

ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO

ÉPOCA DE SEMEADURA DE MILHO DOCE NO NOROESTE DO PARANÁ

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015**

ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO

ÉPOCA DE SEMEADURA DE MILHO DOCE NO NOROESTE DO PARANÁ

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

F825e Franco, Antônio Augusto Nogueira
Época de semeadura de milho doce no Noroeste do
Paraná / Antônio Augusto Nogueira Franco. -- Maringá,
2015.
166 f. : il. col. figs., grafs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia, 2015.

1. Milho doce - Semeadura - Noroeste do Paraná.
2. *Zea mays* L. 3. Milho especial. 4. Agricultura
familiar. 5. Fatores climáticos. I. Vidigal Filho,
Pedro Soares, orient. II. Universidade Estadual de
Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de
Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 21.ed. 641.35672

MGC001812

ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO

ÉPOCA DE SEMEADURA DE MILHO DOCE NO NOROESTE DO PARANÁ

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

_____ em 13 de março de 2015.

Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho
Presidente

Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim
Membro

Prof. Dr. Ignacio Aspiazú
Membro

Prof. Dr. Carlos Alberto de B. Andrade
Membro

Prof. Dr. Carlos Moacir Bonato
Membro

***Ao Deus Maravilhoso e Eterno;
Aos meus amados pais Domício e Neide;
Aos meus irmãos, Thiago e Marcello;
A Monika Yumi Numoto.***

Dedico.

AGRADECIMENTO

À Deus, por ser o grande arquiteto de todas as coisas concedendo-me o dom mais precioso do universo: a Vida.

À Universidade Estadual de Maringá - UEM e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia - PGA, por proporcionar a oportunidade e os meios para o aperfeiçoamento profissional e desenvolvimento desta pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da Bolsa de Estudo;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Fundação Araucária, que por meio do Projeto Pronex, proporcionaram o financiamento do presente trabalho;

Aos Professores Dr. Pedro Soares Vidigal Filho e Dr. Carlos Alberto Scapim, pela respectiva Orientação e Coorientação, bem como pela confiança e amizade em mim depositadas;

Aos Professores Dr. Odair José Marques, Carlos Alberto de Bastos Andrade, Ignacio Aspiazú, Carlos Moacir Bonato e Ricardo Shigueru Okumura, pelas valorosas contribuições;

À família Numoto pela relação de cumplicidade e respeito, tornando a jornada enriquecedora e menos árdua, fica a certeza de que jamais esquecerei;

Aos amigos Alberto Yuji Numoto, Gustavo Zimmermann, Alex Henrique Tiene Ortiz e Vinícius Bovo Cortinove, que de alguma forma deixaram sua contribuição e pela amizade;

Aos amigos Érika Cristina Takamizawa Sato e Reinaldo Bernardo, pela amizade e atenção dedicadas na Secretaria do PGA;

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pelo auxílio e viabilização das atividades de campo, e a todas as demais pessoas não nominadas que contribuíram com este trabalho.

BIOGRAFIA

ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO, filho de Domício Gonçalves Franco e de Neide Alves Nogueira Franco, nasceu aos doze dias do mês de julho de 1986, em Otinolândia, distrito da cidade de Monte Azul, localizado no extremo Norte do Estado de Minas Gerais.

Em 1992, em seu distrito natal, iniciou sua formação Pré-Escolar na Escola Estadual Zoé Machado, na qual teve sequência no Ensino Fundamental e concluindo o Ensino Médio em dezembro de 2003.

Em fevereiro de 2004 ingressou no Curso de Agronomia junto a Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, obtendo o Título de Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2008.

Em fevereiro de 2009, ingressou no Curso de Mestrado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido - UNIMONTES, obtendo o título de Mestre em janeiro de 2011.

Em fevereiro de 2011, ingressou no Curso de Doutorado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Em 2014 desenvolveu parte do seu Trabalho de Doutorado no Departamento de Plant Science da North Dakota State University, obtendo o título de Doutor em Agronomia pela UEM, em março de 2015.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	19
2.1. Milho doce.....	19
2.1.1. Composição química do milho doce.....	21
2.1.2. Características do milho doce.....	23
2.2. Ecofisiologia do milho.....	25
2.3. Fatores ambientais.....	26
2.3.1. Temperatura.....	29
2.3.2. Radiação solar.....	32
2.3.3. Disponibilidade hídrica.....	34
2.3.4. Fotoperíodo.....	37
2.4. Época de semeadura.....	38
2.4.1. Safra de Verão.....	38
2.4.2. Safra de Outono/Inverno.....	40
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....	43
4. CAPÍTULO I.....	65
Época de semeadura de milho doce no período de Outono/Inverno no Noroeste do Paraná.....	65
4.1. Resumo.....	65
4.2. Abstract.....	66
4.3. Introdução.....	66
4.4. Material e métodos.....	69
4.4.1. Localização.....	69
4.4.2. Período de realização.....	69
4.4.3. Solo.....	70

4.4.4. Clima.....	70
4.4.4.1. Dados climatológicos.....	71
4.4.5. Delineamento experimental e tratamentos	73
4.4.6. Unidades experimentais.....	73
4.4.7. Implantação e condução dos experimentos.....	74
4.4.7.1. Híbridos de milho doce utilizados.....	74
4.4.7.2. Adubação.....	75
4.4.7.3. Semeadura e população de plantas.....	75
4.4.7.4. Tratos culturais e fitossanitários.....	75
4.4.7.5. Irrigação.....	76
4.4.7.6. Colheita.....	76
4.4.8. Características avaliadas.....	77
4.4.8.1. Avaliações fitotécnicas de crescimento.....	77
4.4.8.1.1. Altura de plantas.....	77
4.4.8.1.2. Índice de área foliar.....	77
4.4.8.2. Avaliações fitotécnicas dos componentes de produção.....	78
4.4.8.2.1. Número de grãos por fileira.....	78
4.4.8.2.2. Número de fileiras de grãos por espiga.....	78
4.4.8.2.3. Rendimento de espigas comerciais.....	78
4.4.9. Armazenamento pós-colheita das espigas.....	78
4.4.10. Avaliação da composição química dos grãos.....	79
4.4.10.1. Açúcares totais.....	79
4.4.10.2. Amido.....	80
4.4.10.3. Proteína.....	81
4.4.11. Análises estatísticas e modelo matemático.....	81
4.5. Resultados e discussão.....	83
4.5.1. Características climáticas.....	83
4.5.1.1. Precipitação pluvial.....	83
4.5.1.2. Temperatura.....	84
4.5.1.3. Radiação solar e fotoperíodo	86
4.5.2. Ciclo fenológico e acúmulo de soma térmica.....	87
4.5.3. Características avaliadas e pressupostos estudados.....	91
4.5.4. Análise de variância conjunta dos experimentos.....	91

4.5.5. Características de crescimento e desenvolvimento das plantas....	94
4.5.6. Características dos componentes de produção.....	98
4.5.7. Características da composição química dos grãos.....	106
4.6. Conclusões.....	115
4.7. Referências bibliográficas.....	116
5. CAPÍTULO II.....	136
Época de semeadura de milho doce no período de Verão no Noroeste do Paraná.....	136
5.1. Resumo.....	136
5.2. Abstract.....	137
5.3. Introdução.....	137
5.4. Material e métodos.....	139
5.5. Resultados e discussão.....	143
5.5.1. Características climáticas.....	143
5.5.2. Ciclo fenológico e acúmulo de soma térmica.....	144
5.5.3. Análise de variância conjunta dos experimentos.....	146
5.5.4. Características de crescimento e desenvolvimento das plantas....	147
5.5.5. Produtividade de espigas comerciais despalhadas.....	149
5.5.6. Características da composição química dos grãos.....	152
5.6. Conclusões.....	155
5.7. Referências bibliográficas.....	155

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1.	Produtividade recorde (produtividade sob condições ideais) e diminuição na capacidade de obtenção de produtividades recordes de milho, trigo e soja causada por fatores de estresses abióticos e bióticos.....	27
------------------	--	----

CAPÍTULO I

Figura 1.	Precipitação pluvial, irrigação suplementar, radiação solar, fotoperíodo, temperaturas máximas ($T^{\circ}C_{max}$), mínimas ($T^{\circ}C_{min}$), médias ($T^{\circ}C_{med}$) e amplitudes térmicas verificadas durante o período de Outono/Inverno dos anos agrícolas 2011 e 2012.....	71
Figura 2.	Dias após as semeaduras e soma térmica acumulada até a emergência (VE), pendoamento (V_T), florescimento (R_1) e grão leitoso (R_3) no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012 para os híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus, em Maringá.....	88
Figura 3.	Altura de plantas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	93
Figura 4.	Índice de área foliar na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	95
Figura 5.	Número de fileiras de grãos por espigas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	98
Figura 6.	Número de grãos por fileira dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	99
Figura 7.	Produtividade de espigas comerciais despalhadas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	100
Figura 8.	Conteúdo de açúcares totais nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	107

Figura 9.	Conteúdo de amido nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	109
Figura 10.	Conteúdo de proteína nos grãos na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	111

CAPÍTULO II

Figura 1.	Precipitação pluvial, irrigação suplementar, radiação solar, fotoperíodo, temperaturas máximas ($T^{\circ}C_{max}$), mínimas ($T^{\circ}C_{min}$), médias ($T^{\circ}C_{med}$) e amplitudes térmicas verificadas durante o período de Verão dos anos agrícolas 2011 e 2012.....	139
Figura 2.	Dias após as semeaduras e soma térmica acumulada até a emergência (VE), pendoamento (V_T), florescimento (R_1) e grão leitoso (R_3) no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012 para os híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus, em Maringá.....	144
Figura 3.	Altura de plantas na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus; e índice de área foliar na média dos híbridos e anos agrícolas em função das épocas de semeadura no período de Verão de 2011 e 2012, em Maringá.....	147
Figura 4.	Produtividade de espigas comerciais despalhadas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá.....	148
Figura 5.	Conteúdo de açúcares totais nos grãos na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus; e conteúdo de proteína em função das épocas de semeadura no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá....	152

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1.	Composição química dos grãos de milho doce (<i>su1</i>) e super doce (<i>bt1</i> e <i>sh2</i>).....	21
Tabela 2.	Valores médios de energia incidente ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), em área plana, no hemisfério sul, em função da época do ano....	31

CAPÍTULO I

Tabela 1.	Resultados das análises químicas das amostras de material de solo da área experimental, provenientes da camada de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012.....	69
Tabela 2.	Descrição dos tratamentos utilizados.....	72
Tabela 3.	Probabilidades mínimas para que os testes de Levene (Lv) e Shapiro-Wilk (S-W) sejam significativos; e valores da regra decisória do teste de Hartley ($>QMR/<QMR$) para as características avaliadas no período de Outono/Inverno de 2011 e 2012, em Maringá.....	90
Tabela 4.	Resumo da análise de variância, coeficiente de variação experimental (CV) e média geral envolvendo quatro épocas de semeadura, dois híbridos de milho doce e dois anos agrícolas para altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número de grãos por fileiras (NGF), produtividade de espigas comerciais despalhadas (PROD) e conteúdo de açúcares totais (AT), de proteína (PROT) e de amido (AMID) nos grãos.....	92
Tabela 5.	Altura de plantas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	94
Tabela 6.	Índice de área foliar na média dos híbridos RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	96
Tabela 7.	Número de fileiras de grãos por espiga na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012 desdobrado dentro dos híbridos RB6324 e Tropical Plus em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	98
Tabela 8.	Número de grãos por fileiras desdobrados dentro dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus, e dentro dos	

	anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	99
Tabela 9.	Produtividade de espigas comerciais dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro de anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	103
Tabela 10.	Conteúdo de açúcares totais nos grãos de milho doce na média dos híbridos RB6324 e Tropical Plus e épocas de semeadura, nos anos agrícolas de 2011 e 2012, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	105
Tabela 11.	Conteúdo de amido nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	110
Tabela 12.	Conteúdo de proteína nos grãos na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em cada épocas de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá.....	113
 CAPÍTULO II		
Tabela 1.	Resultados das análises químicas das amostras de material de solo da área experimental, provenientes da camada de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012.....	140
Tabela 2.	Resumo da análise de variância, coeficiente de variação experimental (CV) e média geral envolvendo cinco épocas de semeadura, dois híbridos de milho doce e dois anos agrícolas para altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), produtividade de espigas comerciais despalhadas (PROD), conteúdo de açúcares totais (AT) e de proteína (PROT) nos grãos.....	145
Tabela 3.	Altura de plantas na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura; e índice de área foliar na média dos híbridos e épocas, no período de Verão, em Maringá.....	147
Tabela 4.	Produtividade de espigas comerciais dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Verão, em Maringá.....	150
Tabela 5.	Conteúdo de açúcares totais nos grãos de milho doce na média dos híbridos RB6324 e Tropical Plus desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época	

de semeadura; e conteúdo de proteína na média dos anos e épocas, no período de Verão, em Maringá.....	153
---	-----

RESUMO

FRANCO, ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA, D.Sc. Universidade Estadual de Maringá, março de 2015. **Época de semeadura de milho doce no Noroeste do Paraná.** Orientador: Dr. Pedro Soares Vidigal Filho. Co-orientador: Dr. Carlos Alberto Scapim.

A principal característica do milho doce é possuir genes cuja expressão bloqueia no endosperma a conversão de açúcares em amido, conferindo-lhe o caráter doce. Esta característica agrega valor ao produto, e o mesmo vem ganhando espaço, com demanda crescente no Brasil. Entretanto, há carência de informações quanto à influência da época de semeadura no desenvolvimento da cultura de milho doce, fazendo com que os agricultores utilizem recomendações sugeridas para o milho comum, as quais nem sempre são as ideais. A semeadura na época adequada, embora não tenha nenhum efeito no custo de produção, seguramente afeta a resposta fenotípica das plantas, principalmente características associadas ao rendimento e, conseqüentemente, o lucro do agricultor. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da época de semeadura no desenvolvimento de híbridos de milho doce cultivados nos períodos de Verão e de Outono/Inverno, com irrigação suplementar em Maringá, região Noroeste do Estado do Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de bloco completo casualizado, em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação das épocas de semeadura (Safrá de Verão - 5/9, 19/9, 3/10, 17/10 e 31/10; Safrinha - 18/02, 04/03, 18/03 e 01/04) e híbridos de milho doce (Tropical Plus e RB6324) em dois anos agrícolas (2011 e 2012). Avaliaram-se características fitotécnicas de crescimento (altura de plantas e índice de área foliar); de componentes de produção (número de grãos por fileira, número de fileira de grão por espiga e produção de espigas comerciais) e a composição química dos grãos (conteúdo de açúcares totais, amido e proteína). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta. Os efeitos das épocas de semeaduras foram estudados mediante análise de regressão polinomial e os efeitos dos híbridos e anos agrícolas foram estudados pelo teste F. O crescimento vegetativo foi limitado pela defasagem na época de semeadura, afetando os componentes de produção e a composição química dos

grãos de milho doce. O híbrido RB6324 apresentou melhor desempenho produtivo do que o Tropical Plus, principalmente em condições climáticas indesejadas. Os ciclos fenológicos dos híbridos RB6324 e Tropical Plus são semelhantes e o atraso na época de semeadura prolongou o número de dias para a colheita (estádio de grãos leitosos). No período de Verão, o número de dias para a colheita foi de 91 dias para a primeira época de semeadura (05/09) e de 84 dias para a última época de semeadura (31/10). No período de Outono/Inverno, o número de dias entre a semeadura e o estágio de grãos leitosos foi, respectivamente, de 93 e 120 dias para a primeira (18/02) e última (01/04) época de semeadura. A defasagem na época de semeadura não proporcionou variação quanto ao acúmulo de graus dias pelos híbridos entre as épocas de semeaduras, anos agrícolas e períodos de cultivo. O acúmulo de soma térmica no período compreendido entre a semeadura - V_T e entre V_T - estágio de grãos leitosos, foi, respectivamente, de 858 e 301 graus dia. A utilização de sistema de irrigação foi essencial para repor a evapotranspiração diária da cultura em todas as épocas de semeadura, períodos de cultivo e anos de estudo. A segunda quinzena do mês de fevereiro e a primeira quinzena do mês de outubro constituem respectivamente as épocas preferenciais para a semeadura de milho doce nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão, na região Noroeste do Estado do Paraná.

Palavras-chave: *Zea mays* L., milho especial, agricultura familiar e fatores climáticos.

ABSTRACT

FRANCO, ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA. Universidade Estadual de Maringá. March, 2015. **Sowing time of the sweet corn in Northwestern Paraná**. Adviser: Dr. Pedro Soares Vidigal Filho. Co-adviser: Dr. Carlos Alberto Scapim.

The main feature of the sweet corn is possessing genes that are expressed in the endosperm to block the conversion of sugars in starch, giving the sweet character. This feature adds value to the product, and this has been increasing, with growing demand in Brazil. However, there is a lack of information about the influence of sowing time on the development of sweet corn, causing farmers use recommendations suggested for the common corn, which are not always ideal. Sowing time at the right time, although does not have any effect on the cost of production, affects the phenotypic response of plants, mainly characteristics associated with yield and, consequently, the profit of the farmer. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of sowing times on the performance of sweet corn hybrids grown in Summer and Autumn/Winter periods, with additional irrigation in Maringá, Northwest of the Paraná State, Brazil. The design used was randomized complete block, in factorial scheme, with four replications. The treatments were constituted by combination of sowing times (Summer period - 09/05, 09/19, 10/03, 10/17 and 10/31; Autumn/Winter period - 02/18, 03/04, 03/18 and 04/01) and two sweet corn hybrids (Tropical Plus and RB6324) in two agricultural years (2011 and 2012). Were evaluated growth phytotechnical characteristics (plant height and leaf area index); of the yield component (number of kernels per row, number of row of kernels per ear and yield of marketable ears) and chemical composition of kernels (total sugars, starch and protein content). The data were submitted to conjunct variance analysis. The effects of sowing times were studied by analysis of polynomial regression and the effects of agricultural years and hybrids were studied by F test. The vegetative growth was limited by delay at the sowing times, affecting the production components and chemical composition of the sweet corn kernels. RB6324 hybrid showed higher yield potential than Tropical Plus hybrid, mainly on unwanted weather. The phenological cycle of the RB6324 and Tropical

Plus hybrids are similar and the delay at the sowing time extended the number of days to harvest, milky grains phenological stage. In summer period, the number of days to harvest was 91 days for the first sowing time (09/05) and 84 days for the last sowing time (10/31). In Autumn/Winter period, the number of days between sowing and milky grains stage, were respectively 93 and 120 days for the first (02/18) and last (04/01) sowing time. The delay at the sowing time did not provide variation on the accumulation of degree-days by the hybrids among sowing times, agricultural years and cultivation periods. The thermal time accumulation in the period between sowing - V_T (tasseling) and between V_T - milky grains stage, were respectively 858 and 301 degree-days. The use of the irrigation system was essential to replace the daily evapotranspiration in all sowing times, growing seasons and years of study. The first half of the month of October and the second half of the month of February are respectively the best times for sweet corn sowing in Summer and Autumn/Winter periods in Northwestern Paraná State, Brazil.

Key-words: *Zea mays* L., special maize, family agriculture and climatic factors.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho é um dos principais cereais consumidos no mundo graças às suas qualidades nutricionais, e à sua grande capacidade de adaptação a diferentes ambientes, o que permite o seu cultivo em grande parte do globo terrestre. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, superado apenas pelos Estados Unidos e a China. A produção brasileira para o ano agrícola de 2014/2015 foi estimada em 80 milhões de toneladas com produtividade recorde.

Entretanto, a produção de milho grão por pequenos produtores rurais torna-se pouco viável devido ao alto custo de produção, à necessidade do plantio em escala, à estreita margem de lucro e à exigência em tecnologia da cultura, quando se almeja a obtenção de alta produtividade de grãos. Esta realidade é ainda mais seriamente agravada pela descapitalização dos pequenos produtores. Contudo, o mercado do milho não se restringe às indústrias moageiras, havendo a possibilidade de exploração de outros nichos com demandas crescentes e valorizadas.

Neste particular, uma das alternativas encontradas para se buscar maior rentabilidade com a cultura do milho é o cultivo de lavouras para produção de milhos especiais como o milho doce, que, não raro, gera melhor retorno econômico ao produtor, quando comparado à produção de grãos de milho comum. Portanto, este tipo de lavoura surge como alternativa viável para o aumento da produção de alimentos e a diversificação da renda dos produtores, sobretudo na agricultura familiar.

A principal característica do milho doce é possuir genes cuja expressão bloqueia no endosperma a conversão de açúcares em amido, conferindo-lhe o caráter doce. Por essa razão, as principais utilizações alimentares são em conserva (enlatado), por meio do processamento industrial e pelo consumo “in natura”. Tal produto vem ganhando espaço no Brasil, impulsionado pelas indústrias de conservas alimentícias.

Todavia, o milho comum sempre foi o alvo das pesquisas científicas em detrimento aos outros tipos de milho. Assim, há uma carência de informações quanto à influência dos fatores ambientais no comportamento produtivo do milho doce,

fazendo com que agricultores utilizem recomendações sugeridas para o milho comum, as quais nem sempre são as ideais.

Os fatores ambientais variam de forma aleatória em torno de tendências médias sazonais de forma que o maior desafio é determinar o momento ideal para o plantio. A semeadura em épocas oportunas maximiza o rendimento por escapar de condições climáticas negativas, sem sobrecarregar o custo de produção, sobretudo no Paraná, onde o cultivo do milho se caracteriza pela divisão em duas épocas de semeadura. A Semeadura de Primavera/Verão, conhecida como Primeira Safra e a Segunda Safra (Safrinha) ou Safra de Outono/Inverno, que é o cultivo extemporâneo, cuja semeadura é realizada a partir do mês de janeiro, geralmente em fevereiro e março, após uma cultura de Verão.

Neste contexto, o presente estudo é justificado pela referida lacuna no conhecimento de uma cultura viável e importante para a agricultura familiar. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito das épocas de semeadura, sobre características agronômicas de híbridos de milho doce, nos períodos de Primavera/Verão e de Outono/Inverno, em Maringá, Noroeste do Paraná.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

2.1. Milho doce

O milho doce (*Zea mays* L. grupo *saccharata*) pertence à família das Poaceas ou Gramíneas, tribo Maydeae, do gênero *Zea*. Este se destaca, dentre as mais de 300 raças catalogadas da espécie *Zea mays* L. (STALLER; TYKOT; BENZ, 2006), sendo considerada como olerícola (KAUKIS; DAVIS, 1986; TRACY, 2001).

As principais utilizações alimentares são em conserva (enlatado), por meio do processamento industrial e pelo consumo "in natura" (OLIVEIRA Jr.; PEREIRA; BRESSAN-SMITH, 2006). É uma das mais populares hortaliças dos Estados Unidos e Canadá onde os grãos são habitualmente consumidos crus na alimentação (TRACY, 2001; BORDALLO et al., 2005). Mais recentemente, o milho doce vem ganhando espaço no Brasil, impulsionado pelas indústrias de conservas alimentícias (SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012).

A principal característica do milho doce é apresentar pelo menos um dos oito genes mutantes recessivos, cuja expressão altera a composição do endosperma do grão (WALLACE; BRESSMAN, 1949). Assim, os elevados conteúdos de açúcares do milho doce decorrem da presença de alelos mutantes que bloqueiam no endosperma a conversão de açúcares em amido, conferindo o caráter doce deste tipo de milho (ARAÚJO et al., 2006a; BARBIERI et al., 2005).

