kg ha⁻¹, semelhante ao encontrado por Argenta et al. (2001). Esse aumento da produtividade de grãos de milho em menores espaçamentos entre fileiras pode ser atribuído à melhor distribuição espacial das plantas, aumentando a sua eficiência na interceptação de luz (FLÉNET et al., 1996), devido ao aumento da fotossíntese líquida (BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1988) e à menor competição entre plantas na fileira por luz, água e nutrientes (JOHNSON; HOVERSTAD; GREENWALD, 1998).

Tabela 31 – Produtividade de grãos de milho (kg ha⁻¹) em função de três espaçamentos e três populações de plantas, média de três híbridos. Arapoti e Castro, 2006.

População (plantas ha ⁻¹)	Arapoti				Castro			
	Espaçamento (cm)				Espaçamento (cm)			
	40	60	80	Média	40	60	80	Média
60000	11118	10802	10532	10817 c	11636 bA	11704 aA	11597 bA	11646
80000	11695	11567	11107	11449 b	13045 aA	12347 aA	12351 aA	12568
100000	12024	11914	11643	11873 a	12979 aA	12120 aB	11753 abB	12284
Média	11610 A	11427 AB	11062 B	11370	12539	12057	11900	12162

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; Arapoti CV = 6,3%; Castro CV = 5,2%.

Em Arapoti a produtividade de grãos aumentou com o aumento da população de plantas, independente do espaçamento utilizado (Tabela 31), concordando com Nielsen (1988), Farnham (2001), Porter et al. (1997), Flesch e Vieira (2004), Scheeren et al. (2004), Penariol; Fornasier Filho e Coivev (2003), Widdicombe e Thelen (2002) e Kugler (2005). Esse fato contradiz Kunz (2005), que afirmou que no

espaçamento reduzido há menor necessidade de população de plantas, pois o IAF ótimo, que tem alta correlação com produtividade de grãos, é atingido com menor população de plantas. Também contradiz Argenta et al. (2001), que afirma que deve ocorrer melhor resposta à redução do espaçamento entre fileiras em populações mais elevadas, pela diminuição da competição intra-específica. Essas variações podem ser explicadas pelas condições ambientais, pois de acordo com Scheeren et al. (2004), se as condições de pluviosidade, correção do solo e adubação forem favoráveis ao desenvolvimento da cultura, ocorre aumento da produtividade de grãos com o aumento da população de plantas, mesmo nos maiores espaçamentos.

O ganho de produtividade obtido em Arapoti com o aumento da população de plantas de 60.000 para 80.000 plantas ha⁻¹ foi de 5,8% e de 80.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ foi de 3,7%. Esse aumento de produtividade até a população de 100.000 plantas ha⁻¹ indica que a maior competição intra-específica promovida pelo aumento da população não foi suficiente para prejudicar a produtividade, pois apesar de ocorrer redução dos componentes da produção, o maior número de espigas por área em maiores populações compensa essa perda, refletindo em maior produtividade de grãos (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Kunz (2005) também confirma os resultados, pois apesar da perda nos componentes da produção, o número de grãos por metro quadrado aumentou com aumento da população tanto no espaçamento de 45 cm como no espaçamento de 90 cm, resultando em maior produtividade de grãos em maiores populações. Esse aumento de produtividade é esperado, pois a produtividade de grãos é determinada basicamente pelo número de grãos por área e, em menor escala, pela massa individual dos grãos (RICHARDS, 2000).

