

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

**MORFOFISIOLOGIA DE VARIEDADE DE POLINIZAÇÃO ABERTA
DE MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS**

RAFAEL ANDRE MERGENER

Florianópolis

2007

MORFOFISIOLOGIA DE VARIEDADE DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS

RAFAEL ANDRE MERGENER

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Recursos genéticos vegetais/Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em ciências com área de concentração em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: **Dr. Antônio Carlos Alves**

Co-orientador: **Ph.D Angelo M. Massignam**

Florianópolis
Estado de Santa Catarina - Brasil

2007

Dedico este trabalho

*Aos meus pais, Ito L. Mergener e Dilma A. C. Mergener por
me ensinarem o caminho e serem exemplos de honestidade.*

Agradeço

Ao orientador Prof^o Dr. Antonio Carlos Alves pela oportunidade de ingressar no mestrado e conhecimentos passados para a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Ph.D Ângelo Mendes Massignam, a quem agradeço profundamente todos os conhecimentos compartilhados, confiança depositada, respeito, paciência, força e encorajamento transmitido. Fico grato e tenho certeza que além de um orientador encontrei um grande amigo, a quem admiro e tenho como exemplo, devido a sua postura profissional e pessoal.

A meu grande amigo Dr. Clayton Debiasi (FURB) por ter me auxiliado nos primeiros passos acadêmicos. Sou grato pelos ensinamentos e incentivo que me levaram a realização desta dissertação.

A professora Dra. Rosete Pescador por ter me aberto às portas do Laboratório de biotecnologia da FURB aonde realizei minhas primeiras atividades acadêmicas.

A Beatriz Ortiz da Silva pela força transmitida durante a realização deste trabalho. Agradeço sua compreensão, paciência e respeito, os quais me fizeram perceber que existem pessoas que realmente são especiais.

A Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, especialmente ao departamento de fitotecnia, aonde esta o curso de pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais.

A Epagri (Estação experimental de Campos Novos) por ter permitido a realização deste trabalho e disponibilizado a área de cultivo, insumos, mão de obra e maquinários necessários para este trabalho. Agradeço as todos os funcionários que me acolheram da melhor forma possível durante o período em que permaneci na estação.

Círio Parisotto pela amizade e conhecimentos repassados na área agrônômica e agroecológica.

Aos meus amigos Sergio Zoldan, Zanata e Neide pela força transmitida durante o trabalho e pelos bons momentos compartilhados nas caronas diárias entre Joaçaba e Campos Novos. Foram momentos agradáveis que jamais esquecerei.

A todos os professores do mestrado que contribuíram para a minha formação.

A Bernadete secretária do curso pela atenção e paciência durante o curso.

Aos colegas de curso Adriana, Ricardo, Walter, Leônidas, Marcelo Toffol, Volmir, Fernanda e Juliana.

Sumário

Lista de tabelas.....	VII
Lista de figuras.....	VIII
Lista de apêndices.....	XI
Resumo.....	XIV
Summary.....	XV
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1 A importância da cultura do milho.....	3
2.1.1 O milho nas propriedades rurais catarinenses.....	4
2.2 Arranjo de plantas.....	4
2.3 Interceptação da radiação solar.....	5
2.4 Competição intra-específica.....	7
2.5 Fenologia do milho.....	8
2.6 Arquitetura de plantas.....	9
2.7 Modificações na morfologia das plantas de milho.....	10
2.7.1 Colmo.....	10
2.7.2 Altura de inserção da espiga.....	11
2.7.3 Altura de plantas.....	13
2.7.4 Número total de folhas.....	13
2.7.5 Ângulo foliar.....	14
2.7.6 Área foliar.....	14
2.8 Produção de fitomassa.....	15
2.9 Rendimento de grãos.....	16
2.10 Índice de colheita.....	18
3. Material e métodos.....	20
4. Resultados.....	30
5. Discussão.....	53
6. Conclusões.....	61
7. Referências bibliográficas.....	62
8. Apêndices.....	73

Lista de tabelas

Tabela 1. Densidade de plantas, rendimento de grãos e fonte de alguns trabalhos sobre densidade de plantas.....	17
Tabela 2. Resultado da análise de solo da área experimental.....	23
Tabela 3. Resultado analítico do adubo orgânico (esterco de aves).....	23

Lista de figuras

Figura 1. Número de dias entre a emergência e o florescimento masculino e feminino, em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	30
Figura 2. Número de dias ente o florescimento feminino e maturação fisiológica, em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	31
Figura 3. Altura de plantas em função do número de dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e maturação fisiológica.....	32
Figura 4. Altura de inserção da espiga em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	32
Figura 5. Diâmetro de colmo em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	33
Figura 6. Diâmetro do colmo aos 109 DAE em função da densidade de plantas da variedade de milho MPA1.....	34
Figura 7. Número total de folhas expandidas em função do número de dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	35
Figura 8. Número total de folhas expandidas aos 95 DAE em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	35
Figura 9. Ângulo foliar da primeira folha acima da espiga principal (A) e ângulo foliar da 12 ^o folha (B) em função da densidade de plantas da variedade de milho MPA1.....	36
Figura 10. Área foliar individual em relação ao número de folhas da base ao topo do dossel vegetativo para diferentes densidades de plantas da variedade de milho MPA1.....	37
Figura 11. Área foliar individual da 16 ^o folha em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	37

Figura 12. Área foliar total, verde e senescente por planta em função dos dias após a emergência nas densidades de plantas de 20.000 (A), 40.000 (B), 60.000 (C), 80.000 (D) e 100.000 (E) plantas ha ⁻¹ da variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	38
Figura 13. Área foliar total por planta aos 95 DAE em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	39
Figura 14. Área foliar verde por planta aos 104 DAE (próximo a florescimento) em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	40
Figura 15. Área foliar senescente relativa por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica, respectivamente...	41
Figura 16. Área foliar senescente relativa por planta em função da densidade de plantas aos 104 DAE para a variedade de milho MPA1.....	41
Figura 17. Índice de área foliar em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	42
Figura 18. Índice de área foliar em função da densidade de plantas aos 79 DAE para a variedade de milho MPA1.....	43
Figura 19. Fitomassa total (caule, folhas verdes, folhas secas, pendão, sabugo+palha e grãos) para a densidade de 20.000, 40.000, 60.000, 80.000 e 100.000 plantas ha ⁻¹ em função dos dias após a emergência da variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	44
Figura 20. Fitomassa total em função da densidade de plantas aos 112 DAE para a variedade de milho MPA1.....	45
Figura 21. Proporção de caule por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	46

Figura 22. Proporção de folhas verdes por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.....	47
Figura 23. Índice de colheita em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	47
Figura 24. Rendimento de grãos em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.....	48
Figura 25. Número de grãos m ⁻² em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.....	49
Figura 26. Número de grãos espiga ⁻¹ em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.....	49
Figura 27. Número de espigas m ⁻² em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.....	50
Figura 28. Número de espigas planta ⁻¹ em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.....	50
Figura 29. Peso de 1000 grãos em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.....	51
Figura 30. Fitomassa de plantas espontâneas em função da densidade de plantas aos 139 DAE para a variedade de milho MPA1.....	51
Figura 31. Porcentagem de acamamento e quebra de plantas em função da densidade de plantas aos 155 (A) e 197 (B) DAE para a variedade de milho MPA1.....	52

Lista de apêndices

- Apêndice 1. Dias entre a emergência e o florescimento masculino, feminino e intervalo entre florescimentos nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 2. Número de dias entre o florescimento feminino (FF) e a maturidade fisiológica (MF) nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 3. Altura de plantas (cm) das densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 4. Altura de inserção da espiga (cm) nas densidades de plantas aos 197 dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 5. Diâmetro médio do colmo (mm) nas densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 6. Número total de folhas expandidas para as densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 7. Ângulo foliar da primeira folha acima da espiga principal e da 12^o folha, para as densidades de plantas aos 81 DAE e análise de variância para variedade de milho MPA1.
- Apêndice 8. Área individual foliar (cm²) da base ao topo do dossel vegetativo nas densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 9. Área foliar total por planta (cm²) em diferentes DAE para as densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 10. Área verde por planta (cm²) para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

- Apêndice 11. Área foliar senescente relativa por planta (cm^2) para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.
- Apêndice 12. Índice de área foliar para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 13. Fitomassa total (kg ha^{-1}) para diferentes DAE nas densidades populacionais e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 14. Fitomassa de caule (kg ha^{-1}) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 15. Proporção de caule por planta para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 16. Fitomassa de folhas verdes (kg ha^{-1}) em relação ao total de fitomassa para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 17. Proporção de folhas verdes em relação ao total de fitomassa para as densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 18. Fitomassa de folhas senescentes (kg ha^{-1}) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 19. Fitomassa de pendão (kg ha^{-1}) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 20. RG= Rendimento de grãos (kg ha^{-1}); NEP= Número de espigas por planta; NE= Número de espigas (m^2); NGA= Número de grão (m^2); NGE= Número de grãos (espiga); PMG= Peso de 1000 grãos; RGE= Relação grãos/espiga e IC=índice de colheita das densidades de plantas (DP) e análise de variância da variedade de milho MPA1.
- Apêndice 21. Fitomassa de plantas espontâneas para as densidades aos 155 DAE e análise de variância da variedade de milho MPA1.

Apêndice 22. Porcentagem de acamamento e quebra de plantas em diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

Apêndice 23. Análise de correlação entre rendimento de grãos (RG), fitomassa (FM), índice de área foliar (IAF), índice de colheita (IC), peso de mil grãos (PMG), número de espigas por planta (NEP), número de espigas por área (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por área (NGA), acamamento e quebra de plantas (AQ), altura (ALT), diâmetro do colmo (DCOL), número de folhas (NFH) e área foliar total por planta (AFTP).

Resumo

O milho é uma importante cultura para o estado de Santa Catarina em virtude da área plantada e da produção de grãos e de silagem. Entre as cultivares de milho utilizadas no estado, as variedades de polinização aberta possuem grande importância para os pequenos agricultores, entretanto existem poucas informações técnicas, especialmente quanto à densidade ótima de plantio o que pode estar limitando o potencial produtivo dessas variedades. O objetivo geral deste trabalho foi estudar o efeito das densidades de plantas sobre o rendimento de grãos e silagem da variedade de polinização aberta MPA1. O experimento foi implantado na estação experimental da Epagri de Campos Novos, na safra 2005/06. O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em densidades de plantas contendo 18.000, 34.000, 47.000, 56.000 e 75.000 plantas ha⁻¹. Os resultados demonstraram que a densidade de plantas teve efeito significativo no número de dias até florescimento masculino e feminino, no intervalo de dias entre o florescimento feminino e maturidade fisiológica, diâmetro de colmo, número de folhas expandidas, área foliar individual, área foliar total por planta, área foliar verde por planta, área foliar senescente relativa por planta, índice de área foliar, fitomassa total, rendimento de grãos, número de grão m⁻², número de grãos espiga⁻¹, número de espigas m⁻², número de espigas planta⁻¹, peso de 1000 grãos, fitomassa de plantas espontâneas e acamamento e quebra de plantas. Entretanto, a densidade não teve efeito na altura de planta, altura de inserção da espiga, ângulo foliar, proporção de caule por planta, proporção de folhas verdes por planta e índice de colheita. A densidade ótima para produção de grãos e de fitomassa para silagem foi de aproximadamente 57.000 plantas ha⁻¹.

Summary

Maize is an important crop for Santa Catarina State due to the cultivated area and the grain and silage production. Among the maize cultivars used in Santa Catarina, the maize open pollination cultivars are very important for small farmers. However, there was a little agronomic information, especially about the plant population density. Consequently, it could limit the potential grain and biomass production. The objectives of this study were to analyze the effect of plant population density on the intraspecific competition of maize plants, on the phenologic, morphologic, physiologic and agronomic characteristics and to estimate the plant population density with maximum technical efficiency for silage and grain production for an open pollination cultivar of maize – MPA1. The experiment was conducted at Epagri Experimental Station in Campos Novos during the growing season 2005/06. The experimental design was complete randomized blocks with four replications. The treatments were different plant population density (18.000, 34.000, 47.000, 56.000 and 75.000 plants ha⁻¹). The results shown that the plant population density had a significant effect on the number of days between emergence and anthesis and silking and physiological maturity, diameter of the stem, number of expanded leaves, individual leaf area, total leaf area per plant, green leaf area per plant, senescent leaf area per plant total, leaf area index, biomass, grain yield, grain number, number of ears, grains 1000 weight, grains size, percentage of lodging and broken plants. On the other hand, plant population density did not have significant effect on plant height, ear insertion height, leaf angle, proportions of biomass partitioned to leaves and harvest index. The plant population density with maximum technical efficiency for biomass and grain yield was around 57.000 plants ha⁻¹.

1. Introdução

No panorama brasileiro, Santa Catarina desponta-se sendo o quarto maior produtor nacional de milho, contribuindo com 7% (2,3 milhões de toneladas) da produção brasileira no ano agrícola de 2005/06, que foi de 31,8 milhões de toneladas. O milho representa uma importante cultura no segmento agropecuário do estado de Santa Catarina, sendo cultivado principalmente nas microrregiões de São Miguel D'Oeste, Chapecó, Xanxerê, Concórdia, Joaçaba e Canoinhas (Síntese... 2005). Nessas regiões, este cereal destaca-se por apresentar-se com grande frequência dentro das propriedades rurais, em virtude das diversas finalidades de uso, como a produção de silagem (Alves et al., 2004a), produção de rações para a avicultura e suinocultura e comercialização dos grãos (Testa et al., 1996).

Entre os genótipos de milho cultivados em Santa Catarina, as variedades de polinização aberta estão entre as variedades utilizadas nas pequenas propriedades rurais (Cruz et al., 2006b; Goulart & Gugel, 2006; Kist et al., 2006b; Kist et al., 2006c; Canci et al., 2004). Esse uso provém dos benefícios que essas variedades proporcionam como a adaptação às condições climáticas e práticas culturais, resistência às pragas e doenças de uma região (Harlan, 1975) e a utilização de menores quantidades de insumos químicos nos cultivos (Jarvis et al., 2000). Entretanto, para muitas das variedades de polinização aberta utilizadas pelos agricultores catarinenses, existem poucas informações relacionadas ao manejo agrônomo dessas variedades, principalmente em relação à densidade de plantas ótima para o cultivo. As informações referentes às densidades são fundamentais para o cultivo porque o uso de populações inadequadas (em condições sub-ótimas ou supra ótimas) afetam diretamente o desenvolvimento, crescimento e produtividade do milho em razão da baixa plasticidade fenotípica dessa espécie (Sangoi et al., 2001a).

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o efeito das densidades de plantas sobre o rendimento de grãos e silagem da variedade de polinização aberta MPA1. Os objetivos específicos foram avaliar os efeitos da densidade de

plantas sobre a competição intra-específica das plantas, sobre as variáveis fenológicas, morfofisiológicas e agronômicas e estimar a densidade ótima de plantas para a produção de fitomassa e rendimento de grãos.

2. Revisão bibliográfica

2.1 A importância da cultura do milho

Diante das espécies já identificadas no mundo, os cereais são aquelas que apresentam a maior importância para satisfazer nossas necessidades alimentares (Otegui & Slafer, 2004). Entre esses cereais, o milho destaca-se por ser amplamente utilizado, devido ao seu excelente potencial produtivo (Fancelli & Dourado Neto, 2000) e ser uma ótima fonte de energia em função de seu elevado teor de carboidratos (Steinmacher, 2005), sendo classificado como o segundo cereal mais importante do mundo, ficando apenas atrás do trigo e seguido pelo arroz (Síntese... 2005). Além dessas características, o milho possui diversas aplicações que vão desde a fabricação de polentas, tortilhas, “snacks” (Steinmacher, 2005) até o uso na indústria de nutrição animal (EMBRAPA, 2005).

A produção mundial de milho atingiu 692,24 milhões de toneladas na safra de 2005/06, apresentando uma redução de aproximadamente 3% em relação à safra mundial anterior (2004/05). Entre os grandes produtores mundiais de milho destacam-se os Estados Unidos com 42% da produção, a China com 18%, o Brasil com 5% e a Argentina e México com 3% da produção mundial (Síntese... 2005).

No Brasil, a cultura do milho no ano agrícola de 2005/06 alcançou 41 milhões de toneladas do grão, apresentando um aumento de 8,5% em relação à safra anterior. Entre os maiores estados brasileiros produtores de milho, destacam-se o Paraná com 24% da produção, seguido de Minas Gerais com 18%, São Paulo com 11%, Santa Catarina e Goiás com 8% e o Rio Grande do Sul com 4% (Síntese... 2005).

Em Santa Catarina, a produção no ano agrícola de 2005/06 (3,343 milhões de toneladas), teve as microrregiões de São Miguel D'Oeste, Chapecó, Xanxerê, Joaçaba, Concórdia e Canoinhas como as maiores produtoras desse cereal. Além disso, as produtividades alcançadas na safra de 2005/06 (4,260 kg ha⁻¹) em Santa Catarina foram superiores as duas safras anteriores de 2003/04 (4,100 kg ha⁻¹) e 2004/05 (3,530 kg ha⁻¹) (Síntese... 2005).

2.1.1 O milho nas propriedades rurais catarinenses

O milho produzido em Santa Catarina provém na sua grande maioria das pequenas propriedades rurais, sendo esta uma característica típica do estado catarinense (Censo Agropecuário/SC, 1996; Sangoi et al., 2003). Nessas pequenas propriedades 58% das áreas cultivadas compreendem plantios de milho de até 10 hectares, aonde os agricultores consomem aproximadamente 62% da produção nas próprias propriedades, o que demonstra uma forte relação entre essa cultura e os agricultores (Censo Agropecuário/SC, 1996).

Essa relação, entre agricultores e o milho, é observada em diversos municípios de Santa Catarina. Entre os municípios destaca-se a cidade de Anchieta, localizada no extremo oeste catarinense, aonde 73% dos estabelecimentos rurais são considerados pequenas propriedades e tem o milho como a mais importante fonte de renda dos agricultores (Vogt, 2005). Além dessa relação dos agricultores com o milho, este município também destaca-se pela ampla utilização de variedades locais e crioulas de milho (Canci et al., 2004) que em virtude dessa utilização tornou-se a “Capital Catarinense do Milho Crioulo”, segundo projeto de lei estadual 466/99 (Canci, 2002).

Essas variedades cultivadas em Anchieta têm uma grande importância para os agricultores deste município, possuindo também outras características relevantes como o valor genético das variedades locais e crioulas, o resgate de genes para características de interesse, a conservação e uso de genótipos pelas classes mais oprimidas além da confiável forma de produção de alimento sob condições adversas de clima e solo (Kist, 2006a).

2.2 Arranjo de plantas

O milho é uma cultura que atinge altas produtividades devido a duas características fundamentais que estão associadas à espécie. A primeira característica, esta relacionada ao fato das plantas apresentarem um enorme potencial para a produção de grãos (Sangoi, 2000), enquanto a segunda característica refere-se à espécie ser altamente responsiva ao aumento do manejo aplicado à cultura (Sangoi et al., 2003). A resposta do milho ao aumento do manejo foi evidente na América do Norte entre as décadas de 30 e 90 através

do incremento das produtividades, pois, do incremento gerado entre essas décadas, 40% dos rendimentos foram resultantes do manejo agrônomo, enquanto o restante foi consequência do melhoramento genético de plantas (Tollenaar & Lee, 2002). Portanto, as técnicas de manejo são fundamentais para o milho demonstrando serem eficientes ferramentas para o aumento da produtividade. Entre as técnicas de manejo empregadas na cultura o milho destaca-se o arranjo de plantas.

O arranjo de plantas é uma técnica importante porque permite que as populações de plantas tenham uma disponibilidade mais adequada dos recursos do ambiente como água, nutrientes e radiação solar, promovendo o melhor desenvolvimento das plantas, principalmente pelo aumento da interceptação e captura da radiação solar (Argenta et al., 2001). Além disso, o arranjo de plantas é fundamental para a cultura do milho porque essa espécie possui uma baixa plasticidade fenotípica não possuindo mecanismos eficientes que permitam as plantas ocuparem o seu nicho disponível (Sangoi et al., 2001 a), devido à sua baixa capacidade de perfilhamento e ausência de ramificações (Romano, 2005).

O arranjo de plantas promove inúmeros benefícios à cultura do milho, porém, para a identificação do arranjo ideal faz-se necessária a adequação das densidades de plantas, bem como dos espaçamentos entre linhas e entre plantas utilizados (Argenta et al., 2001). Entre essas adequações, as densidades de plantas destacam-se por serem uma ferramenta que apresenta muitas possibilidades de arranjos (Sangoi, 2000). Em virtude dessas possibilidades de arranjo, as densidades foram entre as décadas de 60 e 80, um dos principais objetivos dos experimentos realizados com o milho (Silva et al., 2006). Nesses estudos, os pesquisadores buscavam determinar as populações ideais de plantas diante das mais diversas condições de cultivo e genótipos (Silva et al., 2006; Sangoi, 2000), aumentando as produtividades a partir do uso de uma ótima densidade de plantas.

2.3 Intercepção da radiação solar.

A radiação solar é uma fonte de energia vital para os vegetais (Odum, 1986; Tsumanuma, 2004), podendo tornar-se um fator limitante do desenvolvimento em ambientes aonde as condições de radiação são reduzidas (Odum, 1986). Este fator limitante do desenvolvimento ocorre devido à radiação apresentar uma forte relação com a atividade fotossintética das plantas que utilizam comprimentos de ondas entre 400 e 750nm para promover a fotólise da água e redução do dióxido de carbono (CO₂) em grandes compostos carbonados, sobretudo os carboidratos (Fancelli & Dourado-Netto, 2000). No milho, essa redução do dióxido de carbono é feita por um aparato fotossintético (via C₄) presente no dossel das plantas (Loomis & Connor, 1992; Maddonni et al., 2001) que transformam de maneira altamente eficiente o carbono inorgânico em carboidrato (Silva et al., 2006; Sangoi et al., 2002a). Portanto, o uso de densidades de plantas adequadas nas lavouras de milho são fundamentais para a obtenção de bons rendimentos, pois essas densidades promovem o aumento da coletividade entre plantas (Sangoi et al., 2001a, Loomis & Connor, 1992) e otimizam a intercepção e captura da radiação solar incidente (Marchão et al., 2006, Argenta et al., 2001; Loomis & Connor, 1992; Clements, 1963). Além disso, a utilização das densidades ótimas nas lavouras promovem o aumento da intercepção da radiação solar (Andrade et al., 1993), elevando a quantidade de energia disponível para formar carboidratos (Sangoi, 2000), permitindo o maior acúmulo de carbono (Marchão et al., 2006) e proporcionando as plantas maiores acréscimos de fitomassa em condições de elevada radiação (Didonet et al., 2002, Silva et al., 2006).

Nos cultivos em que as densidades de plantas são inadequadas (sub-ótimas ou supra-ótimas) surgem efeitos negativos sobre a capacidade de intercepção da radiação e produção da fitomassa (Sangoi, 2000). Entre os possíveis efeitos negativos gerados pela utilização de densidades sub-ótimas, está o decréscimo da intercepção (Andrade et al., 1993) e da absorção da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Tollenaar & Bruulsema, 1988) provocado pela redução do índice de área foliar dessas populações. A redução da radiação solar absorvida, de 34.9 mol fóton m⁻² d⁻¹ na densidade de 60.000

plantas ha^{-1} para $31.5 \text{ mol f\u00f3ton m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ na densidade de $39.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ foi observado por Tollenaar & Bruulsema, (1988).

Em contrapartida, nos cultivos onde as densidades de plantas est\u00e3o acima das densidades \u00f3timas (supra-\u00f3timas), ocorre aumento da intercepta\u00e7\u00e3o da radia\u00e7\u00e3o solar em fun\u00e7\u00e3o do aumento do \u00edndice de \u00e1rea foliar. Contudo esse aumento n\u00e3o resulta necessariamente na eleva\u00e7\u00e3o da produtividade, pois nas altas densidades o sombreamento entre plantas aumenta, causando redu\u00e7\u00e3o da capacidade individual dessas plantas em interceptarem a radia\u00e7\u00e3o (Didonet et al., 2002, Andrade et al., 1993) e conseq\u00fcentemente em converterem em fitomassa.