Os principais genes responsáveis são o "Shrunken-2" (*sh2*) localizado no cromossomo 3; "Brittle" (*bt*), no cromossomo 5; "Sugary Enhancer" (*se*), "Sugary" (*su*) e "Brittle-2" (*bt2*), todos no cromossomo 4. Existem ainda os genes "Dull" (*du*), no cromossomo 10; Waxy (*wx*), no cromossomo 9; e "Amylose Extender" (*ae*), no cromossomo 5. Todos podem atuar de forma individual, ou em combinações duplas ou triplas (TRACY, 2001; LEMOS et al., 2002a; ARAÚJO et al., 2006b).

Esses alelos mutantes influenciadores da síntese de amido podem ser separados em duas classes, de acordo com o efeito na composição do endosperma. O milho doce contendo o gene sugary (*su1*), amilose extender1 (*ae1*), dull1 (*du1*) e o

waxy (*wx1*), e o milho superdoce contendo o gene brittle (*bt*), shrunken (*sh*) ou sugary enhancer (*se*) (BOYER; SHANNON, 1984).

Segundo Boyer e Shannon (1984), o grupo do milho doce que contém os genes amilose extender (*ae1*), dull1 (*du1*), sugary (*su1*) e waxy (*wx1*) alteram o tipo e a quantidade de polissacarídeos, estes apresentam menor quantidade de amido quando comparado ao milho normal. Os alelos *ae1*, *du1* e *wx1* não são utilizados como milho doce, a não ser combinados com outros alelos. Já o gene *su1* tem como característica aumentar a concentração de polissacarídeos solúveis em água. Tais compostos caracterizam-se por ser carboidratos de cadeia ramificada, responsáveis pela melhor estrutura e pela textura cremosa do grão (GARWOOD et al., 1976), aumentando de 5 a 9% o teor de açúcar, sendo então utilizado na forma simples ou em conjunto com outros mutantes (BOYER; SHANNON, 1984). Os híbridos dessa classe, normalmente, apresentam melhor vigor e germinação das sementes quando comparados com os da classe superdoce (HASSELL; DUFAULT; PHILLIPS, 2003). Todavia, possuem menor período de colheita, devido a uma rápida conversão de açúcar em amido que ocorre após a colheita (TRACY, 2001).

Por sua vez, as cultivares de milho da classe superdoce são portadores dos genes brittle1 (*bt1*), brittle2 (*bt2*) e shrunken2 (*sh2*) na forma homozigota recessiva (CREECH, 1965). Esses genes ocasionam severo bloqueio na síntese de amido (BOYER; SHANNON, 1984), acarretando no acúmulo de elevado conteúdo de açúcares no endosperma dos grãos (OKUMURA et al., 2014) em detrimento do amido (SOUZA et al., 2013), e por isso são denominados de superdoce (BOYER; SHANNON, 1984).

Outra vantagem da classe superdoce é o maior período de colheita (LAUGHNAN, 1953), uma vez que a perda de água dos grãos é mais lenta, devido ao menor potencial osmótico conferido pela alta concentração de açúcares no endosperma dos grãos (TRACY, 2001).

Em contrapartida, o milho superdoce não acumula polissacarídeos solúveis em água e, conseqüentemente, os grãos não apresentam textura pastosa no ponto de milho verde como ocorre com os genes mutantes sugary e sugary enhancer (KAUKIS; DAVIS, 1986). As plântulas são muito suscetíveis ao damping-off que é comum ocorrer em pré e pós-emergência, pois o aumento do nível de açúcar deixa a planta mais atrativa a patógenos e pragas do solo (HUNG; FRITZ; WATERS JR., 1992).

2.1.1. Composição química do milho doce

A composição química do milho doce é definida em função das espécies e cultivares (WALLACE; BRESSMAN, 1949; BOYER; SHANNON, 1984). Em geral, o milho comum apresenta em torno de 3% de açúcar e entre 60% e 70% de amido; o milho doce aproximadamente 9 a 16% de açúcar e 14 a 35% de amido e o superdoce tem em torno de 28-44% de açúcar (SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012). Tais diferenças ocorrem na fase de grãos leitosos (STORCK; LOVATO, 1991), porque há aumento de amido e redução de açúcar no endosperma dos grãos com a evolução do processo de maturação (NELSON, 1980; CANIATO et al., 2004).

Assim, o milho doce difere do milho comum, não por características taxonômicas, mas sim pela composição química dos grãos, em função do alto conteúdo de açúcares e baixo conteúdo de amido (ARAÚJO et al., 2006a). Como o conteúdo de amido é mais baixo, não é indicado para elaboração de pamonha e curau, nos quais a presença do amido é indispensável (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2006).

As características comumente usadas para descrever a qualidade do milho doce “in natura” incluem sanidade, aparência e composição química, que conferem ao milho sabor e aroma característica (CANIATO et al., 2007; KWIATKOWSKI; CLEMENTE; SCAPIM, 2011). Quanto à composição química, podemos destacar a concentração de amido, polissacarídeos solúveis em água, açúcares redutores e sacarose, que varia de acordo com o tipo de semente, condições climáticas e com o estágio de maturação (TSAI; SALAMINI; NELSON, 1970; MICHAEL; ANDREW, 1986; MARCOS et al., 1999).

Genótipos de milho doce que possuem altos conteúdos de açúcares totais nos grãos são os preferidos para a indústria beneficiadora e para o consumidor final (ERDAL et al., 2011). Uma menor concentração de amido implica em maior palatabilidade do produto, porém a proporção ideal entre açúcares e amido depende do momento da colheita (NELSON, 1980; CANIATO et al., 2004). Por essa razão, umidade de 75% ($\pm$ 3%) nos grãos é desejável no momento da colheita do milho doce (MARTIN; WILLIAMS, 2008), pois nesse intervalo, grande parte do amido ainda não se acumulou (NELSON, 1980), e o sabor adocicado característico do produto fresco se deve à presença de açúcares livres nos grãos (STORCK; LOVATO, 1991; CANIATO et al., 2004).

Contudo, os carboidratos e o conteúdo de amido definem atributos de qualidade, sendo de extrema importância sua investigação, para melhor recomendação ao produtor (CANIATO et al., 2004), visto que o mercado consumidor de milho doce tem se tornado cada vez mais exigente com relação à qualidade do produto (CANIATO et al., 2007). A esse respeito, pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos para modificar o conteúdo de determinadas substâncias nos grãos, uma vez que a composição química pode ser alterada por meio da manipulação genética (PARENTONI et al., 1991).

Com relação às proteínas, os grãos de milho são deficientes em dois aminoácidos essenciais: a lisina e o triptofano, que o define como de baixa qualidade nutritiva (MORO et al., 1996; KWIATKOWSKI; CLEMENTE; SCAPIM, 2011). Existem, no entanto, linhagens mutantes que contêm os genes “opaco-2” e “floury” que reduzem a síntese de zeínas (PAIVA et al., 1992; UFAZ; GALILI, 2008) e, conseqüentemente, aumentam no endosperma a porcentagem de proteínas ricas em lisina (MERTZ; BATES; NELSON, 1964) e triptofano (MISRA et al., 1972). Estes genes (opaco-2 e floury) têm características agronomicamente inferiores incluindo redução de produtividade e endosperma menos rígido o que aumenta a susceptibilidade a doenças e pragas além de dificultar o processamento (UFAZ; GALILI, 2008). Entretanto, em função dos melhores valores nutricionais, essas linhagens têm sido adaptadas para o uso em muitos países (UFAZ; GALILI, 2008).

Por fim, conforme mencionado, as composições químicas dos diferentes tipos de milho doce variam entre si, por ser características de cada gene, espécie e/ou cultivares (PEREIRA, 1987; TRACY, 2001). Apesar dessa variação, o milho doce é um produto de alto valor nutricional, independentemente do tipo de milho ser o doce ou superdoce (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química do milho doce (*su1*) e superdoce (*bt1* e *sh2*)

Literatura	Gene	Sólidos solúveis °Brix	Proteína	Amido	Açúcares redutores (%)	Açúcares totais
Pereira (1987)	<i>bt1</i>	20,8	11,6	20,2	2,1	5,2
	<i>su1</i>	22,3	11,0	22,9	1,9	4,6
	<i>su1</i>	17,7	10,8	24,2	1,6	4,3
Kwiatkowski et al. (2011)	<i>su1</i>	---	11,7	26,3	3,7	8,4
Okumura et al. (2014)	<i>sh2</i>	---	11,6	---	---	35,0
Souza et al. (2013)	<i>sh2</i>	---	---	16,2	---	27,1

2.1.2. Características do milho doce

Recomenda-se que o milho doce e superdoce seja colhido quando as espigas estiverem com 72 a 78 % de umidade (MARTIN; WILLIAMS, 2008), estágio de grãos leitosos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), o que ocorre normalmente quando os estilo-estigmas se apresentarem escurecidos e se desprenderem da espiga com facilidade, por meio do arranque manual (MAGALHÃES; SOUZA, 2011). A colheita deverá se realizar de preferência nas primeiras horas da manhã, quando geralmente a umidade do ar é alta e a temperatura é baixa (CANIATO et al., 2007).

Caso seja colhido antes da polinização, o milho doce pode ser utilizado como “baby corn” ou minimilho e, além disso, após a colheita, a parte vegetativa remanescente pode ser utilizada para silagem, destinada à alimentação animal (TEIXEIRA et al., 2001; OLIVEIRA JR.; PEREIRA; BRESSAN-SMITH, 2006).

O milho doce é uma fonte de renda compensadora, em virtude do alto preço unitário das espigas (STORCK; LOVATO; CAMASSETTO, 1984; CANIATO et al., 2004; 2007). Em concordância com essa assertiva, cotação feita em janeiro de 2015 revelou que nas Centrais Estaduais de Abastecimento (CEASAS) de Campinas (www.ceasacampinas.com.br), Curitiba (www.ceasa.pr.gov.br) e Espírito Santo (www.ceasa.es.gov.br) o preço por kg das espigas com palha do milho doce era respectivamente R\$ 1,4; 1,9 e 2,2. Em Belo Horizonte (www.ceasaminas.com.br) e Rio de Janeiro (www.ceasa.rj.gov.br), embora tenha sido milho verde comum, os preços por kg em R\$, foram 0,8 e 1,1, respectivamente. Portanto, o retorno econômico, além de atraente (principalmente em regiões litorâneas), é relativamente rápido, pois o milho é colhido verde, tornando-se uma excelente alternativa para a agricultura familiar (KHAN et al., 2011).

As espigas colhidas verdes podem ser comercializadas com ou sem palha. Geralmente CEASA's e feirantes comercializam espigas com palha, enquanto supermercados e estabelecimentos que comercializam hortaliças embalam as espigas em bandejas protegidas com filme plástico (SANTOS et al., 2005).

Cumpre-se também ressaltar que o Brasil, como um dos maiores produtores de milho comum do mundo (USDA, 2015), possui grande potencial para a produção de milho doce (BORDALLO et al., 2005). Este setor apresenta crescimento e a tendência é que seja mantido (BARBIERI et al., 2005; SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012). Uma das razões pelas quais o milho doce não é muito difundido no Brasil é a

falta de sementes, o que leva o consumidor ao desconhecimento deste tipo de milho (BARBIERI et al., 2005; SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012).

Em decorrência, algumas empresas governamentais e privadas vêm desenvolvendo programas de melhoramento para produção de cultivares de milho doce adaptada às condições brasileiras (PARENTONI et al., 1991; SCAPIM; CRUZ; ARAÚJO, 1995; LEMOS et al., 2002b; BARBIERI et al., 2005). Com isso, eleva-se o otimismo de crescimento para os próximos anos (SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012). Todavia, vale salientar que o desenvolvimento de práticas de manejo mais adequadas para esses híbridos é de fundamental importância (BARBIERI et al., 2005; MARTIN; WILLIAMS, 2008).

O maior conteúdo de açúcares do milho doce ocasiona baixa resistência ao ataque de pragas e doenças, quando comparado ao milho comum (TRACY, 2001; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007). Ademais, vale ressaltar que a porcentagem de germinação do milho doce é menor que a do milho comum. A baixa germinação é atribuída às menores quantidades de amido nas sementes (WATERS; BLANCHETTE, 1983; DOUGLAS; JUVIK; SPLITTSTOESSER, 1993; McDONALD; SULLIVAN; LAWER, 1994; LEMOS et al., 2002a; HASSELL; DUFAULT; PHILLIPS, 2003); os elevados nível de açúcar que deixa a planta mais atrativa a patógenos e pragas do solo (HUNG; FRITZ; WATERS JR., 1992) e a baixa atividade da alfa-amilase (BECK, ZEIGLER, 1989).

Neste tipo de milho os açúcares se cristalizam dentro do endosperma e, durante a desidratação, ocorre separação entre aleurona e o pericarpo criando-se então espaços internos. Em decorrência, as sementes apresentam um aspecto enrugado (PAIVA et al., 1992; DOUGLAS; JUVIK; SPLITTSTOESSER, 1993) e o pericarpo torna-se mais frágil e suscetível aos danos físicos e à entrada de patógenos (WATERS; BLANCHATTE, 1983; DOUGLAS; JUVIK; SPLITTSTOESSER, 1993) comprometendo a germinação e emergência das plantas a campo (CHOUREY; CHEN; MILLER, 1991).

Não obstante, é uma hortaliça altamente perecível, em função de sua elevada taxa metabólica no período pós-colheita devido à hidrólise de sacarose (BRAZ et al., 2006). Entretanto, a taxa metabólica pode ser reduzida com o processo de branqueamento e posterior armazenamento refrigerado. O branqueamento é o processo térmico de curto tempo de aplicação e é usado em hortaliças antes de serem submetidas a outros processos de conservação. Pode ser realizado com água

quente ou vapor de água seguido de um rápido resfriamento (ROMERO; BARRETT, 1997).

2.2. Ecofisiologia do milho

O milho apresenta taxa fotossintética elevada por pertencer ao grupo de plantas capazes de fixar CO_2 em compostos de quatro carbonos, ou seja, plantas de metabolismo C_4 (LEEGOOD et al., 1995; MAGALHÃES; SOUZA, 2011). As plantas desse grupo possuem folhas com anatomia Kranz, que se caracterizam por um feixe vascular bastante desenvolvido, rodeado por células denominadas Células da Bainha do Feixe Vascular (CBFV), cuja função é concentrar o dióxido de carbono (CO_2) captado da atmosfera para a rota metabólica C_4 . Em volta das CBFV localizam-se as células mesofílicas (HATCH; SLACK, 1966; 1968; 1970; EL-SHARKAWY, 2009).

Nessas plantas, a fixação inicial do CO_2 ocorre no citosol das células mesofílicas, via enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-carboxilase) para formar malato (HATCH; SLACK, 1966). Posteriormente, esses ácidos de quatro carbonos, são transferidos para as CBFV, onde são descarboxilados pela enzima NAD(P) málica, liberando o CO_2 e produzindo piruvato. Esse CO_2 liberado, por sua vez, é reduzido a carboidrato via Ciclo de Calvin, da mesma forma que ocorre em plantas C_3 , processo que acontece exclusivamente nas CBFV (TAIZ; ZEIGER, 2013), sendo esta reação catalisada pela enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco) (HATCH; SLACK, 1966; 1968; 1970; EL-SHARKAWY, 2009).

A enzima rubisco, além de atuar como carboxilase, também apresenta atividade de oxigenase. Assim, o oxigênio molecular (O_2) e o CO_2 competem pela mesma enzima e pelo mesmo substrato (TAIZ; ZEIGER, 2013). Quando a rubisco atua como oxigenase, inicia um processo chamado de fotorrespiração, que por sua vez reduz a fixação do CO_2 , e como consequência, reduz o crescimento e o rendimento das plantas (SLACK; HATCH, 1967; HATCH; SLACK, 1970).

A PEP-carboxilase apresenta uma alta atividade carboxilativa, e esta característica assegura uma alta concentração de CO_2 nas CBFV, onde ocorre refixação do CO_2 via rubisco. A concentração elevada de CO_2 nos sítios de

carboxilação da rubisco promove a supressão da oxigenação da enzima e, consequentemente, da fotorrespiração (BOWES; OGREN; HAGEMAN, 1971; OGREN, 1984). A PEP-carboxilase é cerca de 100 vezes mais eficiente que a rubisco (MAGALHÃES; SOUZA, 2011).

Assim, em plantas C₄, predomina nas CBFV a atividade carboxilase da rubisco, e uma baixa taxa de fotorrespiração (atividade de oxigenase), porque a alta concentração do CO₂ compete melhor com o O₂ pela enzima e pelo substrato ribulose 1,5-bifosfato. Considera-se, ainda, que se ocorrer a fotorrespiração, o CO₂ produzido não consegue sair das folhas porque é rapidamente refixado pela PEP-carboxilase nas células mesofílicas. Por essa razão, plantas C₄ são mais eficientes na captação, conversão e acumulação de carbono na forma de carboidratos, pois a fotorrespiração celular, que representa perda de CO₂ no processo fotossintético, pode existir, mas não é mensurável (EHLERINGER; BJÖRKMAN, 1977; BERRY; BJÖRKMAN, 1980; LEEGOOD et al., 1995). Contudo, um aspecto importante da fotossíntese em plantas C₄ é a separação espacial das duas enzimas carboxilativas e a cooperação metabólica entre as duas células especializadas.

Devido ao mecanismo concentrador de CO₂, as plantas C₄ exibem além de fotorrespiração não detectável, um baixo ponto de compensação de CO₂ (BERRY; BJÖRKMAN, 1980). Isso significa na prática, uma concentração de CO₂ na qual a fotossíntese líquida se iguala a zero, indicando que o processo fotossintético é saturado por CO₂ em concentrações baixas (TAIZ; ZEIGER, 2013). O ponto de compensação de CO₂ no milho é de 5 a 10 ppm, enquanto que no feijão (planta de mecanismo C₃), por exemplo, é de 30 a 70 ppm (MAGALHÃES; SOUZA, 2011). Ou seja, plantas C₄, operam a fotossíntese em baixas concentrações de CO₂, o que confere elevada eficiência na conversão de CO₂ em matéria seca. Ainda, plantas C₄ apresentam alta eficiência de uso da água e alto ponto de saturação luminoso (BERRY; BJÖRKMAN, 1980).

2.3. Fatores ambientais

A cultura do milho é fortemente influenciada pelos fatores ambientais, sobretudo pelos fatores climáticos (TSIMBA et al., 2013a; 2013b; MARQUES et al.,

2014). Apesar dos avanços tecnológicos e científicos, o clima ainda é a variável mais importante na produção agrícola, devido ao potencial de limitar os rendimentos das culturas (BRAY et al., 2000; SCHLENKER; LOBELL, 2010; WAHA; MÜLLER; ROLINSKI, 2013). Todavia, as comprovadas alterações climáticas têm afetado o crescimento e desenvolvimento vegetal (CHALLINOR; WHEELER, 2008).

O quarto e o quinto Relatório Científico do IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007; 2013) apresentam concretas evidências de mudanças do clima que podem afetar significativamente o planeta, especialmente nos extremos climáticos, com maior rigor nos países menos desenvolvidos e nas regiões tropicais. As projeções até o final deste século apontam para aumentos de 1,1 a 6,4°C na temperatura média do ar em vários locais do Planeta, incluindo o Brasil (IPCC, 2007; 2013). Streck et al. (2011), estudando variabilidade interanual e tendência histórica de dados climáticos (1970-2009) na região Sul do Brasil, verificaram que há aumento na temperatura mínima da relva de 0,97°C/década, sendo que o aumento iniciou principalmente na década de 80.

As respostas das culturas agrícolas a cenários de mudança climática têm sido realizadas em vários locais (THORNTON et al., 2009a; 2009b; LAUX et al., 2010; FOLBERTH et al., 2012), inclusive no Brasil (ASSAD et al., 2004; STRECK, 2005; STRECK; ALBERTO, 2006a; 2006b; LAGO et al., 2008). As conclusões indicam que a ameaça crescente dos estresses ambientais à produção das culturas, é a razão mais importante para perdas em produtividade (HOERLING; KUMAR, 2003; ROSEGRANT; CLINE, 2003; MATON; BERGEZ; LEENHARDT, 2007; WAHA; MÜLLER; ROLINSKI, 2013), sobretudo para a cultura do milho em função de sua grande vulnerabilidade às mudanças climáticas (STRECK; SILVA; LANGNER, 2012).

De acordo com estimativas feitas por Bray et al. (2000), a contribuição dos fatores de estresse ambientais à diminuição global da produção das culturas está se tornando cada vez mais importante. Como mostrado na Figura 1, os decréscimos relativos na capacidade de obtenção de produtividades recorde (máxima produtividade com condições de cultivo ideal) causados por fatores de estresse abióticos variam entre 66% e 82% para milho, trigo e soja.

Diminuição na capacidade de obtenção de produtividades recorde das culturas causada por fatores de estresse abióticos e bióticos

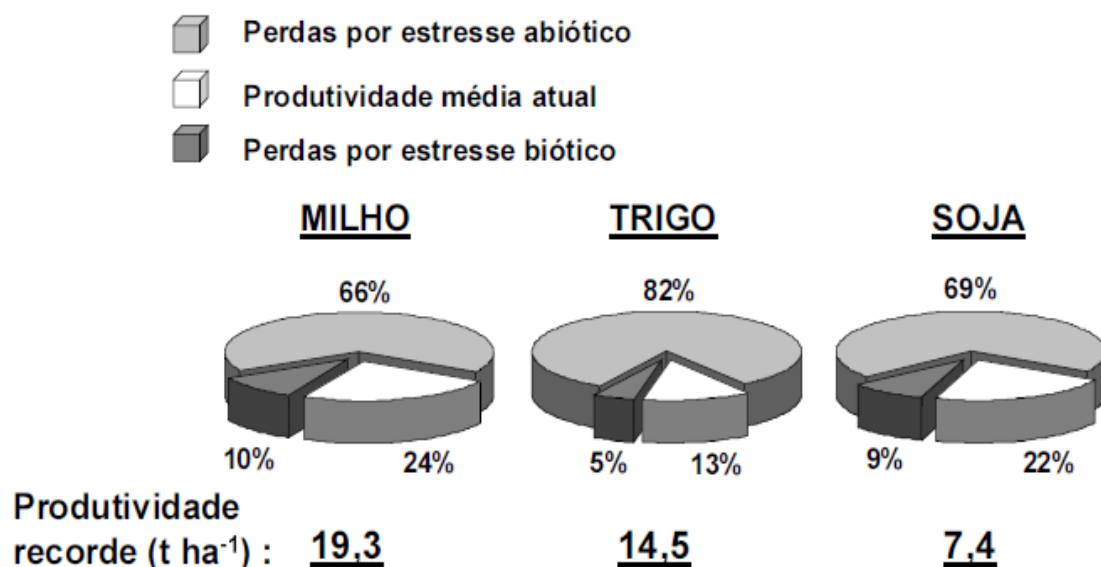


Figura 1. Produtividade recorde (produtividade sob condições ideais) e diminuição na capacidade de obtenção de produtividades recorde de milho, trigo e soja causada por fatores de estresse abióticos e bióticos.

Fonte: Bray et al. (2000).