Em Castro, para as populações de 60.000 e 80.000 plantas ha^{-1} , não houve diferença de produtividade entre os espaçamentos (Tabela 31). Na população de 100.000 plantas ha^{-1} , o espaçamento de 40 cm foi superior aos demais, com ganho de 7,1% sobre o espaçamento de 60 cm e 10,4% sobre o espaçamento de 80 cm. Nessa população, para cada 20 cm de redução do espaçamento, houve um ganho de 613 kg ha^{-1} , semelhante ao encontrado por Argenta et al. (2001) e Sangoi et al. (2001). Kunz (2005), trabalhando na mesma região, obteve resultados contraditórios ao desse trabalho, concluindo que são requeridas menores populações no espaçamento de 45 cm em relação a 90 cm, pois há maior eficiência da utilização dos recursos pelas plantas no menor espaçamento. Ele atribui esse diferencial ao maior IAF encontrado no espaçamento de 45 cm, pois o IAF é altamente correlacionado com produtividade de grãos por proporcionar maior interceptação da radiação solar. Outro dado contraditório obtido por esse autor, é que entre as populações de 65.000 e 80.000 plantas ha^{-1} , há maior produtividade no espaçamento de 45 cm, sendo que no presente trabalho não houve vantagem para redução do espaçamento nas populações de 60.000 e 80.000 plantas ha^{-1} . Contudo, os resultados encontrados no atual trabalho, concordam com Sangoi (1996), que afirma que em altas populações de plantas, os ganhos em produtividade com a utilização de espaçamentos reduzidos são potencializados, pois a competição intra-específica por recursos ambientais em espaçamentos largos é muito severa. De acordo com Sangoi et al. (2001), a combinação de alta fertilidade do solo, adequada distribuição hídrica durante o ciclo de crescimento, semeadura em altas populações, são fatores combinados que podem auxiliar a explicar os efeitos positivos da redução do espaçamento na melhor eficiência da utilização da radiação e ganhos em produtividade de grãos.

Em Castro, não houve diferença entre as populações no espaçamento de 60 cm. Para os espaçamentos de 40 e 80 cm, houve aumento de produtividade de grãos até 80.000 plantas ha⁻¹, ficando estável com aumento até 100.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 31). Outros estudos, em variados espaçamentos, têm mostrado respostas ao aumento da população de plantas até aproximadamente 70.000 plantas ha⁻¹ (NAFZIGER, 1994; THOMISON; JORDAN, 1995; COX, 1996). O aumento da produtividade de grãos até 80.000 plantas ha⁻¹, provavelmente está relacionado ao maior número de grãos por área, decorrente do aumento do número de espigas por hectare, que pode ser obtido multiplicando a população de plantas pelo índice de prolificidade (Tabela 25). Além de 80.000 plantas ha⁻¹, apesar do aumento do número de grãos por área, decorrente do maior número de espigas por hectare, ocorre aumento da competição intra-específica (FLESCHE; VIEIRA, 2004), reduzindo a massa de mil grãos (Tabela 26) e conseqüentemente a produção por planta, ficando dessa forma estável a produtividade até 100.000 plantas ha⁻¹.

Como temperatura, radiação solar e nutrientes se encontravam em disponibilidade adequada em Castro, então o aumento da competição intra-específica além de 80.000 plantas ha⁻¹ deve ter ocorrido provavelmente por água, situação observada no decorrer do experimento (Figura 3). De acordo com Oliveira; Silva e Campos (1993), a queda de produtividade além da população ótima está associada ao aumento do IAF com aumento da população, e existe estreita associação entre IAF e evapotranspiração das plantas. Dessa forma, é favorecida a evapotranspiração e a demanda por água, o que em condições de deficiência hídrica, pode reduzir a taxa fotossintética das plantas e diminuir a capacidade dos drenos em acumular fotoassimilados disponíveis (COX, 1996). Já em Arapoti, conforme discutido anteriormente, houve maior disponibilidade hídrica (Figura 2), e a

produção aumentou até 100.000 plantas ha^{-1} , confirmando assim informações de diversos autores (KARLEN; CAMP, 1985; PEIXOTO; SILVA; REZERA, 1997; SILVA ARGENTA; REZERA, 1999; FLESCHE; VIEIRA, 2004), que ressaltaram que as maiores populações devem ser utilizadas em condições de alta tecnologia, sem restrições de água e nutrientes. De acordo com Sangoi et al. (2001), a população ideal para maximizar a produtividade de grãos de milho pode variar de 30.000 a 90.000 plantas ha^{-1} , dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, época de semeadura e espaçamento entre fileiras.