2.4 Competi\u00e7\u00e3o intra-espec\u00edfica

No cultivo de plantas existem intera\u00e7\u00f5es que afetam o crescimento e desenvolvimento vegetal. Uma dessas intera\u00e7\u00f5es refere-se \u00e0 proximidade entre indiv\u00edduos de uma popula\u00e7\u00e3o, competirem entre si por recursos do ambiente como \u00e1gua, luz e nutrientes. Este tipo de competi\u00e7\u00e3o, conhecida como competi\u00e7\u00e3o intra-espec\u00edfica, normalmente n\u00e3o \u00e9 identificada na fase inicial de crescimento, porque as plantas neste per\u00edodo apresentam pequeno porte e n\u00e3o interferem no desenvolvimento de umas sobre as outras. Por\u00e9m, a partir do momento que inicia-se a interfer\u00eancia de uma planta sobre outra, tem-se o in\u00edcio da competi\u00e7\u00e3o intra-espec\u00edfica (Loomis & Connor 1992), que pode ocorrer em fun\u00e7\u00e3o das densidades de plantas utilizadas e do arranjo das plantas no campo (Silva et al., 2006). O aumento da competi\u00e7\u00e3o provoca o aumento da rela\u00e7\u00e3o vermelho/vermelho extremo de uma popula\u00e7\u00e3o, de maneira que o crescimento de caules e folhas podem ser alterados por essa rela\u00e7\u00e3o (Taiz & Zeiger, 2004). A rela\u00e7\u00e3o vermelho/vermelho extremo em condi\u00e7\u00f5es adequadas para as plantas, propiciam condi\u00e7\u00f5es end\u00f3genas (hormonais) mais equilibrada, que permitem o melhor crescimento alom\u00e9trico dos \u00f3rg\u00e3os vegetais, possibilitando a gera\u00e7\u00e3o de indiv\u00edduos com melhor capacidade de intercepta\u00e7\u00e3o da radia\u00e7\u00e3o incidente (Silva et al., 2004).

A competi\u00e7\u00e3o intra-espec\u00edfica de plantas pode levar h\u00e1 algumas mudan\u00e7as no crescimento e desenvolvimento vegetal dos indiv\u00edduos, gerando altera\u00e7\u00f5es na morfologia, fisiologia, forma\u00e7\u00e3o e ac\u00famulo de fitomassa (Dur\u00e3es et

al., 1995; Loomis & Connor 1992) e rendimento de grãos (Silva et al., 2006). Além dessas alterações, podem surgir ainda modificações quanto à capacidade individual das plantas em buscar os recursos do ambiente, de forma que surjam diferentes níveis de competição dentro de uma população (Maddonni & Otegui, 2006) como conseqüência do aumento das densidades de plantas (Silva et al., 2006; Tollenaar et al., 2000; Odum, 1986). Esses níveis de competição nas populações são gerados pelas diferentes habilidades individuais das plantas em obterem seus recursos, podendo ser classificadas como indivíduos dominantes ou indivíduos dominados (Maddonni & Otegui, 2006).

As alterações causadas pela densidade foram minimizadas nas últimas décadas partir de mudanças ocorridas na arquitetura das plantas (híbridos) principalmente pela redução do porte. Essa mudança reduziu os efeitos causados pela competição intra-específica (Tollenaar et al., 1997) e aumentou a tolerância dos indivíduos ao estresse por radiação (Tollenaar & Wu 1999).

2.5 Fenologia do milho

O milho é uma cultura que apresenta cinco etapas básicas de desenvolvimento no seu ciclo biológico compostas pela germinação/emergência, crescimento vegetativo, florescimento masculino/feminino, frutificação e maturação fisiológica (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Entretanto, para facilitar o manejo e os estudos referentes à cultura do milho, o ciclo biológico desta cultura foi dividido em duas etapas denominadas desenvolvimento vegetativo e desenvolvimento reprodutivo (Ritchie et al., 2003).

O ciclo biológico do milho pode apresentar variações quanto ao número de dias compreendidos entre a emergência e a maturação fisiológica das variedades, permitindo classificá-las desde variedades super precoces (90 dias) até variedades altamente tardias (300 dias) (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Outra variação no ciclo do milho está relacionada ao aumento dos intervalos entre os estádios fenológicos como conseqüência do manejo aplicado à cultura. Entre essas condições de manejo destaca-se a densidade de plantas que, em função das populações utilizadas, levam as plantas a alterarem os intervalos entre os estádios fenológicos da cultura (Tokatlidis & Koutroubas 2004; Sangoi et al.,

2002^a, Sangoi et al., 2001a, Tollenaar et al., 2000, Otegui, 1997, Durães et al., 1995). Entre essas alterações destaca-se o aumento do número de dias entre a emergência e o florescimento masculino do milho (Sangoi et al., 2002c). Densidades contendo 25.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ aumentaram o número médio de dias entre a emergência e o florescimento masculino de 68 dias para 72 dias respectivamente entre diferentes híbridos avaliados (Sangoi et al., 2002c). Efeitos similares sobre o florescimento masculino foram identificados por Tokatlidis & Koutroubas (2003).

Outra variação ocasionada pelas densidades de plantas refere-se ao aumento do intervalo dos dias entre o florescimento masculino e o florescimento feminino. Esse intervalo entre os florescimentos pode ser alongado em até 1,02 dias para cada 10.000 plantas adicionadas ha⁻¹ (Sangoi et al., 2002c). Tokatlidis & Koutroubas (2004) descreveram que com a elevação das densidades de 50.000 para 200.000 plantas ha⁻¹ houve a elevação do intervalo entre os florescimentos em até 9 dias.

Além do atraso do florescimento masculino e feminino do milho, as densidades de plantas também promovem alterações no período de enchimento dos grãos, que merece atenção por estar relacionado diretamente com a produtividade de grãos (Durães et al., 2005). Essas alterações resultam do aumento das densidades de plantas reduzirem o período de enchimento dos grãos. Essa redução foi verificada para um híbrido tardio cultivado nas densidades de plantas de 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹, aonde o aumento das densidades provocou uma redução de até 12 dias no período de enchimento dos grãos (Sangoi et al., 2002 d). Esses efeitos das densidades sobre a redução do período de enchimento dos grãos também foram identificados por Maddonni et al. (2001).

2.6 Arquitetura de plantas

Para que a cultura do milho nas últimas décadas pudesse ter elevada suas densidades de plantas e otimizada a interceptação e captura da radiação solar incidente sem sofrer alterações nas taxas fotossintéticas das plantas, foram realizadas algumas mudanças na arquitetura das variedades antigas de milho em

virtude dos materiais apresentarem uma enorme sensibilidade às altas densidades de plantas. Essas mudanças nas variedades tiveram início a partir da segunda metade do século 20 e provocaram progressos consideráveis em muitos híbridos (Sangoi et al., 2002a) tornando esses materiais (modernos) mais tolerantes as altas densidades de plantas (Fellner et al., 2003). Entre as mudanças provocadas na arquitetura das plantas pelo melhoramento genético, destaca-se a redução do tamanho do dossel e a elevação do ângulo foliar (Tollenaar et al., 2000, Fellner et al., 2003). Essas duas alterações permitiram que os dosséis das plantas se tornassem menores e com a presença de folhas mais eretas, ocupando um menor espaço por indivíduo e permitindo dessa forma o aumento das densidades de plantas (Duvick & Cassman, 1999).

O desenvolvimento de novos genótipos com arquiteturas tolerantes as altas densidades promoveu benefícios à cultura do milho porque reduziu o número de plantas estéreis, aumentou a sincronia entre o florescimento masculino e o florescimento feminino, elevou o potencial produtivo dos híbridos (Sangoi et al., 2002a), melhorou a habilidade de utilização (Kamara et al., 2004) e interceptação da radiação incidente (Marchão et al., 2006) e aumentou a capacidade de estocagem de energia com mínimo desgaste em vegetação (Sangoi, 2000).

Contudo, as mudanças morfológicas, fenológicas (Kamara et al., 2004) e fisiológicas (Sangoi, 2000) da cultura do milho não alteraram as taxas fotossintéticas das plantas. Essas mudanças permitiram aos novos híbridos a obtenção de taxas fotossintéticas menos suscetíveis aos estresses das altas densidades de plantas, quando comparadas às taxas fotossintéticas das variedades antigas (Tollenaar et al., 2000).

As variedades antigas e as variedades de polinização aberta, também conhecidas como variedades locais e crioulas, possuem características contrastantes as dos híbridos (Balbinot et al., 2005), sendo mais suscetíveis aos efeitos das densidades por possuírem altura de plantas e de inserção da espiga mais elevadas que a altura média identificada entre as variedades melhoradas (Balbinot et al., 2003), Além disso, possuem também um maior ângulo foliar e maior área foliar total por planta que proporcionam aos indivíduos a presença de

folhas mais abertas, gerando um dossel maior em relação as variedades melhoradas.

2.7 Modificações na morfologia das plantas de milho

As plantas de milho, quando cultivadas em altas densidades de plantas sofrem algumas variações na sua morfologia (Sangoi et al., 2002b; Durães et al., 1995). Entre as principais variações morfológicas causadas pelo efeito das altas densidades destacam-se as variações no diâmetro do colmo, na altura de plantas, na altura de inserção da espiga, no número de folhas, no número de espigas por planta, no ângulo foliar e na área foliar.

2.7.1 Colmo

O colmo do milho torna-se visível logo após a emergência quando as plantas possuem 3 folhas expandidas, havendo uma aceleração do desenvolvimento desse órgão com o surgimento da 6ª folha. Do 30º dia após a emergência (DAE) até próximo ao florescimento, o colmo sofre um período de grande crescimento e alongamento com acúmulo significativo de fitomassa, seguido de uma pequena redução até o final do cultivo (Ritchie et al., 2003) que pode chegar a 14 gramas planta⁻¹ (Sangoi et al., 2002a).

A redução do diâmetro do colmo após o florescimento é provocada pela remobilização das substâncias de reserva desse órgão para o enchimento dos grãos (Sangoi et al., 2002a). Por isso, os colmos são considerados estruturas moduladoras de grande importância para o rendimento de grãos principalmente quando as folhas sofrem algum tipo de dano na fase reprodutiva da cultura (Sangoi et al., 2001a). Esse órgão pode ser definido como uma estrutura equilibradora da limitação da fonte, por promover a remobilização dos carboidratos de reserva armazenados até o início do enchimento dos grãos (Uhart & Andrade, 1995).

Além da redução dos colmos provocada pela remobilização dos carboidratos acumulados, o colmo está entre as estruturas do milho mais suscetíveis aos efeitos da competição intra-específica gerada pelos efeitos da densidade de plantas. O diâmetro dos colmos de densidades compreendidas

entre 25.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ apresentaram uma redução de 33% (26.9 mm e 18.0 mm) provocada pelo aumento da densidade (Sangoi et al., 2001a).

A redução natural do diâmetro do colmo ocorrida após o florescimento, juntamente com a redução provocada pelo efeito da densidade, são responsáveis pela fragilidade gerada nesse órgão (Costa et al., 2005, Sangoi et al., 2002b, Argenta et al., 2001, Sangoi et al., 2001a) levando a um aumento da porcentagem de plantas acamadas e quebradas. Tanto o acamamento como o quebramento são variáveis suscetíveis ao efeito da densidade de plantas (Marchão et al., 2006). Em densidades contendo 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ o acamamento e quebra de plantas atingiu porcentagens de 0,5%; 3,6%; 5,9% e 12,6%, respectivamente (Sangoi et al., 2001a).

2.7.2 Altura de inserção da espiga

A altura de inserção da espiga refere-se à distância existente entre o colo da planta e a base onde está inserida a espiga principal. Entre as variedades existentes a altura de inserção das espigas apresenta variações características de cada genótipo. A altura de inserção da espiga pode variar entre 120 e 200 cm para variedades de polinização aberta (ALVES et al., 2004b) e entre 92 e 141 cm (Kamara et al., 2004) e 104 e 221 cm (Balbinot et al., 2003) para híbridos.

Da mesma forma como as variedades apresentam diferenças entre a altura de inserção das espigas, uma única variedade de milho cultivada em diferentes densidades de plantas também pode apresentar diferenças significativas em relação à altura de inserção das espigas (Sangoi et al., 2002c). Essa informação foi confirmada por Sangoi et al. (2002b) que utilizou densidades de 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ e obteve altura de inserção da espiga de 123, 132, 137, e 137 cm respectivamente. Dessa forma a altura de inserção da espiga aumenta com o aumento das densidades de plantas (Sangoi et al., 2002c). Um aumento linear significativo também foi identificado com o aumento da densidade de plantas de 40.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ (Marchão et al., 2006).

Em contrapartida, Borghi et al. (2004) e Silva et al. (1999), utilizando densidades que variaram entre 50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ não identificaram

alterações quanto à altura de inserção das espigas, demonstrando resultados homogêneos entre as densidades.

A altura menor altura de espigas é vantajosa porque assim permitem as plantas manterem-se eretas até a colheita em função da menor distância entre a inserção da espiga e o solo. Além disso, contribuem para o melhor equilíbrio da planta minimizando a quebra de colmos, principalmente nas altas densidades aonde o diâmetro desta estrutura é menor (Sangoi et al., 2002b). Em contrapartida a altura de inserção pode danificar às plantas, quando a altura de inserção da espiga for elevada. Isso ocorre porque a elevada inserção das espigas ocasiona problemas de acamamento e quebra de plantas como consequência do aumento da intensidade do pêndulo formado entre a espiga e o solo, provocado pelo deslocamento superior do centro de gravidade dos indivíduos (Sangoi et al., 2002b). Além disso, as condições de elevadas densidades de plantas promovem a diminuição do diâmetro do colmo que acrescido do deslocamento do centro de gravidade da planta favorece a quebra de colmos (Sangoi et al., 2001 a).

2.7.3 Altura de plantas

Alguns estudos realizados com milho não apresentaram diferenças quanto à altura das plantas de indivíduos cultivados em diferentes densidades de plantas (Costa et al., 2005, Borgui et al., 2004, Silva et al., 1999, Durães et al., 1995). No entanto outros estudos relataram alterações significativas na altura das plantas como consequência do aumento da densidade de plantas (Marchão et al., 2006, Sangoi et al., 2002c; Maddonni et al., 2001; Sangoi & Salvador, 1996; Modarres et al., 1998). Sangoi & Salvador (1996) descreveram o aumento das densidades de 25.000 para 75.000 plantas ha⁻¹ aonde a altura de plantas passou de 225 cm para 236 cm, da mesma forma como Sangoi et al. (2002b) que identificou o aumento de 276, 282, 286 e 280 cm nas populações de 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

O aumento na altura das plantas em condições de maior adensamento, ocorre devido às plantas apresentarem uma tendência de estiolamento a partir do descréscimo da radiação incidente sobre os indivíduos, indicando maior

competição intra-específica por luz (Sangoi et al., 2002c; Modarres et al., 1998). A menor incidência de radiação sobre os indivíduos causa a elevação dos níveis endógenos de auxina (maior sombreamento entre plantas e conseqüentemente menor fotoxidação da auxina) promovendo o alongamento do caule e aumento na altura de plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

2.7.4 Número total de folhas

As densidades de plantas de 50.000 e 90.000 plantas ha⁻¹ (Otegui, 1997) e 25.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ (Sangoi et al., 2002 b) não apresentaram mudanças em relação ao total de folhas presentes nas planta (21 e 21,3 folhas, respectivamente). Contraditoriamente a essas informações, foi identificada uma redução do número de folhas acima da espiga principal provocado pelo aumento das densidades de plantas de 65.000 para 90.000 plantas ha⁻¹, aonde houve uma redução de 9 para 7 folhas respectivamente (Modarres et al., 1998).

2.7.5 Ângulo foliar

O ângulo foliar compreende o ângulo existente entre a nervura principal da folha e o colmo das plantas. Esse ângulo pode apresentar variações entre as variedades do milho devido as características intrínsecas de cada genótipo (Maddonni & Otegui, 1996). No entanto essas variações do ângulo foliar também podem ser conseqüência da utilização de diferentes densidades de plantas nos cultivos (Silva et al., 2006 e Drouet & Moulia, 1997). Maddonni et al. (2001) verificou um aumento de 10% no ângulo de inserção das folhas (50,5° para 55°) contidas no estrato superior das plantas (acima da espiga) como conseqüência do aumento da densidade de plantas.

2.7.6 Área foliar

O aumento da densidade de plantas promove o aumento do índice de área foliar na cultura do milho (Mendes et al., 2005, Lindquist et al., 2005, Almeida et al., 2003, Gardiol et al., 2003, Silva et al., 1999). Em estudos aonde as densidades aumentaram de 39.000 para 90.000 plantas ha⁻¹ (Cox, 1996); 39.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ (Tollenaar & Bruulsema 1988) e de 30.000 para

120.000 plantas ha⁻¹ o índice de área foliar aumentou 72% (2,50 - 4,30), 90% (2,40 - 4,56) e 309% (2,19 - 6,78), respectivamente.

Em contrapartida quando se avalia a área foliar por planta verifica-se que o aumento da densidade gera uma redução da área foliar total por planta como conseqüência do aumento da competição intra-específica. Em densidades de plantas contendo 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ foram obtidas áreas foliares totais por planta de 9.879; 8.6407; 7.355 e 6.482 cm² respectivamente entre os híbridos avaliados (Sangoi et al., 2002b) demonstrando uma redução da área foliar total por planta com o aumento da densidade.

A área individual das folhas também estão sujeitas a redução como conseqüência do aumento da densidade de plantas. Nas densidades contendo 90.000 e 120.000 plantas ha⁻¹ foram observadas uma redução de 21% na largura e 26% no comprimento das folhas em comparação as folhas das plantas cultivadas na densidade de 30.000 plantas ha⁻¹ (Maddonni et al., 2001). Essa redução da área provocada pelo aumento da competição intra-específica também foi identificada por Sangoi et al. (2002c) e Modarres et al. (1998). Outra variável afetada pela densidade é a área senescente por planta aonde o aumento da densidade proporciona o aumento da área senescente por planta, especialmente depois do florescimento (Borrás et al., 2003).

2.8 Produção de fitomassa

A produção de fitomassa de milho por área e por planta, pode ser alterada quando os cultivos são submetidos a diferentes densidades. Essas alterações ocorrem devido ao aumento no número de indivíduos por área (Durães et al., 1995; Borghi et al., 2004; Weddicombe & Thelen, 2002; Tollenaar & Bruulsema 1988) aumentar a produção de fitomassa por unidade de área (Costa et al., 2005; Cox, 1996; Tollenaar & Bruulsema, 1988) e diminuir a quantidade de fitomassa produzida por planta.

O aumento das densidades de 33.000 para 77.000 plantas ha⁻¹ (Durães et al., 1995), 39.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ (Tollenaar & Bruulsema 1988) e 66.000 para 121.000 plantas ha⁻¹ (Costa et al., 2005) promoveram o aumento da fitomassa de 11.110 para 18.440 kg ha⁻¹, 15.000 kg ha⁻¹ para 17.400 kg ha⁻¹ e

15.000 para 20.000 kg ha⁻¹, respectivamente. Cox (1996) avaliando plantas mais jovens (12 folhas) também verificou uma tendência significativa de aumento da fitomassa produzida (6.750 kg ha⁻¹ para 9.350 kg ha⁻¹) provocada pela elevação das densidades de 30.000 para 90.000 plantas ha⁻¹

O aumento na produção de fitomassa por unidade de área não é linearmente proporcional ao aumento da densidade de plantas (Costa et al., 2005). Apesar disso, densidades superiores apresentam produções mais elevadas de fitomassa por área que densidades menores (Cox, 1996; Durães et al., 1995). Esse aumento caracteriza-se por ocorrer até a densidade ótima de cultivo estabelecida para uma variedade, sendo essa densidade ótima variável em função dos genótipos utilizados, bem como fatores bióticos e abióticos. Para populações cultivadas em condições superiores à densidade ótima estabelecida, são observadas reduções consideráveis na fitomassa produzida por área, o que gera uma resposta quadrática desta variável (Durães et al., 1995; Cox, 1996; Tollenaar et al., 1992; Tokatlidis, 2001). A diminuição na produção de fitomassa por área resulta dos indivíduos cultivados nas populações mais adensadas, apresentarem uma grande diminuição na quantidade de fitomassa individual, sendo essa diminuição mais acentuada que o incremento promovido pelo aumento da densidade de plantas. Indivíduos cultivados nas densidades de 25.000 e 83.000 plantas ha⁻¹ tiveram uma redução média de 40% na fitomassa produzida por planta (311–123 g) (Tokatlidis, 2001).

2.9 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos é alterado significativamente pelo efeito da densidade de plantas. Essas alterações ocorrem pelo aumento das densidades aumentarem o rendimento de grãos (Maddonni & Otegui, 2006; Sangoi et al., 2006a; Sangoi et al., 2002d; Sangoi et al., 2002c; Sangoi et al., 2002b; Sangoi et al., 2001 a; Tokatlidis 2001) de forma que essa elevação apresente comportamento linear (Sangoi et al., 2001a) ou quadrática (Flesch & Vieira, 2004; Silva et al., 1999). Estes comportamentos lineares ou quadráticos provavelmente são resultantes da amplitude das densidades de plantas utilizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade de plantas, rendimento de grãos e fonte de alguns trabalhos sobre densidade de plantas.

Densidades de plantas (plantas ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (Kg ha ⁻¹)	Fonte
Mínimo – máximo	Mínimo - máximo	
35.000 – 80.000	7.500 – 10.500	Almeida et al. (2000)
55.000 – 75.000	4.584 – 5.472	Borghini et al. (2004)
45.000 – 90.000	7.200 – 8.200	Cox (1996)
33.000 – 77.000	4.760 – 7.810	Durães et al. (1995)
30.000 – 73.000	6.000 – 7.448	Flesch & Vieira (2004)
50.000 – 70.000	8.300 – 9.100	Silva et al. (1999)
25.000 – 75.000	6.846 – 14.461	Sangoi & Salvador (1996)
39.000 – 100.000	6.540 – 7.800	Tollenaar & Bruulsema (1988)

Entre os principais componentes do rendimento, afetados pelo efeito da densidade de plantas estão o peso de 1000 grãos e o número de grãos por área. O peso de 1000 grãos interfere sobre a produtividade, porque com o aumento das densidades de plantas reduz-se a eficiência com que as plantas convertem esses fotoassimilados em grãos (Sangoi et al., 2002a) levando a diminuição do peso de 1000 grãos (Maddonni & Otegui, 2006; Hashemi et al., 2005; Sangoi & Salvador, 1996; Borghini et al., 2004; Flesch & Vieira, 2004; Echarte et al., 2000). Essa redução na eficiência de conversão tornou-se evidente com o aumento das densidades de plantas de 45.000 plantas ha⁻¹ para 90.000 plantas ha⁻¹ aonde houve uma redução de 336 g para 306 g no peso de 1000 grãos (Cox, 1996). Contraditoriamente Sangoi et al. (2006b) não encontraram diferenças no peso de 1000 grãos para uma variedade de polinização aberta cultivada em densidades que variaram entre 40.000 e 60.000 plantas m⁻².

Em relação ao número de grãos por unidade de área, há um aumento dessa variável em resposta ao adensamento provocado pelo aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa por planta (Kiniry & Knievel, 1995). O aumento das densidades de 46.000 plantas ha⁻¹ para 70.000, 84.000 e 93.000 plantas ha⁻¹ aumentou o número de grãos por área de 2.440 para 3.320,

3.750 e 3.880 grãos, respectivamente (Andrade et al., 1993). Assim o aumento do número de grãos por área reflete sobre a produtividade (Durães et al., 2005), no entanto, esse comportamento ocorre até o momento em que se atinge o número máximo de grãos, pois a partir daí, as altas densidades de plantas (acima das densidades ótimas) geram uma redução do número de espigas por planta (Cox, 1996; Tollenaar et al., 1992), do número de grãos por planta (Maddonni & Otegui, 2006; Otegui, 1997; Echarte et al., 2000; Cox, 1996; Sangoi & Salvador, 1996; Tollenaar et al., 1992 e Jacobs & Pearson, 1991), do número de grãos por espiga (Silva et al., 1999) e conseqüentemente do número de grãos por área.