Schlenker e Lobell (2010) verificaram que os impactos sobre a produção agrícola devido a mudanças de temperatura são muito mais fortes (-38% a +12%) do que os impactos devido a mudanças de precipitação (-3 % a 3%) em cinco culturas diferentes. Por sua vez, estudo realizado com a cultura do milho por Waha, Müller e Rolinski (2013), na África, aponta que o aumento da temperatura levará a reduções de rendimento superiores a 20% e a irregularidade de precipitação a reduções de 30% ou mais. Os últimos autores concluíram ainda que o efeito da mudança da estação chuvosa influencia (negativamente) muito mais forte, regiões em que a segunda safra é cultivada.

Neste contexto, a época de semeadura surge como uma das medidas mais salutares, adquirindo importância capital, para escapar de condições climáticas estressantes que influenciam sobremaneira o rendimento das culturas (CONNOR, 2004; DEBAEKE; ABOUDRARE, 2004; MATON; BERGEZ; LEENHARDT, 2007; LIU et al., 2013). Os agricultores podem reduzir o impacto negativo da mudança

climática sobre o rendimento das culturas, adaptando a época de semeadura aos novos cenários climáticos (HASSAN; NHEMACHENA, 2008; DERESSA et al., 2009; WAHA et al., 2013).

Estudos em Camarões indicaram que as produtividades das culturas de milho e de amendoim semeadas em épocas ideais (atualizadas), são normalmente mais elevadas que aquelas obtidas usando datas de semeaduras tradicionais (TINGEM; RIVINGTON, 2009; LAUX et al., 2010). Tal fato corrobora com Waha et al. (2013), uma vez que a adaptação da época de semeadura resultou em maior produtividade na maioria das regiões e sistemas de cultivo.

Martin e Williams (2008) estudando a influência da época de semeadura nas características agronômicas de híbridos de milho doce descobriram que as plantas cresceram de 13% a 23% a mais em comparação com épocas de plantios mais antigas do Norte Central dos EUA. Os autores enfatizaram que poucos estudos têm caracterizado o crescimento e o rendimento do milho doce em resposta às condições ambientais frente às mudanças de uma gama de datas de semeadura utilizadas pelos produtores.

O milho tem sua fisiologia afetada pelo ambiente que se encontra, sobretudo pela temperatura, radiação solar (TSIMBA et al., 2013a; 2013b; MARQUES et al., 2014), umidade e fotoperíodo (TSIMBA et al., 2013a; 2013b). Mesmo que seja possível a obtenção de produtividades razoáveis em condições adversas, os maiores rendimentos somente são conseguidos sob condições climáticas otimizadas (TSIMBA et al., 2013a; 2013b; MARQUES et al., 2014).

2.3.1. Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores de ambiente que podem afetar o rendimento de grãos de milho (KARCZ; BURDACH, 2007; SCHLENKER; LOBELL, 2010; WAHA; MÜLLER; ROLINSKI, 2013), por meio de seu efeito na duração e na taxa de acúmulo de massa seca pelos grãos, refletindo diretamente no rendimento final de grãos (MUCHOW, 1990). Normalmente, o aumento da temperatura provoca aumento na taxa de crescimento e diminuição na duração do período em que os grãos permanecem acumulando massa seca (MUCHOW, 1990; EDREIRA; OTEGUI, 2012; TSIMBA et al., 2013b; WAHA et al., 2013).

Na cultura do milho, de maneira geral, os limites máximos e mínimos de tolerância à temperatura são respectivamente: 41 °C e 8 °C (YAN; HUNT, 1999); 40 °C e 8 °C (BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998); 36 °C e 8 °C (CUTFORTH; SHAYKEWICH, 1990); 31 °C e 7 °C (TOLLENAAR; DAYNARD; HUNTER, 1979). Entretanto, o ideal é que as temperaturas permaneçam entre 26°C e 34°C (BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998), sendo considerada como ótima temperatura de 28°C (CUTFORTH; SHAYKEWICH, 1990), 31 °C (YAN; HUNT, 1999).

Temperaturas do solo inferiores a 15 °C e superiores a 40 °C prejudicam de modo significativo a germinação das sementes de milho (LANDAU; SANS; SANTANA, 2012), pois tais limites ocasionam a desestruturação de membranas, dificuldades na síntese e ação de enzimas e desaceleração das reações metabólicas (MUCHOW, 1990). Por essas razões, a faixa de temperatura entre 25 e 30 °C é a que proporciona condições mais favoráveis ao processo germinativo das sementes e emergência das plântulas (LANDAU; SANS; SANTANA, 2012). O desenvolvimento inicial das plantas do milho é maximizado na faixa de temperatura do ar entre 30 e 35 °C, e as mínimas admissíveis à cultura são temperaturas entre 6 e 8 °C, abaixo das quais danos irreversíveis podem ser causados às plantas (MIEDEMA, 1982).

O crescimento e o desenvolvimento da planta de milho são fortemente favorecidos pela ocorrência de amplitudes térmicas (PETERS et al., 1971). Extremos de amplitudes entre 15 e 20 °C resultam em elevadas taxas de produtividade de grãos, com a fase crítica entre os estádios V₁₂ (12 folhas completamente expandidas) e R₃ (grãos leitosos) (MIEDEMA, 1982; RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993; LOZADA; ANGELOCCI, 1999). Tal fato se deve porque temperaturas elevadas prevalentes no período noturno (superior a 24 °C) promovem um consumo energético demasiado em função do incremento da respiração celular (CIRILO; ANDRADE, 1994a; 1994b), ocasionando em menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda na produtividade da cultura (MOSS; MUSGRAVE; LEMON, 1961).

Durante o desenvolvimento reprodutivo, temperaturas médias superiores a 26°C aceleram o desenvolvimento dessa fase, e as inferiores a 15,5°C podem prontamente retardá-la (LANDAU; SANS; SANTANA, 2012). Na ocasião do florescimento, a ocorrência de temperaturas elevadas (>32°C) reduz o rendimento de grãos devido a um declínio no índice de colheita (FERRIS et al., 1998;

CRAUFURD; PRASAD; SUMMERFIELD, 2002). Essa constatação é decorrente ao reduzido número de grãos (PRASAD; CRAUFURD; SUMMERFIELD, 1999; EDREIRA; OTEGUI, 2012), efeito atribuído à quantidade reduzida de pólen (SCHOPER et al., 1987) além de sua baixa viabilidade (HERRERO; JOHNSON, 1980; MITCHELL; PETOLINO, 1988). O pobre rendimento de grãos e o baixo índice de colheita de um híbrido de milho temperado não melhoraram quando pólen fresco foi adicionado às espigas de plantas aquecidas em torno do espigamento (CICCHINO et al., 2010).

Todavia, sob estresse de calor, a perda de produtividade é principalmente relacionada à diminuta capacidade de assimilação (BERRY; BJÖRKMAN, 1980; SINSAWAT et al., 2004). Esta resposta é causada pela redução da fotossíntese, devido aos efeitos negativos da temperatura sobre a estabilidade da membrana e aprimorados aos custos de manutenção da respiração (BARNABÁS; JAGER; FEHER, 2008). Em nível da cultura, a consequência é uma redução na eficiência do uso da radiação (produção de biomassa por unidade de luz interceptada pelo dossel) (EDREIRA; OTEGUI, 2012), como relatado para o trigo (REYNOLDS et al., 2007) e milho (CICCHINO et al., 2010).

Com relação a baixas temperaturas, o milho apresenta elevada sensibilidade (MARQUES et al., 2014). No Brasil o estresse por frio é comum, principalmente na Safra de Outono/Inverno, pois as temperaturas são baixas, mas não o suficiente para a formação de gelo (LUKATKIN et al., 2012). Porém, em algumas regiões brasileiras, temperaturas abaixo do ponto de congelamento (-3 °C a -5 °C) vêm trazendo grandes prejuízos no cultivo do milho (XIMENES et al., 2004).

As propriedades físicas das membranas celulares e das organelas são totalmente alteradas pelo frio. Devido à composição da bicamada lipídica das membranas o frio pode modificar seu estado de fluído-cristalino para sólido-gel (TAIZ; ZEIGER, 2013). Isto reduz a atividade de H⁺-ATPases e proteínas transportadoras de íons na membrana. Os danos das membranas podem ocorrer tanto pela ação direta do frio quanto pela ação das espécies reativas de oxigênio (peroxidação lipídica) (MAROCCO; LORENZONI; FRACHEBOUD, 2005; LUKATKIN et al., 2012).

O estresse por frio durante os estádios reprodutivos, o mais comum na Segunda Safra Brasileira (FORTIN; PIERCE, 1991), leva a abscisão floral, diminuição da sincronia floral, anormalidades morfológicas florais, abortamento de

óvulos, esterilidade do pólen, redução do enchimento de grãos e inibição das enzimas do metabolismo de acumulação de carboidratos (BECHOUX; BERNIER; LEJEUNE, 2000; THAKUR et al., 2010).

2.3.2. Radiação solar

A radiação solar é um dos fatores climáticos mais influentes sobre a cultura do milho, pois atuam diretamente nas atividades fisiológicas (BRACHTVOGEL et al., 2009). A quantidade de energia solar que atinge a superfície terrestre é dependente da localização geográfica da área de produção, bem como da época de semeadura ao longo do ano (STONE; SORENSEN; JAMIESON, 1999). Esse fato é citado por Alfonsi (1991), por meio da Tabela 2, na qual se observa a quantidade diferencial de radiação solar que atinge a Terra, em função da inclinação do eixo terrestre.

Tabela 2. Valores médios de energia incidente ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), em área plana, no hemisfério sul, em função da época do ano

Latitude	Solstício de verão (dez)	Equinócio (set/out)	Solstício de inverno (jun)
0°	840	880	790
20° S	1000	820	570
40° S	1050	620	300
60° S	1030	400	50

Fonte: Alfonsi (1991).

A energia solar que atinge a Terra é constituída por um conjunto de radiações cujos comprimentos de onda variam de 200 a 4000 nm (TAIZ; ZEIGER, 2013). Entretanto, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), aquela que induz resposta no processo da fotossíntese, geralmente está relacionada aos limites de 400 a 700 nm. Nesta porção do espectro ocorre excitação das moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese (MOREIRA; ÂNGULO FILHO; RUDORFF, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A radiação solar incidente na atmosfera terrestre é a principal fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais (FAGERIA, 1998), além de afetar fortemente as condições térmicas do ar (PINOTTI et al., 2014). Por essa razão, o acúmulo de massa seca nas plantas segue relação linear com a energia radiante fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel da

cultura do milho (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; KINIRY et al., 1989; ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996; LINDQUIST et al., 2005; KUNZ et al., 2007). Estudo efetuado por Didonet et al., (2002) demonstra que houve aumento linear da taxa de crescimento da cultura com o aumento da radiação solar interceptada em híbridos de milho.

Cerca de 90% da matéria seca acumulada pela planta de milho provém da fixação atmosférica de CO₂ pelo processo de fotossíntese (MAGALHÃES; SOUZA, 2011). Logo, a capacidade do milho em produzir grãos é dependente da habilidade da cultura para assimilar CO₂. Entretanto, a assimilação de CO₂ é relacionada em nível de dossel pela eficiência do uso da radiação (MUCHOW; SINCLAIR, 1994), ou seja, a utilização da luz interceptada (GIAUFFRET et al., 1991).

A eficiência de uso da radiação máxima em milho ocorre durante o crescimento vegetativo e há tendência para decréscimo durante o enchimento de grãos associado com a mobilização do nitrogênio foliar para os grãos (MUCHOW; DAVIS, 1988; SINCLAIR; MUCHOW, 1999). Gosse et al. (1986) avaliaram diferentes espécies quanto à eficiência de utilização da radiação e encontraram, em corroboração com análises teóricas, que espécies C₄ apresentaram maiores valores de eficiência de utilização da radiação que espécies C₃.

Sands (1996) conclui que a temperatura pode influenciar a eficiência de utilização da radiação dependendo da resposta fotossintética à temperatura. Andrade, Uhart e Cirilo (1993), trabalhando com milho na região de Balcarce (Argentina), verificaram decréscimo linear de eficiência de utilização da radiação em função da diminuição da temperatura média na faixa de 21 a 16 °C.

Todavia, é oportuno destacar um fator não controlável, a nebulosidade, que pode limitar a produção de fotoassimilados, pois afeta diretamente o tempo de exposição das folhas do milho à incidência da radiação solar, reduzindo os componentes de produção (ANDRADE; FERREIRO, 1996). Em baixa luminosidade, a fotossíntese pode diminuir de intensidade, chegando ao ponto da planta de milho não aumentar a sua massa, pois a fotossíntese líquida será zero e a planta não terá atingido o ponto de compensação para esse fator, isto é, o nível metabólico em que os assimilados sintetizados na fotossíntese são consumidos na respiração e em outros processos vitais (TAIZ; ZEIGER, 2013). O regime de chuva afeta indiretamente também as taxas de radiação, uma vez que chuvas intensas limitam a radiação solar que chega à superfície (LANDAU; SANS; SANTANA, 2012).

Por outro lado, com condições climáticas adversas, as plantas recebem muito mais luz solar do que são capazes de utilizar no transporte de elétrons durante a fotossíntese e na fixação de CO₂ (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994; VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996). Isto causa um dano fotooxidativo, ou seja, acúmulo excessivo de energia luminosa absorvida e de fotorredutores nos cloroplastos com a consequente ativação do O₂ molecular em espécies reativas de oxigênio (ERO) (GILL; TUTEJA, 2010). O dano fotooxidativo é o processo-chave envolvido no dano celular e na morte de células de plantas expostas a fatores de estresse ambientais (FOYER; LELANDAIS; KUNERT, 1994; FOYER et al., 1997; ASADA, 2000).

As ERO são produzidas dentro das membranas do tilacóide e responsável pela peroxidação de lipídeos (ASADA, 2000; MÜLLER; LI; NIYOGI, 2001). Adicionalmente, as ERO induzem perda de integridade estrutural e funcional das membranas celulares, redução da atividade de várias enzimas vitais e inibição da capacidade de aquisição de nutrientes das raízes. Ainda, as ERO são altamente tóxicas aos constituintes vitais das células e responsáveis pela destruição de clorofila, DNA, lipídeos e proteínas das membranas (TSUGANE et al., 1999; BORSANI et al., 2001; ZHU, 2001; GILL; TUTEJA, 2010). Consequentemente, a capacidade produtiva do milho é fortemente diminuída, com severos danos nos cloroplastos (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994).

2.3.3. Disponibilidade hídrica

A cultura do milho demanda um consumo mínimo de 350-500 mm para garantir uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação. Em condições de clima quente e seco, na fase inicial de desenvolvimento, a cultura do milho raramente excede um consumo 3 mm dia⁻¹ de água. No período que vai da iniciação floral à maturação, o consumo pode atingir 5 a 7 mm dia⁻¹. Considerando todo o ciclo, as maiores produtividades têm ocorrido associadas a consumos de água entre 500 e 800 mm (LANDAU; SANS; SANTANA, 2012).

As maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão (BORRÁS; WESTGATE; OTEGUI, 2003; DUVICK, 2005; BORRÁS et al., 2007). Todavia, o período compreendido entre 15 dias antes

(emborrachamento) e 15 dias após o aparecimento da inflorescência masculina (grãos bolha d'água), é caracterizado por ser o período mais crítico ao déficit hídrico (NESMITH; RITCHIE, 1992).

As explicações fisiológicas por tal período ser extremamente crítico, é o fato de o déficit hídrico comprometer a viabilidade do grão de pólen e retardar o desenvolvimento dos estiloestigmas (inibição do alongamento do estilete) em relação aos grãos de pólen (NESMITH; RITCHIE, 1992; OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995; BUITINK et al., 1996; BORRÁS; WESTGATE; OTEGUI, 2003; ÇAKIR, 2004; BORRÁS et al., 2007; NIELSEN; HALVORSON; VIGIL, 2010).

O retardamento do florescimento feminino pode induzir sérias consequências na polinização, pois quando os estiloestigmas já preparados para receber os grãos de pólen, boa parte deles não estará mais viável, com fortes reduções no número final de grãos (TOLLENAAR, 1977; ZINSELMEIER; WESTGATE; JONES, 1995). A viabilidade do grão de pólen é perdida com a redução da umidade, pois são muito higroscópicos e ressecam com facilidade (KERHOAS; GAY; DUMAS, 1987; OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995; BUITINK et al., 1996). Daí as razões pelas quais a mencionada fase deve ser criteriosamente planejada, com o intuito de assegurar sua coincidência com o período estacional que apresente temperaturas favoráveis e chuvas frequentes (MUCHOW, 1989).

Por sua vez, em nível da planta inteira os efeitos da seca são geralmente percebidos por diminuição no crescimento (ZLATEV; LINDON, 2012), redução da turgescência celular, enrolamento das folhas (ação das células buliformes) e redução do índice de área foliar; modificações estas importantes para diminuição da área transpiratória (EARL; DAVIS, 2003; KUNZ et al., 2007). Como consequência direta, ocorre limitação do aparato fotossintético e severa redução no rendimento (NESMITH; RITCHIE, 1992; LOPES et al., 2011).

O déficit hídrico também diminui a assimilação fotossintética de carbono (ZLATEV; LINDON, 2012). Tal fato está condicionado a limitações bioquímicas estomáticas (WISE; ORTIZ-LOPES; ORT, 1992; YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2003). A planta reage ao déficit hídrico com o fechamento rápido dos estômatos para evitar mais perda de água por meio da transpiração (LOPES et al., 2011). Como consequência, a difusão de CO₂ para a folha é restrita (CHAVES, 1991; FLEXAS et al., 2006) e a baixa concentração de CO₂ interno resulta em

limitação da fotossíntese (CORNIC et al., 1992; TEZARA et al., 1999; HAUPTHERTING; FOCK, 2000; NOGUÉS; BAKER, 2000; LOPES et al., 2011).

A redução da abertura estomática, além de diminuir a concentração de CO₂ no mesófilo resulta numa acumulação de NADPH. Sob tais condições, quando NADP é um fator limitador, o oxigênio age como um receptor alternativo de elétrons, resultando na formação de radicais superóxido, que são potencialmente tóxicos (SAIRAM; DESHMUKH; SAXENA, 1998). Estas ERO podem atacar as membranas lipídicas (peroxidação lipídica), DNA, proteínas e clorofila; ou este excesso de energia pode levar a uma fotoinibição (GILL; TUTEJA, 2010).

A falta de água compromete, ainda, o processo fotossintético, uma vez que a molécula de água é oxidada no fotossistema II (FSII) contribuindo com potencial eletroquímico para a formação de adenosina trifosfato (ATP) no interior dos cloroplastos (HOGANSON; BABCOCK, 1997). Apesar do FSII ser altamente resistente à seca (YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2003), sob condições de estresse hídrico, o transporte de elétrons por meio do FSII é inibido (CHEN; HSU, 1995; CHAKIR; JENSEN, 1999; XU et al., 2008; GUÓTH et al., 2009). Vários estudos demonstram que o déficit hídrico resultou em danos no complexo de evolução de oxigênio no FSII (LU; ZHANG, 1999; SKOTNICA et al., 2000) e nos centros de reação associados com o FSII, com degradação da proteína D1 (HE; WANG; LIANG, 1995; XU et al., 2008; GUÓTH et al., 2009). Como consequência, há menor produção de carboidratos e diminuição do volume de matéria seca de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004; 2006).

O efeito mais aparente da seca nos vasos de xilema do milho é a diminuição da condutância hidráulica que ocorre tanto pela falta de água disponível como pela baixa atividade/expressão das aquaporinas (proteínas responsáveis pelo transporte de água para dentro das raízes). Sem a água no xilema podem ocorrer bolhas de ar (embolismo) ou ainda interrupção do fluxo (cavitação) devido ao estiramento (quebra) da coluna d'água (KALDENHOFF, 2008; LI; SPERRY; SHAO, 2009).

Por fim, a seca do solo induz diminuição de nutrientes nas plantas devido à redução na transpiração, reduzindo o fluxo em massa e consequentemente a absorção iônica, ou ainda pela inativação de enzimas (redutase do nitrato, por exemplo) (LOPES et al., 2011).

2.3.4. Fotoperíodo

O milho é uma planta de dias curtos e responde a um aumento do fotoperíodo quando cultivado em latitudes superiores a 33° (WARRINGTON; KANEMASU 1983; ELLIS et al., 1992; BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998; TOLLENAAR, 1999). No entanto, nenhuma resposta direta ao fotoperíodo é esperada para o milho cultivado no Brasil (BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998), uma vez que o fotoperíodo brasileiro é menor que o valor crítico (12,5 h) (SOLER; SENTELHAS; HOOGENBOOM, 2005).

Tal fato contribui para que a correlação entre temperatura, crescimento e desenvolvimento das plantas seja elevada (GADIOLI et al., 2000). Isso porque o alongamento ou o encurtamento da fase vegetativa são resultantes da disponibilidade de calor (soma térmica) e não do número de horas de luz (ou de escuro) a que a planta estiver submetida (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993; LOZADA; ANGELOCCI, 1999; GADIOLI et al., 2000).

Pinotti et al. (2014), investigando o comportamento fitotécnico de milho em diferentes épocas de semeadura descobriram que as plantas cresceram mais em janeiro e fevereiro em relação a março. Os autores atribuíram o fato às condições ambientais presentes em março, principalmente as menores disponibilidades de luz e temperatura, concluindo que nesta época tal efeito ocorre devido à diminuição da luminosidade provocada indiretamente pela redução do fotoperíodo. Ou seja, a semeadura tardia na Safrinha passa por períodos com dias mais curtos, o que pode contribuir com a menor produtividade, pois a cultura fica menos tempo exposta à radiação solar, reduzindo o acúmulo de fotoassimilados (MARQUES et al., 2014).

Contudo, como nas condições brasileiras o milho apresenta comportamento fotoneutro sendo insensível ao fotoperíodo (CHANG, 1981; BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998; TOLLENAAR, 1999), o desenvolvimento do milho passa então a ser influenciado, portanto, pelo tempo de exposição das plantas aos fatores ambientais, como a irradiância solar e a temperatura do ar (KHAN et al., 2009). Tal constatação fica nítida no trabalho desenvolvido por Marques et al. (2014), ao observar similaridade de valores de soma térmica acumulada em cada subperíodo fenológico para cada época de semeadura, independentemente do fotoperíodo.

2.4. Época de semeadura

Os fatores ambientais acima discutidos variam de forma aleatória em torno de tendências médias sazonais, de forma que o maior desafio é ajustar o momento ideal para o plantio (TSIMBA et al., 2013a). O potencial de rendimento pode ser maximizado pela escolha adequada da época de semeadura (MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009; KHAN et al., 2011) escapando de condições climáticas negativas (TSIMBA et al., 2013a) sem sobrecarregar o custo de produção (SANGOI et al., 2006).

Todavia, neste particular, no Brasil se caracteriza um sistema de produção em duas épocas de semeaduras (ADEGAS; VOLL; GAZZIERO, 2011). Tem-se a Semeadura de Verão ou Primeira Safra; e a Safrinha, ou Segunda Safra, também comumente designada de Safra de Outono/Inverno, caracterizada pelo cultivo extemporâneo, com a semeadura sendo realizada entre os meses de janeiro a abril, após a cultura de verão, geralmente a soja (EMBRAPA, 2012).