Como os resultados mostram que a população de plantas ideal depende mais do ambiente que do híbrido, para gerar uma recomendação regional é necessário conduzir trabalhos durante várias safras, em diferentes condições de clima, solo e manejo.

Na década de 80, boa parte dos produtores da região dos Campos Gerais utilizava espaçamento de 90 cm entre fileiras e populações variando de 45.000 a 60.000 plantas ha^{-1} . Na década de 90, pesquisas regionais mostraram ganhos de produtividade de 11,8%, passando de 90 cm de espaçamento entre fileiras e população de 55.000 plantas ha^{-1} para 70 cm e 75.000 plantas ha^{-1} , respectivamente (Fundação ABC, 1995). Nessa década, os produtores da região adotaram de forma generalizada o espaçamento de 80 cm e a população de 60.000 plantas ha^{-1} , sendo que até as empresas sementeiras padronizaram os sacos que antes possuíam 20 kg, para 60.000 sementes. De acordo com os dados obtidos no atual trabalho, comparando esse antigo padrão de 60.000 plantas ha^{-1} e 80 cm de espaçamento, com a tecnologia de 80.000 plantas ha^{-1} e 40 cm, há um ganho de produtividade de 11,0% em Arapoti e de 12,5% em Castro. Nos tempos atuais, é um ganho considerável, já que muitos avanços já foram conquistados através do melhoramento

genético de plantas, melhor fertilização e manejo da cultura do milho, e está cada vez mais difícil conquistar ganhos dessa magnitude com outra técnica agrônômica.

Apesar das vantagens de se adotar espaçamentos reduzidos, algumas adaptações em máquinas e tratos culturais podem ser necessárias. Em espaçamentos reduzidos há maior número de linhas na semeadora sofrendo desgaste. Pode ser necessário o uso de tratores com maior potência, há necessidade de adaptação na bitola dos tratores ou uso de “rastros” para aplicação de agrotóxicos e distribuição de fertilizantes e se faz necessário adquirir uma plataforma de colheita adequada ao espaçamento utilizado (SANGOI et al., 2001; PORTER et al., 1997).

Nos Estados Unidos, Lambert e Lowenberg-DeBoer (2003) afirmam que os agricultores terão benefícios em utilizar algum sistema de espaçamento reduzido. Contudo, ainda não está bem claro se a tecnologia é mesmo superior. Na maioria dos casos o retorno líquido para sistemas de espaçamento reduzido é menor que US\$ 2,00 por hectare.

Quando se adota espaçamento reduzido aliado ao aumento da população de plantas, há uma soma dos aumentos nos custos, que vão depender da escala de produção, ou seja, tamanho da área e produtividade média. O aumento do custo com máquinas é decorrente da aquisição de nova plataforma de colheita, de maiores gastos com manutenção da semeadora e maior demanda por potência do trator, refletindo em maior consumo de combustível. No caso de aumento da população de plantas, há um aumento direto do custo com sementes e agrotóxicos para tratamento destas. De acordo com levantamento realizado pela Fundação ABC (2006), tanto para Castro como para Arapotí, passando de 80 cm de espaçamento e 60.000 plantas ha⁻¹ para 40 cm com 80.000 plantas ha⁻¹, o aumento da produtividade

de grãos foi de 10%, com aumento do custo de produção de 9%, ou seja, haveria uma lucratividade líquida de apenas 1% da produção.

Dessa forma, a redução do espaçamento entre fileiras deve ser adotada somente após um estudo comparativo entre prováveis vantagens da tecnologia e aumento nos custos de produção. Como os ganhos percentuais de produtividade de grãos não são tão grandes e há um acréscimo no custo, há maior probabilidade de retorno econômico em áreas de grande escala, de alto potencial produtivo, com altas populações de plantas, boa fertilidade do solo e condições climáticas favoráveis.