A redução do número de grãos por área e de espigas por planta fica evidente em duas populações contendo 45.000 e 90.000 plantas ha⁻¹. Na densidade de plantas com 45.000 plantas ha⁻¹ foi encontrado 523 grãos m⁻² e 1,02 espigas planta⁻¹, enquanto para a densidade de 90.000 plantas ha⁻¹ esse número reduziu para 383 grãos m⁻² e 0.96 espigas planta⁻¹ (Cox 1996). Da mesma forma foi encontrada a redução de 428 para 379 e 315 grãos por espiga com o aumento das densidades de 50.000 para 70.000 e 90.000 plantas ha⁻¹, respectivamente (Silva et al., 1999). Flesch & Vieira (2004) também identificaram a redução do número de grãos por espiga (547, 487, 394 e 344) e do número de espigas por planta (1.05, 1.01, 0.97 e 0.95) com o aumento das densidades (30.000, 50.000, 70.000 e 90.000 plantas ha⁻¹) para um híbrido de ciclo normal.

2.10 Índice de colheita

O índice de colheita de uma variedade pode ser alterado pelas densidades de plantas devido as densidades provocarem alterações (aumento ou diminuição) nos componentes do rendimento. As alterações dos componentes (aumento ou diminuição) alteram a relação entre a fitomassa total e a fitomassa de grãos, tornando o índice de colheita suscetível a variações, dependendo da densidade de plantas utilizada (Maddonni & Otegui, 2006; Hashemi et al., 2005).

Além das mudanças provocadas nos componentes do rendimento, as densidades de plantas também podem provocar alterações na quantidade de fitomassa total produzida. Essa fitomassa total pode acompanhar o aumento da densidade de plantas, de maneira que o aumento simultâneo do rendimento de

grãos e da fitomassa total não provoquem alterações no índice de colheita do milho. Esse comportamento da fitomassa total e rendimento de grãos, foi observado nas densidades de plantas de 45.000, 67.000 e 90.000 plantas ha⁻¹ utilizadas por Cox, (1996), aonde observou-se o aumento da fitomassa e grãos, contudo, não identificou-se mudanças no índice de colheita do híbrido utilizado, que manteve-se em 0,49 (Cox, 1996). Em contrapartida, Borghi et al., (2004) utilizando densidades de plantas de 55.000, 65.000 e 75.000 plantas ha⁻¹ obtiveram para o híbrido utilizado, índices de colheita de 0,56; 0,56 e 0,62 respectivamente demonstrando uma relação entre densidade de plantas e índice de colheita. Sangoi et al., (2001a) utilizando densidades de plantas de 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ e material vegetal com ciclos contrastantes, obtiveram índices de colheita de 0,55; 0,47 e 0,35 para híbridos superprecoce, precoce e tardio respectivamente. Estes índices de colheita obtidos evidenciaram a influência do ciclo da planta sobre o índice de colheita e a não relação do índice com a densidade de plantas.

3 Material e métodos

3.1 Local

O experimento foi implantado na Estação Experimental de Campos Novos da Epagri situado no meio oeste catarinense a uma altitude de 934 metros acima do nível do mar, latitude $-27^{\circ} 24' 0''$ e longitude $-51^{\circ} 13' 30''$ (CIASC, 2005).

3.2 Clima

O clima predominante em Campos Novos é temperado com baixas temperaturas no inverno classificado segundo Köeppen como Cfb temperado (Pandolfo et al., 2002).

3.3 Solo

O solo no local do experimento é classificado como Nitossolo, possuindo características de boa drenagem com profundidade variando normalmente de 1,5 a 2,5 metros, com o horizonte "A" possuindo espessura entre 25 a 55 centímetros. Os solos da estação encontram-se em um terço inferior de uma encosta, com 14% de declive, apresentando erosão moderada (Laus Neto et al., 1999).

3.4 Material Vegetal

Foi utilizado como material vegetal o composto de milho MPA1 produzido pelo agricultor Névio Alceu Folgiarini, da comunidade da Linha São Roque no município de Anchieta/SC, com o apoio técnico de Adriano Canci da Associação de Pequenos Produtores de Milho Crioulo Orgânico e derivados de Anchieta e do Sindicato dos Trabalhadores da Agricultura Familiar deste município (Kist, 2006a).

O desenvolvimento deste composto ocorreu no ano agrícola de 1999/2000, aonde foram inicialmente reunidas 25 populações distintas de milho, das quais 18 eram sintéticas comerciais, quatro eram variedades de polinização aberta do grupo *pixurum* e três eram variedades locais ou crioulas (Cateto, Mato Grosso, Palha Roxa e Amarelão), cultivadas em Anchieta (Kist, 2006a). Na propriedade do agricultor Névio Alceu Flogiarini, uma área isolada foi destinada para a recombinação entre as 25 populações. Neste caso, sob densidade de plantas de 40.000 plantas ha^{-1} , uma fileira de 40 metros constituída por uma

mistura eqüitativa de sementes de todas as 25 populações, foi intercalada a cada duas fileiras individuais, cada qual representadas por uma das 25 populações. As fileiras representadas pela mistura das 25 populações formaram as fileiras masculinas, enquanto as fileiras simples constituídas individualmente por uma população foram despendoadas e formaram as fileiras femininas (Kist, 2006a).

As plantas fornecedoras de sementes foram selecionadas a cada 10 metros lineares através da escolha de cinco plantas com base na expressão dos caracteres referentes a altura de plantas, prolificidade, diâmetro de colmo e resistência a doenças. Da área total foram selecionadas 500 plantas das quais foram obtidas 500 espigas. Na fase pós-colheita as melhores espigas foram selecionadas com base no tamanho de espigas, grau de empalhamento, tipo e cor de grãos (Kist, 2006a).

Na safra agrícola 2000/2001 foram incluídas outras cinco populações desconhecidas. O composto resultante da recombinação das 30 populações produziu 300 espigas que serviram para a produção das sementes da população composta MPA1. Nas três safras seguintes foram conduzidos três ciclos de seleção massal estratificada de acordo com Soares et al. (1998), a partir dos quais foram produzidas as sementes da população composta MPA1 (Kist, 2006a).

3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos completamente casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos compostos por densidades (médias) de 18.000, 34.000, 47.000, 56.000, 75.000 plantas ha⁻¹.

O experimento foi composto por 20 parcelas, cada uma com 8 metros de largura, 7 metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 1 metro, totalizando uma parcela de 56 m² e área total do experimento de 1.120 m². A demarcação da área experimental foi realizada no dia 30 de setembro de 2005.

3.6 Condução do experimento

3.6.1 Caracterização agroecológica e histórico da área

A área presente na estação experimental é manejada dentro do sistema agroecológico de cultivo desde o ano de 2000. Essa área, durante os dois anos iniciais passou por um período de conversão, sendo o primeiro plantio direto (soja) realizado apenas no segundo semestre de 2002. No ano seguinte (2003), a área permaneceu em pousio, e em 2004, houve um novo plantio direto de soja. Na implantação dessas culturas foram tomadas algumas medidas de segurança, como a presença de margens com aproximadamente 10 metros nas extremidades da área para evitar a proximidade com os plantios convencionais.

Durante o período em que a área permaneceu em pousio houve apenas o crescimento de plantas espontâneas, predominando espécies como o papuã (*Brachiaria plantagina*), Azevém (*Lolium multiforum*), picão (*Bidens pilosa*) e leiteiro (*Euphorbia sp*). A adubação comumente realizada na área foi feita através da adubação verde e fertilizantes orgânicos como cama de aviário (5.000 kg ha^{-1}).

3.6.2 Preparo do solo e adubação

O preparo do solo foi constituído de uma aração e uma gradagem niveladora. Após o preparo, procedeu-se uma coleta de amostras de solo na área do experimento as quais foram enviadas para análise no laboratório da Epagri de Chapecó.

A adubação da área foi realizada através da adição de $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (base seca) de esterco de aves, distribuídos a lanço nas parcelas e seguido da incorporação desse material ao solo através de um novo gradeamento. Aos 49 dias após a emergência (DAE) foi realizada a adubação de cobertura na cultura, através da distribuição na base das plantas de 8.500 kg ha^{-1} (base seca) de esterco de aves.

A quantidade de adubo orgânico utilizado foi determinada levando em consideração o resultado da análise de solo (Tabela 2) e as características do adubo utilizado (Tabela 3).

Tabela 2. Resultado da análise de solo da área experimental.

Bloco	%Argila m/v	pH -Água	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	% MO m/v	Al cmolc/dm ³
1	65	5,6	5,9	18,0	400	5,2	0
2	69	5,9	6,1	7,9	339	4,6	0
3	66	5,7	6,0	9,7	351	5,2	0
4	70	5,4	5,8	7,0	340	4,0	0

Bloco	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³	H + Al cmolc/dm ³	CTC cmolc/dm ³	% Saturação	
					Bases	Al
1	9,8	4,1	4,89	19,81	75,32	0
2	10,3	4,4	3,89	19,46	80,01	0
3	10,4	3,8	4,36	19,46	77,59	0
4	8,2	3,5	5,49	18,06	69,60	0

Tabela 3. Resultado analítico do adubo orgânico (esterco de aves).

pH	M.S %	N	P	K %	Ca	Mg
9	74,44	3,06	1,25	2,04	3,9	1,36

3.6.3 Manejo da cultura

A semeadura foi realizada manualmente em linha, no dia 3 de novembro de 2005. A quantidade semeada nas densidades de plantas de 47.000, 56.000 e 75.000 plantas ha⁻¹ foi duas vezes superior ao número de plantas calculadas para os estandes, enquanto para as populações de 18.000 e 34.000 plantas ha⁻¹ essa quantidade foi três vezes maior. Aos 10 DAE efetuou-se o desbaste das plantas, ajustando o número ideal de plantas aos seus respectivos tratamentos.

Para o controle de plantas espontâneas que pudessem comprometer o desenvolvimento do milho na fase inicial, foram realizadas duas capinas ao longo do cultivo, sendo a primeira aos 16 DAE (30/11/2005) e a segunda aos 53 DAE (06/01/2006). A partir desta data não foram mais realizadas atividades para o controle de plantas espontâneas. Nenhum controle de pragas e doenças foi realizado, tendo em vista que o manejo do experimento teve como base o sistema agroecológico de cultivo.

Após a semeadura do experimento ocorreu uma estiagem na região de Campos Novos e a precipitação acumulada nesse período foi insuficiente para um

bom desenvolvimento fisiológico das plantas de milho. Dessa forma foram necessárias 4 irrigações na área experimental, cada uma equivalente a 32mm aos 28, 32, 36 e 50 DAE.

3.7 Fenologia

Foram avaliados quatro estádios fenológicos da variedade MPA1: emergência (aparecimento do coleóptilo), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e maturação fisiológica dos grãos (MF) de acordo com os estádios fenológicos descritos por Ritchie et al. (2003). A determinação da data de emergência foi estabelecida quando o número de plântulas emergidas na 4ª fileira atingiu 50% das plantas da linha.

O florescimento masculino foi determinado quando o último ramo do pendão tornou-se visível e teve início a polinização da variedade (Ritchie et al., 2003). O florescimento feminino foi determinado no momento em que o estilo-estigma das espigas tornou-se visível. Dessa forma, os DAE dos florescimentos foram estabelecidos através de avaliações feitas nas linhas 6 e 7, que representam uma área útil de 12 m². Essas avaliações foram realizadas a cada três dias identificando o número de plantas com a característica na área, a fim de determinar o momento que ocorreram 50% dos florescimentos.

A maturação fisiológica (estádio R6) ocorreu quando os grãos apresentaram a camada preta de abscisão (Ritchie et al., 2003). Para determinação desse estágio fenológico foi avaliado o número de espigas presentes na linha número 4 de cada parcela e realizadas avaliações nas espigas até o momento em que pelo menos 50% dos indivíduos apresentassem a referida característica.

A estimativa de 50% do florescimento masculino e feminino e maturação fisiológica basearam-se em uma equação de regressão linear, entre as porcentagens dos florescimentos, maturação fisiológica e o número de dias após a emergência.

3.8 Morfologia

Para a determinação de variáveis morfológicas como altura de plantas, diâmetro do colmo e número de folhas (expandidas, visíveis, verdes e senescentes), foram escolhidas e marcadas 4 plantas (linha 6 e 7) em cada parcela. Esses indivíduos foram avaliados desde a primeira semana até o final do ciclo do composto MPA1 sendo essas avaliações realizadas semanalmente até o florescimento masculino. Após esse estágio fenológico, as avaliações foram realizadas a cada 14 dias até a colheita do milho.

Para as variáveis como altura da espiga e ângulo foliar foram utilizadas as mesmas plantas para as avaliações, porém essas variáveis foram avaliadas uma vez durante o ciclo. A altura da espiga principal teve seus dados obtidos na maturação fisiológica da cultura e o ângulo foliar teve a sua avaliação feita no florescimento masculino.

3.8.1 Altura das plantas

A altura das plantas foi medida através da distância entre o colo da planta e o ponto de maior elevação das folhas. Para obtenção desta variável foi necessário o auxílio de uma régua com 400 cm.

3.8.2 Altura da inserção da espiga

A avaliação da altura da inserção da espiga foi medida através da distância existente entre o colo da planta e a inserção da espiga principal. A obtenção dessa leitura foi realizada com o auxílio de uma régua graduada.

3.8.3 Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo foi medido a uma altura média de 5 cm acima do nível do solo. Para a determinação dessa variável foi necessária a utilização de um paquímetro digital.

3.8.4 Número de folhas

O número de folhas expandidas, visíveis, verdes e senescentes foram obtidas através de avaliações semanais das folhas em plantas previamente marcadas. Estas plantas tiveram a 5ª, 10ª e 15ª folha identificadas para posterior contagem.

3.8.5 Ângulo foliar

Essa variável foi medida através do ângulo entre o colmo das plantas e a nervura central da primeira folha acima da espiga principal, conforme sistema nacional de proteção de cultivares (Ministério... 1997). O mesmo procedimento de avaliação foi realizado para a determinação do ângulo da 12ª folha. Para a determinação dessa variável foi necessária a utilização de um transferidor.

3.9 Área foliar

As variáveis área foliar individual, área foliar total por planta, área senescente por planta, área verde por planta e índice de área foliar foram calculadas através de leituras do comprimento e largura de folhas expandidas, em todas as folhas presentes nas quatro plantas previamente marcadas nas linhas 6 e 7 de cada parcela.

3.9.1 Área foliar individual

Para determinação da área foliar individual foram marcadas quatro plantas por parcela, as quais foram submetidas a leituras de comprimento (C) e largura (L) de folhas expandidas presente nas plantas. A área foliar individual de cada folha foi calculada através da fórmula sugerida por Tollenaar (1992) onde:

$$AFI = C \times L \times W.$$

onde: W é o fator de correção foliar e foi usado o valor de 0,75 (Tollenaar, 1992).

3.9.2 Área foliar total por planta

A área foliar total por planta foi calculada através do somatório das áreas foliares individuais das plantas avaliadas.

3.9.3 Área verde por planta

A área verde por planta foi calculada através do somatório das áreas foliares das folhas expandidas e visíveis, diminuídas da área foliar senescente. Para a determinação da área das folhas visíveis foi estabelecido que 2 folhas visíveis equivalem a área de uma folha expandida.

3.9.4 Área senescente relativa por planta

A área senescente relativa por planta foi obtida através da relação entre a área senescente por planta e a área total de cada planta.

3.9.5 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi calculado de acordo com a fórmula descrita por Almeida et al. (2003) onde:

$$\text{IAF} = \text{AVPP} \times \text{NP}$$

onde: AVPP refere-se a área verde por planta e NP ao número de plantas m².

3.10 Características agronômicas

Para determinação da fitomassa foram coletadas plantas presentes em 2 metros lineares de cada parcela no 1, 11, 19, 49, 84, 112 e 154 DAE. Na colheita do material aos 197 DAE foi realizada a última coleta, em uma área útil de 12 m² presente na linha 6 e 7. Nessa mesma área útil de 12 m² foram determinados o número de espigas por planta, número de espigas m², número de grãos m², peso de 1000 grãos, rendimento de grãos, índice de colheita e acamamento e quebra de plantas.

3.10.1 Fitomassa

A fitomassa total, fitomassa do caule, proporção de caule por planta, fitomassa de folhas verdes, proporção de folhas verdes por planta, fitomassa de folhas senescentes, fitomassa pendão e fitomassa de espigas e grãos foram determinadas através de sub-amostras de 4 plantas retiradas do total de

indivíduos coletadas (totalizando 16 plantas por tratamento). Essas plantas foram dissecadas em caules, folhas verdes, folhas senescentes, pendões, espigas e grãos (quando presentes) e colocados em uma estufa de secagem a 65°C, até a estabilização do peso.

3.10.2 Número de espigas planta⁻¹

O número de espigas por planta foi calculado através do total de espigas coletadas em uma área útil de 12 m² (linhas 6 e 7), dividido pelo número de indivíduos presentes nessa área.

3.10.3 Número de espigas m⁻²

O número de espigas m⁻² foi calculado através do total de espigas coletadas na área útil de 12 m² (linhas 6 e 7) dividido pela área de coleta.

4.10.4 Número de grãos m⁻²

O número de grãos m⁻² foi calculado através do peso de grãos obtida em 1 m², dividido pelo peso seco de um grão.

3.10.5 Número de grãos espiga⁻¹

O número de grãos por espiga foi obtido através da divisão entre o número de grãos por área e o número de espigas presente na mesma área.

3.10.6 Peso de 1000 grãos

O peso de 1000 grãos foi obtido através da média obtida pelo peso de 8 sub amostras de 100 grãos e multiplicado por 10.

3.10.7 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos (kg ha⁻¹) foi obtido através do peso total de grãos colhidos na parcela útil de 12 m² e corrigidos a 13% de umidade.

3.10.8 Índice de colheita

O índice de colheita foi calculado através da divisão entre a fitomassa de grãos e a fitomassa total.

3.10.9 Acamamento e quebra de plantas

As avaliações de acamamento e quebra de plantas foram realizadas em uma área útil de 12 m², aonde se determinou o total de plantas acamadas e quebradas aos 155 DAE (18/04/2006) e 196 DAE (29/05/2006 colheita). Foi utilizado como critério para avaliação de plantas acamadas aquelas que apresentassem ângulo de inclinação do colmo superior a 45° e plantas quebradas aquelas em que o caule apresentava-se torcido, fissurado ou quebrado abaixo do ponto de inserção da espiga (Sangoi et al., 2002 b).

3.10.10 Produção de plantas espontâneas

A quantificação da fitomassa de plantas espontâneas existente entre as fileiras do milho foi realizada por meio de uma coleta na área útil de 2 m² aos 139 DAE (91 dias após a última capina). Nesta coleta, todas as plantas espontâneas presentes na área foram cortadas ao nível do solo e o material armazenado em sacos plásticos. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao laboratório da Epagri, onde foram colocadas em uma estufa de secagem a temperatura média de 60°C durante o período necessário para que houvesse a estabilização no peso da fitomassa. Após a secagem do material vegetal, foi determinado com auxílio de uma balança digital de precisão o peso seco das amostras coletadas.

3.11 Análise dos dados

Os dados obtidos das cinco densidades de plantas estudadas foram submetidos a análise de variância com separação das médias pelo teste de Duncan ($p < 5\%$). Em seguida, os resultados significativos foram submetidos à análise de regressão e correlação com nível de significância de 5%.

As equações de regressão e os coeficientes de determinação são apresentados nos gráficos quando forem significativos ao nível de 5%.

4. Resultados

4.1 Fenologia

A emergência das plântulas ocorreu 11 dias após a semeadura não havendo diferenças entre as densidades de plantas utilizadas. Entretanto houve um aumento significativo do número de dias da emergência até o florescimento masculino e feminino com o aumento da densidade (Figura 1 e Apêndice 1). Em média as populações com 18.000 plantas ha⁻¹ tiveram o florescimento masculino ocorrendo aos 79 DAE, enquanto nas populações com 75.000 plantas ha⁻¹ o florescimento masculino ocorreu aos 83 DAE. O florescimento feminino nas populações com 18.000 plantas ha⁻¹ ocorreu aos 82 DAE, enquanto nas populações com 75.000 plantas ha⁻¹ ocorreu aos 91 DAE.

O aumento das densidades de plantas causou também um aumento significativo no intervalo de dias entre o florescimento masculino e feminino (Figura 1 e Apêndice 1). Nas densidades com 18.000 plantas ha⁻¹ o intervalo foi de 3 dias entre o florescimento masculino e o florescimento feminino, enquanto nas densidades com 75.000 plantas ha⁻¹ esse intervalo foi de 9 dias.

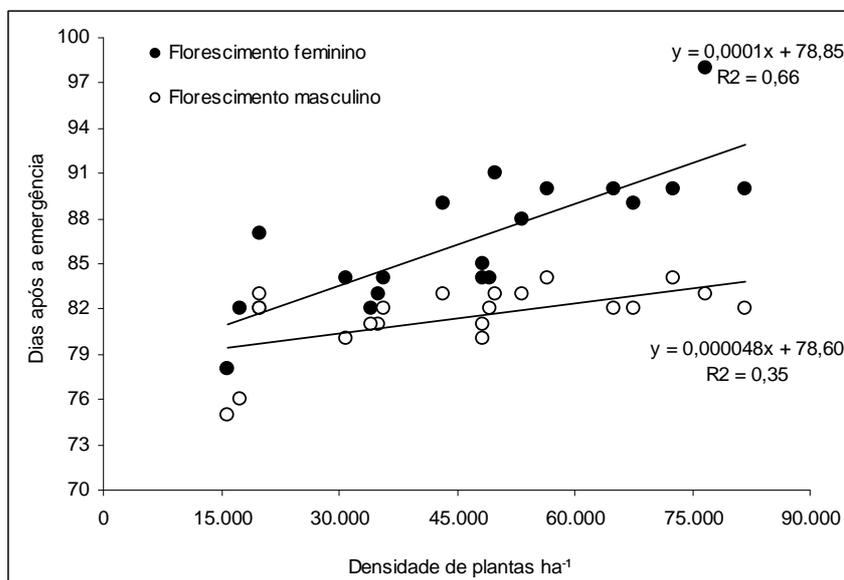


Figura 1. Número de dias entre a emergência e o florescimento masculino e feminino em função da **densidade de plantas** para a variedade de milho MPA1.

Houve uma diminuição significativa do número de dias entre o florescimento feminino e a maturação fisiológica, à medida que as densidades de plantas aumentaram (Figura 2 e Apêndice 2).

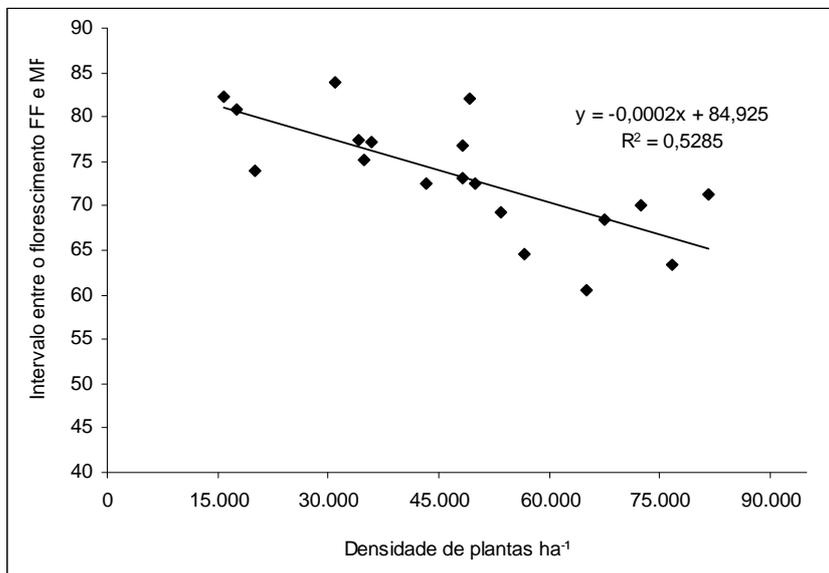


Figura 2. Número de dias ente o florescimento feminino e maturação fisiológica em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

4.2 Características Morfofisiológicas

4.2.1 Altura de plantas e de inserção da espiga

Durante o ciclo da cultura a altura de plantas caracterizou-se por apresentar duas fases distintas de desenvolvimento (Figura 3). A primeira fase foi caracterizada pelo crescimento quase linear ocorrido entre a emergência e o florescimento masculino (aproximadamente 81 DAE), enquanto a segunda fase caracterizou-se pela estabilidade da altura das plantas no período compreendido entre o florescimento masculino e o final do ciclo.