2.4.1. Safra de Verão

O milho doce (KWABIAH, 2004; MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009) e o milho verde comum (ISHIMURA et al., 1986; FORNASIERI FILHO; CASTELLANE; CIPOLI, 1988; SILVA, 2000) podem ser cultivados em diferentes épocas de semeadura em função da característica escalonada de exploração (MARTIN; WILLIAMS, 2008). Entretanto, a época preferencial é a que faz coincidir a maior área foliar por planta (pendoamento) com os dias mais longos do ano, com temperaturas amenas e sem restrições hídricas (GONÇALVES et al., 2002; PIANA et al., 2008; PINOTTI et al., 2014).

A coincidência referida normalmente ocorre com a semeadura do milho, de forma que o florescimento ocorra em dezembro e o enchimento de grãos em janeiro e fevereiro (SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), meses em que os dias são mais longos e há maior ocorrência de radiação solar (FORSTHOFER et al., 2004). Todavia, nas condições tropicais, devido à menor variação da temperatura e do comprimento do dia, a distribuição de chuvas é que geralmente determina a melhor época de semeadura (SANS; GUIMARÃES, 2012).

Em semeaduras precoces, antes do início da primavera (agosto a início de setembro no hemisfério sul), há menor radiação, disponibilidade hídrica e temperatura na fase inicial de desenvolvimento das plantas (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; WILSON; MUCHOW; MURGATROYD, 1995). Tais condições climáticas diminuem a germinação das sementes de milho doce (baixo estande) (HASSELL; DUFAULT; PHILLIPS, 2003; KWABIAH, 2004; MARTIN; WILLIAMS, 2008), o crescimento e o desenvolvimento inicial da cultura (ZAKI; SHAH; HAYAT, 1994; TSIMBA et al., 2013b). Isso resulta na formação de menor área foliar por planta e plantas de menor estatura (NOLDIN; MUNDSTOCK, 1987; 1988; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007). Por conseguinte, o processo fotossintético fica limitado (MUCHOW, 1990) e a disponibilidade de fotoassimilados é menor (GONÇALVES et al., 2002).

Por essas razões, no geral, a produtividade é mais alta quando as condições do tempo permitem a semeadura em outubro (PIANA et al., 2008). Trabalhos de pesquisa no Brasil Central mostram que, dependendo da cultivar, atraso da semeadura a partir da época mais adequada (geralmente em outubro) pode resultar em redução no rendimento de grãos em até 30 kg de milho por hectare dia (SANS; GUIMARÃES, 2012).

Segundo Williams e Lindquist (2007), um híbrido de milho doce em Illinois cresceu em média 22 cm a mais, com 18% de biomassa total da parte aérea e 43% de índice de área foliar a mais, quando semeado no início do verão (final de junho) em comparação com a semeadura precoce na primavera (início de maio). Além disso, o melhor rendimento do milho doce com o atraso da semeadura foi justificado em grande parte pelo estabelecimento melhorado do estande.

Tsimba et al. (2013a), investigando o efeito das épocas de semeaduras (19/09; 12/10; 02/11 e 23/11) na cultura do milho em três locais na Nova Zelândia (37,86°S e 175,32°E a 50m; 37,98°S e 175,32°E a 84m; 40,38°S e 175,58°E a 18m) obtiveram respostas quadráticas para o índice de área foliar, biomassa total e produtividade. Em todos os ambientes os menores valores foram encontrados na última época de semeadura seguida da primeira. O baixo rendimento na primeira semeadura foi justificado devido às baixas temperaturas durante o crescimento inicial que reduziu a biomassa e expansão da área foliar com menor desenvolvimento do dossel, ou seja, limitação da fonte. Os rendimentos máximos

foram obtidos em semeaduras efetuadas no final de outubro e início de novembro. Na Nova Zelândia o verão é entre novembro e fevereiro.

2.4.2. Safra de Outono/Inverno

A semeadura no período de Outono/Inverno, não tem um período préfixado para seu plantio. É uma safra desenvolvida após uma Cultura de Verão, sendo a sua época de semeadura dependente da época de semeadura da cultura antecessora e de seu ciclo. Assim, o planejamento do Milho Safrinha começa com a Cultura de Verão, visando liberar a área o mais cedo possível (SANS; GUIMARÃES, 2012). Logo, por ser semeado no final da época recomendada, depois do início do verão (janeiro-março), o Milho Safrinha tem sua produtividade afetada (VON PINHO et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2006; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007).

Entretanto, é uma importante opção de cultivo em sucessão a outras culturas, por intensificar e otimizar o uso da terra proporcionando maior diversidade de renda (FORSTHOFER et al., 2006), além de diminuir a pressão de doença (BENNETT et al., de 2012). Outro aspecto relevante do Milho Safrinha é a quantidade e qualidade dos restos culturais que permanecem no sistema (CASAGRANDE; FORNASIERI FILHO, 2002) exercendo importante papel na proteção do solo (BOER et al., 2007; NYONG; ADESINA; ELASHA, 2007; TIMOSSO; DURIGAN; LEITE, 2007) e das culturas em períodos de seca, temperaturas e chuvas extremas (LIN, 2011). Por essas razões, há diferença significativa de rendimento em sistemas com Milho Safrinha, mesmo em sucessão, quando comparado com sistemas de monocultura (WAHA et al., 2013).

O potencial de rendimento da Segunda Safra é menor porque as plantas são mais sujeitas ao déficit hídrico e à menor quantidade de radiação e temperatura durante o período mais crítico (desenvolvimento reprodutivo), além de maior incidência de doenças foliares e de colmo (VON PINHO et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2006; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007; MARTIN; WILLIAMS, 2008). Nesta época de cultivo destaca-se também o risco de geadas (LAUER et al., 1999; SANS; GUIMARÃES, 2012).

Tsimba et al. (2013a), obtiveram menores valores de produtividade, índice de área foliar e de biomassa total nas semeaduras realizadas após o início do verão

(final da época recomendada) e justificaram a descoberta devido à redução na radiação fotossinteticamente ativa e à redução da eficiência de uso da radiação. Os autores concluíram que os componentes de produção foram inferiores devido à fase de enchimento de grãos coincidir com deterioração significativa das condições ambientais (temperatura, radiação e disponibilidade de água), ou seja, limitação do dreno.

Logo, na Safra de Outono/Inverno é interessante optar por híbridos superprecoces a fim de evitar os estresse climáticos na fase reprodutiva (florescimento e/ou enchimento) (HEINEMANN et al., 2009), o que é comprovado nos levantamentos de Milho Safrinha (CRUZ et al., 2010; FRANCO; MARQUES; VIDIGAL FILHO, 2013). Tsimba et al. (2013a), verificaram que híbridos de ciclo mais longo, quando semeados no final da temporada, eram geralmente mais suscetíveis a qualquer tipo de estresse, aumentando a intensidade com o tempo, quando comparado com híbridos mais precoces.

Assim, o cultivo do milho doce na Segunda Safra, surge como interessante alternativa, pois presume que, como colhido verde, há redução exacerbada do tempo em que a cultura fica exposta a condições climáticas restritivas (KHAN et al., 2011). Logo, a chance de sucesso e a probabilidade de que a cultura produza a contento é muito superior quando comparado com o cultivo de milho grão.

Entretanto, independentemente do híbrido, quanto mais tarde for a semeadura (a partir de fevereiro), menor será o potencial de rendimento e maior os riscos de perdas por adversidades climáticas (VON PINHO et al., 2002) principalmente com geadas e déficit hídrico (LAUER et al., 1999; SANS; GUIMARÃES, 2012). Assim, o sucesso da Safrinha é condicionado pela não coincidência dos estádios críticos da cultura a tais riscos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993; GONÇALVES et al., 2002), por meio de efetivo planejamento da época de semeadura (KHAN et al., 2009).

Cruz et al. (2010), caracterizando o cultivo do Milho Safrinha em sistemas de produção com alta produtividade, coletaram dados em 1.138 propriedades agrícolas, cujo rendimento médio encontrado nestas lavouras variou de 5.000 a 7.000 kg ha⁻¹. Nestas propriedades predominaram semeaduras em fevereiro. Marques et al. (2014), estudando a influência das épocas de semeaduras na cultura do milho pipoca sob irrigação na Safra de Outono/Inverno no Noroeste do Paraná, verificaram que a produtividade de grãos decresceu 1,18% (36,8 kg ha⁻¹) para cada dia de

atraso em 2010 e de 1,75% (42,5 kg ha⁻¹) em 2011. A primeira semeadura em 2010 foi em 10 de fevereiro e em 2011, 18 de fevereiro.

Entretanto, nas regiões onde não ocorre geada, o cultivo do milho verde irrigado pode ser realizado o ano todo (SILVA, 2000). Porém, onde existe elevado risco de geada, ao contrário do que é preconizado para o Milho de Verão, as baixas altitudes (inferior a 600 m), são favoráveis ao cultivo da Safrinha (SANS; GUIMARÃES, 2012). Tsimba et al. (2013a), sugerem cautela na semeadura tardia principalmente em solos propensos a seca (arenosos), altitudes mais elevadas ou em ambientes mais frios.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

ADEGAS, F.S.; VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P. Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária *ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1226-1233, 2011.

ALFONSI, R.R. **Agrometeorologia**: importância e aplicações. Piracicaba: ESALQ/USP. 1991. 23p.

ANDRADE, F.H.; FERREIRO, M.A. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. **Field Crops Research**, v.48, n.1-2, p.155-165, 1996.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v.32, n.1, p.17-25, 1993.

ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Maturação de sementes de milho doce - grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.2, p.69-76, 2006b.

ARAÚJO, E.F.; ARAÚJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce colhidas em diferentes épocas. **Bragantia**, v.65, n.4, p.687-692, 2006a.

ASADA, K. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. **Philosophical Transactions Biological Science**, v.355, p.1419-1430, 2000.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; JUNIOR, J.Z.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

BARBIERI, V.H.B.; LUZ, J.M.Q.; BRITO, C.H.; DUARTE, J.M.; GOMES, L.S.; SANTANA, D.G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.826-830, 2005.

BARNABÁS, B.; JAGER, K.; FEHER, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant, Cell & Environment**. v.31, p.11-38, 2008.

BECHOUX, N.; BERNIER, G.; LEJEUNE, P. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize (*Zea mays* L.). **Plant Cell & Environment**, v.23, p.91-98, 2000.

BECK, E.; ZIEGLER, P. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.40, n.2, p.95-117, 1989.

BENNETT, A.J.; BENDING, G.D.; CHANDLER, D.; HILTON, S.; MILLS, P. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. **Biological Reviews**, v.87, p.52-71, 2012.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BERRY, J.; BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.31, n.3, p.491-543, 1980.

BIRCH, C.J.; RICKERT, K.G.; HAMMER, G.L. Modelling leaf production and crop development in maize (*Zea mays* L.) after tassel initiation under diverse conditions of temperature and photoperiod. **Field Crops Research**, v.58, n.2, p.81-95, 1998.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.de; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BORDALLO, P.N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JR., A.T.; GABRIEL, A.P.C. Análise dialéctica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.123-127, 2005.

BORRÁS, L.; WESTGATE, M.E.; ASTINI, J.P.; ECHARTE, L. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. **Field Crops Research**, v.102, n.1, p.73-85, 2007.

BORRÁS, L.; WESTGATE, M.E.; OTEGUI, M.E. Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. **Annals of Botany**, v.91, n.7, p.857-867, 2003.

BORSANI, O.; CUARTERO, J.; FERNANDEZ, J.A.; VALPUESTA, V.; BOTELLA, M.A. Identification of two loci in tomato reveals distinct mechanisms for salt tolerance. **The Plant Cell**, v.13, p.873-887, 2001.

BOWES, G.; OGREN, W.L.; HAGEMAN, R.H. Phosphoglycolate production catalyzed by ribulose diphosphate carboxylase. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.45, n.3, p.716-722, 1971.

BOYER, C.D.; SHANNON, J.C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. **Plant Breeding Review**, v.01, p.139, 1984.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. (Eds.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. New York: Wiley, 2000, p.1158-1203.

BRAZ, R.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; MIRANDA, G.V.; PUIATTI, M.; ALMEIDA, A.A. Perda de peso pós-colheita de espigas de milho verde em função de diferentes formas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.139-144, 2006.

BUITINK, J.; WALTERS-VERTUCCI, C.; HOEKSTRA, F.A.; LEPRINCE, O. Calorimetric properties of dehydrating pollen: analysis of a desiccation-tolerant and an intolerant species. **Plant Physiology**, v.111, n.3, p.235-242, 1996.

ÇAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, v.89, n.1, p.1-16, 2004.

CANIATO, F.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; PUIATTI, M.; OLIVEIRA, D.A.; FERREIRA, J.L. Quantificação de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1893-1896, 2007.

CANIATO, F.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; RIBEIRO, R.A.; MIRANDA, G.V.; PUIATTI, M. Composição de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido

nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.1, p.38-44, 2004.

CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.33-40, 2002.

CHAKIR, S.; JENSEN, M. How does *Lobaria pulmoria* regulate Photosystem II during progressive desiccation and osmotic water stress? A chlorophyll fluorescence study at room temperature and at 77 K. **Physiologia Plantarum**, v.105, p.257-265, 1999.

CHALLINOR, A.J.; WHEELER, T.R. Crop yield reduction in the tropics under climate change: processes and uncertainties. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.343-356, 2008.

CHANG, J.H. Corn yield relation to photoperiod, night temperature, and solar radiation. **Agricultural Meteorology**, v.24, n.2, p.253-262, 1981.

CHAVES, M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.1-16, 1991.

CHEN, Y. H.; HSU, B. D. Effect of dehydration on the electron transport of *Chlorella*. An *in vivo* fluorescence study. **Photosynthesis Research**, v.46, p.295-299, 1995.

CHOUREY, P.S.; CHEN, Y.C.; MILLER, M.E. Early cell degeneration in developing endosperm is unique to the shrunken mutation in maize. **Maydica**, v.36, p.141-146, 1991.

CICCHINO, M.; EDREIRA, J.I.R.; URIBELARREA, M.; OTEGUI, M.E. Heat stress in field grown maize: response of physiological determinants of grain yield. **Crop Science**, v.50, p.1438-1448, 2010.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1039-1043, 1994a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1044-1046, 1994b.

CONNOR, D.J. Designing cropping systems for efficient use of limited water in southern Australia. **European Journal of Agronomy**, v.21, p.419-431, 2004.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRIANTAIS J.M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, v.27, p.295-309, 1992.

CRAUFURD, P.Q.; PRASAD, P.V.; SUMMERFIELD, R.J. Dry matter production and rate of change of harvest index at high temperature in peanut. **Crop Science**, v.42, p.146-151, 2002.

CREECH, R.G. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. **Genetics**, v.52, p.1175-1185, 1965.

CRUZ, J.C.; SILVA, G.H.; PEREIRA FILHO, I.A.; GONTIJO NETO, M.M.S.; MAGALHÃES, P.C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.2, p.177-188, 2010.

CUTFORTH, H.W.; SHAYKEWICH, C.F. A temperature response function for corn development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.50, p.159-171, 1990.

DEBAEKE, P.; ABOUDRARE, A. Adaptation of crop management to water limited environments. **European Journal of Agronomy**, v.21, p.433-446, 2004.

DERESSA, T.T.; HASSAN, R.M.; RINGLER, C.; ALEMU, T.; YESUF, M. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. **Global Environmental Change**, v.19, 248-255, 2009.

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

DOUGLAS, S.K.; JUVIK, J.A.; SPLITTSTOESSER, W.E. Sweet corn seedling emergence and variation in kernel carbohydrate reserves. **Seed Science and Technology**, v.21, n.3, p.433-445, 1993.

DUVICK, D.N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, v.86, p.83-145, 2005.

EARL, H.J.; DAVIS, R.F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v.95, n.3, p.688-696, 2003.

EDREIRA, J.I.R.; OTEGUI, M.E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. **Field Crops Research**, v.130, n.1, p.87-98, 2012.

EHLERINGER, J.; BJÖRKMAN, O. Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants. Dependence on temperature, CO₂ and O₂ concentration. **Plant Physiology**, v.59, n.1, p.86-90, 1977.

ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; EDMEADES, G.O.; ROBERTS, E.H. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. **Crop Science**, v.32, p.1225-1232, 1992.

EL-SHARKAWY, M.A. Pioneering research on C₄ photosynthesis: implications for crop water relations and productivity in comparison to C₃ cropping systems. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.7, n.3 e 4, p.468-484, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm>. Acesso em: 10 jun. 2013.

ERDAL, S.; PAMUKÇU, M.; SAVUR, O. TEZEL, M. Evaluation of developed standard sweet corn (*Zea mays saccharata* L.) hybrids for fresh yield, yield components and quality parameters. **Turkish Journal of Field Crops**, v.16, n.2, p.153-156, 2011.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FERRIS, R.; ELLIS, R.H.; WHEELER, T.R.; HADLEY, P. Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. **Annals of Botany**, v.82, p.631-639, 1998.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006.

FOLBERTH, C.; GAISER, T.; ABBASPOUR, K.C.; SCHULIN, R.; YANG, H. Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa: model setup, evaluation, and estimation of maize yields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.151, p.21-33, 2012.

FORNASIERI FILHO, D.; CASTELLANE, P.D.; CIPOLLI, R. Efeito de cultivares e épocas de semeadura na produção de milho verde. **Horticultura Brasileira**, v.6, n.1, p.22-24, 1988.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; SUHRE, E.; RAMBO, L. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1341-1348, 2004.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

FORTIN, M.C.; PIERCE, F.J. Timing and nature of much retardation of corn vegetative development. **Agronomy Journal**, v. 83, p.258-263, 1991.

FOYER, C.H; LELANDAIS, M.; KUNERT, K.J. Photooxidase stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v.92, p.696-717, 1994.

FOYER, C.H; LOPEZ-DELGADO H.; DAT, J.F.; SCOTT, I.M. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. **Plant Physiology**, v.100, p.241-254, 1997.

FRANCO, A.A.N.; MARQUES, O.J.; VIDIGAL FILHO, P.S. Sistemas de produção do Milho Safrinha no Paraná. In: XII Seminário Nacional de Milho Safrinha: estabilidade e produtividade. **Anais do XII Seminário Nacional de Milho Safrinha**. Dourados - MS: Embrapa Centro-Oeste, v.1. p.15-35, 2013.

GADIOLI, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A.G; BASANTA, M.V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

GARWOOD, D.L.; Mc ARDLE, F.J.; VANDERSLICE, S.F.; SHANNON, J.C. Post harvest carbohydrate transformations and processed quality for high sugar maize genotypes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.101, p.400-4, 1976.

GIAUFFRET, C.; BONHOMME, R.; DORVILLEZ, D.; DERIEUX, M. Conversion of intercepted radiation into aerial dry biomass for three maize genotypes: influence of plant density. **Maydica**, v.36, p.25-27, 1991.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p.909-930, 2010.

GONÇALVES, S.L.; CARAMORI, P.H.; WREGE, M.S.; SHIOGA, P.; GERAGE, A.C. Épocas de semeadura do milho “Safrinha”, no Estado do Paraná, com menores riscos climáticos. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.24, n.5, p.1287-1290, 2002.

GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BOMHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J.M.; LEMAIRE, G. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. **Agronomie**, n.6, p.47-56, 1986.

GUÓTH, A.; TARI, I.; GALLÉ, Á.; CSISZÁR, J.; PÉCSVÁRADI, A.; CSEUZ, L.; ERDEI, L. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, p.167-176, 2009.

HASSAN, R.; NHEMACHENA, C. Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: multinomial choice analysis. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.2, p.83-104, 2008.

HASSELL, R.L.; DUFAULT, R.J.; PHILLIPS, T.L. Low-temperature germination response of su, se, and sh2 sweet corn cultivars. **HortTechnology**, v.13, p.136-141, 2003.

HATCH, M.D.; SLACK, C.R. A new enzyme for the interconversion of pyruvate and phosphopyruvate and its role in the C4 dicarboxylic acid pathway of photosynthesis. **Biochemical Journal**, v.106, n.1, p.141-146, 1968.

HATCH, M.D.; SLACK, C.R. Photosynthesis by sugarcane leaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation. **Biochemical Journal**, London, v.101, n.1, p.103-111, 1966.

HATCH, M.D.; SLACK, C.R. Photosynthetic CO₂ fixation pathways. **Annual Review of Plant Physiology**, v.21, n.1, p.141-162, 1970.

HAUPT-HERTING, S.; FOCK, H.P. Exchange of oxygen and its role in energy dissipation during drought stress in tomato plants. **Plant Physiology**, v.110, n.4, p.489-495, 2000.

HE, J.X.; WANG, J.; LIANG, H.G. Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology**, v.93, p.771-777, 1995.

HEINEMANN, A.B.; ANDRADE, C.L.T.; GOMIDE, R.L.; AMORIM, A.O.; PAZ, R.L. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no

estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.4, p.1026-1033, 2009.

HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. High temperature stress and pollen viability of maize. **Crop Science**, v.20, n.6, p.796-800, 1980.

HOERLING, M.; KUMAR, A. The perfect ocean for drought. **Science**, v.299, n.5607, p.691-694, 2003.

HOGANSON, C.W.; BABCOCK, G.T. A metalloradical mechanism for the generation of oxygen from water in photosynthesis. **Science Magazine**, v.277, n.1, p.1953-1956, 1997.

HUNG, P.E.; FRITZ, V.A.; WATERS JR., L. Infusion of shrunken-2 sweet corn seed with organic solvents: effects on germination and vigor. **HortScience**, v.27, n.01, p.467-70, 1992.

IPCC, 2007 [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, 996p, 2007.

IPCC, 2013 [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. [Thomas Stocker, Qin Dahe e Gian-Kasper Plattner (eds)] Stockholm, Sweden, 2216p, 2013.

ISHIMURA, I.; YANAI, K.; SAWAZAKI, E.; NODA, M. Avaliação de cultivares de milho verde em Pariqueira-Açu. **Bragantia**, v.45, n.1, p.95-105, 1986.

KALDENHOFF, R. Aquaporins and plant water balance. **Plant, Cell and Environment**, v.31, p.658-666, 2008.

KARCZ, W.; BURDACH, Z. Effect of temperature on growth, proton extrusion and membrane potential in maize (*Zea mays* L.) coleoptile segments. **Plant Growth Regul**, v.52, p.141-150, 2007.

KAUKIS, K.; DAVIS, D.W. Sweet corn breeding. In: BASSET, M.J. (Ed). **Breeding vegetable crops**. Gainesville: Avi, 1986, p.475-519.

KERHOAS, C.; GAY, G.; DUMAS, C. A multidisciplinary approach to the study of the plasma membrane of *Zea mays* pollen during controlled dehydration. **Planta**, v.171, n.1, p.1-10, 1987.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; FARHATULLAH; KHAN, M.Y.; ISRAR, M.; BASIR, A. Selecting optimum planting date for sweet corn in Peshawar, Pakistan. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.27, n.3, p.341-347, 2011.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; NIGAR, S.; KHALIL, I.; HAQ, I.; AHMAD, I.; ALI, A.; KHAN, M.Y. Phenology and yield of sweet corn landraces influenced by planting dates. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.25, n.2, p.153-157, 2009.

KINIRY, J.R.; JONES, C.A.; G'TOOLE, J.C.; BLANCHET, R.; CABELGUENNE, M.; SPANEL, D.A. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. **Field Crop Research**, v.20, p.51-64, 1989.

KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

KWABIAH, A.B. Growth and yield of sweet corn (*Zea mays* L.) cultivars in response to planting date and plastic mulch in a short-season environment. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.147-66, 2004.

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Agronomic traits and chemical composition of single hybrids of sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.4, p.531-536, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M.; OLIVEIRA, F.B.; PAULA, G.M. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1441-1448, 2008.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A.; SANTANA, D.P. **Clima e solo: cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/climaesolo.htm>. Acesso em: 5 jul. 2013.

LAUER, J.G.; CARTER, P.R.; WOOD, T.M.; DIEZEL, G.; WIERSMA, D.W.; RAND, R.E.; MLYNAREK, M.J. Corn hybrid response to planting date in the northern corn belt. **Agronomy Journal**, v.91, p.834-839, 1999.

LAUGHNAN, J.R. The effect of the *sh2* factor on carbohydrate reserves in the mature endosperm of maize. **Genetics**, v.38, p.485-489, 1953.

LAUX, P.; JACKEL, G.; TINGEM, R.M.; KUNSTMANN, H. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon. A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, p.1258-1271, 2010.

LEEGOOD, R.C.; LEA, P.J.; ADCOCK, M.D.; HAEUSLER, R.D. The regulation and control of photorespiration. **Journal of Experimental Botany**, v.46, n.9, p.1397-1414, 1995.

LEMOS, M.A.; GAMA, E.E.G.; MENEZES, D.; SANTOS, V.F.; TABOSA, J.N.; MORAIS, M.S.L. Emergência em campo de híbridos simples de milho super doce de um cruzamento dialélico. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.158-162, 2002a.

LEMOS, M.A.; GAMA, E.E.G.; MENEZES, D.; SANTOS, V.F.; TABOSA, J.N. Avaliação de dez linhagens e seus híbridos de milho super doce em um dialelo completo. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.02, p.167-170, 2002b.

LI, Y.; SPERRY, J.S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environment & Experimental Botany**, v.66, p.341-346, 2009.

LIN, B.B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. **BioScience**, v.61, p.183-193, 2011.

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, n.1, p.72-78, 2005.

LIU, Z.; HUBBARD, K.G.; LIN, X.; YANG, X. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. **Global Change Biology**, v.19, n.11, p.3481-3492, 2013.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P.G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.45, p.633-662, 1994.

LOPES, M.S.; ARAUS, J.L.; HEERDEN, P.D.R.; FOYER, C.H. Enhancing drought tolerance in C₄ crops. **Journal of Experimental Botany**, v.62, p.3135-3153, 2011.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.37-43, 1999.

LU, C.; ZHANG, J. Effects of waters stress on Photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.1199-1206, 1999.

LUKATKIN, A. S.; BRAZAITYTĖ, A.; BOBINAS, C.; DUCHOVSKIS, P. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v.99, p.111-124, 2012.

MAGALHÃES, P.C.; SOUZA, T.C. de. **Ecofisiologia: cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm>. Acesso em: 28 jun. 2013.

MARCOS, S.K.; HONÓRIO, S.L.; JORGE, J.T.; AVELAR, J.A.A. Influência do resfriamento do ambiente de armazenamento e da embalagem sobre o comportamento pós-colheita do milho verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.41-44, 1999.

MAROCCO, A.; LORENZONI, C.; FRACHEBOUD, Y. Chilling stress in maize. **Maydica**, v.50, p.571-580, 2005.

MARQUES, O.J.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; FRANCO, A.A.N.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; NUMOTO, A.Y. Sowing time of popcorn under supplementary irrigation in the second season in Parana State, Brazil. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.12, n.2, p.640-647, 2014.

MARTIN, M.; WILLIAMS, I.I. Sweet corn growth and yield responses to planting dates of the North Central United States. **HortScience**, v.43, n.6, p.1775-1779, 2008.

MATON, L.; BERGEZ, J.E.; LEENHARDT, D. Modelling the days which are agronomically suitable for sowing maize. **European Journal of Agronomy**, v.27, p.123-129, 2007.

McDONALD, M.B.; SULLIVAN, J.; LAWER, M.J. The pathway of water uptake in maize seeds. **Seed Science and Technology**, v.22, p.79-90, 1994.

MERTZ, E.T.; BATES, L.S.; NELSON, O.E. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. **Science**, v.145, p.279-280, 1964.

MICHAEL, T.E.; ANDREW, R.H. Sugar accumulation in shrunken-2 sweet corn kernels. **Crop Science**, v.26, p.104-107, 1986.

MIEDEMA, P. The effects of low temperature on *Zea mays*. **Advances in Agronomy**, v.35, n.1, p.93-128, 1982.

MISRA, P.S.; JAMBUNATHAN, R.; MERTZ, E.T.; GLOVER, D.V.; BARBOSA, H.M.; MCWHIRTER, K.S. Endosperm protein synthesis in maize mutants with increased lysine content. **Science**, v.176, p.1425-1427, 1972.

MITCHELL, J.C.; PETOLINO, J.F. Heat stress effects on isolated reproductive organs of maize. **Plant Physiology**, v.133, p.625-628, 1988.

MOREIRA, M.A.; ÂNGULO FILHO, R.; RUDORFF, B.F.T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, v.56, n.3, p.597-603, 1999.

MORO, G.L.; HABBEN, J.E.; HAMAKER, B.R.; LARKINS, B.A. Characterization of variability in lysine content for normal and opaque 2 maize endosperm. **Crop Science**, v.36, n.6, p.1651-1659, 1996.

MOSS, D.N.; MUSGRAVE, R.B.; LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. III Some effects of light, carbon dioxide, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of corn. **Crop Science**, v.1, p.83-87, 1961.

MUCHOW, R.C. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. **Field Crops Research**, v.20, p.207-219, 1989.

MUCHOW, R.C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, v.23, n.2, p.145-158, 1990.

MUCHOW, R.C.; DAVIS, R. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. **Field Crops Research**, v.18, p.17-30, 1988.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize sorghum. **Crop Science**, v.34, p.721-727, 1994.

MÜLLER, P.; LI, X.P.; NIYOGI, K.K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. **Plant Physiology**, v.125, p.1558-1566, 2001.

NELSON, O.E. Genetic control of polysaccharide and storage protein synthesis in the endosperm of barley, maize, and sorghum. **Advances in Cereal Science and Technology**, v.3, p.41-71, 1980.

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). **Field Crops Research**, v.28, n.3, p.251-256, 1992.

NIELSEN, D.C.; HALVORSON, A.D.; VIGIL, M.F. Critical precipitation period for dryland maize production. **Field Crops Research**, v.118, n.3, p.259–263, 2010.

NOGUÉS, S.; BAKER, N.R. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.1309-1317, 2000.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Desenvolvimento foliar de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.187-193, 1987.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Rendimento de grãos e componentes de rendimento de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.6, p.615-620, 1988.

NYONG, A.; ADESINA, F.; ELASHA, B.O. The value of indigenous knowledge in climate change mitigation and adaptation strategies in the African Sahel. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.12, p.787–797, 2007.

OGREN, W.L. Photorespiration: pathways, regulation, and modification. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, n.3, p.415-442, 1984.

OKUMURA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; FRANCO, A.A.N.; SOUZA, R.S.; RECHE, D.L. Effects of nitrogen rates and timing of nitrogen topdressing applications on the nutritional and agronomic traits of sweet corn. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.12, n.2, p.391-398, 2014.

OLIVEIRA Jr., L.F.G.; SMITH, R.E.B.; REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E.; PEREIRA, M.G. Diferenças fisiológicas entre genótipos de milho doce (*su1*) e milho comum durante o desenvolvimento. **Scientia Agraria**, v.8, n.4, p.351-356, 2007.

OLIVEIRA Jr., L.F.G.; PEREIRA, M.G.; BRESSAN-SMITH, R. Caracterização e avaliação agronômica de híbridos e linhagens de milho doce (*su1*). **Horticultura Brasileira**, v.24, p.283-288, 2006.

OLIVEIRA Jr., L.F.G.; DELIZA, R.; BRESSAN-SMITH, R.; PEREIRA, M.G.; CHIQUIERE, T.B. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p.159-165, 2006.

OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H.; SUERO, E.E. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**, v.40, n.1, p.87-94, 1995.

PAIVA, E.; VASCONCELOS, M.J.V.; PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; MAGNAVACA, R. Seleção de progênies de milho doce de alto valor nutritivo com auxílio de técnicas eletroforéticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.8, p.1213-1218, 1992.

PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; REIFSCHNEIDER, F.J.B.; GUIMARÃES, P.E.O. Avaliação da capacidade combinatória de dez linhagens de milho doce. **Horticultura Brasileira**, v.9, p.71-73, 1991.

PEREIRA, A.S. Composição, avaliação organoléptica e padrão de qualidade de cultivares de milho doce. **Horticultura Brasileira**, v.5, n.2, p.22-24, 1987.

PETERS, D.B.; PENDLETON, J.W.; HAGEMAN, R.H.; BROWN, C.M. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat and soybeans. **Agronomy Journal**, v.63, p.809, 1971.

PIANA, A.T.; SILVA, P.R.F.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; SERPA, M.S.; JANDREY, D.B. Plant density of hybrid maize at early sowing date in Southern Brazil. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2608-2612, 2008.

PINOTTI, E.B.; BICUDO, S.J.; GODOY, L.J.G.; BUENO, C.E.M.S. Características agronômicas de cultivares de milho em função de populações de plantas e épocas de semeadura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.25, p.17-33, 2014.

REYNOLDS, M.P.; PIERRE, C.S.; SAAD, A.S.I.; VARGAS, M.; CONDON, A.G. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait

expression in elite genetic resources under drought and heat stress. **Crop Science**, v.47, p.172-189, 2007.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n. 48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.

ROMERO, M.C.; BARRETT, D.M. Rapid methods for lipoxygenase assay in sweet corn. **Journal of Food Science**, v.62, n.4, p.696-700, 1997.

ROSEGRANT, M.W.; CLINE, S.A. Global food security: challenges and policies. **Science**, v.302, n.5652, p.1917-1919, 2003.

SAIRAM, R.; DESHMUKH, P.; SAXENA, D.C. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. **Biologia Plantarum**, v.41, n.3, p.387-394, 1998.

SANDS, P.J. Modelling canopy production. III – Canopy light-utilisation efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. **Australian Journal Plant Physiology**, n.23, p.103-114, 1996.

SANGOI, L.; SCHMIT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p.263-271, 2007.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; SILVA, A.A.; ERNANI, P.R.; HORN, D.; STRIEDER, M.L.; SCHMITT, 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, 2006.

SANS, L.M.A.; GUIMARÃES, D.P. **Zoneamento agrícola**: cultivo do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/zoneamento.htm>. Acesso em: 10 fev. 2013.

SANTOS, I.C.; MIRANDA, G.V.; MELO, A.V.; MATTOS, R.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.S.; GALCÃO, J.C.C. Comportamento de cultivares de milho produzidos organicamente e correlações entre características das espigas colhidas no estágio verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.45-53, 2005.

SCAPIM, C.A.; CRUZ, C.D.; ARAÚJO, J.M. Cruzamentos dialélicos entre sete cultivares de milho doce. **Horticultura Brasileira**, v.13, n.1, p.19-21, 1995.

SCHLENKER, W.; LOBELL, D.B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. **Environmental Research Letters**. v.5, p.1-8, 2010.

SCHOPER, J.B.; LAMBERT, R.J.; VASILAS, B.L.; WESTGATE, M.E. Plant factors controlling seed set in maize: the influence of silk, pollen, and ear-leaf water status and tassel heat treatment at pollination. **Plant Physiology**, v.83, n.2, p.121-125, 1987.

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

SILVA, P.S.L. Época de semeadura e rendimento de espigas verdes de cultivares de milho. **Revista Ceres**, v.47, n.270, p.189-200, 2000.

SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.65, p.215-265, 1999.

SINSAWAT, V.; LEIPNER, J.; STAMP, P.; FRACHEBOUD, Y. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. **Environmental and Experimental Botany**. v.52, p.123-129, 2004.

SKOTNICA, J.; MATOUŠKOVA, M.; NAUŠ, J.; LAZÁR, D.; DVOŘÁK, L. Thermo luminescence and fluorescence study of changes in photosystem II photochemistry in desiccating barley leaves. **Photosynthesis Research**, v.65, p.29-40, 2000.

SLACK, C.R.; HATCH, M.D. Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in tropical grasses. **Biochemical Journal**, v.103, n.3, p.660-665, 1967.

SOLER, C.M.T.; SENTELHAS, P.C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v.143, p.169-182, 2005.

SOUSA, S.M.; PAES, M.C.D.; TEIXEIRA, F.F. **Milho doce: origem de mutações naturais**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012. (Documentos, n.144). 44p.

SOUZA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; QUEIROZ, D.C.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; CORTINOVE, V.B. Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. **Semina**, v.34, p.995-1010, 2013.

STALLER, J.E.; TYKOT, R.H.; BENZ, B.F. **Histories of maize: multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication and evolution of maize**. Burlington: Academic Press, 2006, 704p.

STONE, P.J.; SORENSEN, I.B.; JAMIESON, P.D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v.63, p.169-178, 1999.

STORCK, L.; LOVATO, C. Milho doce. **Ciência Rural**, v.2, p.283-292, 1991.

STORCK, L.; LOVATO, C.; COMASSETTO, V. Avaliação do rendimento e outras características agrônômicas de cultivares de milho doce. **Ciência Rural**, v.14, n.3-4, p.153-160, 1984.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351-1359, 2006b.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.424-433, 2006a.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.730-740, 2005.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; PAULA, G.M. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v.70, n.3, p.696-706, 2011.

STRECK, N.A.; SILVA, S.D.; LANGNER, J.A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.1-12, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TEIXEIRA, F.F.; SOUSA, I.R.P.; GAMA, E.E.G.; PACHECO, C.A.P.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X.; MEIRELLES, W.F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.3, p.483-488, 2001.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.J.; DRISCOLL, S.D.; LAWLOR, D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, v.401, p.914-917, 1999.

THAKURA, P.; KUMAR, S.; MALIK, J.A.; BERGER, J.D.; NAYYAR, H. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p.429-443, 2010.

THORNTON, P.K.; JONES, P.G.; ALAGARSWAMY, A.; ANDRESEN, J. Spatial variation of crop yield responses to climate change in East Africa. **Global Environmental Change**, v.19, p.54-65, 2009b.

THORNTON, P.K.; STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, v.101, n.3, p.113-127, 2009a.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v.66, n.4, p.617-622, 2007.

TINGEM, M.; RIVINGTON, M. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.14, p.153-168, 2009.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; HUNTER, R.B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. **Crop Science**, v.19, n.3, p.633-666, 1979.

TOLLENAAR, M. Duration of the grain-filling period in maize is not affected by photoperiod and incident PPFD during the vegetative phase. **Field Crops Research**, v.62, n.1, p.15-21, 1999.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationship during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, v.22, p.49-75, 1977.

TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, v.80, n.4, p.580-585, 1988.

TRACY, W.F. Sweet corn. In: HALLAUER, A.R. (Ed.). **Specialty corn**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p.155-198.

TSAI, C.Y.; SALAMINI, F.; NELSON, O.E. Enzymes of carbohydrate metabolism in developing endosperm of maize. **Plant Physiology**, v.46, n.2, p.299-336, 1970.

TSIMBA, R.; EDMANDES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize: Phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v.150, p.145-155, 2013b.

TSIMBA, R.; EDMANDES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v.150, p.135-144, 2013a.

TSUGANE, K.; KOBAYASHI, K.; NIWA, Y.; OHBA, Y.; WADA, K.; KOBAYASHI, H. A recessive arabidopsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. **Plant and Cell**, v.11, p.1195-1206, 1999.

UFAZ, S.; GALILI, G. Improving the content of essential amino acids in crop plants: goals and opportunities. **Plant Physiology**, v.147, n.3, p.954-961, 2008.

USDA – United States Department of Agriculture. **Grain: world markets and trade**. Washington, Foreign Agricultural Service, January 2015. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015.

PRASAD, P.V.; CRAUFURD, P.Q.; SUMMERFIELD, R.J. Sensitivity of peanut to timing of heat stress during reproductive development. **Crop Science**, v.39, p.1352-1357, 1999.

VERHEUL, M.J.; PICATTO, C.; STAMP, P. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field. **European Journal of Agronomy**, v.5, p.31-43, 1996.

VON PINHO, R.G.; ALTUNA, G.G.; PINHO, E.V.R.V.; VIANA, L.O.S. Efeito de métodos de adubação e épocas de semeadura em características agrônômicas de cultivares de milho cultivadas na “Safrinha”. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.4, p.719-730, 2002.

WAHA, K.; MÜLLER, C.; BONDEAU, A.; DIETRICH, J.P.; P. KURUKULASURIYA, P.; HEINKE, J.; LOTZE-CAMPEN, H. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. **Global Environmental Change**, v.23, p.130-143, 2013.

WAHA, K.; MÜLLER, C.; ROLINSKI, S. Separate and combined effects of temperature and precipitation change on maize yields in sub-Saharan Africa for mid-to late-21st century. **Global and Planetary Change**, v.106, p.1-12, 2013.

WALLACE, H.A.; BRESSMAN, E.N. Classification of corn. In: WALLACE, H.A. & BRESSMAN, E.N. (ed.). **Corn and corn growing**. New York: Wiley, 1949. p.52-60.

WARRINGTON, I.J.; KANEMASU, E.T. Corn growth response to temperature and photoperiod: I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. **Agronomy Journal**. v.75, p.749-754, 1983.

WATERS Jr., L.; BLANCHETTE, B. Prediction of sweet corn field emergence by conductivity and cold tests. **Journal of American Society Horticulture Science**, v.108, n.5, p.78-781, 1983.

WILLIAMS, M.M.; LINDQUIST, J.L. Influence of planting date and weed interference on sweet corn growth and development. **Agronomy Journal**, v.99, p.1066-1072, 2007.

WILSON, D.R.; MUCHOW, R.C.; MURGATROYD, C.J. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in a cool climate. **Field Crops Research**, v.43, p.1-18, 1995.

WISE, R.R.; ORTIZ-LOPEZ, A.; ORT, D.R. Spatial distribution of photosynthesis during drought in field-grown and chamber grown acclimated and nonacclimated cotton. **Plant Physiology**, v.100, v.26-36, 1992.

XIMENES, A.C.A.; SOUZA, L.C.F.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C. Avaliação da incidência de geadas em componentes de produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p. 214-227, 2004.

XU, Z.Z.; ZHOU, G.S.; WANG, Y.L.; HAN, G.X.; LI, Y.J. Changes in chlorophyll fluorescence in maize plants with imposed rapid dehydration at different leaf ages. **Journal of Plant Growth Regulator**, v.27, p.83-92, 2008.

YAN, W.; HUNT, L.A. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, v.84, p.607-614, 1999.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**. v.1, p.187-206, 2003.

ZAKI, M.S.; SHAH, P.; HAYAT, S. Effect of date of sowing on maize and non flooded land rice. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.10, n.2, p.191-199, 1994.

ZHU, J.K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**. v.6, p.66-71, 2001.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. **Crop Science**, v.35, n.1, p.158-163, 1995.

ZLATEV, Z.; LIDON, F. C. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.24, p.57-72, 2012.

4. CAPÍTULO I

Época de semeadura de milho doce no período de Outono-Inverno no Noroeste do Paraná

4.1. Resumo

Este trabalho objetivou estudar o efeito da época de semeadura na resposta fenotípica de híbridos de milho doce cultivados durante o período de Outono/Inverno, com irrigação suplementar, em Maringá, região Noroeste do Estado do Paraná. Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá, cujo clima é Subtropical, sem estação seca definida, localizada numa altitude de 550 m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, em esquema fatorial, com os tratamentos sendo constituídos pela combinação de quatro épocas de semeadura (18/02; 04/03; 18/03; 01/04) e dois híbridos comerciais de milho doce (Tropical Plus e RB6324) em dois anos (2011 e 2012). Foram avaliados vários fatores, tais como: características fitotécnicas de crescimento (altura de plantas e índice de área foliar); do componente de produção (número de grãos por fileira, número de fileira de grão por espiga e produção de espigas comerciais) e a composição química dos grãos (conteúdo de açúcares totais, amido e proteína). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta. Os efeitos das épocas de semeaduras foram estudados mediante análise de regressão polinomial e os efeitos dos híbridos e anos agrícolas foram estudados pelo teste F. O crescimento vegetativo do milho doce foi limitado pelo atraso na época de semeadura, afetando negativamente os componentes de produção, a produtividade de espigas comerciais e a composição química dos grãos de milho doce. O híbrido RB6324 apresentou melhor desempenho produtivo e a segunda quinzena do mês de fevereiro foi a época preferencial para a semeadura de milho doce no período de Outono/Inverno, na região Noroeste do Paraná.

Palavras-chave: *Zea mays* L., milho especial, técnicas culturais e Segunda Safra.

4.2. Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of the sowing times on the phenotypic answer of sweet corn hybrids, grown in Autumn/Winter periods, with additional irrigation in Maringá, Northwest of the Paraná State, Brazil. The experiments were conducted at the Experimental Farm of Iguatemi, pertaining Maringá State University, where the climate is subtropical without a defined dry season, located on altitude of 550 m. The design used was randomized complete block, in factorial scheme, and the treatments were constituted by the combination of four sowing times (02/18; 03/04; 03/18; 04/01) and two sweet corn hybrids (Tropical Plus and RB6324) in two agricultural years (2011 and 2012). Were evaluated growth phytotechnical characteristics (plant height and leaf area index); of the yield components (number of kernels per row, number of row of kernels per ear and yield of marketable ears) and chemical composition of kernels (total sugars, starch and protein content). The data were submitted to joint analyses of variance. The effects of sowing times were studied by analysis of polynomial regression and the effects of agricultural years and hybrids were studied by the F test. The vegetative growth was limited by delay at the sowing times, affecting negatively the production components and chemical composition of the sweet corn kernels. RB6324 hybrid showed better performance and higher yield potential. The second half of the month of February is the best time for sweet corn sowing in Autumn/Winter period in Northwestern Paraná State, Brazil.

Key-words: *Zea mays* L., special maize, cultivation techniques and Second Crop.

4.3. Introdução

No Brasil o sistema de produção de cereais é caracterizado pela semeadura nos períodos de Primavera/Verão e de Outono/Inverno (CONAB, 2015), sendo um dos poucos países em que é possível realizar o cultivo de duas safras de grãos por ano em uma mesma área (ADEGAS; VOLL; GAZZIERO, 2011). Tal sistema garante o país ser o terceiro maior produtor mundial de milho (USDA, 2015), com uma

produção estimada de 80 milhões de toneladas no ano agrícola de 2014/2015, com destaque para a Safra de Outono/Inverno, com participação de 62,5% (CONAB, 2015).

O milho cultivado no período de Outono/Inverno, também designado de Safrinha, é semeado após uma cultura de verão, geralmente nos meses de fevereiro e março, ou seja, no final da época recomendada (outubro-novembro), e por isso tem sua produtividade afetada (VON PINHO et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2006; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007). Entretanto, embora realizado em uma condição menos favorável de clima, o sistema de produção de Milho Safrinha, tem sido aprimorado o que tem contribuído para elevar os rendimentos das lavouras cultivadas nesta época (CRUZ et al., 2010). O sucesso desta modalidade de cultivo se deve ao fato do milho comum sempre ter sido alvo das pesquisas científicas (EMBRAPA, 2012), diferente do verificado para os milhos considerados especiais, tais como o milho doce, fazendo com que agricultores utilizem recomendações sugeridas para o milho comum, as quais nem sempre são as ideais (MARTIN; WILLIAMS, 2008).