5 CONCLUSÕES

- A resposta para redução do espaçamento e aumento da população de plantas não depende do híbrido utilizado;
- Em Arapoti, independente da população de plantas, houve aumento da produtividade de grãos com a redução do espaçamento de 80 para 40 cm;
- Em Castro, o aumento da produtividade com a redução do espaçamento para 40 cm ocorreu somente na população de 100.000 plantas ha⁻¹;
- A redução do espaçamento não afetou dias para floração, dias para colheita, estatura de plantas, massa de mil grãos, porcentagem de colmos doentes, de colmos quebrados, de plantas acamadas e de grãos ardidos;
- O aumento da população de plantas provoca redução do diâmetro do colmo e, dependendo do híbrido, provoca aumento da porcentagem de colmos doentes, de colmos quebrados e de grãos ardidos.

6 REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5 ed. New York: Academic Press Inc, 2004. 922 p.
- ALMEIDA, M. L. de; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, set. 1996.
- ALMEIDA, M. L.; JUNIOR, A. M.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta duração estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 23-29, jan. 2000.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta duração estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- ANDRADE, F. H.; UHART, S. A.; CIRILO, A. G. Temperature effects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 32, p. 17-25, 1993.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas de milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 71-78, jan. 2001.
- 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, nov./dez. 2004.
- BALLARÉ, C. L.; CASSAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, n.1, p. 149-160, 2000.
- BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O.; RECO, P. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; KANTHACK, R. A. D. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.
- BENINCASA, M. M. P.; LEITE, I. C. **Fisiologia vegetal**. Jaboticabal: Funep, 2002. 168 p.
- BLUM, M. M. C.; FONTOURA, S. M. V.; NOVATIZKI, M. R.; CLAZER, E. R. Efeito de doses de nitrogênio e populações sobre a incidência de fungos na semente de milho colhida. In: V Simpósio Brasileiro de Patologia de Sementes. **Anais...** Ponta Grossa, 1998. p. 27.

BLUM, L. E. B.; SANGOI, L.; KOTHE, D. M.; SIMMLER, A. O. Efeito do nitrogênio na intensidade da ferrugem comum e das podridões do colmo de híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 257-264, 2000.

BLUM, L. E. B.; SANGOI, L.; AMARANTE, C. V. T.; ARIOLI, C. J.; GUIMARÃES, L. S. Desfolha, população de plantas e precocidade do milho afetam a incidência e a severidade de podridões de colmo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 805-811, 2003.

BOLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; HOLLINGER, S. E. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area and plant development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 385-390, May 1996.

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, p. 254-258, mar.1988.

CARDWELL, V. B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 6, p. 984-995, 1982.

CARNEIRO, G. E. S.; GERAGE, A. C. Densidade de semeadura. In: IAPAR. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. Cap. 4, p.63-70.

CLASPAR – Empresa Paranaense de Classificação de Produtos. **Portaria Nº 845 de 8 de Novembro de 1976**: padronização, classificação e comercialização interna do milho. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/claspar/pdf/milho845_76.pdf> Acesso em 20 jun. 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da Safra Agrícola 2006/2007** – Nono Levantamento – Junho/2007. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9_levantamento_jun2007.pdf>. Acesso em 16 jun. 2007a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica de produtividade**: Milho 1ª safra – Brasil – Safras 1976/77 a 2006/07. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/Milho1aSerieHist.xls>>. Acesso em 16 jun. 2007b.

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

COX, W. J.; CHERNEY, D. R.; HANCHAR, J. J. Row spacing hybrid and plant density effects on corn silage yield and quality. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, p. 128-134, 1998.

DENTI, E. A.; TRENTO, S. M.; REIS, E. M. Incidência, frequência e danos por fungos envolvidos com as podridões da base do colmo do milho em 1997/98, nas regiões do Planalto Médio Gaúcho (RS) e de Guarapuava (PR). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 279, 1999.

DENTI, E. A.; REIS, E. M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência das podridões da base do colmo e no rendimento de grãos do milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 635-639, 2001.