A altura de plantas das diferentes densidades de plantas não apresentou diferenças significativas, com média de 242 cm de altura (Figura 3 e Apêndice 3).

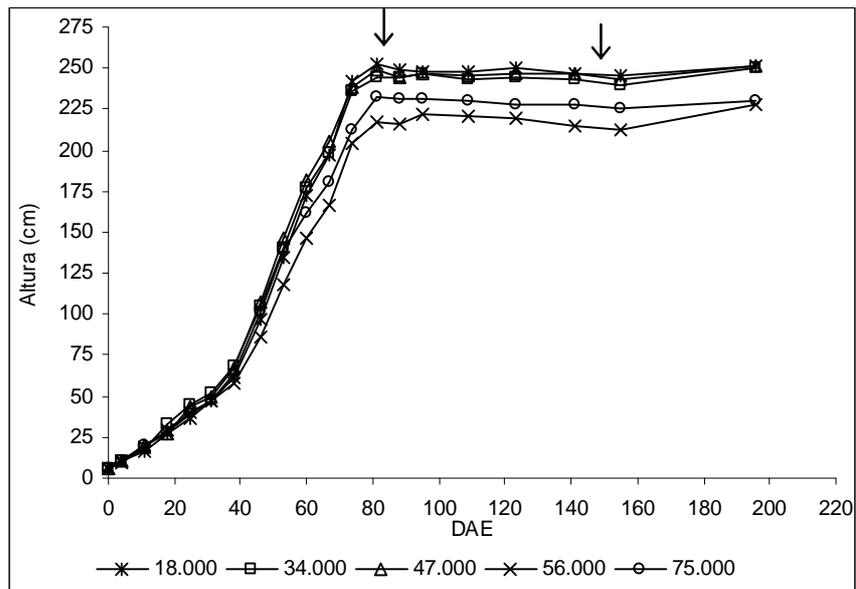


Figura 3. Altura de plantas em função do número de dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e maturação fisiológica.

Não houve diferenças quanto à altura de inserção da espiga, de plantas cultivadas diferentes densidades de plantas, sendo a altura média de inserção da espiga de 129 cm (Figura 4 e Apêndice 4).

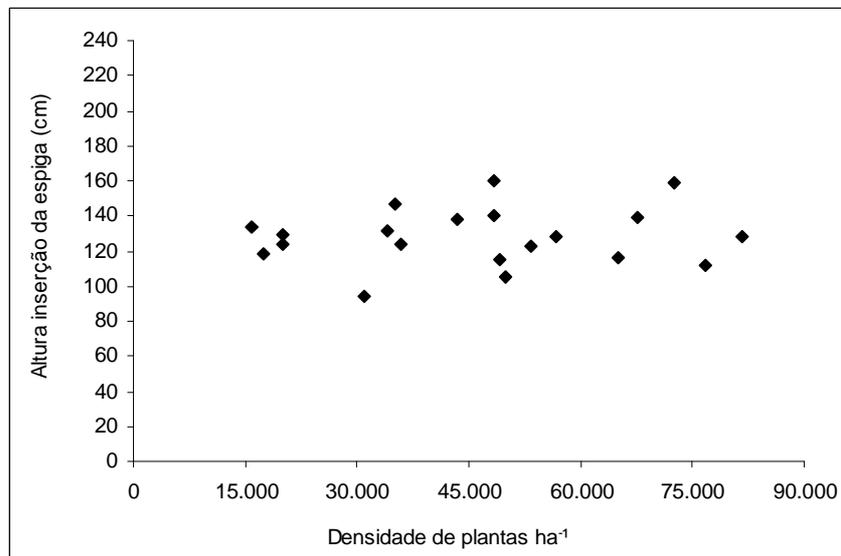


Figura 4. Altura de inserção da espiga em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

4.2.2 Diâmetro do colmo

Durante o cultivo da variedade MPA1 o comportamento do diâmetro do colmo caracterizou-se por ocorrer em duas fases distintas de desenvolvimento independentes das densidades de plantas. A primeira fase foi caracterizada pelo crescimento quase linear do diâmetro no período entre a emergência e o 53 DAE, enquanto a segunda fase caracterizou-se por uma pequena redução do diâmetro dos colmos seguida de uma estabilização até o final do ciclo (Figura 5).

O diâmetro do colmo a partir do 38 DAE foi afetado significativamente pelo efeito das densidades de plantas (Apêndice 5). Houve uma tendência significativa de diminuição do diâmetro com o aumento das densidades de plantas (Figura 6). Próximo ao florescimento (81 DAE) as populações contendo 18.000 plantas ha^{-1} apresentaram diâmetro médio de 32,8mm, enquanto populações com 75.000 plantas ha^{-1} apresentaram um diâmetro médio de 20,8 mm (Figura 5).

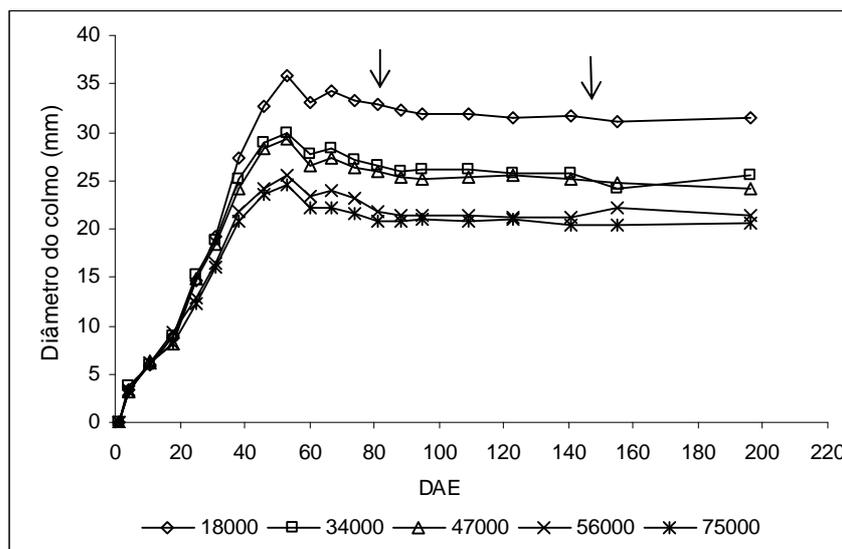


Figura 5. Diâmetro de colmo em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

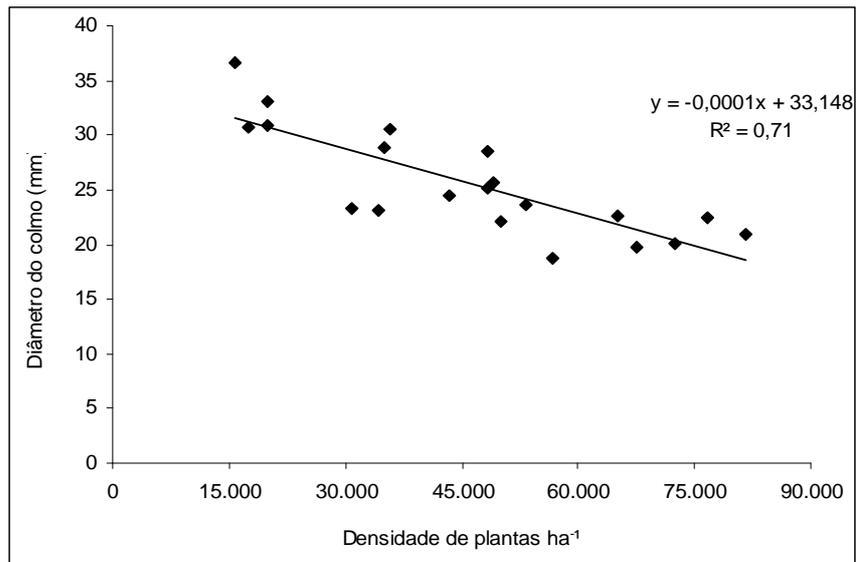


Figura 6. Diâmetro do colmo aos 109 DAE em função da densidade de plantas da variedade de milho MPA1.

4.2.3 Número de folhas expandidas

A taxa de emergência das folhas apresentou um crescimento linear até os 74 DAE (Figura 7). O total de folhas expandidas apresentou diferenças significativas entre as densidades. Esta diferença iniciou aos 31 DAE e manteve-se até o final do ciclo (Apêndice 6). Houve também uma tendência significativa de redução do número de folhas (22,5 para 21,1 folhas) com o aumento da densidade de plantas de 18.000 para 75.000 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 8).

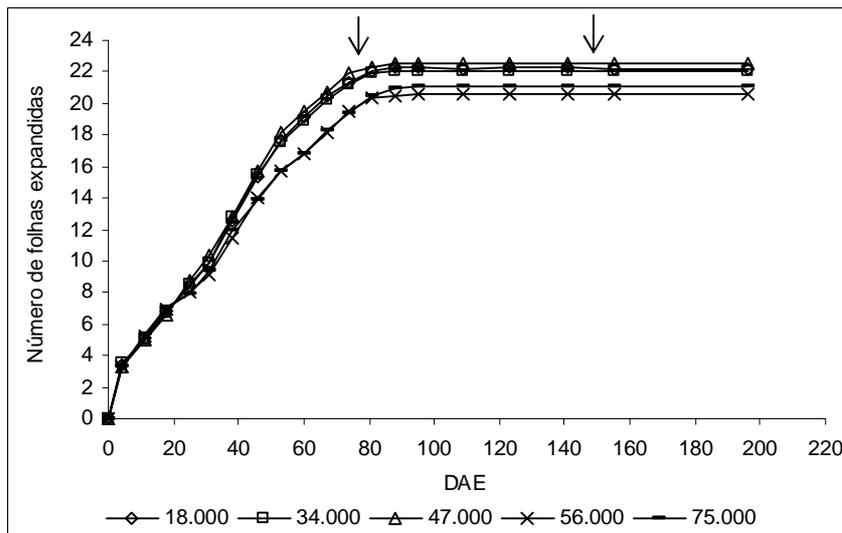


Figura 7. Número de folhas expandidas em função do número de dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

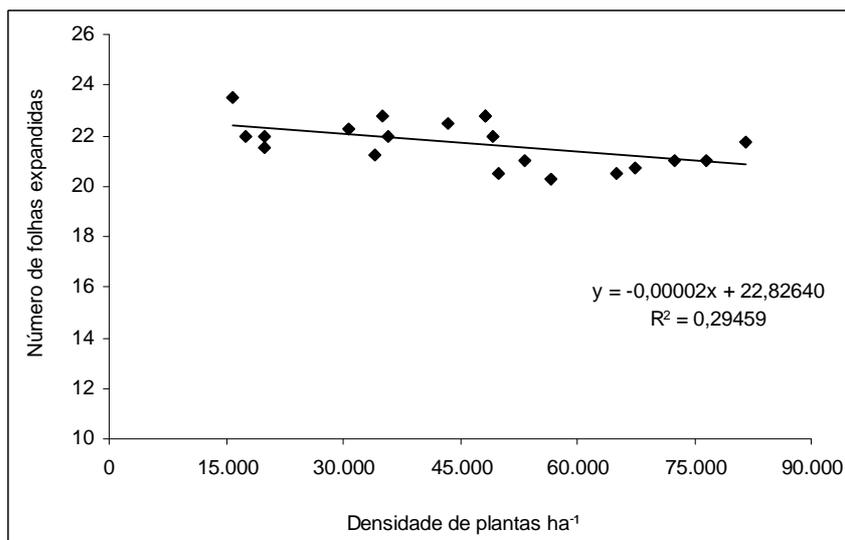


Figura 8. Número total de folhas expandidas aos 95 DAE em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

4.2.4 Ângulo foliar

As densidades de plantas não exerceram um efeito significativo sobre o ângulo foliar da primeira folha acima da espiga principal e da 12ª folha. O ângulo foliar médio da primeira folha acima da espiga principal foi de 23 graus (Figura 9A e Apêndice 7) enquanto o da 12ª folha foi de 18,7 graus (Figura 9B e Apêndice 7).

Entretanto, existe uma tendência não significativa de redução do ângulo foliar à medida que houve um aumento da densidade de plantas, especialmente para a 12^o folha (Figura 9B).

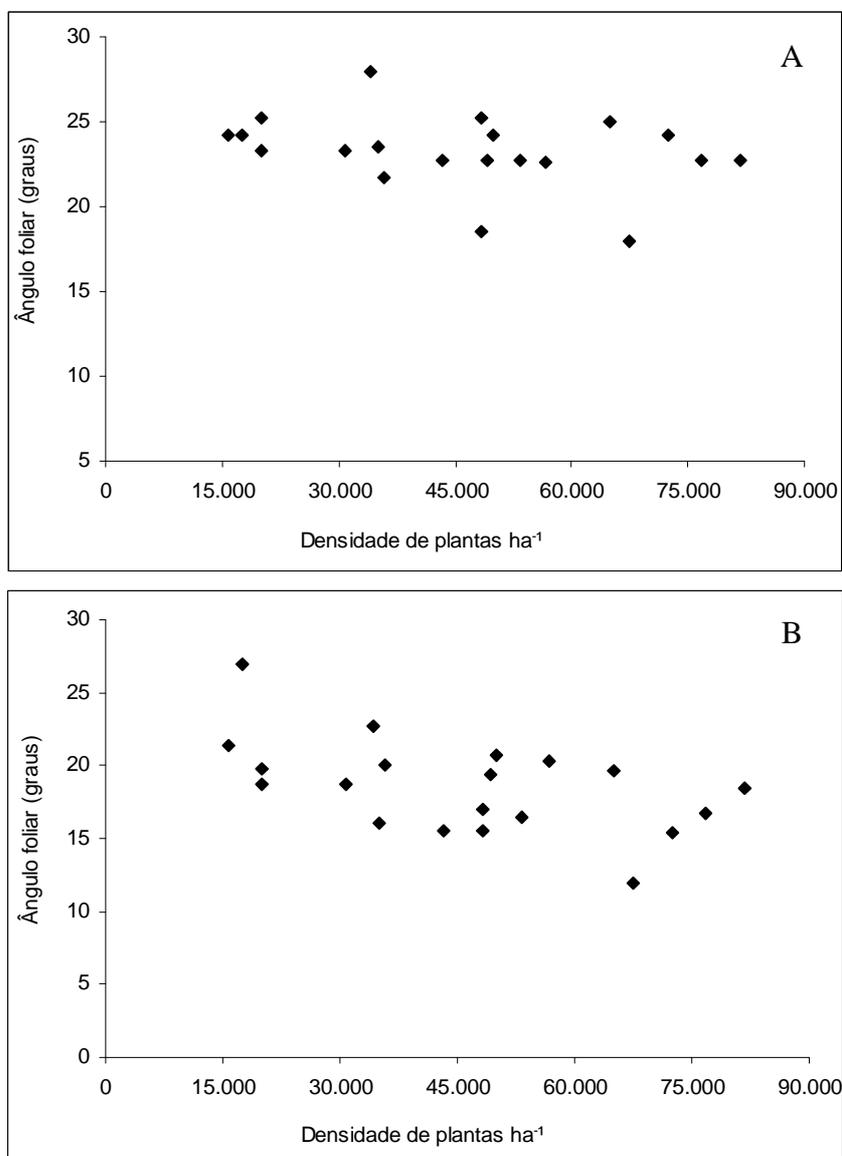


Figura 9. Ângulo foliar da primeira folha acima da espiga principal (A) e ângulo foliar da 12^o folha (B) em função da densidade de plantas da variedade de milho MPA1.

4.2.5 Área foliar

A área foliar individual foi afetada significativamente pelo efeito da densidade de plantas entre a 16^o e 20^o folha (Figura 10 e Apêndice 8). Houve

uma tendência significativa de redução da área foliar individual com o aumento das densidades (Figura 11).

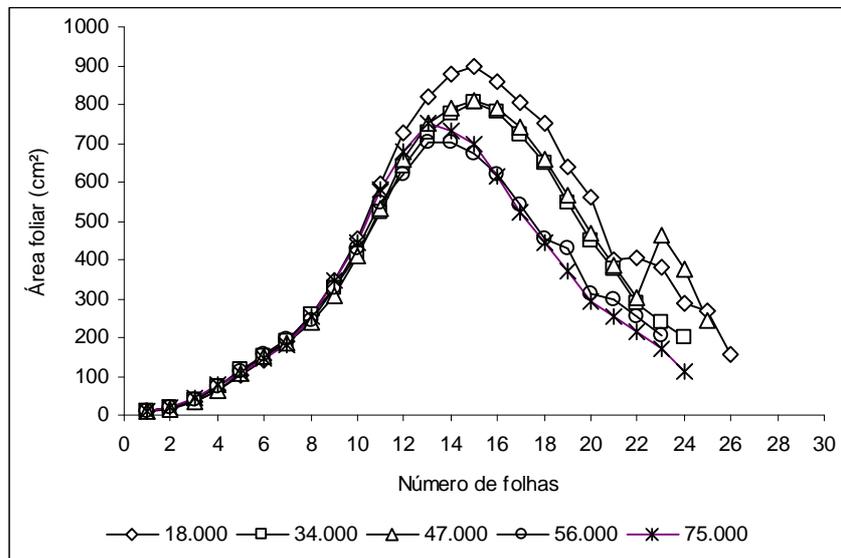


Figura 10. Área foliar individual em relação ao número de folhas da base ao topo do dossel vegetativo para diferentes densidades de plantas da variedade de milho MPA1.

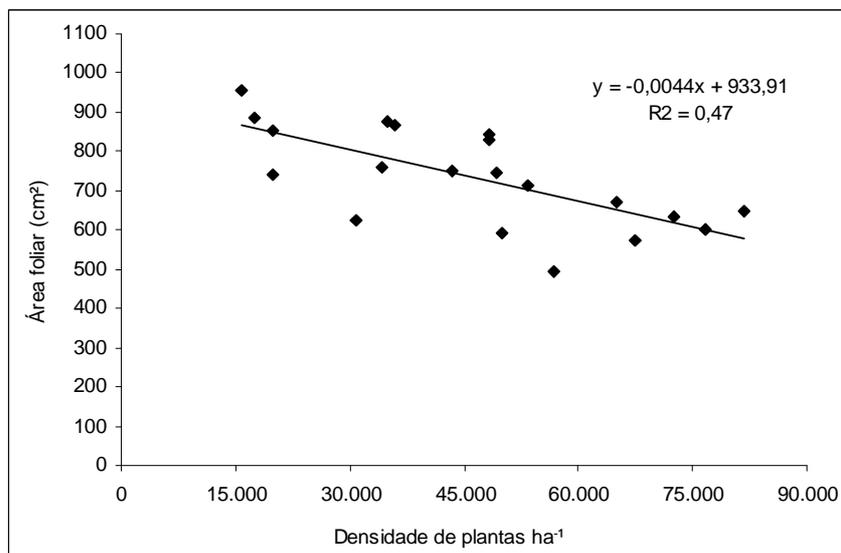


Figura 11. Área foliar individual da 16ª folha em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

O desenvolvimento da área foliar total por planta apresentou comportamento similar para as cinco densidades. Essa variável caracterizou-se por apresentar um lento crescimento entre a emergência e o 31 DAE, seguido de

um aumento dessa variável até próximo ao florescimento masculino (81 DAE) (Figura 12).

A área foliar total por planta apresentou diferenças significativas entre as densidades de plantas a partir dos 53 DAE indicando o início da competição intra-específica que se estendeu até o final do ciclo (Apêndice 9). Houve uma tendência significativa de redução da área foliar total por planta com o aumento das densidades (Figura 13).

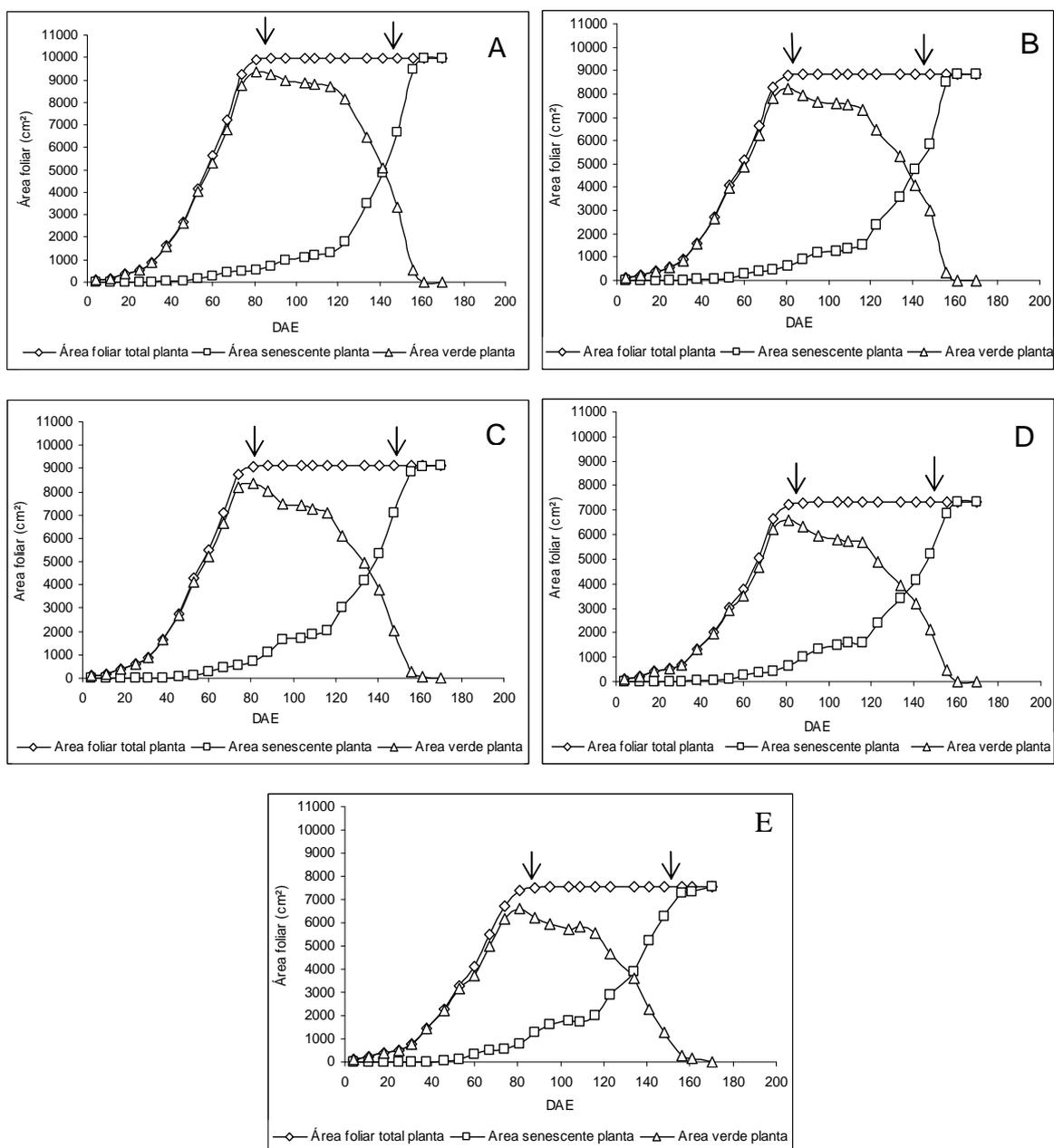


Figura 12. Área foliar total, verde e senescente por planta em função dos dias após a emergência nas densidades e 18.000(A), 34.000(B), 47.000(C),

56.000(D) e 75.000(E) plantas ha⁻¹ da variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e maturação fisiológica.