A principal característica do milho doce é possuir genes cuja expressão altera a composição do grão (WALLACE; BRESSMAN, 1949; CREECH, 1965). Esses genes bloqueiam no endosperma a conversão de açúcares em amido acarretando no acúmulo de elevado conteúdo de açúcares nos grãos em detrimento do amido (BOYER; SHANNON, 1984). Esta característica agrega valor ao produto, e este vem ganhando espaço, com demanda crescente no Brasil (BARBIERI et al., 2005; SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012).

Entretanto, há carências de informações para pôr em prática o manejo adequado do milho doce, pois as práticas agronômicas desta lavoura diferem nitidamente daquelas recomendadas ao milho comum, incluindo plantio escalonado, menor intervalo de tempo para a colheita e a redução do período de enchimento de grão (MARTIN; WILLIAMS, 2008). Assim, o tempo que a cultura fica exposta aos fatores climáticos é diferente do milho grão, e é sabido que a espécie *Zea mays* L. é fortemente influenciada pelos fatores ambientais (TOLLENAAR; DAYNARD; HUNTER, 1979; TOLLENAAR, 1989a; 1989b; 1999; TSIMBA et al., 2013a; 2013b). Por sua vez, a temperatura, radiação solar, fotoperíodo e precipitação pluvial variam de forma aleatória em torno de tendências médias sazonais, de forma que o maior desafio é ajustar o momento ideal para efetuar a semeadura (TSIMBA et al., 2013a).

O adequado posicionamento da semeadura torna-se ainda mais desafiador em função das comprovadas alterações climáticas (LAGO et al., 2008; THORNTON et al., 2009a; 2009b; LAUX et al., 2010; STRECK et al., 2011; FOLBERTH et al., 2012; LIU et al., 2012; IPCC 2013) com maior rigor nos países menos desenvolvidos e nas regiões tropicais (IPCC, 2007; 2013), sobretudo para a cultura do milho em função de sua grande vulnerabilidade às mudanças climáticas (STRECK; SILVA; LANGNER, 2012). Waha, Müller e Rolinski (2013) estudando tais efeitos sobre a cultura do milho, na África Subsaariana, região do continente africano ao sul do Deserto do Saara (40° N a 40° S e 20° W a 60° E), concluíram que são muito mais influenciadas, as regiões onde a Segunda Safra é cultivada, significando assim como para o Brasil, semeadura na segunda metade da estação chuvosa.

Neste contexto, a época adequada de semeadura adquire importância capital, de forma a proporcionar que as lavouras escapem de condições climáticas negativas (HASSAN; NHEMACHENA, 2008; DERESSA et al., 2009; TINGEM; RIVINGTON, 2009; LAUX et al., 2010; LIU et al., 2013; TSIMBA et al., 2013a; WAHA et al., 2013) sem sobrecarregar o custo de produção (SANGOI et al., 2006). O potencial de rendimento do milho doce pode ser maximizado pela escolha adequada da época de semeadura (MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009; KHAN et al., 2011). Ademais, os agricultores podem reduzir o impacto negativo de eventual mudança climática, adaptando a época de semeadura aos novos cenários climáticos (HASSAN; NHEMACHENA, 2008; DERESSA et al., 2009; WAHA et al., 2013).

Estudos desenvolvidos em Camarões indicaram que as produtividades das culturas de milho e de amendoim semeadas em épocas atualizadas, são normalmente mais elevadas que aquelas obtidas usando épocas tradicionais, mais antigas (TINGEM; RIVINGTON, 2009; LAUX et al., 2010). Tal fato corrobora com Waha et al. (2013), uma vez que a adaptação da época de semeadura resultou em maior produtividade na maioria das regiões e sistemas de cultivo, na África Subsaariana.

Martin e Williams (2008) estudando a influência da época de semeadura nas características agrônômicas de híbridos de milho doce encontraram que as plantas desenvolveram de 13% a 23% a mais, em comparação com épocas de semeaduras tradicionais, mais antigas, utilizadas pelos agricultores da Região Norte Central dos Estados Unidos. Os autores enfatizaram que poucos estudos têm caracterizado o crescimento e o rendimento do milho doce em resposta às condições ambientais

frente às mudanças de uma gama de épocas de plantios utilizadas pelos produtores. Ressaltaram, ainda, que se as respostas de crescimento de milho doce variaram sistematicamente com a época de plantio, o conhecimento profundo do fenômeno pode render novas oportunidades para o avanço na gestão da cultura.

Marques et al. (2014), estudando a influência das épocas de semeadura na cultura do milho pipoca sob irrigação no período de Outono/Inverno no Noroeste do Paraná, verificaram que a produtividade de grãos decresceu 1,18% (36,8 kg ha⁻¹) para cada dia de atraso na semeadura em 2010 e de 1,75% (42,5 kg ha⁻¹) em 2011. A primeira semeadura em 2010 foi em 10 de fevereiro e em 2011, 18 de fevereiro. Por fim, cumpre-se também ressaltar que nenhuma ênfase tem sido dada a estudos científicos como o de Marques et al. (2014), para a cultura do milho doce no período de Outono/Inverno no Brasil.

Neste contexto, o presente estudo é justificado pela referida lacuna no conhecimento, bem como pela importância do Paraná no cenário agrícola brasileiro, além das complexas alterações climáticas. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de épocas de semeadura sobre características agrônômicas de híbridos de milho doce, semeados no período de Outono/Inverno, em Maringá, Noroeste do Paraná.

4.4. Material e métodos

4.4.1. Localização

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), de propriedade da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Localizada no Distrito de Iguatemi, município de Maringá, região Noroeste do Estado do Paraná (coordenadas geográficas: 23°20'48" S e 52°04'17" W), altitude média de 550m.

4.4.2. Período de realização

A instalação e a condução dos experimentos ocorreram na Safra de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012. No primeiro ano a semeadura

foi realizada após o cultivo de milho de verão e no último ano, após o cultivo da aveia.

4.4.3. Solo

O solo da área experimental é classificado como sendo um NITOSSOLO VERMELHO distroférico (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa (argila: 520 g kg⁻¹; silte: 140 g kg⁻¹; areia: 340 g kg⁻¹). As principais características químicas do material de solo das áreas experimentais, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas das amostras de material de solo da área experimental, provenientes da camada de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, no período de Outono/Inverno, nos anos agrícolas de 2011 e 2012

Características	Anos agrícolas			
	2011		2012	
	0,0-0,20m	0,20-0,40m	0,0-0,20m	0,20-0,40m
pH em CaCl ₂	5,63	--	5,20	5,20
C (g dm ⁻³)	13,87	--	11,74	12,52
P (mg dm ⁻³), Mehlich 1	9,67	--	23,30	19,50
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³), Mehlich 1	0,88	--	0,35	0,32
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³), KCl 1mol L ⁻¹	4,32	--	3,75	3,80
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³), KCl 1mol L ⁻¹	2,17	--	1,50	1,40
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³), KCl 1mol L ⁻¹	0,00	--	0,00	0,00
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³), SMP	4,87	--	4,28	3,97
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,37	--	5,60	5,52
V (%)	60,66	--	56,68	58,17
m (%)	0,00	--	0,00	0,00
CTC (cmol _c dm ⁻³)	12,15	--	9,88	9,49

Análises realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá.

4.4.4. Clima

O clima do município de Maringá, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cfa, definido como clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico), e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C. Os verões são quentes, as geadas pouco frequentes, e há

tendência de concentração das chuvas no período de verão, contudo sem estação seca definida (GODOY; CORREA; SANTOS, 1976).

4.4.4.1 Dados climatológicos

Os dados climatológicos referentes aos períodos de cultivo foram obtidos junto ao Laboratório de Análise de Sementes da FEI. Os dados de temperaturas, radiação solar, fotoperíodo, precipitação pluvial e de irrigação suplementar, obtidos no período experimental, encontram-se na Figura 1. Os dados de temperaturas máxima, média e mínima foram utilizados para determinação da amplitude térmica e para o acúmulo de energia térmica.

O acúmulo de energia térmica na cultura foi determinado pela soma das unidades térmicas (graus dias), de acordo com Cross e Zuber (1972), utilizando a expressão modificada:

$$ST = \sum_{n=1}^N GD \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b$$

Em que: ST = soma térmica ($^{\circ}\text{C}$); GD = graus dia; T_{max} = temperatura máxima; T_{min} = temperatura mínima; T_b = temperatura base da cultura, para qual adotou-se 10°C (MONTEITH; ELSTON, 1993).

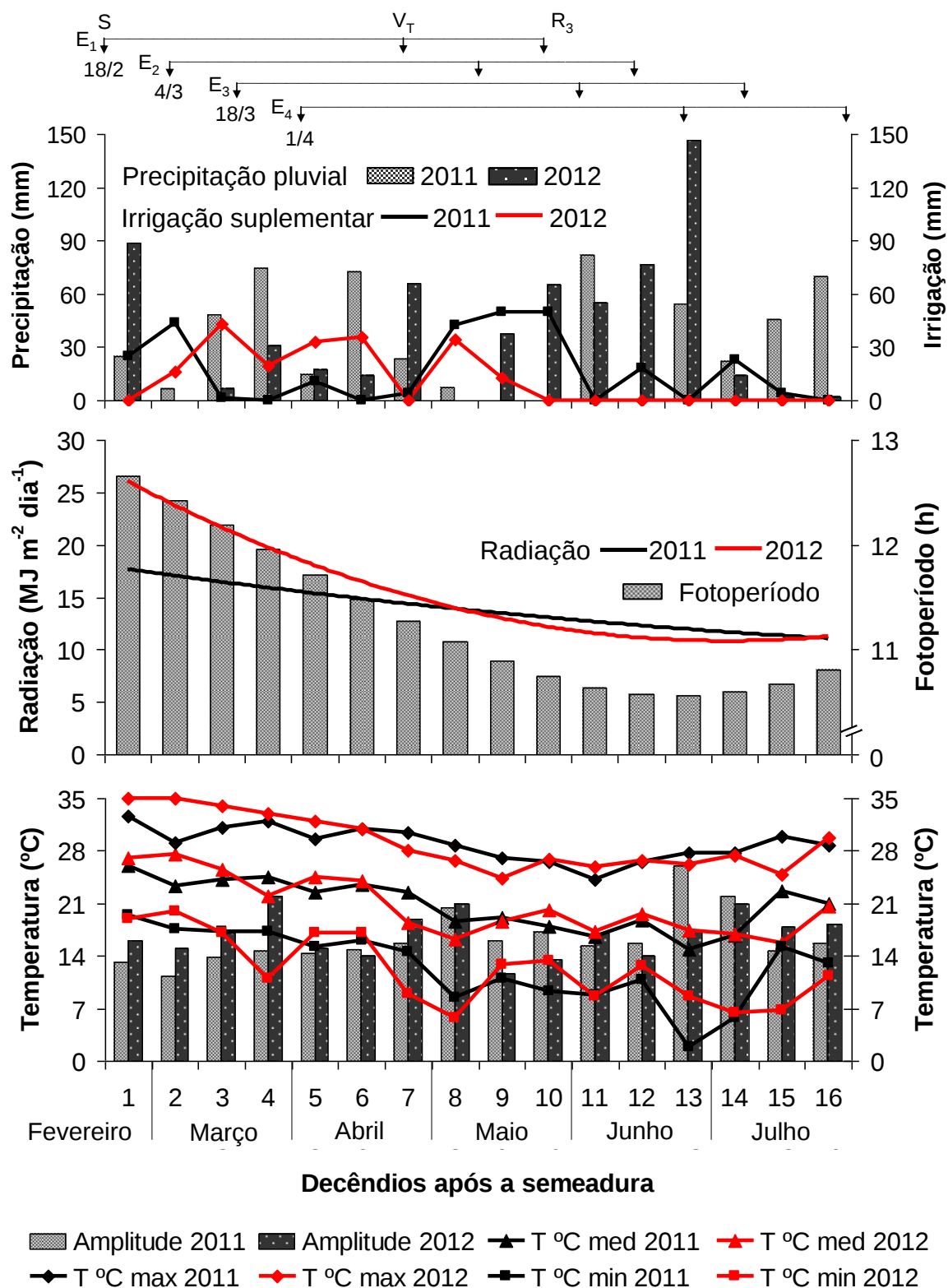


Figura 1. Precipitação pluvial, irrigação suplementar, radiação solar, fotoperíodo, temperaturas máximas ($T^{\circ}\text{C}_{\text{max}}$), mínimas ($T^{\circ}\text{C}_{\text{min}}$), médias ($T^{\circ}\text{C}_{\text{med}}$) e amplitudes térmicas verificados durante o período de Outono/Inverno dos anos agrícolas 2011 e 2012.

Estádios fenológicos: S = semeadura; V_T = pendoamento e R_3 = grão leitoso (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), nas épocas de semeaduras E_1 (18/2), E_2 (4/3), E_3 (18/3) e E_4 (1/4). Equivalência dos decêndios: 1 (18-28/2), 2 (1-10/3), 3 (11-20/3), 4 (21-31/3), 5 (1-10/4), 6 (11-20/4), 7 (21-30/4), 8 (1-10/5), 9 (11-20/5), 10 (21-31/5), 11 (1-10/6), 12 (11-20/6), 13 (21-30/6), 14 (1-10/7), 15 (11-20/7) e 16 (21-31/7).

4.4.5. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições, em dois anos agrícolas de cultivo (2011 e 2012). Os fatores estudados foram: i) fator A – quatro épocas de semeadura (18/02; 04/03; 18/03 e 01/04) e ii) fator B - dois híbridos simples de milho doce (Tropical Plus e RB6324). Os tratamentos estão discriminados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Épocas de semeadura	Híbridos	Anos
1	1º - 18/02	Tropical Plus	2011
2	2º - 04/03		
3	3º - 18/03		
4	4º - 01/04		
5	1º - 18/02	RB6324	
6	2º - 04/03		
7	3º - 18/03		
8	4º - 01/04		
9	1º - 18/02	Tropical Plus	2012
10	2º - 03/03		
11	3º - 17/03		
12	4º - 31/03		
13	1º - 18/02	RB6324	
14	2º - 03/03		
15	3º - 17/03		
16	4º - 31/03		

4.4.6. Unidades experimentais

Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de plantas com 6,0 m de comprimento, espaçadas em 0,9 m, totalizando 27 m² de área total. As avaliações foram realizadas nas três linhas centrais, excluindo 0,5 m das extremidades de cada linha, perfazendo uma área útil de 13,5 m².

4.4.7. Implantação e condução dos experimentos

Inicialmente, dois meses antes da semeadura, conforme recomendações de Raij et al. (1996), considerando os resultados das análises químicas do material de solo das áreas experimentais (Tabela 1), efetuou-se calagem a lanço, com a aplicação de 1,64 t ha⁻¹ de calcário calcítico (PRNT 80%) no ano agrícola de 2012.

Posteriormente, dez dias antes da semeadura efetuou-se o manejo das plantas daninhas presentes na área experimental, por meio da dessecação com a aplicação do herbicida glyphosate, na dose de 4 L ha⁻¹ (ANDREI, 2013).

4.4.7.1. Híbridos de milho doce utilizados

Os híbridos simples de milho doce, utilizados foram o Tropical Plus e RB6324, cujas características agronômicas encontram-se descritas a seguir:

TROPICAL PLUS: segundo informações da Syngenta Seeds Ltda (2010) é um híbrido simples, da classe superdoce, contendo o gene Shrunken-2, ideal para o consumo “*in natura*” e o processamento industrial. Apresenta altura média de 2,35 m quando semeado em períodos de verão na região Centro-Sul do Brasil. É colhido quando os grãos apresentam umidade em torno de 70 a 75%, completando seu ciclo entre 90 a 110 dias após a semeadura classificado como precoce. As espigas têm comprimento médio de 20,5 cm, diâmetro médio a 2/3 da base é de 5,2 cm, e o número médio de fileiras de grãos varia de 14 a 16. O sabugo é branco, sendo os grãos macios e suculentos e de coloração amarelo-claro brilhante. Os estigmas são de cor creme. É medianamente tolerante à helmintosporiose (*Helminthosporium turcicum*), ferrugem tropical (*Puccinia polysora*), ferrugem comum (*Puccinia sorghi*) e podridão da espiga (*Diplodia maydis*). Os potenciais produtivos de espigas e de grãos são de 17,5 e 5,95 t ha⁻¹, respectivamente.

RB6324: de acordo com informações relatadas pela Syngenta Seeds Ltda (2010), a cultivar RB6324 é um híbrido simples modificado, contendo o gene Shrunken-2, sendo assim inserido na classe superdoce, atinge em média 2,45 m de altura quando semeados em períodos de verão na região Centro-Sul do Brasil. Destina-se principalmente ao consumo “*in natura*” e processamento industrial. O comprimento médio da espiga é de 18,5 cm, o diâmetro médio da espiga a 2/3 da

base é de 5,6 cm e o número médio de fileiras de grãos varia de 16 a 18. O sabugo é branco e a espiga apresenta bom empalhamento. Os grãos são macios, suculentos e de coloração amarelo-claro brilhante. Os estigmas são de cor creme. O ciclo permanece na faixa de 86 a 106 dias, sendo considerado de ciclo precoce. A colheita é realizada quando os grãos apresentam de 74 a 78% de umidade. É pouco tolerante à ferrugem comum e medianamente tolerante à helmintosporiose, ferrugem tropical e podridão da espiga. Os potenciais produtivos de espigas e de grãos são de 20,0 e 7,5 t ha⁻¹, respectivamente.

4.4.7.2. Adubação

No sulco de semeadura foram aplicadas as doses de 20, 80 e 60 kg ha⁻¹ (NPK), sob as formas de sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Na ocasião do estágio fenológico V₄, quatro folhas completamente expandidas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), aplicou-se como adubação de cobertura a dose de 90 kg de N ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, sendo o adubo depositado a uma distância aproximada de 0,08 m das linhas de plantas (RAIJ et al., 1996).

4.4.7.3. Semeadura e população de plantas

Os experimentos foram semeados em sistema de semeadura direta, com auxílio de semeadoras manuais (matracas), depositando duas a três sementes por cova, distanciadas umas das outras em 0,20 m. Em ambos os anos agrícolas (2011 e 2012), as semeaduras foram realizadas em intervalo temporal de 14 dias (Tabela 2). No estágio fenológico V₃, três folhas completamente expandidas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), realizou-se o desbaste das plantas, de modo que a densidade populacional final fosse de aproximadamente 55.500 plantas ha⁻¹ (WILLIAMS, 2012).

4.4.7.4. Tratos culturais e fitossanitários

Após o estabelecimento da cultura, o controle das plantas daninhas foi efetuado mediante a aplicação em pós-emergência do herbicida atrazine na

dosagem de 6,5 L ha⁻¹ (ANDREI, 2013), associado a realização de capinas manuais, quando necessário.

O controle de pragas iniciais que atacam o milho doce (coró, percevejos, larva alfinete, lagarta-elasma e lagarta-rosca) foi realizado por meio do tratamento de sementes com o inseticida imidacloprido + tiodicarbe na dose de 0,3 L 100 kg⁻¹ de sementes. Por sua vez, a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith) e a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*) foram controladas realizando aplicações dos inseticidas benzoilureia, organofosforado e metilcarbamato de oxima, nas dosagens de 0,3, 0,6 e 0,6 L ha⁻¹, respectivamente (ANDREI, 2013).

Quanto às doenças, para o controle da ferrugem-comum (*Puccinia sorghi*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*) e cercosporiose (*Cercospora zeae-maydis*), aplicou-se, na ocasião do pré-pendoamento azoxistrobina + ciproconazol e epoxiconazol + piraclostrobina, nas dosagens de 0,30 e 0,75 L ha⁻¹, respectivamente (COSTA; COTA; SILVA, 2012).

4.4.7.5. Irrigação

As plantas receberam irrigação complementar no período compreendido entre a semeadura e a colheita, no estágio fenológico R₃. Sempre que a precipitação pluvial diária era inferior a 5,0 mm efetuava-se a irrigação (RESENDE; OLIVEIRA, 2005; SILVA et al., 2010).

O método de irrigação utilizado foi por aspersão convencional, por meio de duas linhas secundárias, cada uma contendo sete aspersores de impacto, da marca Fabrimar, modelo A232, com bocais de 6,4 x 3,2 mm. Os aspersores foram instalados em tubos de elevação de 2,0 m de altura, espaçados de 12 x 12 m. A lâmina média de irrigação aplicada em cada aspersor foi de 14 mm h⁻¹.

4.4.7.6. Colheita

Conforme Caniato et al. (2007), as colheitas das espigas de milho doce foram realizadas quando os grãos apresentavam-se no estágio leitoso, que corresponde à fase fenológica R₃ da planta (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Tal tarefa foi efetuada manualmente nas primeiras horas da manhã, quando a umidade do ar ainda era alta e a temperatura baixa, segundo recomendações de

Pereira Filho (2003). Utilizando-se da mesma metodologia proposta por Caniato et al. (2007), além da observação dos grãos nas espigas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), para a identificação do estágio fenológico, verificou-se, de modo empírico, o momento em que os estilo-estigmas estavam escurecidos e se desprendiam da espiga com facilidade, por meio do arranquio manual (MAGALHÃES; SOUZA, 2011).

4.4.8. Características avaliadas

4.4.8.1 Avaliações fitotécnicas de crescimento

As avaliações fitotécnicas da parte aérea foram efetuadas na ocasião do pleno florescimento masculino (estádio fenológico V_T), equivalente ao pendoamento (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993).

4.4.8.1.1. Altura de plantas

A avaliação da altura das plantas foi efetuada por meio da mensuração do comprimento do colmo, da superfície do solo até a base da inflorescência masculina, sendo avaliadas cinco plantas por parcela (SILVA; SILVA, 2002; 2003; DEPARIS; LANA; FRANDOLOSO, 2007; CRUZ et al., 2008; LANA et al., 2009).

4.4.8.1.2. Índice de área foliar

Na determinação da área foliar (AF) foram avaliadas cinco plantas de cada parcela experimental, das quais foram mensurados o comprimento (C) e a largura (L), na parte mediana de todas as folhas de cada uma das plantas, para a obtenção inicial da área foliar (AF) em m^2 (SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007). Adotando a proposta de Francis, Rutger e Palmer (1969), o cálculo da área foliar foi feito mediante emprego da seguinte equação: $AF = 0,75 * C * L$. Posteriormente, somaram-se os valores individuais de todas as folhas para obter o valor total de área foliar por planta da unidade experimental. Assim, o índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir das medidas de área foliar, conforme a equação: $IAF = AF / (e_1 * e_2)$

e_2), em que e_1 e e_2 referem-se ao espaçamento entre plantas na linha de plantio (m) e entre as linhas de plantio (m).

4.4.8.2. Avaliações fitotécnicas dos componentes de produção

4.4.8.2.1. Número de grãos por fileira

Após a colheita, o número de grãos por fileira foi obtido mensurando, aleatoriamente, cinco espigas em cada parcela experimental, mediante contagem simples dos grãos presentes em uma fileira de cada espiga (VIEIRA et al., 2010).