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

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

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, p.1622-1630, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em 30 abr. 2007a.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Densidade e espaçamento como fatores de produtividade na cultura do milho**. Disponível em: <<http://www.cpafrf.embrapa.br/index.php/cpafrf/artigos>>. Acesso em 28 jan. 2007b.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivares de Milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2006/07**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em 27 abr. 2007c.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. **Recomendações técnicas para a cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1997. 59 p.

FANCELLI, A. L. Fisiologia da produção e aspectos básicos de manejo para altos rendimentos. In: SANDINI, I.; FANCELLI, A. L. **Milho: estratégias de manejo para a região sul**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 103-116.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARNHAM, D. E. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. **Agronomy Journal**, Madison, n. 93, p. 1049-1053, 2001.

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

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

FLESCH, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamento e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p. 25-31, jan./fev. 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, jan. 1992.

FUNDAÇÃO ABC. **Arranjo espacial de plantas de milho P 3072 e P 3230, no período de 1991/92 a 1994/95, em Castro - PR**. Castro: Fundação ABC, 1995. Relatório interno de pesquisa.

FUNDAÇÃO ABC. **Custos com redução do espaçamento e aumento da população de plantas**. Castro: Fundação ABC, 2006. Relatório interno de pesquisa.

FUNDAÇÃO ABC. **Agrobanco**: banco de dados agrônomo. Disponível em: <<http://www.fundacaoabc.org.br/agrobanco>>. Acesso em: 16 jun. 2007.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm>. Acesso em: 29 mar. 2007.

JACOBS, B. J.; PEARSON, C. J. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n.2, p. 281-298, 1991.

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

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, mar. 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.

KUGLER, F. A. **Efeitos do arranjo e populações de plantas na cultura do milho**. 2004, 22 f. Monografia de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2004.

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

LAMBERT, D. M.; LOWENBERG-DeBOER, J. Economic analysis of row spacing for corn and soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 564-573, 2003.

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

LENCOFF, J. H.; LOOMIS, R. S. Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield in maize (*Zea mays* L.). **Field Crop Research**, v. 38, n. 1, p. 63-72, 1994.

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

MACHADO, J. C. Padrões de tolerância de patógenos associados às sementes. In: LUZ, W. C.; FERNANDES, J. M. C.; PRESTES, A. M.; PICININI, D. C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Volume 4. Passo Fundo: Editora Padre Berthier dos Missionários da Sagrada Família, 1994. p. 229-263.

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**, Buenos Aires, v. 71, p. 183-193, 2001.

McLACHLAN, S. M.; TOLLENAAR, M.; SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. Effect of corn induced shading on dry matter accumulation, distribution and architecture of redroot pigweed. **Weed Science**, Champaign, v. 41, n. 3, p. 569-573, jun. 1993.

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

MOLIN, R. Ocorrência de micotoxinas em estádios fenológicos próximos da colheita do milho. In: Simpósio sobre Micotoxinas em Grãos. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação Cargill e Fundação ABC, 1999.

MOLIN, R. Espaçamento entre linhas em milho. **Relatório interno da Fundação ABC**. Castro, 2004. Dados não publicados.

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, mar. 1990.

MURPHY, S. D.; YAKUBU, Y.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. 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.

NAZARENO, N. R. X. Avaliação de perdas por podridão do colmo do milho (*Zea mays*) no Estado do Paraná. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 82-84, 1989.

NIELSEN, R. L. Influence of hybrids and plant density on grain yield and stalk breakage in corn grown in 38 cm row width. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 1, p. 190-195, 1988.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; CAMPOS, T. G. S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1407-1415, 1993.

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

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) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

PARVEZ, A. Q.; GARDNER, F. P.; BOOTE, K. J. Determinate and indeterminate type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 1, p. 150-157, 1989.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2. ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.

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.; FORNASIERI FILHO, D.; COIVEV, L. 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, O. A. P. Situação atual de doenças da cultura do milho no Brasil e estratégias de controle. In: **Resistência genética de plantas a doenças**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1995. p. 25-30.