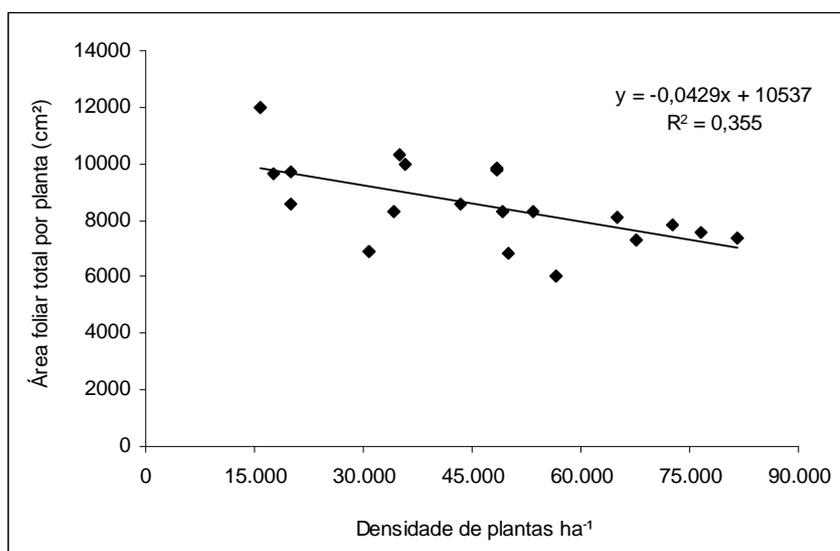


Figura 13. Área foliar total por planta aos 95 DAE em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

De uma forma geral para as cinco densidades o comportamento da área foliar verde por planta ao longo do cultivo caracterizou-se por apresentar 4 fases distintas (Figura 12). A primeira delas apresentou um lento crescimento da área foliar verde entre a emergência e o 31 DAE enquanto a segunda fase caracterizou-se por um desenvolvimento quase linear da área verde por planta até o florescimento masculino aos 81 DAE. Na terceira fase houve uma estabilização da área verde seguida de uma pequena queda, enquanto na quarta fase a área verde teve uma redução acentuada.

Diferenças significativas entre a área foliar verde por planta foram identificadas para as densidades de plantas a partir dos 53 DAE até os 134 DAE (Apêndice 10). Observou-se uma tendência significativa de redução da área foliar verde por planta com o aumento da densidade de plantas, sendo as maiores diferenças identificadas próximo ao florescimento masculino (Figura 14).

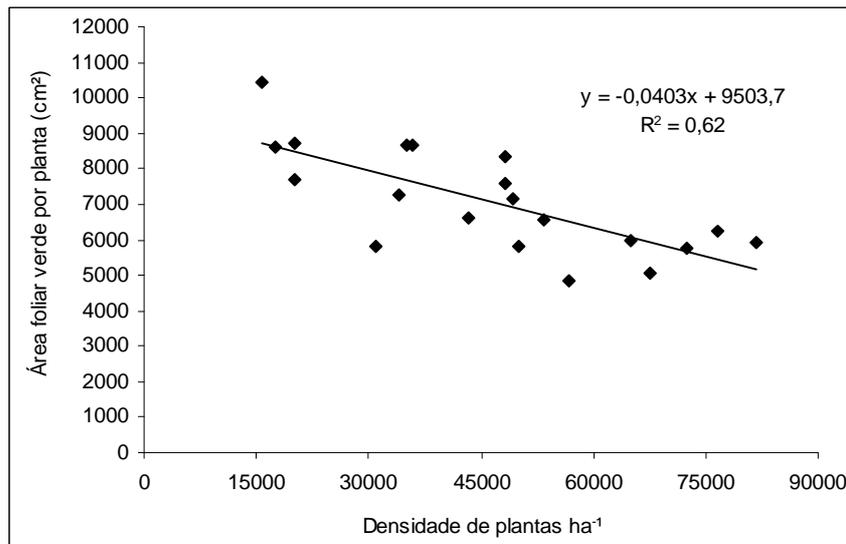


Figura 14. Área foliar verde por planta aos 104 DAE (próximo a florescimento) em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

A área foliar senescente por planta independente da densidade de plantas, apresentou três fases distintas de desenvolvimento durante o ciclo da variedade MPA1 (Figura 15). A primeira fase ocorreu entre a emergência e o 30º DAE caracterizando-se pela ausência de área foliar senescente nesse período. A segunda fase caracterizou-se pelo início da senescência foliar aos 31 DAE com um incremento dessa área senescente até aproximadamente os 116 DAE. A terceira fase caracterizou-se por apresentar um aumento acelerado da área foliar senescente por planta até o final do cultivo (Figura 12).

A área foliar senescente relativa por planta apresentou diferenças significativas entre as densidades de plantas a partir dos 67 DAE, mantendo-se até os 123 DAE (Figura 15 e Apêndice 11). Nesse período houve uma tendência significativa do aumento da área senescente relativa por planta com o aumento populacional (Figura 16).

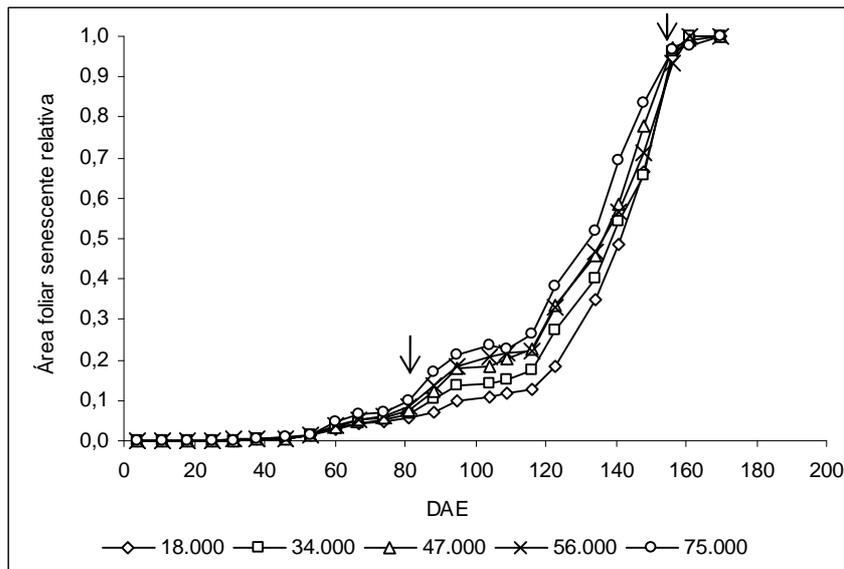


Figura 15. Área foliar senescente relativa por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica, respectivamente.

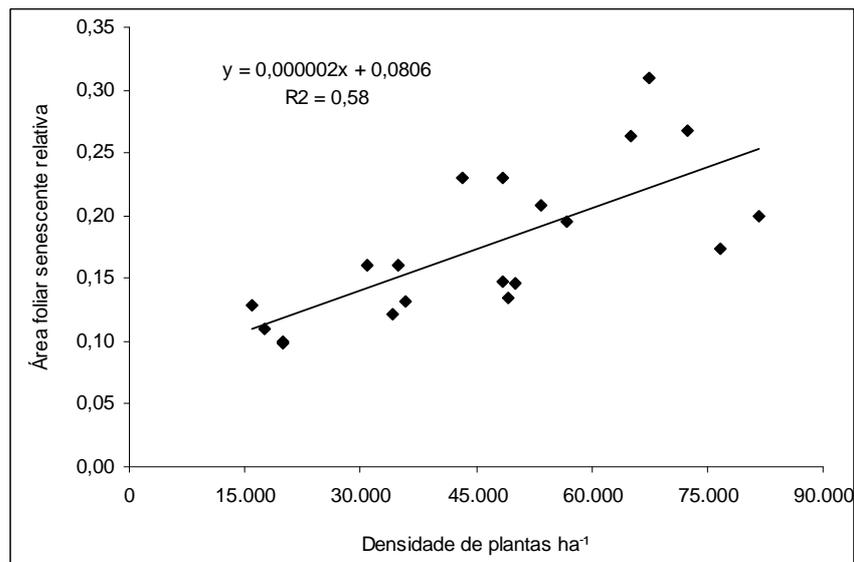


Figura 16. Área foliar senescente relativa por planta em função da densidade de plantas aos 104 DAE para a variedade de milho MPA1.

O índice de área foliar das densidades de plantas caracterizou-se por apresentar 4 fases de desenvolvimento ao longo do cultivo (Figura 17). A primeira delas apresentou um crescimento lento entre a emergência e o 31 DAE, enquanto a segunda fase iniciada após esse período teve um aumento quase linear até os 81 DAE, período em que obteve-se os índices mais elevados. Na terceira fase

houve uma estabilização do índice de área foliar, principalmente nas densidades menores, seguida de uma pequena queda até os 116 DAE, enquanto na quarta fase houve uma diminuição acentuada do índice de área foliar principalmente para as densidades mais altas.

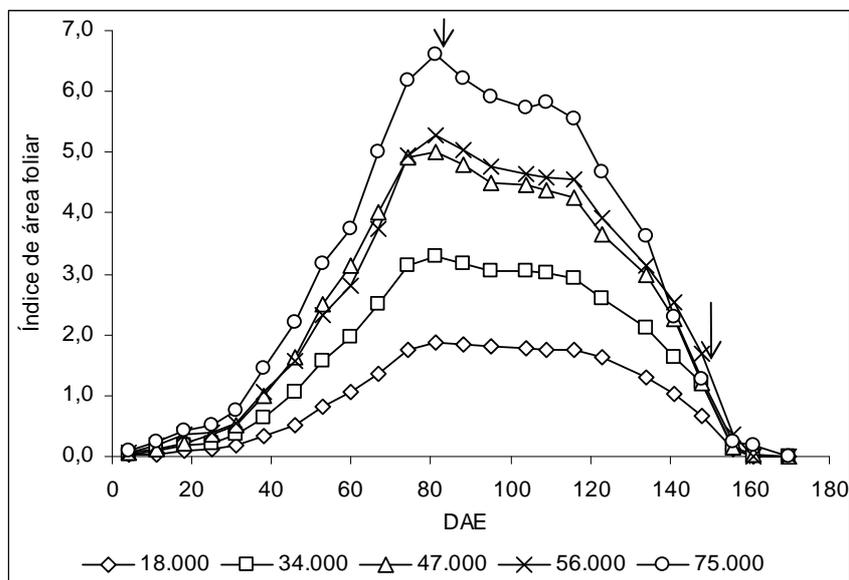


Figura 17. Índice de área foliar em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

O índice de área foliar das densidades de plantas apresentou diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Essas diferenças tiveram início no 4 DAE e mantiveram-se até os 134 DAE (Apêndice 12), havendo uma tendência significativa de aumento do índice de área foliar com o incremento da densidade de plantas (Figura 18).

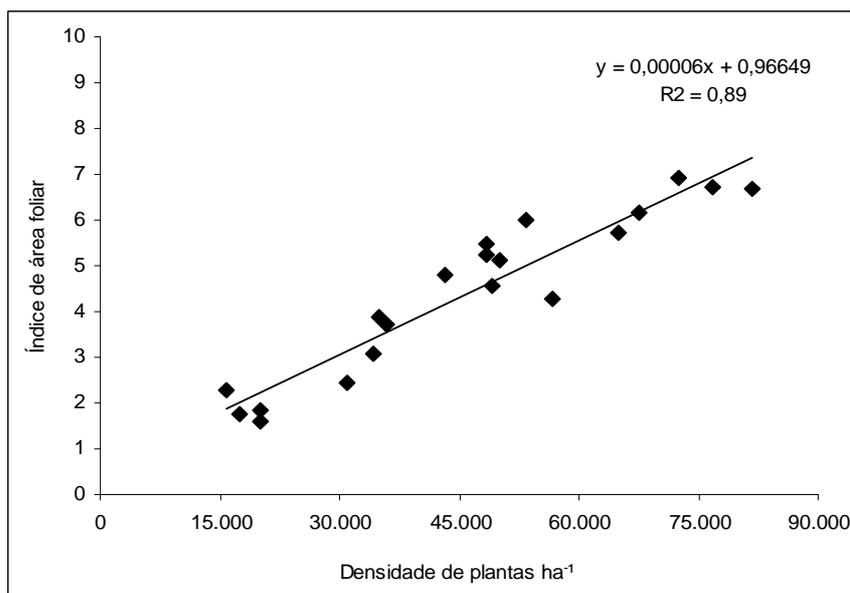


Figura 18. Índice de área foliar em função da densidade de plantas aos 79 DAE para a variedade de milho MPA1.

4.3 Resultados agrônômicos

4.3.1 Fitomassa total

A fitomassa produzida pela variedade MPA1 apresentou comportamentos diferenciados entre as densidades de plantas ao longo do cultivo (Figura 19). Contudo a fitomassa total foi determinada no estágio fenológico de grão leitoso aos 112 DAE pelo fato desse estágio aproximar-se do estágio de grão pastoso duro que segundo Souza (1989) é o ponto ideal de colheita do milho para a produção de silagem em função da quantidade de fitomassa produzida e da qualidade da fitomassa.

A fitomassa total produzida no estágio de grão leitoso apresentou diferenças significativas entre as densidades de plantas utilizadas. Porém segundo o teste de separação de média Duncan 5%, os tratamentos com 47.000, 56.000 e 75.000 plantas ha⁻¹ não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 5). Com a análise de regressão foi possível estabelecer a densidade ótima de 57.000 plantas ha⁻¹ para a variedade MPA1, que alcançou 15.725 kg ha⁻¹ de fitomassa (Figura 20).

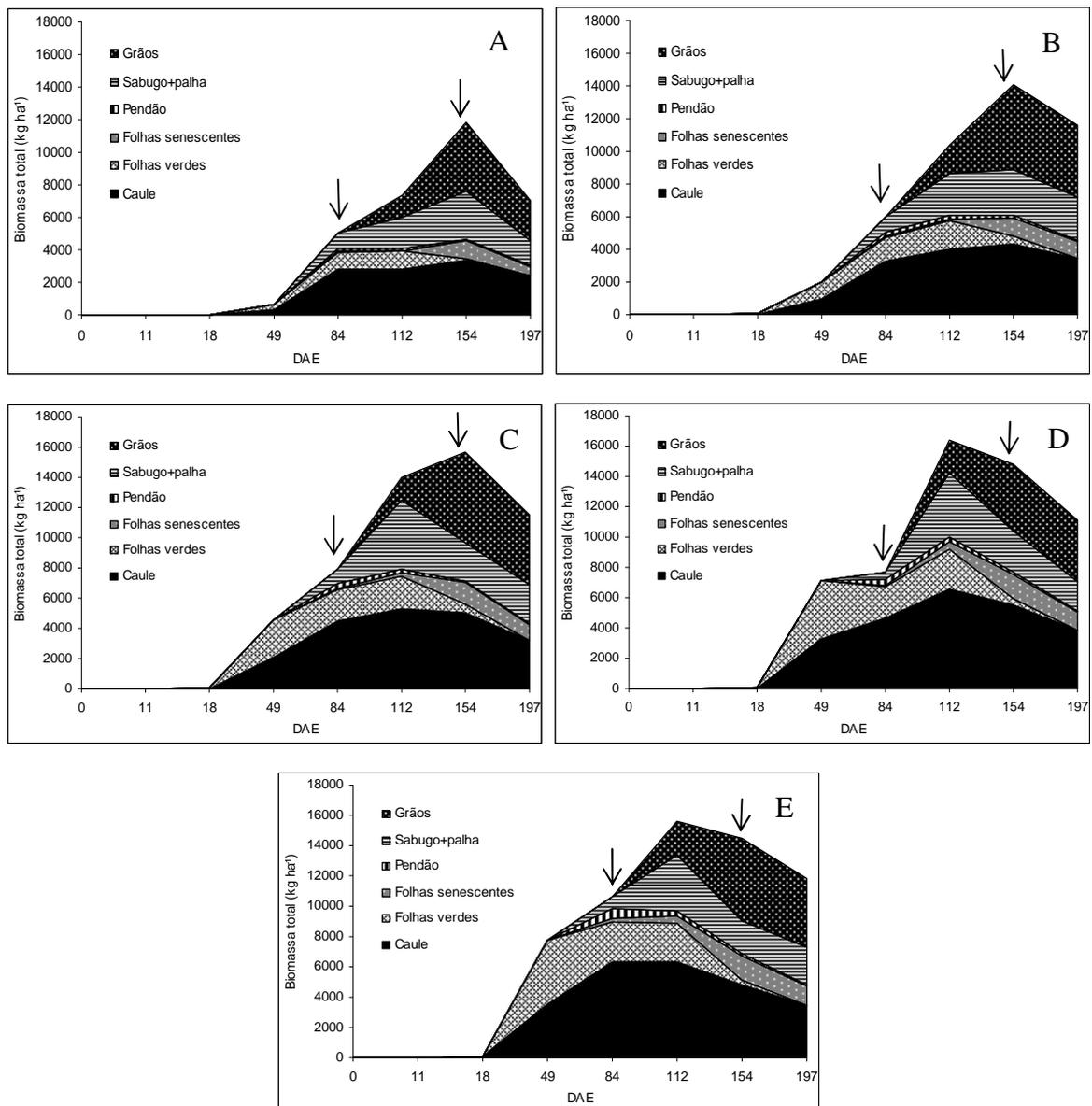


Figura 19. Fitomassa total (caule, folhas verdes, folhas secas, pendão, sabugo+palha e grãos) para a densidade de 18.000 (A), 34.000 (B), 47.000 (C), 56.000 (D) e 75.000 (E) plantas ha⁻¹ em função dos dias após a emergência da variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

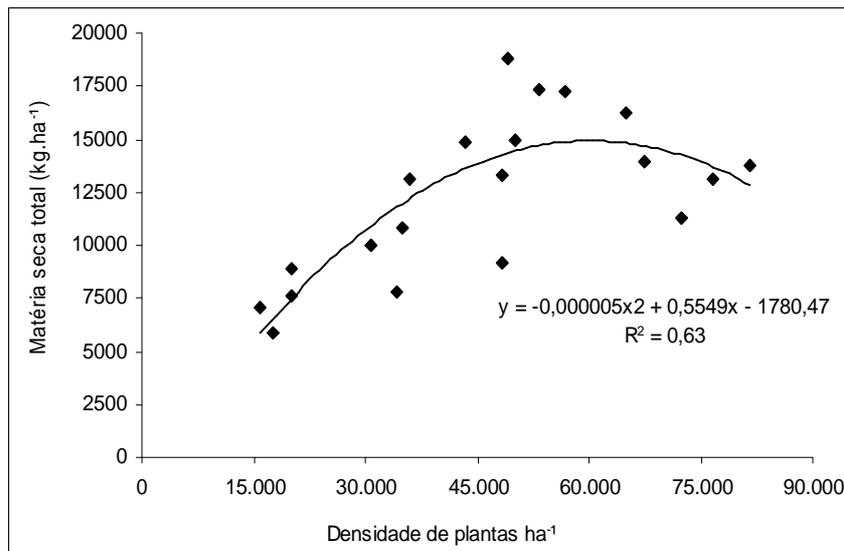


Figura 20. Fitomassa total em função da densidade de plantas aos 112 DAE para a variedade de milho MPA1.

A proporção de caule por planta não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos utilizados durante o ciclo (Apêndice 15), contudo ocorreram duas fases distintas de desenvolvimento independente dos tratamentos. A primeira fase foi caracterizada pelo aumento da proporção de caule por planta entre o início do desenvolvimento dos indivíduos até o florescimento masculino da variedade, aonde essa proporção representou 57% da fitomassa total das plantas. Na segunda fase houve um decréscimo da proporção de caule (após o florescimento masculino) que manteve-se até a colheita do material. Durante a maturação fisiológica das plantas a fitomassa dos caules representou 31% da fitomassa total das plantas (Figura 21).

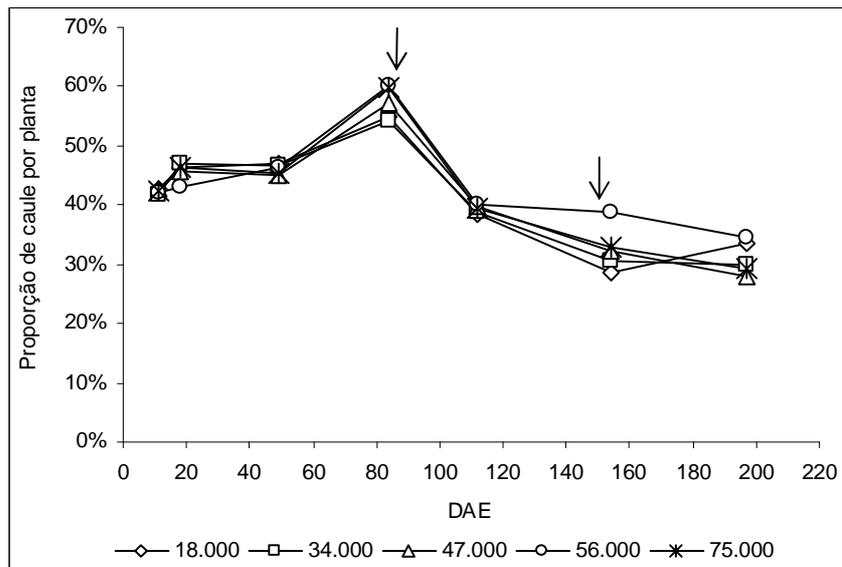


Figura 21. Proporção de caule por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

As densidades de plantas não apresentaram efeitos significativos quanto a proporção de folhas verdes nas plantas durante o ciclo da cultura (Figura 22 e Apêndice 17). Contudo a proporção dessas folhas verdes em relação a fitomassa total por planta variou ao longo ciclo pois, inicialmente a proporção das folhas verdes equivalia a 58% da fitomassa total das plantas havendo uma redução gradativa da proporção ao longo do cultivo. No florescimento masculino da variedade essa proporção foi reduzida representando 25% da fitomassa total das plantas. A redução na proporção de folhas verdes em relação à fitomassa total manteve-se até o final do cultivo.

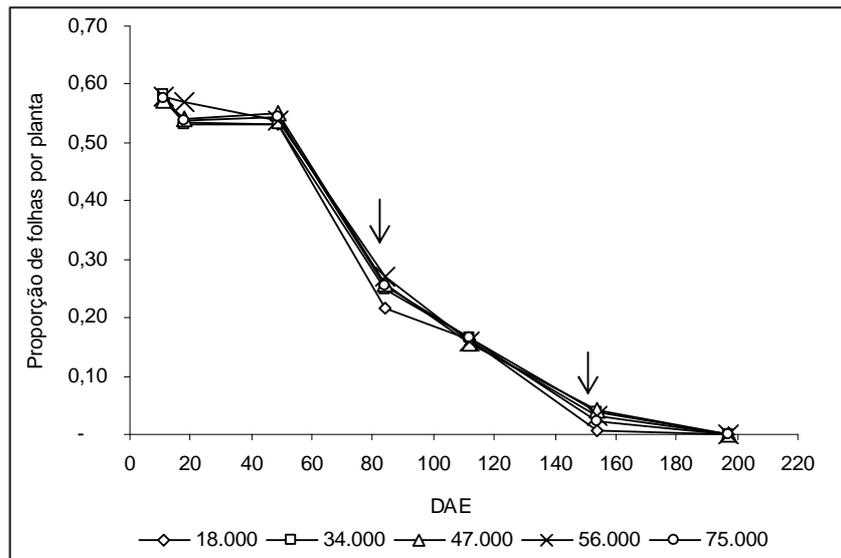


Figura 22. Proporção de folhas verdes por planta em função dos dias após a emergência para a variedade de milho MPA1. As setas indicam o florescimento masculino e a maturação fisiológica.

A densidade de plantas de plantas não exerceu efeitos significativos sobre o índice de colheita da variedade MPA1 (Apêndice 20). Para as cinco densidades utilizadas o rendimento médio de grãos obtido foi equivalente a 38% da fitomassa total produzida pelas populações, gerando um índice de colheita de 0,38 (Figura 23).