4.4.8.2.2. Número de fileiras de grãos por espiga

O número de fileiras de grãos por espiga foi determinado mediante contagem simples do número de fileiras presentes em uma espiga, utilizando-se as mesmas espigas avaliadas no item anterior (BARBIERI et al., 2005; VIEIRA et al., 2010).

4.4.8.2.3. Rendimento de espigas comerciais despalhadas

O rendimento de espigas comerciais despalhadas foi determinada mediante separação das espigas isentas de pragas e doenças que apresentavam comprimento maior que 15 cm e diâmetro maior que 3 cm (PEREIRA FILHO, 2003). As espigas comerciais foram pesadas (kg parcela^{-1}) e, o valor encontrado extrapolado para Mg ha^{-1} , obtendo-se, desta forma, a produtividade de espigas comerciais despalhadas (OLIVEIRA Jr.; PEREIRA; BRESSAN-SMITH, 2006; ALBUQUERQUE et al., 2008; ALBUQUERQUE; VON PINHO; SILVA, 2008).

4.4.9. Armazenamento pós-colheita das espigas

Após a colheita foram escolhidas, aleatoriamente, cinco espigas comerciais de cada tratamento, que foram despalhadas, pesadas e submetidas ao processo de branqueamento em água. Este é caracterizado pela imersão das espigas em água à temperatura de 100 °C, durante cinco minutos, com posterior resfriamento das

mesmas em água à temperatura de 20 °C, durante dez minutos (KWIATKOWSKI; CLEMENTE; SCAPIM, 2011). Em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos e congeladas em freezer com temperatura de -18 °C (BRASIL, 2005), no laboratório do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (NUPAGRI) da UEM, para posteriormente serem realizadas as análises químicas dos grãos.

A seguir, as espigas foram descongeladas e procedeu-se a retirada dos grãos com o auxílio de faca de aço inox. Os grãos foram secos em estufa com circulação de ar a 60 °C até obtenção de peso constante. Os grãos secos foram triturados em moinho de facas, obtendo-se uma farinha integral de granulação 30 mesh. Essa farinha foi utilizada para a quantificação dos conteúdos de açúcares totais, amido e de proteínas. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) com base na matéria seca (BRASIL, 2005).

4.4.10. Avaliação da composição química dos grãos

Os conteúdos de açúcares totais e amido foram determinados utilizando-se o método de Lane-Eynon (BRASIL, 2005). Para a avaliação dos conteúdos de proteínas das amostras, foi utilizado o método de Kjeldahl, avaliando-se a porcentagem de N-total das amostras (BRASIL, 2005).

4.4.10.1. Açúcares totais

Primeiramente, a solução de Fehling foi padronizada, utilizando-se uma solução de glicose a 1%. Assim, foi possível obter o fator de conversão (g de glicose para cada 10 mL da solução de Fehling), utilizado para o cálculo do teor de açúcares totais das amostras.

Após a padronização, foram pesados 5 g de cada amostra, que foram transferidos para Erlenmeyer de 250 mL com o auxílio de água destilada. No frasco, foram adicionados 5 mL de ácido clorídrico, para prévia digestão ácida. Completou-se o volume com água destilada até 250 mL e o frasco foi colocado em chapa aquecedora durante três horas, contando-se a partir da temperatura de 300°C. Adicionou-se água destilada conforme a evaporação da solução, sendo que próximo do término das três horas completou-se o volume para cerca de 100 mL. O pH foi

corrigido para 7,0 por meio da adição de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 40%. Mediu-se o volume da solução final, sendo esta, posteriormente, filtrada. O filtrado foi adicionado à bureta para titulação.

Em um Erlenmeyer foram adicionados 10 mL de cada solução de Fehling A e B, com adição de 40 mL de água. O Erlenmeyer foi aquecido até ebulição, e, posteriormente, titulou-se essa solução com a solução da bureta, até que ela passasse de azul a vermelho-tijolo, sendo que, após decantação, o vermelho-tijolo torna-se incolor com resíduo de Cu_2O (óxido cuproso) no fundo do frasco. A porcentagem de açúcares totais, contida em cada amostra, foi calculada da seguinte forma:

$$\text{AT (\%)} = (V * 100 * a) / (v * M)$$

Em que:

AT (%): porcentagem de açúcares totais;

V: volume total da solução adicionada à bureta (mL);

a: g de glicose para cada 10 mL da solução de Fehling (fator de conversão);

v: volume gasto na titulação (mL);

M: massa da amostra (g).

4.4.10.2. Amido

Após a padronização da solução de Fehling, a análise de amido foi realizada pesando-se, inicialmente, 5 g de amostra desengordurada em Erlenmeyer, com posterior adição de 100 mL de álcool etílico 70%. A solução foi agitada e aquecida em banho-maria a 85 °C, por uma hora. Após esse período, com a solução fria, foram adicionados 50 mL de álcool etílico 70%. Filtrou-se a solução, sendo o resíduo lavado com álcool etílico 70% e transferido para um frasco Erlenmeyer com auxílio de 150 mL de água destilada.

Foram adicionadas 5 gotas de NaOH 10% e a solução resultante foi aquecida por mais uma hora. Posteriormente, adicionou-se 5 mL de ácido clorídrico, aquecendo-se por mais 30 minutos. O pH foi corrigido para 7,0 por meio da adição de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 40%. Após correção de pH, a solução de

Fehling foi titulada com a solução final, conforme descrito para açúcares totais. A porcentagem de amido, contida em cada amostra, foi calculada da seguinte forma:

$$AM (\%) = (V * 100 * a) / (v * M)$$

Em que:

AM (%): porcentagem de amido;

V: volume total da solução adicionada à bureta (mL);

a: g de glicose para cada 10 mL da solução de Fehling (fator de conversão);

v: volume gasto na titulação (mL);

M: massa da amostra (g).

4.4.10.3. Proteína

Na avaliação do conteúdo de proteína das amostras, foi utilizado 0,2 g de cada amostra com 1 g da mistura catalítica (2 g de selênio em pó, 4 g de sulfato de cobre e 21,4 g sulfato de sódio), condicionada em tubos de ensaio com adição de 5 mL de ácido sulfúrico concentrado e, colocados em bloco digestor para a fase de digestão da matéria orgânica. O aquecimento foi gradual até 300 °C e o material permaneceu em digestão por duas horas após o clareamento das amostras. Na sequência, os materiais foram destilados em aparelho Semi-Micro-Kjeldahl, com a utilização de solução de hidróxido de sódio a 40%. A amônia destilada foi recolhida em solução de ácido bórico a 4% com os indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol, ambos em concentração de 0,1% em solução alcoólica. O volume destilado foi titulado com solução de ácido clorídrico a 0,1 M. Para o cálculo da conversão de N em proteínas foi utilizado o fator 6,25 (NELSON; SOMERS, 1973).

4.4.11. Análises estatísticas e modelo matemático

Os resíduos experimentais foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) ($p > 0,01$) e de Levene (BOX, 1953) ($p > 0,01$), para verificação da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Posteriormente, havendo atendimento a essas pressuposições, de modo individual em cada

experimento, realizou-se a análise de variância ($p < 0,05$) (STEEL; TORRIE, 1960), com o intuito de verificar a magnitude dos quadrados médios residuais, conforme Pimentel Gomes (1990). Avaliou-se, desta forma, se as variâncias residuais entre os anos de cultivo (2011 e 2012) não foram discrepantes, e se as relações entre quadrados médios residuais foram inferiores a 7:1 (BANZATTO; KRONKA, 2006). Atendendo-se mais esse pressuposto, tornou-se possível trabalhar com a análise conjunta dos dados, acrescentando o fator ano como fonte de variação na análise de variância.

Na análise de variância conjunta foram utilizados os desdobramentos que se mostraram necessários, independentemente da interação entre fatores ter sido significativa ou não (PERECIN; CARGNELUTTI FILHO, 2008; BARBIN, 2013). Adotou-se este procedimento, porque a análise de variância individual apresenta um teste “F” médio, e muitas vezes, embora a interação seja não significativa, nos desdobramentos de um fator dentro do outro (análise mais profunda), pode ser detectada significância que proporciona resultados importantes do ponto de vista prático (PERECIN; CARGNELUTTI FILHO, 2008; BARBIN, 2013).

Os efeitos das épocas de semeadura foram estudados mediante análise de regressão polinomial, observando-se os resultados do teste F ($p < 0,05$) da análise de variância e os coeficientes de determinação (CRUZ; REGAZZI, 2001). Os efeitos dos híbridos e anos foram estudados pelo teste F ($p < 0,05$) da análise de variância, uma vez, que para dois níveis de fator ele é conclusivo.

O modelo matemático adotado para a análise conjunta foi:

$$Y_{ijkl} = m + E_i + H_j + A_k + EH_{ij} + EA_{ik} + HA_{jk} + EHA_{ijk} + B/A_{lk} + \mathcal{E}_{ijkl}$$

Em que:

Y_{ijkl} = valor observado no tratamento no i -ésimo nível da época de semeadura, no j -ésimo nível do híbrido de milho doce, no k -ésimo nível do ano de cultivo, no l -ésimo bloco;

m = constante inerente a cada observação;

E_i = efeito do i -ésimo nível da época de semeadura;

H_j = efeito do j -ésimo nível do híbrido de milho doce;

A_k = efeito do k -ésimo nível do ano de cultivo;

EH_{ij} = efeito do ij -ésimo nível da interação entre época de semeadura e híbrido de milho doce;

EA_{ik} = efeito do ik -ésimo nível da interação entre época de semeadura e ano de cultivo;

HA_{jk} = efeito do jk -ésimo nível da interação entre híbrido de milho doce e ano de cultivo;

EHA_{ijk} = efeito do ijk -ésimo nível da interação entre época de semeadura, híbrido de milho doce e ano de cultivo;

B/A_{lk} = efeito da lk -ésimo bloco dentro do ano de cultivo;

ε_{ijkl} = efeito residual associado ao i -ésimo nível de época de semeadura, no j -ésimo nível do híbrido de milho doce, no k -ésimo nível do ano de cultivo, no lk -ésimo bloco.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011). Todos os fatores foram considerados de efeitos fixos.

4.5. Resultados e discussão

4.5.1. Características climáticas

4.5.1.1. Precipitação pluvial

Os volumes de precipitações pluviais observados na Safra de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 (547,5 mm) e 2012 (623,3 mm) foram baixos e irregulares. Em 2011 as chuvas se concentraram principalmente em março, abril e julho, tanto que entre 02/maio a 05/junho ocorreram 36 dias de veranico. As precipitações pluviais acumuladas foram de 272,9; 328,5; 353,3 e 393,2 mm, nas épocas de semeadura 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Por sua vez, em 2012 houve maior regularidade de precipitação nos meses de maio, junho e julho (Figura 1). Cabe mencionar que a primeira semeadura e a última colheita ocorreram respectivamente em 18/2 e 1/8 (aproximadamente 160 dias).

Esses volumes de precipitações pluviais são considerados insuficientes para a necessidade hídrica da cultura do milho, pois choveu abaixo do limite inferior de 500 mm (ALDRICH; SCOTT; LENG, 1982; RESENDE; OLIVEIRA, 2005) em cada época. A literatura tem mostrado que a cultura do milho exige em média 500 mm de

precipitação para que produza satisfatoriamente, sem a necessidade de irrigação (SILVA et al., 2010).

Portanto, fez-se necessário a aplicação de água, via irrigação suplementar na magnitude de 227,1; 171,5; 146,7 e 106,8 mm, em cada época de semeadura do ano de 2011. No ano agrícola de 2012, a precipitação pluvial e a irrigação suplementar acumulada, respectivamente, em cada época de semeadura foram de 260,9 e 239,1; 292,5 e 207,5; 509,4 e 0; 495,0 e 5,0 mm (Figura 1).

Assim, em ambos os anos, a irrigação suplementar teve grande relevância para repor a evapotranspiração diária das plantas, nos períodos de ocorrência de estiagens (RESENDE; OLIVEIRA, 2005), sobretudo concomitantemente, nos períodos mais críticos de fornecimento de água para a cultura do milho, como emergência (V_E), diferenciação dos órgãos reprodutivos (V_4 a V_6), e do florescimento até a colheita (V_T a R_3) (NESMITH; RITCHIE, 1992; RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993; OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995; BOLAÑOS; BUITINK et al., 1996; BOLAÑOS; EDMEADES, 1996; NIELSEN; HALVORSON; VIGIL, 2010).

4.5.1.2. Temperatura

O atraso das épocas de semeadura no período de Outono-Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012 coincidiu com uma redução acentuada da temperatura, com ênfase para as temperaturas mínimas (Figura 1). Em 2011 as médias de temperaturas máximas e mínimas foram de 29,8 e 14,6; 28,7 e 13,3; 28,3 e 11,3; 28,2 e 10,8 respectivamente, nas épocas de semeaduras 1, 2, 3 e 4. De modo semelhante, em 2012, essas temperaturas foram 31,0; 29,7; 28,6; 27,5; e 14,3; 13,2; 11,6; 10,8 °C (Figura 1). Todavia, estes resultados referem-se a dados climáticos médios, assim, é nítido que a amplitude das temperaturas alcance valores mais extremos, principalmente no ano de 2011 (Figura 1).

Para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho os limites máximos e mínimos de tolerância à temperatura são respectivamente: 41°C e 8°C (YAN; HUNT, 1999); 40°C e 8°C (BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998); 36°C e 8° (CUTFORTH; SHAYKEWICH, 1990); 31° e 7° (TOLLENAAR; DAYNARD; HUNTER, 1979). Entretanto, o ideal é que as temperaturas permaneçam entre 26 °C e 34 °C (BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998), sendo consideradas como ótimas temperaturas médias de 28 °C (CUTFORTH; SHAYKEWICH, 1990) e 31 °C (YAN;

HUNT, 1999). Todavia, neste particular, as exigências térmicas da maioria dos genótipos de milho podem variar entre os processos de germinação e crescimento (TSIMBA et al., 2013b).

Assim, pode se inferir que as Safras de Outono/Inverno na região Noroeste do Paraná sejam muito mais negativamente afetadas por temperaturas abaixo da base inferior do que acima da base superior (Figura 1). Este comportamento é determinado pelas condições climáticas da região Sul, onde predominam o clima subtropical e temperado, conforme descrevem Villa Nova e Pereira (2006).

Em 2011, mais precisamente, no dia 28/junho ocorreu geada, atingindo as plantas semeadas nas épocas 3 (18/3) e 4 (1/4), quando se encontravam nos estádios R_2 e V_T , respectivamente (Figura 1). Embora não tenham sido avaliados os danos da geada, observou-se visualmente, que houve queima considerada das folhas do terço médio e superior das plantas, afetando drasticamente a área foliar. No ano agrícola de 2011, o IAF das plantas semeadas em 18/3 (2,57) e 01/04 (1,83) foi, significativamente, inferiores aos verificados no ano agrícola de 2012; 2,94 (18/3) e 2,77 (1/4) – (Tabela 6).

O acúmulo de massa seca nos grãos é inversamente proporcional aos danos causados na área foliar das plantas e diretamente proporcional ao estágio de desenvolvimento dos grãos (idade fisiológica) na ocasião da geada e do híbrido utilizado (XIMENES et al., 2004). Por essa razão, verificou-se no presente estudo, uma diminuta produção da quarta época quando comparado com a terceira, épocas que foram afetadas pela geada (Figura 7).

Temperaturas causadoras de geadas têm sobre o protoplasma das plantas o mesmo efeito da dessecação, levando a uma desidratação dos tecidos (perda de turgor das células) devido à diminuição da condutância hidráulica - baixa quantidade de aquaporinas (AROCA; PORCEL; RUÍZ-LOZANO, 2012) e menor controle estomático (STEUDLE, 2000; AROCA et al., 2003). Durante o estresse provocado pelo congelamento e pela desidratação do protoplasma, os íons provenientes dos sais e ácidos orgânicos alcançam altas concentrações na solução remanescente, exercendo, nessa situação, um efeito tóxico, inativando enzimas. Sob essas condições, a resistência das biomembranas é exigida ao extremo, tanto pelo efeito osmótico como pelo efeito mecânico provocado pela redução do volume celular. Então, a camada de lipídios é destruída, as proteínas das membranas sofrem dissociação e diminui a atividade da ATPase (LARCHER, 2000). Vale ressaltar ainda

que o acúmulo de gelo na superfície foliar pode rapidamente se expandir para os espaços intercelulares ocasionando uma desidratação, e até uma ruptura da membrana plasmática (GUY, 1990). Além disso, menores temperaturas levam a um aumento da viscosidade da água (e também do citossol) dificultando a absorção pelas raízes e o movimento de solutos entre células (FENNELL; MARKHART, 1998).

Por essas razões, a fim de evitar maiores prejuízos, no dia 28 de junho de 2011, foi aplicado água por meio da irrigação no horário entre as 04:30h e 08:00h da manhã. Observou-se que tal tomada de decisão amenizou os danos e impediu a morte das plantas. A aplicação de água nessas circunstâncias além de hidratar os tecidos promove também o descongelamento do orvalho solidificado sobre as partes aéreas das plantas, contribuindo para a elevação da temperatura (LARCHER, 2000).

As amplitudes térmicas observadas no ano de 2012 foram superiores as de 2011, até o oitavo decêndio (1-10/5) (Figura 1). Esta constatação é positiva, por promover um menor consumo energético, em função de menores taxas da respiração celular, ocasionando maior saldo de fotoassimilados, incrementando sobremaneira os componentes de produção (MOSS; MUSGRAVE; LEMON, 1961).

Entretanto, após o oitavo decêndio observou-se predomínio de maiores amplitudes térmicas no ano de 2011 (Figura 1). Essa observação não representa positivismo, visto que, tal fato é decorrente da abrupta redução das temperaturas noturnas (Figura 1), ao ponto de alguns pendões apresentarem flores femininas. Tal observação, segundo Miedema (1982), é devido à elevação do nível de giberelina no pendão, decorrente de baixas temperaturas, podendo significativamente promover redução da fertilidade masculina e a produtividade de grãos (MIEDEMA, 1982). Gonçalves et al. (2002), também verificaram esterilidade masculina e a formação de flores femininas no pendão de milho cultivado no Outono/Inverno na região Noroeste do Paraná.

4.5.1.3. Radiação solar e fotoperíodo

No ano agrícola de 2012, de maneira geral, foram observadas maiores quantidades de radiação solar disponível às plantas de milho doce no comparativo com 2011 (Figura 1).

Quanto ao fotoperíodo, assim como para a temperatura e radiação solar, verificaram-se reduções bem pronunciadas com o deslocamento das semeaduras de

fevereiro para março (Figura 1). O fotoperíodo, como depende apenas do dia do ano e da latitude, é comum em todos os anos (LIST, 1951). Para as condições de Maringá, o número de brilho solar máximo foi verificado no 1º decêndio (12,65 h) e o mínimo foi verificado no 13º decêndio (10,56 h), seguido de modestos incrementos até o final do ciclo das plantas semeadas na 4ª época, 16º decêndio (10,81 h) (Figura 1).

O milho uma planta de dia curto, responde a um aumento do fotoperíodo (WARRINGTON; KANEMASU 1983; ELLIS et al., 1992; BIRCH; RICKERT; HAMMER, 1998; TOLLENAAR, 1999). No entanto, nenhuma resposta direta ao fotoperíodo é esperada para o milho durante o Outono/Inverno no Brasil, uma vez que este é menor do que o valor crítico (12,5 h) (SOLER; SENTELHAS; HOOGENBOOM, 2005).

4.5.2. Ciclo fenológico e acúmulo de soma térmica

Os ciclos fenológicos dos híbridos de milho doce estudados são semelhantes, e as defasagens das semeaduras se prolongaram, tanto na fase vegetativa como na fase reprodutiva, em ambos os híbridos e anos (Figura 2). Em 2011, o número de dias, na média dos híbridos, entre a semeadura - V_T ; e entre V_T - R_3 foram 62 e 31, 68 e 33, 76 e 39, 84 e 38, respectivamente, nas épocas de semeadura 1, 2, 3 e 4. Na mesma sequência, em 2012, os números de dias foram: 59 e 33, 66 e 32, 72 e 32, 79 e 37 (Figura 2).

Nota-se, portanto, que no primeiro ano, o prolongamento do ciclo, se deu de forma mais pronunciada em todas as épocas de semeadura, superando 2012 em 1, 3, 11 e 7 dias respectivamente (Figura 2). Cabe salientar que 2011 foi mais frio que 2012, inclusive com ocorrência de geada (Figura 1). O aumento do ciclo fenológico das plantas de milho também foi observado por Shioga e Gerage (2010), ao avaliarem o efeito da época de semeadura, na Safrinha Paranaense.

É oportuno chamar a atenção para outra constatação que adquire um significado capital, quanto mais restritiva foram as condições ambientais do Outono/Inverno; observou-se o aumento no número de dias entre V_T e R_1 . Em 2011 a duração em dias da referida etapa foi de 2, 3, 6 e 7; contra 2, 3, 3 e 5 dias no ano de 2012, nas respectivas semeaduras de 18/2; 4/3; 18/3 e 1/4 (Figura 2). Tal

resultado pode ocasionar assincronia entre o V_T e R_1 , limitando a polinização, com menor número de óvulos polinizados na espiga e redução do número final de grãos.

Guei e Wasson (1992) constataram que as datas de florescimento masculino e feminino, bem como o intervalo antese-emissão dos estigmas são influenciados por estresse de água, temperatura e nitrogênio. Segundo Borrás et al. (2007), condições ambientais que alteram o crescimento da planta afetam também a separação temporal do pendramento e espigamento, principalmente a floração feminina. A redução do crescimento da planta reduz o acúmulo de biomassa nas espigas em detrimento do pendão, e assim, o atraso no espigamento é interpretado como uma consequência da redução da biomassa alocada para as espigas (ECHARTE et al., 2004; ECHARTE; TOLLENAAR, 2006; PAGANO; MADDONNI, 2007). Essa assincronia afeta negativamente a produtividade porque o número de grãos é uma função da taxa de acumulação de biomassa na espiga em torno floração (ANDRADE et al., 1999; VEGA et al., 2001; ECHARTE et al., 2004). Ademais, o retardamento do florescimento feminino pode induzir sérias consequências na polinização. Quando os estilos-estigmas estiverem aptos a receber os grãos de pólen, boa parte deles não estará mais viável, com fortes reduções no número final de grãos (TOLLENAAR, 1977; ZINSELMEIER; WESTGATE; JONES, 1995).

No que concerne à soma térmica acumulada (Figura 2), essa também pode ser designada como unidades calóricas, unidades térmicas de desenvolvimento ou graus dia acumulados pelas plantas. Aqui, cumpre-se ressaltar que o atraso da época de semeadura, diferente do número de dias, não proporcionou variação quanto ao acúmulo de graus dias pelos híbridos em ambos os anos e épocas de semeadura (Figura 2). Resultado semelhante também foi verificado por Tsimba et al. (2013b), ao estudar o efeito da época de semeadura na fenologia e duração do tempo térmico na cultura do milho em três locais da Nova Zelândia.

Em média, o acúmulo de soma térmica no período compreendido entre a semeadura - V_T ; e entre V_T - R_3 foram 850 e 270, 847 e 273 graus dias, respectivamente, nos anos agrícolas de 2011 e 2012 (Figura 2). Na mesma sequência, o acúmulo de soma térmica no período compreendido entre a semeadura - V_T ; e entre V_T - R_3 foram de 865 e 300, 824 e 274 graus dias, para a primeira (18/02) e última (01/04) época de semeadura, na média dos anos (Figura 2).