PINTO, N. F. J. A.; FERNANDES, F. T.; OLIVEIRA, E. Milho (*Zea mays*): controle de doenças. In: VALE, F. R.; ZAMBOLIN, L. **Controle de doenças de plantas**: grandes culturas. V. 2. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 821-863.

PORTER, P. M.; HICKS, D. R.; LUESCHEN, W. E.; FORD, D. D.; WARNES, T. R. 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.

QUIRRENBACH, I. **Espaçamento e população de plantas em milho**. Castro: Fundação ABC, 2005. Relatório interno de pesquisa.

QUIRRENBACH, I. **Espaçamento e população de plantas em milho**. Castro: Fundação ABC, 2006. Relatório interno de pesquisa.

QUIRRENBACH, I.; ZAGONEL, J.; RIBAS, C P. Rendimento de grãos de milho em função do espaçamento entre linhas e da população de plantas. **Publicatio UEPG**, Ponta Grossa, 2007. No prelo.

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

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Manual de identificação e controle de doenças do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996.

REIS, E. M.; DENTI, E. A.; TRENTO, S. M.; CASA, R. T.; SEVERO, R. Método para quantificar os danos no rendimento de grãos causados pelas podridões da base do colmo do milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 300, 1998.

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

SANGOI, L. Aptidão dos campos de Lages (SC) para produção de milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 51-63, jan. 1993.

SANGOI, L. **An ideotype of maize for conditions of high temperature and low moisture**. Ames: Iowa State University, 1996. 350 p. Ph.D. Thesis.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 1-6, 1997.

SANGOI, L.; ENDER, M.; MEROTTO JÚNIOR, A.; GUIDOLIN, A. F.; HAVERROTH, H. S. 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/FEPAGRO, 1998. p. 26-30.

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

SANGOI L.; SALVADOR, R. J. Maize susceptibility to drought at flowering: a new approach to overcome the problem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 699-706, 1998b.

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

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; BOGO, A. KOTHE, D. M. 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, 2000.

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

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

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem o rendimento de grãos. In: XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis, 2002. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABMS, 2002.

SAS – SAS Institute Inc. **SAS 9.1 for Windows**. Cary, North Carolina: SAS, 2007. 1.690 Kb. Plataforma Windows.

SCHEEREN, B. R.; BAZONI, R.; BONO, J. A.; ARIAS, S. S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 55-60, 2004.

SEAB. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Estimativa das culturas no Estado do Paraná: Safra 2005/06**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab/deral/pss.xls>>. Acesso em 16 jun. 2007.

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.

SHURTLEFF, M. C. **Compendium of corn diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1992. 105 p.

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

STAGGENBORG, S. A.; FJELL, D. L.; DEVLIN, D. L.; GORDON, W. B.; MADDUX, L. D.; MARSH, B. H. 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.

SWOBODA, R. Interest grows in narrow corn. **Wallaces Farmer**, Spencer, v. 121, n. 1, p. 6-7, jan. 1996.

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

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, jan. 1995.

TEASDALE, J. R. Influence of corn (*Zea mays*) population and row spacing on corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) yield. **Weed Science**, Champaign, v. 46, n. 4, p. 447-453, 1998.

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

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.; DIBO, A. A.; AGUILERA, A.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Effect of crop density on weed interference in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 4, p. 591-595, 1994.

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.; LEE, E. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 75, p. 161-169, 2002.

TRENTO, S. M.; IRGANG, H.; REIS, E. M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 6, 2002.

USDA – United States Department of Agriculture. **World agricultural production.** Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/wap/circular/2005/05-09/grains.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2005.

USDA – United States Department of Agriculture. **Crop production.** Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/nass/CropProd//2000s/2006/CropProd-12-11-2006.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2007.

WESTGATE, M. E.; FORCELLA, F.; REICOSKY, D. D.; SOMSEN, J. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 249-258, mar. 1997.

WIDDICOMBE, W. D.; THELEN, K. D. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 1020-1023, 2002.