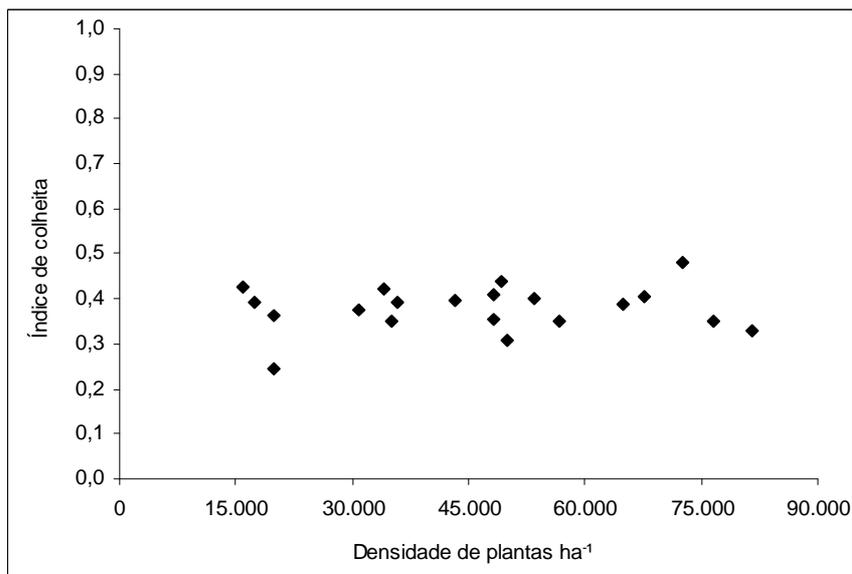


Figura 23. Índice de colheita em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

4.4 Efeito da densidade de plantas sobre o rendimento de grãos

4.4.1 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos da variedade MPA1 apresentou resultados significativos entre as densidades de plantas estudadas (Apêndice 20). Contudo, os tratamentos com 34.000, 47.000, 56.000 e 75.000 plantas ha⁻¹ não apresentaram diferenças significativas entre si, mas foram superiores ao rendimento do tratamento com 18.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 6). A partir da análise de regressão foi estabelecida a densidade ótima de 57.500 plantas ha⁻¹ para a variedade MPA1, que alcançou rendimento de 6.280 kg ha⁻¹ (Figura 24).

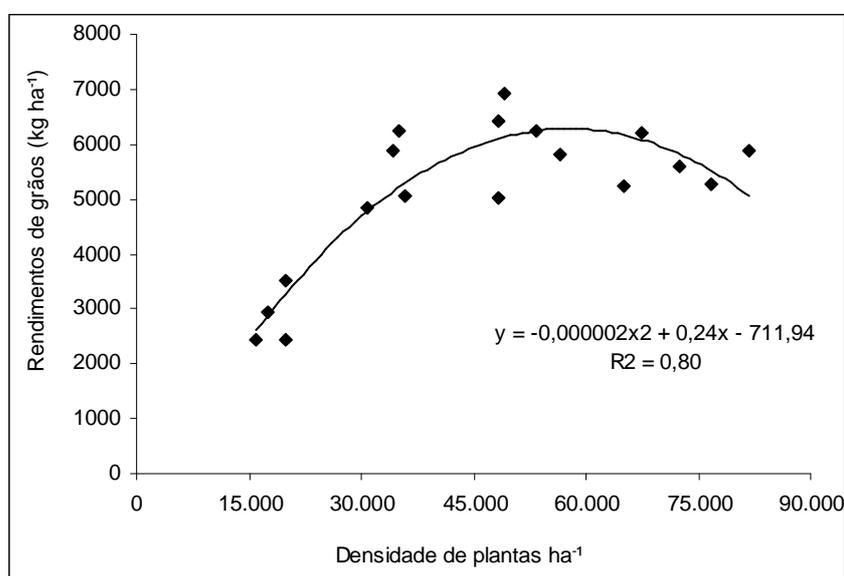


Figura 24. Rendimento de grãos em função da densidade de plantas para a variedade de milho MPA1.

O número de grãos por unidade de área na colheita (197 DAE) apresentou uma resposta quadrática diante das densidades de plantas estudadas (Apêndice 20). Houve um aumento do número de grãos por unidade de área com o aumento das densidades até a 60.600 plantas ha⁻¹, aonde obteve-se 1.765 grãos m⁻² (Figura 25).

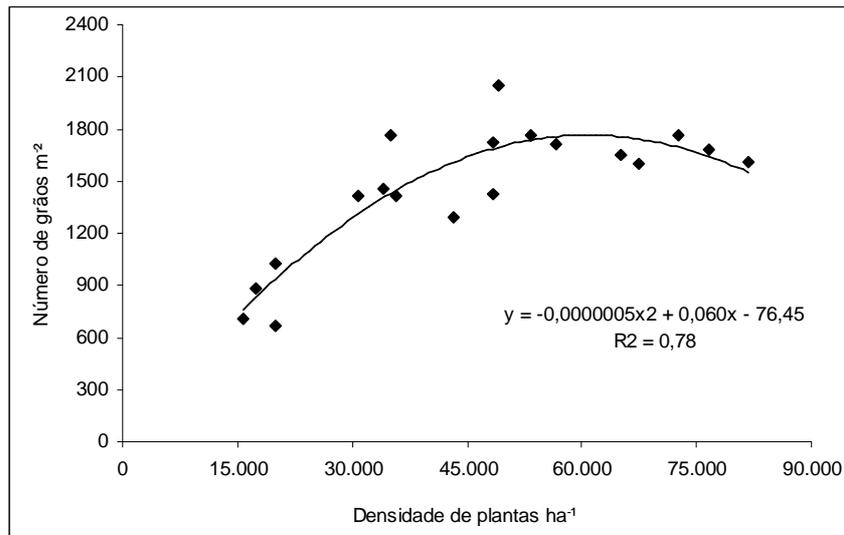


Figura 25. Número de grãos m⁻² em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.

O número de grãos espiga⁻¹ apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Houve uma tendência de diminuição do número de grãos espiga⁻¹ com o aumento das densidades (Figura 26 e Apêndice 20).

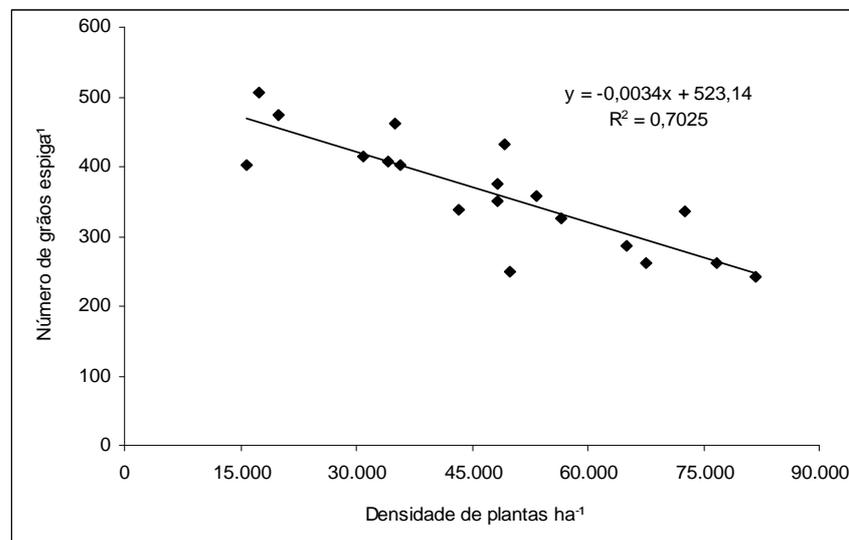


Figura 26. Número de grãos espiga⁻¹ em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.

Houve aumento significativo do número de espigas m⁻² em função do aumento das densidades de plantas (Figura 27 e Apêndice 20).

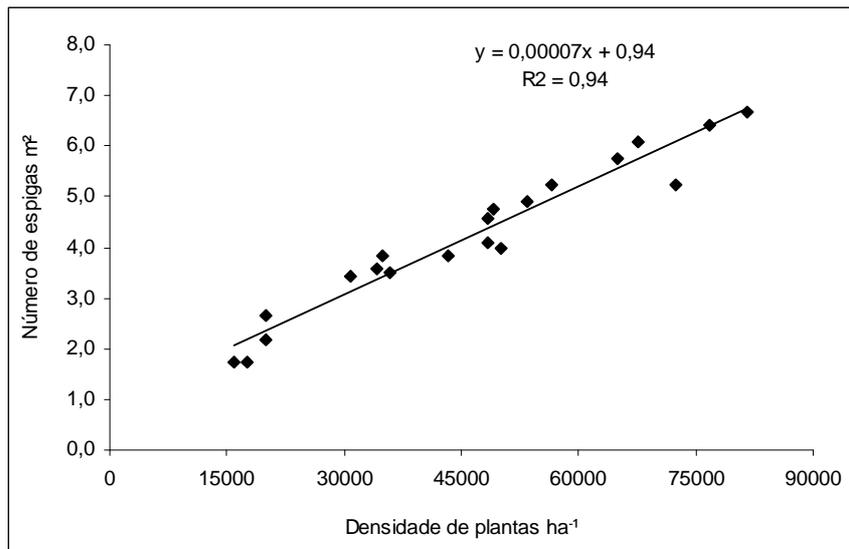


Figura 27. Número de espigas m² em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.

O número de espigas planta⁻¹ diminuiu significativamente com o aumento da densidade de plantas aos 197 DAE (Figura 28 e Apêndice 20).

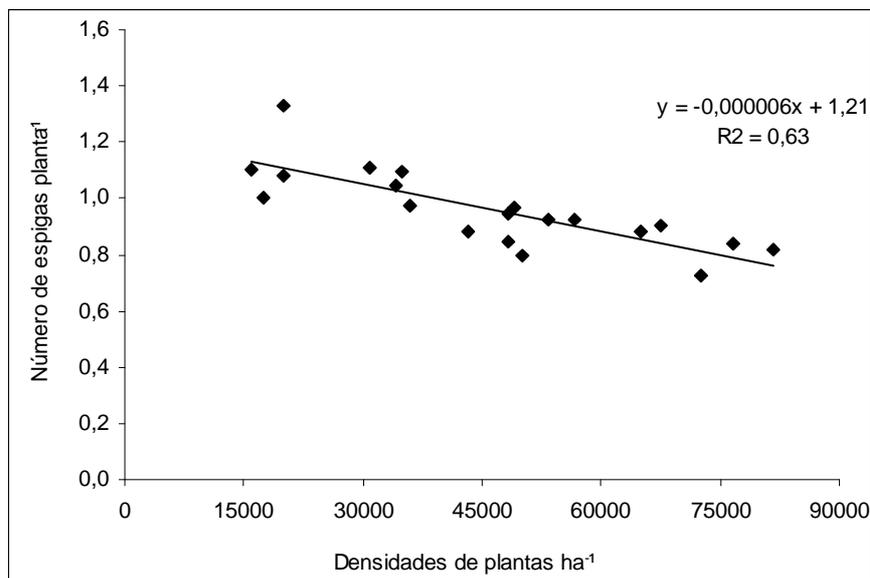


Figura 28. Número de espigas planta⁻¹ em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.

O peso de 1000 grãos aos 197 DAE apresentou diferenças significativas entre as densidades de plantas estudadas (Apêndice 20). Uma tendência

significativa de redução do peso de 1000 grãos foi identificada com o aumento das densidades de plantas.

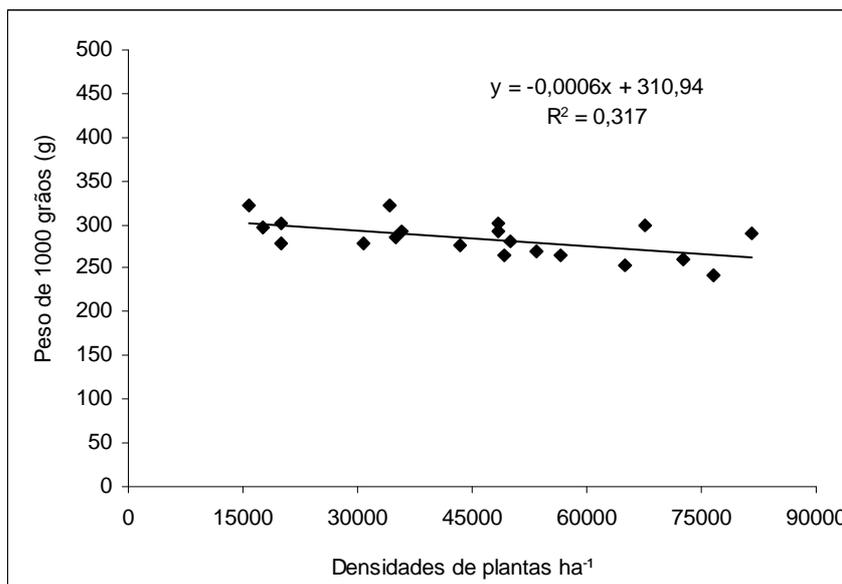


Figura 29. Peso de 1000 grãos em função da densidade de plantas aos 197 DAE para a variedade de milho MPA1.

4.5 Plantas espontâneas

Houve uma redução significativa da fitomassa das plantas espontâneas com o aumento da densidade de plantas (Figura 30 e Apêndice 21). Essa redução da fitomassa ocorreu aproximadamente até a densidade de 65.000 plantas ha⁻¹. A partir desta densidade ótima não houve uma redução significativa de fitomassa.

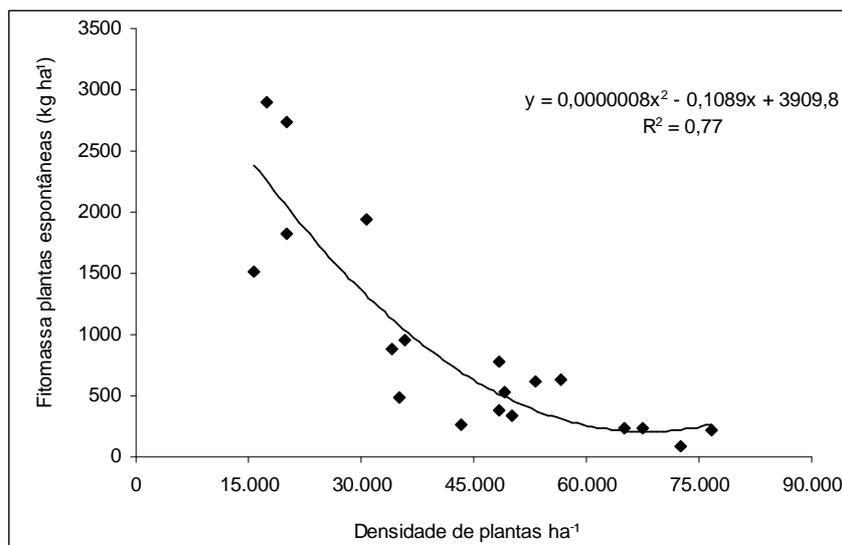


Figura 30. Fitomassa de plantas espontâneas em função da densidade de plantas aos 139 DAE para a variedade de milho MPA1.

4.6 Acamamento e quebra de plantas

As densidades de plantas apresentaram efeitos significativos sobre o acamamento e quebra de plantas aos 155 e 197 DAE (Apêndice 22). Houve uma tendência significativa de aumento do acamamento e quebra de plantas com o aumento das densidades (Figura 31 A e 31 B),

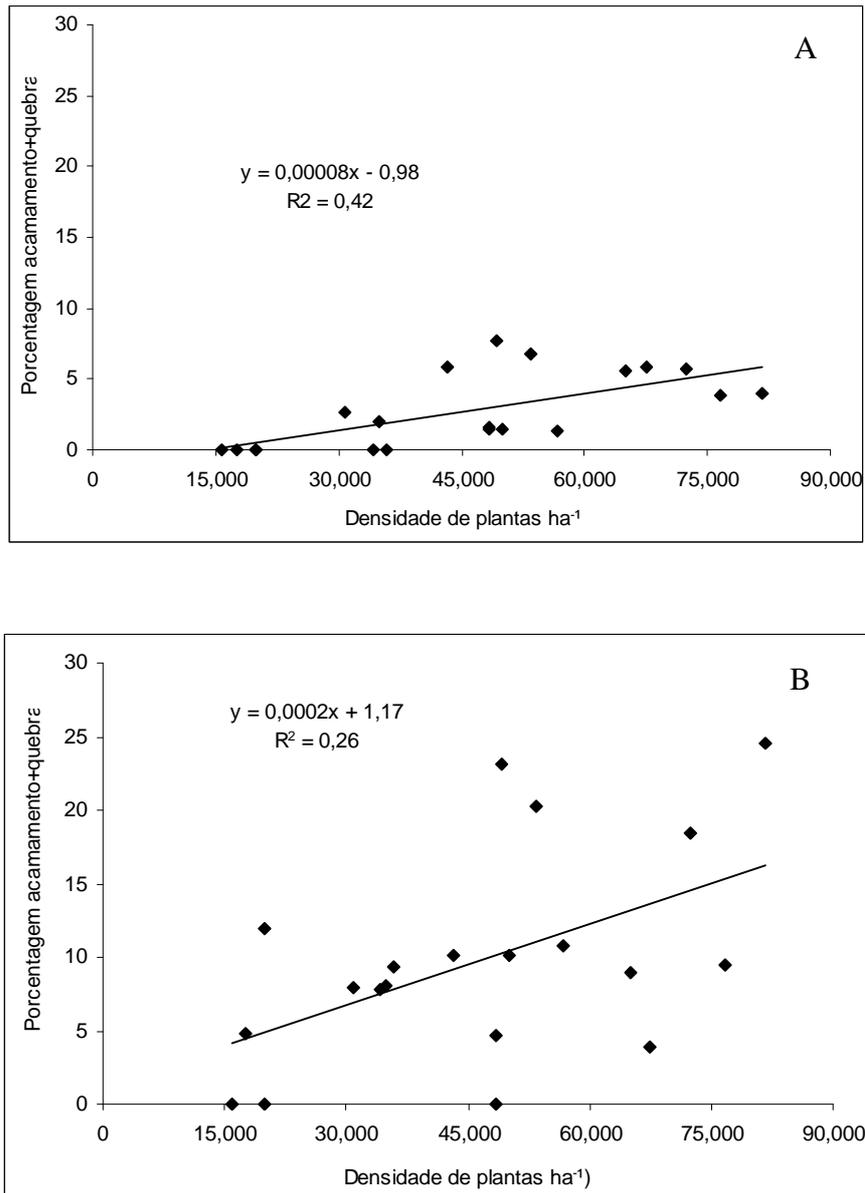


Figura 31. Porcentagem de acamamento e quebra de plantas em função da densidade de plantas aos 155 (A) e 197 (B) DAE para a variedade de milho MPA1.

5. Discussão

5.1 Efeitos da competição intra-específica nas plantas

A elevação na densidade de plantas proporcionou um aumento da competição intra-específica. Esse aumento da competição foi responsável por promover entre as densidades, uma redução significativa na quantidade de fitomassa produzida por planta durante o ciclo da cultura. Contudo, apesar do aumento populacional ter provocado alterações na fitomassa das plantas, as densidades não influenciaram na partição dessa fitomassa entre os órgãos da planta, tanto que, a proporção de caule por planta (Figura 21), a proporção de folhas por planta (Figura 22) e o índice de colheita da variedade (Figura 23) mantiveram-se inalterados.

Essa homogeneidade obtida entre os índices de colheita, possivelmente ocorreram, devido os efeitos das densidades testadas terem sido insuficientes para provocarem mudanças nesta variável, pois Hashemi et al. (2005), utilizando densidades entre 90.000 e 120.000 plantas ha⁻¹, identificaram uma redução significativa do índice de colheita com o aumento populacional. A ausência de efeitos da competição intra-específica das densidades testadas sobre o índice de colheita, provavelmente esta relacionada com o fato dessas densidades não terem promovido alterações nas taxas de crescimento das populações, pois segundo Pagano e Maddonni (2007), mudanças nas taxas de crescimento como consequência da competição intra-específica, resultam em alterações na partição da fitomassa e conseqüentemente em alterações nos índices de colheita. Dessa forma, a competição intra-específica causada pelas densidades influenciou significativamente a fitomassa produzida por planta, entretanto, não influenciaram na partição da fitomassa produzida entre os diferentes órgãos da planta.

A alteração causada na fitomassa produzida pelas plantas foi provocada pelo fato das densidades de plantas aumentarem a competição intra-específica, causando um empobrecimento ambiental em termos de recursos disponíveis por planta, comprometendo assim o crescimento e desenvolvimento dos indivíduos (Maddonni & Otegui, 2006). A competição intra-específica, além de promover o

declínio na fitomassa das plantas (Maddonni & Otegui, 2006) também é responsável por promover algumas alterações morfofisiológicas nas plantas (Cruz et al., 2006a).

Algumas alterações morfofisiológicas provocadas pelo aumento das densidades foram identificadas. Entre as variáveis morfofisiológicas que sofreram reduções pelo aumento da competição estão, o número de folhas expandidas por planta (Figura 7 e 8), o diâmetro do colmo (Figura 5 e 6), a área foliar total por planta (Figura 13), a área foliar individual (Figura 10 e 11) e área foliar verde por planta (Figura 12). Resultados similares provocados pelo aumento da competição intra-específica também foram encontrados por Modarres et al. (1998) para o número de folhas expandidas; Palhares (2003) e Sangoi et al. (2001a) para o diâmetro do colmo; Silva et al. (1999) para área foliar total por planta; Sangoi et al. (2002c), Maddonni et al. (2001) e Modarres et al. (1998) para área foliar individual e Borrás et al. (2003), Maddonni et al. (2001) e Durães et al. (1995) para área foliar verde por planta.

A área senescente relativa por planta também sofreu alterações com o aumento populacional, sendo que, essas alterações provocaram o aumento dessa variável ao longo do cultivo (Figura 15), da mesma forma como observado por Borrás et al. (2003) e Durães et al. (1995). Apesar do aumento das densidades de plantas terem sido responsáveis por algumas mudanças morfofisiológicas nas plantas, estas não foram capazes de promoverem alterações no ângulo foliar (Figura 9), na altura de plantas (Figura 3) e na altura de inserção da espiga (Figura 4).

5.2 Densidade de plantas ótima para a produção de silagem

Em Santa Catarina estima-se que cerca de 50.000 produtores estejam envolvidos com a atividade leiteira no estado (Marcondes, 2004). Entretanto do total produzido por esses agricultores, cerca de 70% da produção provém das propriedades rurais do oeste catarinense (Síntese... 2005), aonde a silagem durante o período de inverno, torna-se uma boa alternativa de alimento para a bovinocultura leiteira.

A variedade MPA1 utilizada neste estudo, esta entre as variedades que possuem como finalidade a produção de silagem na região do extremo oeste catarinense. A quantidade de fitomassa produzida por essa variedade (Figura 20) apresentou comportamento quadrático diante das densidades testadas, apresentando inicialmente um aumento das produtividades como consequência da elevação das densidades, até a densidade ótima de 57.500 plantas ha⁻¹. Este aumento inicial das produtividades provocada pela elevação das densidades até a densidade ótima de cultivo, também foram observados por Widdicombe & Thelen (2002), Cox (1996) e Hashemi et al. (2005) que obtiveram densidades ótimas superiores a obtida no presente estudo (88.900, 90.000 e 90.000 plantas ha⁻¹ respectivamente) pelo fato de utilizarem variedades melhoradas em seus trabalhos.

Esse comportamento da variedade MPA1 resultou do aumento das densidades elevarem os índices de área foliar (Figura 17 e 18) como também observado por Silva et al. (1999), Westgate et al. (1997), Cox, (1996) e Tollennar & Bruulsema, (1988), proporcionando as populações um aumento na interceptação da radiação incidente sobre os cultivos e conseqüentemente na transformação dessa radiação em fitomassa. Almeida et al. (2003), relataram a existência de uma correlação positiva entre a fitomassa e o índice de área foliar, de forma que Romano (2005) identificou um aumento linear da produção de fitomassa provocada pelo aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa nos cultivos.

Quando avaliadas as densidades superiores à densidade ótima de cultivo, verificou-se uma queda na produção da fitomassa, mesmo com as densidades supra-ótimas apresentando índices de área foliar superior. Isso significa que, com o aumento das densidades de plantas acima da densidade ótima estabelecida, aumentou-se a superfície de interceptação da radiação, no entanto, a eficiência com que as plantas converteram essa radiação em fitomassa foi reduzida, havendo uma sub-utilização dessa radiação. Manteith (1977) descreveu que a fitomassa produzida pelo milho é resultante da radiação interceptada pelas plantas e da eficiência no uso dessa radiação. Levando em consideração que a radiação interceptada pela variedade MPA1 aumentou em função do maior índice

de área foliar e a produção da fitomassa decresceu, provavelmente a eficiência no uso dessa radiação para a conversão em fitomassa foi reduzida. Tollenaar e Bruulsema (1988) confirmam essa redução, pois em seus estudos houve um aumento significativo da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas com o aumento das densidades de plantas (60.000 para 100.000 plantas ha⁻¹). Entretanto, os dados referentes à eficiência da conversão da radiação absorvida em fitomassa, sugerem diferenças pequenas de redução provocada pelo aumento das densidades utilizadas, demonstrando que a maior quantidade de radiação interceptada/absorvida não é necessariamente convertida em fitomassa (Tollenaar & Bruulsema 1988). A redução da eficiência de conversão da radiação interceptada para a formação da fitomassa de grãos também foi observada entre as densidades de plantas supra-ótimas utilizadas por Andrade et al. (1993).

5.3 Densidade de plantas e o rendimento de grãos

O rendimento de grãos na cultura do milho pode ser expresso segundo Sinclair (1998) em função da fitomassa produzida e do índice de colheita da variedade. Com base nesta informação e ao fato do índice de colheita (Figura 23) da variedade MPA1 não ter apresentado diferenças significativas entre as densidades de plantas utilizadas, conclui-se que o aumento do rendimento de grãos (Figura 24) ocorreu em resposta do aumento da fitomassa nas densidades maiores (Figura 20), e não devido à partição dessa fitomassa (Figura 19). Sendo assim, o comportamento da variedade associado ao aumento populacional, elevou o rendimento de grãos até a densidade ótima de 57.000 plantas ha⁻¹ (Figura 24), da mesma forma como observado por Hashemi et al. (2005), Flesch & Vieira (2004), Borghi et al. (2004), Palhares (2003), Sangoi et al. (2002c), Sangoi & Salvador (1996) e Tollenaar & Bruulsema (1988) até as densidades ótimas de 90.000, 73.955, 62.916, 60.000, 71.000, 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ respectivamente. Essa elevação dos rendimentos resultante do aumento da fitomassa produzida gerou um aumento do número de grãos por unidade de área (Figura 25), que foi o componente de rendimento responsável pelo aumento da produtividade de grãos. Massignam (2003); Sangoi et al. (2002c) e Cox (1996)

também descrevem o número de grãos como o componente de rendimento responsável pelo aumento do rendimento de grãos. Balbinot et al., (2005) relatam ainda, que além do número de grãos por área, outra variável relevante para determinação do rendimento de grãos nas variedades de polinização aberta é o número de grãos por fileira das espigas.

Em contrapartida o aumento da densidade de plantas acima da densidade ótima estabelecida, determinou um decréscimo do rendimento, provocado possivelmente pela diminuição do número de grãos por área (Figura 25) e pelo peso dos grãos (Figura 29). Segundo Carcová et al. (2002) essa redução do número de grãos por área possivelmente está associada ao aumento do intervalo entre o florescimento masculino e feminino provocado pelo aumento da densidade de plantas da variedade (Figura 1) como também observado por Tokatlidis & Koutroubas (2004), Sangoi et al. (2002a), Sangoi et al. (2001a) e Bolaños & Emeades (1996). Isso ocorre porque as populações mais adensadas apresentam uma diminuição acentuada da taxa de crescimento das gemas laterais em relação ao ponto de crescimento apical da planta (pendão), promovendo um aumento da defasagem temporal entre o pendão e a espiga (Sangoi, 2000, Sangoi & Salvador, 1996), comprometendo a fertilização e reduzindo o número de espiguetas fertilizadas, o que leva a diminuição do número de grãos por área (Sangoi et al., 2001a, Sangoi & Salvador, 1998).

A redução do peso de 1000 grãos provocado pelo aumento da densidade de plantas, também observado por Maddonni & Otegui (2006), Flesch & Vieira (2004), Norwood (2001), Echarte et al. (2000) e Cox (1996), provavelmente esta associada com a diminuição do período entre o florescimento feminino e a maturidade fisiológica das plantas (Figura 2), da mesma forma como identificado por Sangoi et al. (2002d). Nesse período, está compreendida a fase de enchimento dos grãos, aonde a redução no número de dias desta fase implica na diminuição do peso dos grãos (Sangoi et al., 2002a).

A porcentagem de plantas acamadas e quebradas apresentou um aumento significativo, da mesma forma como descrito por Borghi et al. (2004), Sangoi et al. (2001b), Sangoi et al. (2001a), provocado pelo aumento da densidade de plantas (Figura 31), que pode diminuir o rendimento e a qualidade dos grãos. O aumento

da densidade promoveu um aumento da competição intra-específica que resultou em uma diminuição do diâmetro do colmo (Figura 6). Segundo Sangoi et al. (2002b) essa diferenciação do diâmetro dos colmos resultou das plantas cultivadas em populações menores interceptarem maiores quantidades de radiação solar individual por folha, promovendo um incremento na capacidade fotossintética das plantas e gerando maior disponibilidade de fotoassimilados para a formação de compostos estruturais que minimizam a fragilidade dos colmos diferentemente das populações mais adensadas. Nas densidades maiores essa disponibilidade de fotoassimilados é menor, por isso tem-se a formação de colmos menores e mais frágeis. Além do diâmetro do colmo outras variáveis como a altura de plantas (Figura 3) e altura de inserção da espiga (Figura 4) também são relevantes para a compreensão do acamamento e quebra de plantas, devido ao pêndulo formado entre a planta (espiga) e o solo. Contudo para a variedade MPA1 essas variáveis não apresentaram alterações entre as densidades utilizadas.

Para a obtenção de uma boa produtividade de grãos e fitomassa com base no sistema agroecológico de cultivo, a densidade ótima estabelecida é de aproximadamente 57.000 plantas ha⁻¹. Entretanto essa condição é recomendada para agricultores que realizam seus cultivos em locais de alta fertilidade do solo e pouca restrição hídrica como as utilizadas neste experimento, pois, qualquer variação na fertilidade ou na disponibilidade hídrica, afeta a densidade ótima (Cruz et al., 2006a). Dessa forma, diante de condições aonde existam limitações de nutrientes e água, a densidade de plantas deve ser reduzida a fim minimizar a competição das plantas por esses recursos (Silva et al., 2006).

Além da densidade de 57.000 plantas ha⁻¹ ser recomenda para produção de grãos e fitomassa, também é indicada para o controle das plantas espontâneas, por aproximar-se da densidade ideal para o controle das plantas espontâneas nas entre fileiras (Figura 30). A utilização desta densidade permite aos agricultores a adoção de uma técnica de manejo mais econômica, racional e ambientalmente correta (Balbinot & Fleck, 2004).

5.4 Análise de correlação

As análises realizadas entre rendimento de grãos, fitomassa seca, morfologia e área foliar apresentaram correlações significativas (Apêndice 23). O rendimento de grãos apresentou correlação positiva com a fitomassa seca ($r=0,87$) demonstrando que a elevação da fitomassa esta associada aos ganhos no rendimento, da mesma forma como identificado por Tollenaar & Wu (1999); Sangoi & Salvador (1997) e Boukerrou & Rasmusson, (1990). O aumento da fitomassa segundo Sangoi & Salvador (1997) é relevante para determinar o aumento no rendimento de grãos, contudo, outra forma de aumentar o rendimento de grãos da-se através da elevação do índice de colheita de uma variedade (Sangoi & Salvador; Boukerrou & Rasmusson, 1990). O índice de colheita obtido pela variedade em estudo não apresentou correlação significativa com o rendimento de grãos, portanto, o aumento no rendimento de grãos foi devido exclusivamente ao aumento de fitomassa.

O aumento da fitomassa nos estudos de densidades populacionais ocorre em resposta ao aumento do índice de área foliar (Silva *et al.* 1999; Westgate *et al.* 1997; Cox, 1996 e Tollennar & Bruulsema, 1988). A elevação do índice de área foliar maximiza a interceptação da radiação solar (Almeida *et. al.*, (2003), de forma que esse aumento provocado gere o maior acúmulo de fitomassa seca por área (Silva *et al.*, 2006). A determinação do índice de área foliar de uma população está em função da área foliar total por planta e da densidade de plantas (Tollennar & Wu, 1999). A área foliar total por planta da variedade MPA1 não apresentou correlação alguma com o índice de área foliar, indicando que o aumento do índice de área foliar foi unicamente em função do incremento na densidade de plantas.

Como a fitomassa, o aumento no rendimento de grãos apresentou correlação positiva com o índice de área foliar ($r= 0.64$). O aumento do índice de área foliar, (aumento da interceptação da radiação solar) provocou um aumento no número de espigas por área ($r= 0.89$) e do número de grãos por área ($r= 0.68$). Tollennar & Wu (1999) descrevem o número de grãos por área e o número de espigas por área como as variáveis mais importantes para a determinação do

rendimento de grãos. O número de espigas por planta (TOLLENNAR & WU 1999) e peso de grãos também são apresentados como variáveis relevantes para determinação do rendimento, contudo, essas variáveis apresentaram correlação negativa com o índice de área foliar ($r = -0.85$ e -0.50 , respectivamente). Esse decréscimo das variáveis provocado pelo aumento do índice de área foliar também foi observado por Maddonni & Otegui (2006), Flesch & Vieira (2004), Norwood (2001), Echarte et al. (2000) e Cox (1996) sendo provocadas pelo aumento da competição intra-específica (Loomis & Connor 1992) nas altas densidades de plantas (Silva et al., 2006). Portanto, com o aumento do índice de área foliar o rendimento de grãos aumentou devido ao aumento do número de espigas por área e do número de grãos por área, por outro lado com o aumento do índice de área foliar reduziu-se o número de espigas por planta e peso de grãos, mas no balanço houve um aumento no rendimento de grãos.

O rendimento de grãos apresentou uma correlação positiva com a porcentagem de acamamento e quebra de plantas ($r = 0,48$). Essa relação ocorre em virtude do aumento da quantidade de fitomassa por área e do índice de área foliar apresentarem correlações negativas com o diâmetro do colmo ($r = -0.58$ e -0.71 respectivamente). O efeito de redução do diâmetro do colmo em indivíduos cultivados nas altas densidades ocorre porque nestas condições de alta competição os indivíduos investem preferencialmente seus fotossintatos em parte área (principalmente folhas) causando a redução dos componentes destinados à estruturação do colmo, levando há alterações no diâmetro e resistência deste órgão (Durães et al., 1995; Loomis & Connor 1992). Outro fator relevante que contribui para a redução do diâmetro e resistência do colmo é o fato das plantas, após o florescimento no enchimento dos grãos, sofrerem uma migração de suas reservas acumuladas do caule para os grãos (SILVA et al., 2006). Esta é uma forma de compensar a competição entre plantas, pois o índice de área foliar é maior nas altas densidades, em contrapartida a área foliar por planta é menor. Assim as plantas cultivadas em altas densidades compensam a demanda de fotossintatos através da migração de reservas do caule para os grãos e com isso temos o aumento do acamamento e quebra de plantas e redução do rendimento na fase de colheita.

6. Conclusões

- A utilização de diferentes densidades de plantas para a variedade MPA1 promoveu o aumento da competição intra-específica. Como consequência, houve uma redução da fitomassa por planta com o aumento da densidade de plantas, porém a densidade de plantas não teve efeito sobre a partição da fitomassa entre os órgãos.
- O aumento da competição intra-específica em densidades maiores promoveu modificações morfofisiológicas nas plantas, como a redução do número de folhas, do diâmetro do colmo, da área foliar total por planta, da área individual das folhas, da área foliar verde por planta e do aumento da área senescente relativa por planta.
- A competição intra-específica causou mudanças na fenologia das plantas, aumentando o sub-período entre a emergência e o florescimento masculino e feminino da variedade, aumentando o intervalo entre os florescimentos e reduzindo o período entre o florescimento feminino e maturação fisiológica.
- A densidade ótima para produção de grãos e fitomassa para silagem foi de 57.000 plantas ha⁻¹, sendo que a variação do rendimento de grãos em função da densidade de plantas foi devido principalmente à variação da fitomassa, pois o índice de colheita não teve efeito significativo entre as densidades de plantas.

7. Referências bibliográficas

ALVES, A. C.; VOGT, G. C.; FANTINI, A. C.; OGLIARI, J. B.; MARASCHIN, M. **Variedades locais de milho e a agricultura familiar do extremo oeste catarinense**. In. CANCI, A., VOGT, G. A., CANCI, I. J. A diversidade das espécies crioulas em Anchieta – SC. São Miguel do Oeste, 2004a. p.67-76.

ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; VOGT, G. C.; CANCI, A.; BALBINOT, A. A. Jr., FONSECA, J. A. **Milho crioulo: rendimento de grãos e características agronômicas**. In. CANCI et al. 2004. A diversidade das espécies crioulas em Anchieta – SC. São Miguel do Oeste, 2004 b. p.87-94.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; NAVA, I. C.; GALIO, J.; TRENTIN, P. S.; RAMPAZZO, C. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência Rural**. v. 33, p.189-194, 2003.

ALMEIDA, M.L.; MEROTTO, A.; SANGOI, L. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**. v.30, n.1, p.23-29, 2000.

ANDRADE, F. H.; UHART, S. A.; FRUGONE, M. I. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: Shade versus plant density effects. **Crop Science**. v.33, p.482-485, 1993.

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

BALBINOT, A. A. Jr.; ALVES, A. C.; FONSECA, F. J. da. Densidade de plantas em variedades de polinização aberta de milho sob cultivo agroecológico.. V Reunião Técnica catarinense de milho e feijão. Resumo expandido. Chapecó, 2005, p.82-86.

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

BALBINOT, JR, A.; BACKES, R. L.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FONSECA, J. A. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista brasileira de agrobiologia**. v.11, n. 2, p. 161-166, 2005.

BALBINOT, A. A. Jr.; FONSECA, F. J. da.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FANTINI, A. C.; MARASCHIN, M. Características de plantas, acamamento e quebra do colmo em variedades de polinização aberta de milho. Reunião técnica catarinense de milho e feijão. Resumo expandido. Lages, CAV UDESC, 2003, p.160-164.

BOLAÑOS, J.; EMEADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**. v.48, p. 65-80, 1996.

BORGHI, E.; MELLO, L. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.26, n.3, p.337-345, 2004.

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

BOUKERROU, L.; RASMUSSEN, D. C.; Breeding for high biomass yield in spring Barley. **Crop Science**. Madison. V. 30, p.31-35, 1990.

CANCI, A.; VOGT, G. A.; CANCI, I. J. **A diversidade das espécies crioulas em Anchieta – SC**. São Miguel do D'Oeste, 2004. 112p.

CANCI, A. **Sementes crioulas: Construindo soberania na mão do agricultor**. São Miguel D'Oeste, 2002.160p.

CENSO AGROPECUÁRIO 1995/1996. **Estabelecimento por grupos de área total. Santa Catarina, Brasil**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 de outubro de 2005.

CIASC. **Centro de Informática e Automação de Santa Catarina**. Disponível em: www.mapainterativo.ciasc.gov.br/sc. Acessado em: 14 de setembro de 2005.

CLEMENTS, H. F. **Interactions of factors affecting yield**. Hawaii Agricultural Experiment Station. n.653, p.409-442, 1963.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 15 de setembro de 2005.

COSTA, A. S. V. da.; GALVÃO, E. R.; SILVA, M. B.; PREZOTTI, L.; RIBEIRO, J. M. O. Densidades Populacionais de milho na região do Vale do Rio Doce. **Revista Ceres**. v.52, p.33-34, 2005.

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

CRUZ, J. C.; PEREIRA, I. A.F.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO, M. M. N.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. Embrapa milho e sorgo. Sete Lagoas MG. EMBRAPA. **Circular técnica** n.87, p.12, 2006a.

CRUZ, F. T da; BATISTA, M. A.; MONTEIRO, F. RIEG, F.; SILVA, J. da; HEINZEN, T. SCHMIDT, L. Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade no município de Anitápolis. In: KIST, V.; SANTOS, K. L. **Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade**. Florianópolis-SC, 2006b, p.57-68.

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

DROUET, J. L.; MOULIA, B. Spatial re-orientation of maize leaves affected by initial plant orientation and density. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.88, p.85-100, 1997.

DURÃES, F. O. M., MAGALHÃES, P. C., GAMA, E. E. G., OLIVEIRA, A. C. de. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.355-361, 2005.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; COSTA, J. D.; FANCELLI, A. L. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento do milho em semeadura tardia (safrinha) no Brasil central. **Scientia Agricola**. v.52, p.491-501, 1995.

DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-Green Revolution Trends in Yield Potential of Temperate Maize in the North-Central United States. **Crop Science**. V.39, p.1622–1630, 1999.

ECHARTE, L.; LUQUE, S.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O.; CIRILO, A.; OTEGUI, M. E.; VEJA, C. R. C. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**. v.68, p.1-8, 2000.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**. Disponível em: www.cnpms.embrapa.br. Acesso em: 16 de setembro de 2005.

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

FELLNER, M., HORTON, L. A., COCKE, A. E. STEPHENS, N. R. FORD, E. D., Light interacts with auxin during leaf elongation and leaf angle development in young corn seedlings. **Planta**. v.216, p.366-376, 2003.

FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamentos e densidades de milho como diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**. v.34, p.23-51, 2004.

GARDIOL, J. M.; SERIO, L. A.; DELLA MAGGIORA, A. I. Modelling evapotranspiration of corn (*Zea mays*) under different plant densities. **Journal of Hydrology**. V.271, p.188–196, 2003.

GOULART, S.; GUGEL, G. Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade no município de palmitos. In: KIST, V.; SANTOS, K. L. **Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade**. Florianópolis, 2006. p.31-39.

HARLAN, J. R. **Crops and Man**. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison Wisconsin, 295p. 1975.

HASHEMI, A.; HEBERT, S. J.; PUTMAN, P. H. Yield response of corn to crowding stress. **Agronomy Journal**. v.97, p.839-846, 2005.

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

JARVIS, D. I.; MYER, L.; KLEMICK, H.; GUARINO, L.; SMALE, M.; BROWN, A. D. H.; SADIKI, M.; SHAPIT, B.; HODGKIN, T. A **Training Guide for In situ Conservation On farm**. IPGRI, Roma, 193p, 2000.

KAMARA, A. Y.; MENKIR, FAKOREDE, M. A. B. AJALA, S. O.; BADU-APRAKU, B.; HUREH, I. Agronomic performance of maize cultivars representing three decades of breeding in the Guinea Savanas of West and Central Africa. **Journal of Agricultural Science**. v.142, p.567-575, 2004.

KINIRY, J. R.; KNIEVEL, D. P. Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. **Agronomy Journal**. v.87, p.228-234, 1995.

KIST, V. **Seleção recorrente de famílias de meios-irmãos em população composta de milho procedente de Anchieta – SC**. 2006. 150p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006a.

KIST, V.; GUEDINI, O.; CARLESSI, A.; RISSO, F. A. Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade nos municípios de São Lourenço do Oeste, Novo Horizonte e São Bernadinho. In: KIST, V.; SANTOS, K. L. **Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade**. Florianópolis, 2006b. p.41-56.

KIST, V.; DALTÓE, E.; BRUNETTE, D. R. Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade no assentamento conquista da fronteira, município de Dionísio Cerqueira. In: KIST, V.; SANTOS, K. L. **Estratégias participativas de manejo da agrobiodiversidade**. Florianópolis, 2006c. p.11-20.

LAUS NETO, J. A.; PUNDEK, M.; RIGO, P. H. POLA, A C. **Inventário das terras da Estação Experimental de Campos Novos**. Florianópolis. Epagri, 58p, 1999.

LINDQUIST, J. L.; ARKEBAUER, T. J.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. **Agronomy journal**. v.97, p.72-78, 2005.

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D. J. Crop ecology. **Productivity and management in agricultural systems**. Cambridge University Press. p.538, 1992.

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

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

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops research**. v.48, p.81-87, 1996.

MARCONDES, T. Produção leiteira em Santa Catarina – Situação atual e perspectivas. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.17, n.13, p.20-23, 2004.

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

MASSIGNAM, A. M. **Quantifying Nitrogen Effects on Crop Growth Processes in Maize and Sunflower**., 2003. 233p. Tese (Doutorado) - The University of Queensland, Australian, Brisbane, 2003.

MENDES, R. M. de S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; PITOMBEIRA, J. B. Alterações na relação fonte-dreno em feijão de corda submetido a diferentes densidades de plantas. **Revista Ciência Agronômica**. v.36, n.1, p.82-90, 2005.

MODARRES, A. M.; HAMILTON, M. D.; DWYER, L. M.; STEWART, D. W.; MATHER, D. E.; SMITH, D. L. Plant population density effects on maize inbred lines grown in short-season environments. **Crop Science**, v.38, p.104-108, 1998.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Descritores mínimos do milho** (*Zea mays* L.). Sistema de proteção de cultivares. Publicado no diário oficial da união. 13p, 1997.

NORWOOD, C. A. Dryland corn in Western Kansas: Effects of hybrids maturity, planting date and plant population. **Agronomy journal**. v.93, p.540-547, 2001.

OTEGUI, M.; SLAFER, G. A. Increasing cereal yield potential by modifying developmental traits. **Crop Science Congress**. Brisbane, Austrália. 2004.

OTEGUI, M. E. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II. Plant population effects. **Crop Science**. v. 37, p. 448-455. 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Ed. Guanabara. 434 p. 1986.

PAGANO, E.; MADDONNI, G. A. Intra-especific competition in maize: Early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. **Field Crops Research**. v.15, p.306-320, 2007.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V . P.; MASSIGNAM, A M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R. **Atlas climáticos digital do Estado de Santa Catarina** (CR – Rom). Epagri. Florianópolis, 2002.

RITCHIE, W. S.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a Planta de Milho se desenvolve. **Potafos**. n.15, p.1-20, 2003.

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura do milho com plantas de arquitetura contrastantes: Parâmetros para modelos de crescimento**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em agronomia) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SANGOI, L.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M.; SILVA, P. R. F. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas à população de plantas e despendoamento. **Ciência Rural**. v.36, p.1367-1373, 2006a.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; SILVA, A. L. da.; ERNANI, P. R.; HORN, D.; STRIEDER, M. L.; SCHIMITT, A.; SCHWEITZER, C. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.5, n.2, p.218-231, 2006b.

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

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**. v. 61, n.2, p.101-110, 2002a.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P.; HORN, D. Maize stalk sustainability in maize hybrids from different eras as affected by plant density. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 2002b.

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

SANGOI, L.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.3, p.259-267, 2002d.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; LECH, V. A.; GRACIETTI, L. C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**. v.58, n.2, p.271-276, 2001a.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas ao aumento da densidade de plantas. In. Reunião Técnica catarinense de milho e feijão. Resumo expandido Chapegó, Epagri, 2001b, p.48-52.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on mayze growth and development: An Important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**. v.31, n.1, p.159-168, 2000.

SANGOI, L., SALVADOR, R. J. Influence of plant height and of leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.33, n.03, p. 297-306. 1998.

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

SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. Agronomic performance of male-sterile and fertile maize genotypes at two plant populations. **Ciência Rural**. v.26, n.3, p.377-388, 1996.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre, 64p. 2006.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Respostas de híbrido irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, p.585-592, 1999.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science**. v.38, n.3, p.638-643, 1998.

SÍNTESE ANUAL DA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA 2003-2004. Florianópolis: Epagri/CEPA, 2005. 146p.

SOUZA, S. N. de. Milho para silagem: Considerações Agronômicas. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.2, n.2, p.11-14, jun., 1989.

SOARES, A. C. Resgate e conservação. In: SOARES, A. C., MACHADO, A. T., VON DER WEID, J. M., **Milho crioulo, conservação e uso da biodiversidade**. Rio de Janeiro: ASPTA, 185p. 1998.

STEINMACHER, N. C. **Caracterização físico-química, das propriedades reológicas e das proteínas de milho crioulo**. 2005. 128p. Florianópolis, Dissertação (Mestrado CAL) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

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

TESTA, M. V.; NADAL, R.; MIOR, L. C.; BALDISSERA, I. T.; CORTINA, N. O. **Desenvolvimento Sustentável do Oeste Catarinense**. Florianópolis, 247p. 1996.

TOKATLIDIS, L. S.; KOUTROUBAS, S. D. A review of maize hybrids dependence on high plant population and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**. v.88, p.103-114, 2004.

TOKATLIDIS, L. S. The effect of improved potential yield per plant on crop yield potential and optimum plant density in maize hybrids. **Journal of Agricultural Science**. v.137, p. 299-305, 2001.

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

TOLLENAAR, M.; YING, J.; DUVICK, D.N. Genetic gain in corn hybrids from the Northern and Central Corn Belt. **55th Annual Corn and Sorghum Seed Research Conference Proceedings**. Chicago. p.53-62, 2000.

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

TOLLENAAR, M., AGUILERA, A., NISSANKA, S.P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**. v.89, n.2, p.239-246, 1997.

TOLLENAAR, M.; DWYER, L. M.; STWART, D. W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**. v.32, p.432-438, 1992.

TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**. v.80, p.580-585, 1988.

TSUMANUMA, G. M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiária, em piracicaba SP**. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

WIDDICOMBE, W. D.; THELEN, K. D. Row width and plant density effects on corn forage hybrids. **Agronomy Journal**. v.94, p.326-330, 2002.

WESTGATE, M. E., FORCELLA, F. REICOSK, D. C., SOMSEN, J. Rapid canopy closure for maize production in the northern US Corn Belt: Radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**. v.49, p.249-258, 1997.

UHART, S. A.; ANDRADE, F. H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**. v.35, p.183-190, 1995.

VOGT, G. A. A **Dinâmica do uso e manejo de variedades locais de milho em propriedades agrícolas familiares**. 2005. 102p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

8. Apêndices

Apêndice 1. Número de dias entre a emergência e o florescimento masculino, feminino e intervalo entre os florescimentos nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

Florescimento (DAE)	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		
Masculino	79 b	81 ab	82 ab	83 a	83 a	*	1,8
Feminino	82 a	83 A	86 a	90 b	92 b	***	2,7
Intervalo	3 ab	2 B	4 ab	7 ac	9 c	*	43,2

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 2. Número de dias entre o florescimento feminino (FF) e a maturação fisiológica (MF) nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

Intervalo entre FF e MF	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		
	75 a	78 a	76 a	66 b	68 b	**	6,1

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 3. Altura de plantas (cm) das densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	
0	5,69	5,82	5,58	6,08	6,28	NS
4	10,67	10,98	10,79	9,81	10,31	NS
11	16,69	18,28	19,84	19,00	20,00	NS
18	26,66	32,53	27,66	28,94	28,56	NS
25	36,25	44,63	44,09	40,25	39,54	NS
31	47,42	51,72	50,16	47,72	47,63	NS
38	60,91	68,50	67,69	58,00	63,22	NS
46	96,78	105,50	107,44	86,13	101,06	NS
53	134,44	140,81	146,44	118,31	139,31	NS
60	172,75	176,56	182,00	145,88	161,38	NS
67	197,25	198,19	205,28	166,31	181,00	NS
74	241,66	236,13	238,44	203,63	211,94	NS
81	252,44	244,06	249,06	217,69	232,63	NS
88	249,56	243,75	244,13	216,50	231,50	NS
95	248,44	246,19	246,31	221,56	231,31	NS
109	247,56	243,19	245,50	220,25	229,81	NS
123	249,94	244,44	246,38	219,56	227,56	NS
141	246,69	242,56	246,44	214,31	227,63	NS
155	245,19	239,19	243,13	212,81	225,38	NS
197	251,25	250,69	251,81	227,81	229,88	NS

NS. não significativo

Apêndice 4. Altura de inserção da espiga (cm) nas densidades de plantas aos 197 dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância
18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	
126,19	126,20	138,50	117,47	134,47	NS

NS. não significativo

Apêndice 5. Diâmetro médio do colmo (mm) nas densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância	CV%
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NS	
4	3,29	3,71	3,17	3,27	3,17	NS	
11	6,02	5,88	6,33	6,18	6,07	NS	
18	8,84	8,89	8,19	9,32	8,08	NS	
25	14,61	15,20	14,90	12,96	12,21	NS	
31	19,14	18,83	18,47	16,49	16,10	NS	
38	27,3	25,13	24,14	21,73	20,78	**	9,7
46	32,67	28,94	28,33	24,08	23,62	***	7,9
53	35,83	29,87	29,39	25,48	24,62	***	8,8
60	33,05	27,64	26,46	23,29	22,09	***	10,3
67	34,21	28,35	27,34	23,88	22,17	***	9,3
74	33,19	27,12	26,31	23,25	21,63	***	9,3
81	32,80	26,43	25,94	21,78	20,79	***	9,4
88	32,24	25,99	25,36	21,39	20,87	***	9,6
95	31,87	26,15	25,14	21,40	20,93	***	9,6
109	31,88	26,07	25,30	21,42	20,78	***	9,7
123	31,49	25,69	25,51	21,15	21,05	***	9,9
141	31,76	25,68	25,13	21,13	20,41	***	10,0
155	31,03	24,14	24,79	22,20	20,32	***	10,4
197	31,39	25,53	24,25	21,40	20,53	***	10,9

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 6. Número de folhas expandidas para as densidades de plantas em diferentes dias após a emergência e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)						Análise de variância	CV%				
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000							
1	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	NS					
4	3,38	-	3,50	3,31	3,25	3,31	NS					
11	5,06	-	5,00	5,00	5,19	5,31	NS					
18	6,88	-	6,75	6,56	7,00	7,06	NS					
25	8,38	-	8,56	8,75	8,06	7,88	NS					
31	9,87	ab	9,87	ab	10,31	a	9,12	c	9,37	bc	*	3,2
38	12,56	ab	12,75	a	12,81	a	11,50	c	11,93	b	**	3,5
46	15,37	a	15,50	a	15,68	a	14,00	b	13,87	b	***	3,4
53	17,68	a	17,50	a	18,12	a	15,75	b	15,75	b	***	4,1
60	19,12	a	18,93	a	19,43	a	16,81	b	16,81	b	***	4,4
67	20,43	a	20,25	a	20,75	a	18,18	b	18,31	b	***	3,6
74	21,31	a	21,18	a	21,87	a	19,50	b	19,37	b	***	3,0
81	22,06	a	21,87	a	22,25	a	20,31	b	20,50	b	**	3,5
88	22,25	a	22,06	a	22,50	a	20,50	b	20,93	b	**	3,0
95	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,8
109	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,9
123	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,8
141	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,8
155	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,9
197	22,25	a	22,06	ab	22,50	a	20,56	c	21,12	bc	**	2,9

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 7. Ângulo foliar da primeira folha acima da espiga principal e da 12^o folha, para as densidades de plantas aos 81 DAE e análise de variância para variedade de milho MPA1.

Folha	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	
1 ^o acima espiga	24,3	24,1	22,3	23,7	21,9	NS
12 ^o	20,92	19,64	17,10	19,69	16,11	NS

NS. não significativo

Apêndice 8. Área foliar individual (cm²) da base ao topo do dossel vegetativo nas densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

Folhas	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	CV%	
1	10,01	10,93	7,45	8,61	8,40		NS
2	19,10	20,44	15,70	19,27	19,84		NS
3	35,80	41,11	34,07	36,74	41,51		NS
4	62,20	72,44	64,90	70,83	76,09		NS
5	104,78	118,64	105,76	112,33	108,79		NS
6	143,42	153,52	151,48	154,57	148,63		NS
7	192,67	191,12	184,83	196,30	182,80		NS
8	257,99	258,24	237,66	243,16	254,98		NS
9	347,40	324,81	309,70	324,41	346,38		NS
10	453,21	413,45	409,78	431,37	444,94		NS
11	594,06	520,89	534,06	548,59	580,09		NS
12	727,78	639,78	659,97	620,84	676,58		NS
13	819,52	729,16	751,16	703,92	752,73		NS
14	877,12	777,13	791,82	700,26	732,26		NS
15	899,35	807,20	811,23	674,77	696,11		NS
16	859,75	a 781,81	a 791,87	a 617,08	b 613,61	b	** 12,6
17	806,50	a 720,10	a 743,55	a 542,29	b 522,65	b	** 12,4
18	750,37	a 649,73	a 658,80	a 454,38	b 442,77	b	*** 12,6
19	637,38	a 546,67	a 564,16	a 428,34	b 368,82	b	*** 13,4
20	562,00	a 450,50	b 468,74	ab 313,85	c 292,25	c	*** 16,9
21	400,28	373,64	386,33	297,36	251,78		NS
22	406,88	286,10	302,24	251,78	216,09		NS
23	378,31	239,70	463,43	205,43	172,50		NS
24	288,80	199,65	374,39		112,20		-
25	270,49		243,15				-
26	154,05						-

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 9. Área foliar total por planta (cm²) em diferentes DAE para as densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	variância	CV%
4	84,00	104,42	84,95	82,89	87,63	NS	
11	188,59	223,94	190,39	226,90	239,84	NS	
18	386,60	420,56	362,96	436,69	416,01	NS	
25	529,19	541,43	601,90	504,84	508,48	NS	
31	857,09	889,97	886,12	710,20	761,25	NS	
38	1615,14	1598,70	1661,55	1353,96	1467,10	NS	
46	2676,42	2698,14	2756,54	2000,61	2270,69	NS	
53	4174,86 ab	4055,45 ab	4266,77 a	3007,06 c	3287,49 bc	*	15,3
60	5609,56 a	5181,18 ab	5503,59 a	3786,08 c	4089,50 bc	*	17,6
67	7229,20 a	6655,58 abc	7121,97 ab	5064,87 c	5483,27 bc	*	16,1
74	9233,75 a	8290,58 ab	8729,86 a	6642,57 b	6734,52 b	*	14,9
81	9888,91 b	8800,23 ab	9064,21 ab	7215,74 a	7362,69 a	*	14,3
88	9964,66 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7300,51 a	7501,63 a	*	13,8
95	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
104	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
109	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
116	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
123	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
134	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
141	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
148	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
156	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
161	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7
170	9974,88 b	8860,69 ab	9131,66 ab	7307,21 a	7532,63 a	*	13,7

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 10. Área verde por planta (cm²) para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	variância	CV%
4	84,00	104,42	84,95	82,89	87,63	NS	
11	188,59	223,94	190,39	226,90	239,84	NS	
18	386,60	420,56	362,96	436,69	416,01	NS	
25	529,19	541,43	601,90	504,84	508,48	NS	
31	849,55	873,07	873,71	692,94	751,63	NS	
38	1586,46	1568,12	1634,89	1324,47	1443,53	NS	
46	2606,32	2648,62	2708,44	1953,46	2210,91	NS	
53	4025,80	ab 3950,05	ab 4150,67	a 2916,82	c 3167,67	bc *	15,8
60	5316,14	a 4891,61	ab 5219,46	a 3520,69	c 3745,18	bc *	17,9
67	6805,64	a 6265,09	ab 6665,16	a 4691,79	b 4997,36	b *	16,8
74	8753,59	a 7841,94	ab 8192,94	a 6200,02	b 6194,35	b *	15,0
81	9346,53	b 8195,50	ab 8371,49	ab 6598,27	a 6611,92	a *	14,5
88	9236,74	a 7957,06	a 8017,85	a 6303,97	b 6215,70	b **	14,1
95	9002,08	a 7655,02	a 7503,89	ab 5968,35	b 5928,27	b **	14,2
104	8874,12	a 7590,63	a 7432,13	a 5802,95	b 5742,57	b **	14,3
109	8789,99	a 7517,15	a 7274,27	ab 5725,85	b 5811,22	b **	15,0
116	8686,89	a 7328,13	ab 7082,24	abc 5691,61	bc 5554,87	c **	15,3
123	8161,03	c 6454,59	a 6091,51	ab 4898,70	ab 4670,51	b **	16,8
134	6475,82	b 5302,88	ab 4965,11	ab 3906,87	a 3629,35	a *	24,0
141	5107,73	4071,88	3783,88	3164,09	2295,73	NS	
148	3317,96	3030,30	2026,24	2112,82	1259,93	NS	
156	534,44	338,72	253,57	466,61	251,96	NS	
161	10,50	0,00	64,91	0,00	172,82	NS	
170	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NS	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 11. Área foliar senescente relativa por planta (cm²) para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância para a variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)						Análise de variância	CV%
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000			
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	
31	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	NS	
38	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	NS	
46	0,007	0,006	0,005	0,006	0,008	0,008	NS	
53	0,015	0,012	0,013	0,012	0,016	0,016	NS	
60	0,029	0,033	0,031	0,036	0,046	0,046	NS	
67	0,042	a 0,044	a 0,050	a 0,051	a 0,064	b 0,064	**	14,5
74	0,048	a 0,050	a 0,058	a 0,060	a 0,071	b 0,071	**	17,0
81	0,054	b 0,068	ab 0,075	ab 0,084	ac 0,099	c 0,099	*	19,5
88	0,072	c 0,101	ac 0,121	a 0,136	ab 0,170	b 0,170	**	22,1
95	0,097	c 0,136	bc 0,178	ab 0,183	ab 0,212	a 0,212	**	20,8
104	0,110	c 0,140	bc 0,180	ab 0,200	a 0,230	a 0,230	**	19,2
109	0,110	b 0,150	b 0,200	a 0,210	a 0,220	a 0,220	***	16,6
116	0,120	c 0,170	bc 0,220	ab 0,220	ab 0,260	a 0,260	**	20,5
123	0,180	b 0,270	ab 0,330	a 0,320	a 0,370	a 0,370	*	24,0
134	0,351	0,402	0,456	0,465	0,518	0,518	NS	
141	0,488	0,540	0,586	0,567	0,695	0,695	NS	
148	0,667	0,658	0,778	0,711	0,833	0,833	NS	
156	0,946	0,962	0,972	0,936	0,967	0,967	NS	
161	0,999	1,0	0,993	1,0	0,977	0,977	NS	
170	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	NS	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 12. Índice de área foliar para diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)										Análise de variância	CV%
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000							
4	0,01	c	0,04	ac	0,05	a	0,06	ab	0,08	b	**	36,3
11	0,03	b	0,08	ab	0,11	a	0,18	d	0,23	c	***	24,7
18	0,07	c	0,16	b	0,21	b	0,34	a	0,41	a	***	19,5
25	0,10	d	0,21	c	0,36	b	0,40	ab	0,50	a	***	22,1
31	0,16	d	0,34	c	0,52	a	0,55	a	0,75	b	***	21,2
38	0,31	d	0,62	c	0,98	a	1,05	a	1,44	b	***	17,2
46	0,52	d	1,05	c	1,62	a	1,56	a	2,21	b	***	16,6
53	0,80	d	1,58	c	2,49	a	2,33	a	3,16	b	***	16,7
60	1,06	d	1,95	c	3,13	ab	2,81	b	3,74	a	***	19,1
67	1,36	d	2,50	c	3,99	a	3,75	a	4,99	b	***	17,3
74	1,75	d	3,13	c	4,91	a	4,96	a	6,19	b	***	14,2
81	1,86	d	3,27	c	5,02	a	5,27	a	6,61	b	**	12,8
88	1,84	d	3,18	c	4,81	a	5,04	a	6,21	b	***	12,0
95	1,80	d	3,06	c	4,50	a	4,77	a	5,92	b	***	12,0
104	1,77	d	3,03	c	4,45	a	4,64	a	5,74	b	***	12,5
109	1,75	d	3,00	c	4,36	a	4,58	a	5,81	b	***	11,0
116	1,73	d	2,93	c	4,24	a	4,55	a	5,55	b	***	13,5
123	1,63	d	2,58	c	3,65	b	3,91	ab	4,67	a	***	17,1
134	1,29	c	2,12	bc	2,97	ab	3,12	ab	3,62	a	**	30,1
141	1,02		1,63		2,27		2,53		2,30		NS	
148	0,66		1,21		1,22		1,69		1,26		NS	
156	0,11		0,14		0,15		0,37		0,25		NS	
161	0,0		0,0		0,04		0,0		0,17		-	
170	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		-	
197	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		-	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 13. Fitomassa total (kg ha⁻¹) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)										Análise de variância	CV%
	18.000		34.000		47.000		56.000		75.000			
1	0,41	c	0,84	bc	1,39	a	1,24	ab	1,72	a	***	28,4
11	6,04	d	14,89	c	24,49	a	27,38	a	38,27	b	***	11,3
18	24,00	d	52,91	a	63,03	a	88,53	c	112,77	b	***	21,2
49	600,87	b	1986,46	bc	4520,92	c	7083,85	a	7738,70	a	***	28,8
84	5065,16	b	6011,59	ab	7910,57	a	7695,25	a	10621,8	c	***	18,3
112	7357,00	c	10427,3	bc	14030,6	ab	16434,2	a	15579,0	a	**	24,3
154	11861,8	-	14045,1	-	15645,3	-	14819,7	-	14453,2	-	NS	
197	7045,71	b	11636,63	a	11491,31	a	11135,66	a	11821,26	a	*	16,5

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%,

Apêndice 14. Fitomassa de caule (kg ha⁻¹) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)										Análise de variância	CV%
	18.000		34.000		47.000		56.000		75.000			
11	2,58	d	6,21	c	10,5	a	11,54	a	16,25	b	***	13,3
18	11,18	b	25,37	ab	28,84	a	39,00	a	53,92	c	***	31,3
49	284,58	b	940,55	b	2056,53	c	3294,65	a	3540,51	a	***	33,2
84	2773,13	b	3255,45	b	4507,91	a	4630,93	a	6316,75	c	***	18,0
112	2762,06	c	4014,04	bc	5315,64	ab	6566,71	a	6313,37	ab	*	29,5
154	3373,98		4280,78		5004,51		5505,96		4779,97		NS	
197	2371,53		3425,26		3171,34		3857,49		3453,16		NS	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 15. Proporção de caule por planta para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	
11	0,43	0,42	0,43	0,42	0,42	NS
18	0,46	0,47	0,46	0,43	0,46	NS
49	0,47	0,47	0,45	0,46	0,45	NS
84	0,55	0,54	0,57	0,60	0,60	NS
112	0,38	0,39	0,40	0,40	0,39	NS
154	0,29	0,30	0,32	0,39	0,33	NS
197	0,34	0,30	0,28	0,35	0,29	NS

NS. não significativo

Apêndice 16. Fitomassa de folhas verdes (kg ha⁻¹) em relação ao total de fitomassa para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	variância	CV%
11	3,46 d	8,68 c	13,99 a	15,84 a	22,02 b	***	11,3
18	12,81 d	27,54 a	34,18 a	49,53 c	58,85 b	***	15,2
49	316,28 b	1045,91 b	2464,39 c	3789,20 a	4198,19 a	***	25,8
84	1097,50 b	1496,50 b	2017,05 a	2067,76 a	2663,83 c	***	25,4
112	1159,58 c	1706,72 bc	2107,76 ab	2596,92 a	2594,09 a	**	15,4
154	88,17 b	511,29 a	621,40 a	409,61 a	311,69 ab	*	22,7
197	0	0	0	0	0	-	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 17. Proporção de folhas verdes em relação ao total de fitomassa para as densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000	
11	0,57	0,58	0,57	0,58	0,58	NS
18	0,54	0,53	0,54	0,57	0,54	NS
49	0,53	0,53	0,55	0,54	0,55	NS
84	0,22	0,25	0,26	0,27	0,25	NS
112	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	NS
154	0,01	0,04	0,04	0,03	0,02	NS
197	0	0	0	0	0	-

NS. não significativo

Apêndice 18. Fitomassa de folhas senescentes (kg ha⁻¹) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância	CV%
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		
49	0	0	0	0	0	NS	
84	10,01	a 50,19	a 94,95	a 99,22	a 258,46	b **	79,2
112	30,67	d 152,89	cd 284,56	bc 517,76	ab 474,30	a ***	43,3
154	1130,04	1161,38	1398,58	1631,00	1635,93	NS	
197	589,75	b 1036,40	a 1081,83	a 1166,29	a 1257,07	a *	22,2

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 19. Fitomassa de pendão (kg ha⁻¹) para diferentes DAE nas densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		CV%
49	0	0	0	0	0	NS	
84	17,01 c	25,24 bc	33,48 ab	39,12 a	56,78 d	***	22,7
112	12,78 c	19,63 bc	24,36 ab	28,96 ab	30,55 a	**	25,2
154	7,78	11,52	11,26	12,94	12,27	NS	
197	6,83	7,22	5,64	8,56	8,97	NS	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 20. Rendimento de grãos (kg ha⁻¹) (RG); Número de espigas planta⁻¹ (NEP); Número de espigas m² (NE), Número de grãos m² (NGA) Número de grãos espiga⁻¹ (NGE); Peso de 1000 grãos (PMG); Relação grãos/espiga (RGE) e índice de colheita (IC) das densidades de plantas (DP) e análise de variância da variedade de milho MPA1.

Densidades (Plantas ha ⁻¹)	RG	NEP	NE	NGA	NGE	PMG	RGE	IC
18.000	2821,70 b	1,13 b	2,08 d	821,94 b	408,65 a	299,79	0,60	0,36
34.000	5500,60 a	1,06 b	3,58 a	1514,7 a	421,84 a	294,40	0,68	0,38
47.000	5735,70 a	0,91 a	4,31 ab	1625,3 a	374,02 ab	283,61	0,71	0,40
56.000	5194,60 a	0,88 a	4,98 a	1530,8 a	305,27 bc	267,14	0,70	0,36
75.000	5748,20 a	0,82 a	6,10 c	1662,8 a	275,46 c	273,15	0,68	0,39
Análise de Variância	***	**	***	**	**	NS	NS	NS
CV%	15,2	9,8	13,2	16	14,7	-	-	-

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 21. Fitomassa de plantas espontâneas para as densidades aos 155 DAE e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		

155	2238,8 c	1063,8 a	491,3 ab	457,5 ab	405,0 b	***	40,9
-----	----------	----------	----------	----------	---------	-----	------

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 22. Porcentagem de acamamento e quebra de plantas em diferentes DAE das densidades de plantas e análise de variância da variedade de milho MPA1.

DAE	Densidade de plantas (Plantas ha ⁻¹)					Análise de variância CV%	
	18.000	34.000	47.000	56.000	75.000		

155	0 c	1,2 bc	4,1 ab	3,8 ab	4,8 a	*	66,8
197	4,2	8,3	9,5	12,6	14,1	NS	

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan 5%. (NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%).

Apêndice 23. Análise de correlação entre rendimento de grãos (RG), fitomassa (FM), índice de área foliar (IAF), índice de colheita (IC), peso de mil grãos (PMG), número de espigas por planta (NEP), número de espigas por área (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por área (NGA), acamamento e quebra de plantas (AQ), altura (ALT), diâmetro do colmo (DCOL), número de folhas (NFH) e área foliar total por planta (AFTP).

Análise correlação	RG	FM	IAF	IC	PMG	NEP	NE	NGE	NGA	AQ	ALT	DCOL	NFH	AFTP
RG	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
FM	0.87 **	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
IAF	0.64 **	0.57 **	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
IC	0.39 ns	-0.05 ns	0.21 ns	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PMG	-0.31 ns	-0.27 ns	-0.50 *	-0.04 ns	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NEP	-0.42 ns	-0.30 ns	-0.85 **	-0.34 ns	0.48 *	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---
NE	0.72 **	0.73 **	0.89 **	0.06 ns	-0.54 *	-0.66 **	1,0	---	---	---	---	---	---	---
NGE	-0.05 ns	-0.22 ns	-0.59 **	0.41 ns	0.23 ns	0.37 ns	-0.65 **	1,0	---	---	---	---	---	---
NGA	0.96 **	0.83 **	0.68 **	0.41 ns	-0.51 *	-0.49 *	0.75 **	-0.05 ns	1,0	---	---	---	---	---
AQ	0.48 *	0.39 ns	0.46 *	0.22 ns	-0.53 *	-0.47 *	0.48 *	-0.06 ns	0.55 *	1,0	---	---	---	---
ALT	-0.14 ns	-0.14 ns	-0.19 ns	0.08 ns	0.50 *	0.22 ns	-0.41 ns	0.33 ns	-0.22 ns	-0.35 ns	1,0	---	---	---
DCOL	-0.63 **	-0.58 **	-0.71 **	-0.10 ns	0.46 *	0.63 **	-0.82 **	0.55 *	-0.63 **	-0.43 ns	0.52 *	1,0	---	---
NFH	-0.17 ns	-0.18 ns	-0.37 ns	0.18 ns	0.46 *	0.33 ns	-0.52 *	0.56 **	-0.22 ns	-0.28 ns	0.55 *	0.68 **	1,0	---
AFT	-0.33 ns	-0.38 ns	-0.41 ns	0.19 ns	0.50 *	0,38 ns	-0.62 **	0.56 **	-0,36 ns	-0,41 ns	0.73 **	0.87 **	0.79 **	1,0

NS não significativo, *p<5%, **p<1%, ***p<0,01%.