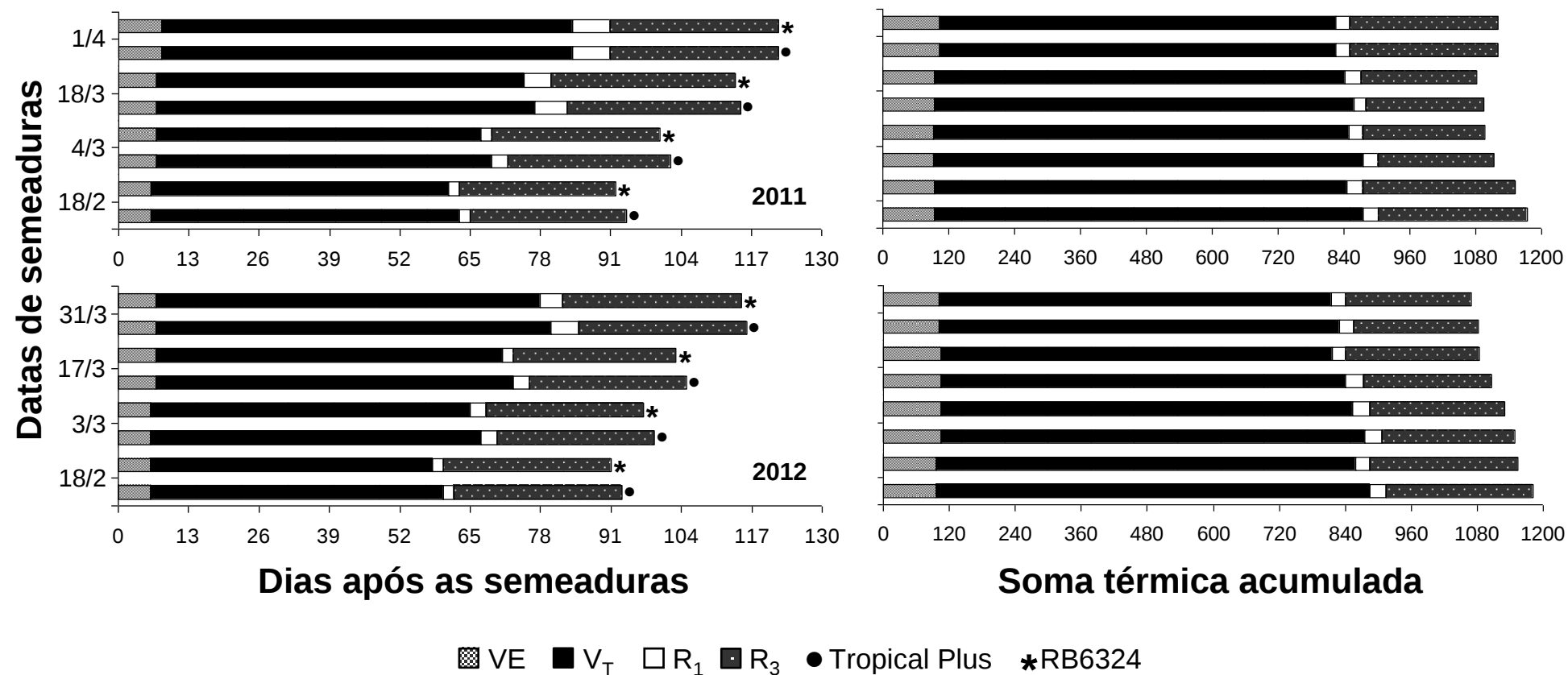


Figura 2. Dias após as semeaduras e soma térmica acumulada até a emergência (VE), pendoamento (V_T), florescimento (R_1) e grão leitoso (R_3) no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012 para os híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus, em Maringá.

Martin e Williams (2008) investigando diferentes épocas de semeadura na cultura do milho doce observaram que o número de dias entre a emergência e espigamento variaram com a época de plantio, diferente para o tempo térmico que pouco mudou.

Assim, energia térmica descreve a taxa de desenvolvimento com maior precisão do que o tempo expresso em dias (SOLER; SENTELHAS; HOOGENBOOM, 2005). Ainda segundo os mesmos autores, o conceito de graus dia e, graus dia acumulados, foi introduzido exatamente para superar inadequações no calendário, predizendo eventos fenológicos, bem como para o zoneamento agroclimático das culturas, uma vez que esses independem da época e do local de cultivo.

Verificou-se no presente estudo, em conformidade com a temperatura, que as unidades térmicas diárias se apresentaram com valores menores para as semeaduras mais tardias (Figura 2). Tal constatação justifica o aumento do ciclo para completar o acúmulo da soma térmica necessário nas fases de desenvolvimento do milho doce, principalmente nas duas últimas semeaduras, que foram fortemente compensadas por um pronunciado aumento de ciclo (Figura 2), decorrentes de quedas abruptas na temperatura (Figura 1).

Assim, a disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológico das plantas, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam desenvolvimento mais rápido. Logo, em regiões ou mesmo épocas mais quentes, observa-se maior precocidade no desenvolvimento do milho (BERGAMASCHI et al., 2006). Conforme Stone, Sorensen e Jamieson (1999), para cada 1°C de elevação na temperatura do ar há redução de cinco a seis dias na duração do período compreendido entre emergência e espigamento.

4.5.3. Características avaliadas e pressupostos estudados

Os resíduos experimentais de todas as características avaliadas apresentaram distribuição normal e variância em comum, comprovadas respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) e de Levene (BOX, 1953), em nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$), de modo individual em cada experimento (Tabela 3).

Ainda na mesma tabela, é imperativo afirmar que há homogeneidade das variâncias conforme preconizado pelo teste de Hartley, sendo possível acrescentar que não há discrepância na magnitude dos quadrados médios residuais das análises individuais, conforme Pimentel Gomes (1990). Esse pressuposto, obtido pela razão do quadrado médio do resíduo, também pode ser atendido conforme Banzatto e Kronka (2006), uma vez que a razão entre eles é inferior a 7:1.

Por fim, o cumprimento de mais esse pressuposto, possibilitou trabalhar com a análise conjunta dos dados acrescentando o fator ano como fonte de variação na análise de variância (BANZATTO; KRONKA, 2006; GOMES, 1990).

Tabela 3. Probabilidades mínimas para que os testes de Levene (Lv) e Shapiro-Wilk (S-W) sejam significativos; e valores da regra decisória do teste de Hartley (>QMR/<QMR) para as características avaliadas no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá

Características avaliadas	2011		2012		<u>>QMR</u> <u><QMR</u>
	Lv	S-W	Lv	S-W	
Altura de plantas	0,09 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2,33 ^{ns}
Índice de área foliar	0,14 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,23 ^{ns}
Nº de grãos por fileira	0,51 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,73 ^{ns}
Nº de fileiras por espiga	0,05 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Produção espigas comerciais	0,11 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,99 ^{ns}	3,27 ^{ns}
Açúcares totais	0,39 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Proteína	0,35 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,04 ^{ns}
Amido	0,42 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,10 ^{ns}

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelos testes de Levene, Shapiro-Wilk e Hartley.

4.5.4. Análise de variância conjunta dos experimentos

A análise de variância conjunta para os fatores principais, testado de maneira isolada, revelou que o fator época foi não significativo ($P > 0,05$) para a característica conteúdo de açúcares totais. Por sua vez, o fator híbrido, foi significativo ($P < 0,05$) apenas para a produtividade e conteúdo de amido. Ainda, a análise revelou que o fator ano agrícola, não foi significativo ($P > 0,05$) para número de grãos por fileira e conteúdo de amido (Tabela 4).

Quanto às interações, a análise mostrou independência ($P > 0,05$) entre os fatores na interação épocas x híbridos para todas as características, exceto número de grãos por fileira. Entretanto, para a interação época x ano não se constatou dependência ($P > 0,05$) entre os fatores para as características número de fileira por

espiga, açúcares totais e amido. Para a interação híbridos x anos apenas a produtividade foi significativa ($P < 0,05$). De maneira muito semelhante, a interação tripla (épocas x híbridos x anos) revelou significância apenas para produtividade e amido (Tabela 4).

No que concerne aos coeficientes de variações, verificou-se no presente estudo, que para todas as características respostas avaliadas, foram inferiores a 13,13%, comprovando boa precisão experimental (Tabela 4). Trabalhos desenvolvidos por Scapim, Carvalho e Cruz (1995) e Fritsche-Neto et al. (2012), com a cultura do milho, enfatiza a importância de um baixo coeficiente de variação.

Por fim, ainda pela Tabela 4, os valores médios obtidos para as características respostas foram os seguintes: altura de planta (1,8 m); índice de área foliar (2,8); número de fileiras por espiga (15,3 fileiras por espiga); número de grãos por fileiras (33,4 grãos por fileira); produtividade de espigas comerciais despalhadas ($6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$); conteúdos de açúcares totais no grão (34,8%); conteúdos de proteína nos grãos (18,2%) e conteúdo de amido nos grãos de milho doce (7,1%).

4.5.5. Características de crescimento e desenvolvimento das plantas

A interação tripla (épocas x híbridos x anos), para a altura de planta, a priori, revelou independência ($P > 0,05$) entre os fatores, diferente do observado para a interação dupla épocas x anos ($P < 0,05$) (Tabela 4). Entretanto, o seu desdobramento (épocas x híbridos x anos) além de ajustar significativamente ($P < 0,05$), revelou mais informações do que a interação dupla em questão, em função da época de semeadura dentro dos híbridos e anos de cultivo. Por essas razões, neste caso específico, foram utilizados os resultados da interação tripla, desconsiderando a média dos híbridos, conforme sugerido por Barbin (2013); Perecin e Cargnelutti Filho (2008).

O modelo polinomial quadrático foi o que melhor se ajustou a altura de planta para o híbrido RB6324 (2011 e 2012) e para o híbrido Tropical Plus em 2011. As respectivas alturas máximas das plantas foram de 1,71; 2,16 e 1,74 m nos dias julianos 67 (8/3/2011), 53 (22/2/2012) e 67 (8/3/2011). Para o híbrido Tropical Plus em 2012, ajustou o modelo linear, com decréscimo estimado pelo coeficiente angular de 1,15 cm para cada dia de atraso na época de semeadura (Figura 3).

Tabela 4. Resumo da análise de variância, coeficiente de variação experimental (CV) e média geral envolvendo quatro épocas de semeadura, dois híbridos de milho doce e dois anos agrícolas para altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), número de fileiras por espiga (NFE), número grãos por fileira (NGF), produtividade de espigas comerciais despalhadas (PROD), conteúdo de açúcares totais (AT), proteína (PROT) e amido (AMID) nos grãos

Fontes de variações	GL	Quadrados médios							
		AP	IAF	NFE	NGF	PROD	AT	PROT	AMID
		m	m ² m ⁻²	Unidade	Unidade	Mg ha ⁻¹	----- % -----		
Épocas (E)	3	0,411*	2,515*	4,943*	898,397*	226,010*	19,536 ^{ns}	34,586*	2,540*
Híbridos (H)	1	0,012 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,303 ^{ns}	0,226 ^{ns}	2,344*	17,745 ^{ns}	0,865 ^{ns}	4,945*
Anos (A)	1	2,303*	10,668*	3,240*	1,891 ^{ns}	63,421*	357,683*	471,758*	2,092 ^{ns}
E x H	3	0,001 ^{ns}	0,037 ^{ns}	1,129 ^{ns}	22,697*	0,105 ^{ns}	22,230 ^{ns}	2,313 ^{ns}	2,231 ^{ns}
E x A	3	0,117*	0,554*	0,170 ^{ns}	50,372*	6,858*	18,980 ^{ns}	19,416*	0,600 ^{ns}
H x A	1	0,007 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,051 ^{ns}	3,137*	5,006 ^{ns}	7,631 ^{ns}	2,422 ^{ns}
E x H x A	3	0,007 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,236 ^{ns}	8,446 ^{ns}	1,475*	22,631 ^{ns}	3,762 ^{ns}	3,460*
Blocos/Ano	6	0,014	0,070	1,365	9,362	0,329	6,702	3,517	1,333
Resíduo	42	0,006	0,057	0,455	4,243	0,276	20,65	3,246	0,879
Média geral		1,77	2,82	15,30	33,41	6,28	34,75	18,19	7,14
CV (%)		4,20	8,44	4,41	6,17	8,36	13,08	9,91	13,13

*Significativo (p<0,05) e ^{ns} não significativo (p>0,05), pelo teste F.

Vilhegas et al. (2001), também observaram que a defasagem na semeadura afetou, de maneira linear decrescente, a altura das plantas.

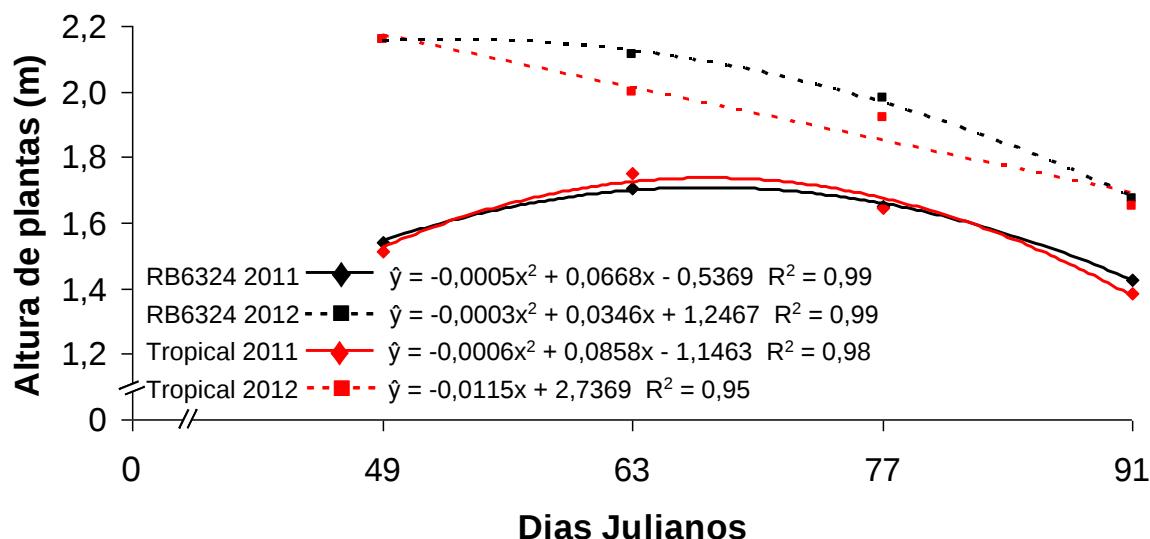


Figura 3. Altura de plantas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Na Tabela 5 pode-se verificar que os híbridos estudados apresentaram altura de planta muito semelhante, não diferindo estatisticamente ($P > 0,05$) dentro das épocas e anos agrícolas. Esse resultado pode ser explicado pelo fato das características genéticas dos mesmos (híbridos simples) que apresentam ciclo de desenvolvimento e exigência em unidade térmica muito semelhante. Além disso, o híbrido simples tem por característica ser obtido a partir do cruzamento de duas linhagens endogâmicas, que possuem alta uniformidade genética, morfológica e fenológica (COSTA et al., 2010).

Entretanto, embora a altura da planta seja uma característica dependente mais do fator genético que do fator ambiental, observou-se diferenças em decorrência dos anos agrícolas ($P < 0,05$). O ano de 2012 superou 2011, proporcionando condições climáticas mais favoráveis para o crescimento das plantas em todas as épocas e híbridos investigados (Tabela 5). Silva e Silva (2003) observaram diferenças nos valores de altura de plantas de acordo com o ano agrícola, na qual o cultivo de milho verde no primeiro ano resultou em plantas de porte mais elevado que do segundo ano.

Tabela 5. Altura de plantas dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Híbridos	2011				2012			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Tropical Plus	1,52a	1,75a	1,65a	1,39a	2,16a	2,00b	1,92a	1,65a
RB6324	1,54a	1,71a	1,65a	1,43a	2,16a	2,11a	1,98a	1,68a
Anos	Tropical Plus				RB6324			
2011	1,52b	1,75b	1,65b	1,39b	1,54b	1,71b	1,65b	1,43b
2012	2,16a	2,00a	1,92a	1,65a	2,16a	2,11a	1,98a	1,68a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

O índice de área foliar (IAF) das plantas do milho doce variou com as épocas e anos apresentando comportamentos distintos na média dos híbridos. O ano de 2011 o melhor ajuste foi obtido com regressão quadrática $\hat{Y} = - 3,5075 + 0,1943x - 0,0015x^2$ com R^2 de 0,99 e o máximo IAF (2,82) foi estimado para o dia juliano 65 (6/3/2011) (Figura 4). Para o ano de 2012, o IAF ajustou-se melhor a regressão linear decrescente $\hat{Y} = 4,8866 - 0,0237x$ com R^2 de 0,92. Neste caso, o decréscimo estimado pelo coeficiente angular foi de aproximadamente 0,24 para cada dez dias de atraso na época de semeadura (Figura 4) e a tendência era que maiores IAF fossem obtidos com semeaduras anteriores a primeira testada.

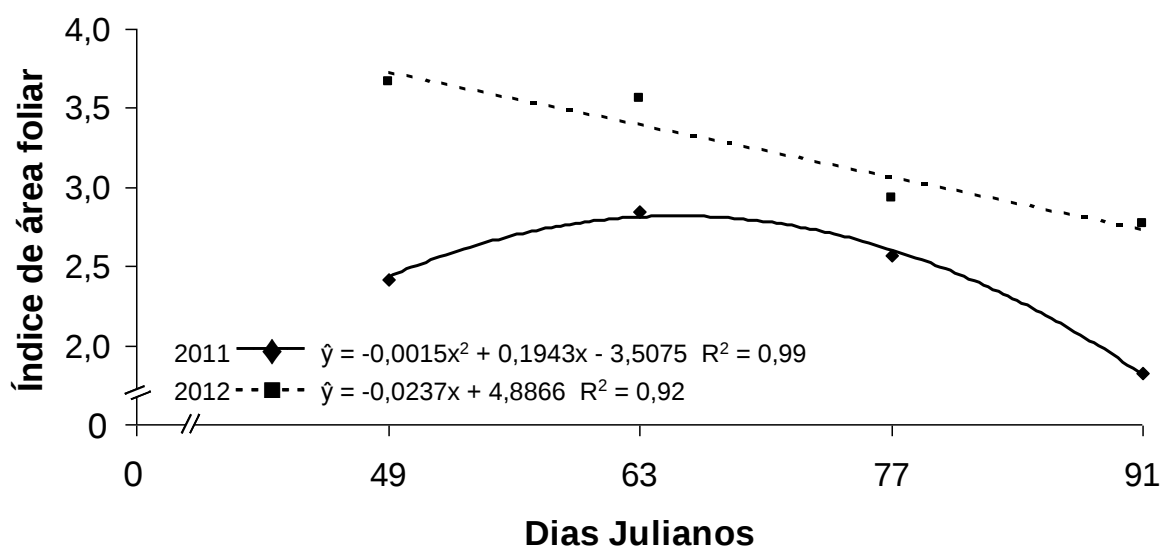


Figura 4. Índice de área foliar na média dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Efeitos lineares decrescentes e quadráticos tanto para altura de plantas como para o IAF estão em concordância com os resultados obtidos por Vilhegas et al. (2001) e Marques et al. (2014), em trabalho com época de semeadura de milho no Outono/Inverno no Noroeste do Paraná, bem como em outros estados do Brasil (NASCIMENTO et al., 2011). Os autores concluíram que a redução da temperatura influenciou na redução do crescimento vegetativo das plantas. Reduções pronunciadas da temperatura proporcional ao adiamento das semeaduras também foram observadas nos dados climáticos do presente estudo (Figuras 1).

Embora o milho responda à interação dos diversos fatores climáticos, os de maior influência sobre a cultura são: a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura (BRACHTVOGEL et al., 2009). Segundo Verheul; Picatto e Stamp (1996) a temperatura é o principal fator que controla o crescimento e desenvolvimento de milho. A redução da temperatura limita o processo fotossintético com diminuição do crescimento e da área foliar, pois haverá menor saldo, e consequentemente, menores acúmulos de fotoassimilados nos tecidos vegetais, o que limita a expansão foliar (POLLOCK, 1990; ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996).

Assim como verificado para a altura de plantas (Tabela 5), o ano de 2012 superou 2011 ($P < 0,05$), proporcionando melhor desenvolvimento do IAF nas plantas de milho doce em todas as épocas, na média dos híbridos (Tabela 6).

Tabela 6. Índice de área foliar na média dos híbridos Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Anos	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
2011	2,42b	2,84b	2,57b	1,83b
2012	3,66a	3,56a	2,94a	2,77a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

A primeira época de semeadura (principalmente) e a segunda, ambas no ano 2011 foram afetadas por fortes chuvas (3º e 4º decêndio - Figura 1). Tais eventos derrubam algumas plantas o que ajuda explicar a discrepante diferença dessas duas semeaduras quando comparadas com as mesmas do ano de 2012. Tais resultados revelam a importância de experimentos serem repetidos em

diferentes anos e a semeadura escalonada nas propriedades, com o intuito de diluir os efeitos negativos de adversidades climáticas.

Esses resultados permitem inferir que o ano de 2012 proporcionou condições climáticas mais propícias para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho doce, o que pode ser facilmente observado no item Características Climáticas (4.5.1). Vale salientar que em 2011 foram verificadas ínfimas temperaturas, com até ocorrência de geada (Figura 1). Esta condição desfavoreceu a cultura do milho doce, pois as temperaturas baixas induzem a redução da atividade metabólica das plantas de milho (MIEDEMA, 1982; TOLLENAAR, 1989a, 1989b), o que reduz os valores das características da parte aérea das plantas (VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996), como observado na altura de plantas e IAF (Figuras 3 e 4).

Adicionalmente, foi verificado maior disponibilidade de radiação em 2012 no comparativo com 2011 (Figura 1). Considera-se, ainda, que a menor AP e IAF verificado em 2011 contribuiu como forte agravante, pois a interceptação da luz pelo dossel é dependente da estatura e da área foliar, (BLACKSHAW, 1994; MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006).

Todos esses eventos contribuem para o menor acúmulo de massa seca nas plantas e, por fim, em menor crescimento vegetativo (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988; ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; CIRILO; ANDRADE, 1994a; ANDRADE, 1995; TOLLENAAR, 1999; DIDONET et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2004; 2006; LINDQUIST et al., 2005). Cabe considerar que não houve restrição hídrica às plantas de milho doce em ambos os anos agrícolas, pois o déficit hídrico foi isolado pela irrigação suplementar.

4.5.6. Características dos componentes de produção

Os fatores principais, épocas e anos, testados de maneira isolada para a característica número de fileiras de grãos por espigas foram significativos (Tabela 4). Entretanto, o desdobramento da interação não significativa épocas x híbridos (Tabela 4) ajustou-se significativamente ($P < 0,05$) (Figura 5) e revelou informações mais práticas do que os fatores principais (épocas e anos). Por essas razões, assim como para a altura de plantas (Figura 3), utilizou-se os resultados da interação dupla

(épocas x híbridos) em função da época de semeadura e híbridos, na média dos anos, conforme sugerido por Barbin (2013); Perecin e Cargnelutti Filho (2008).

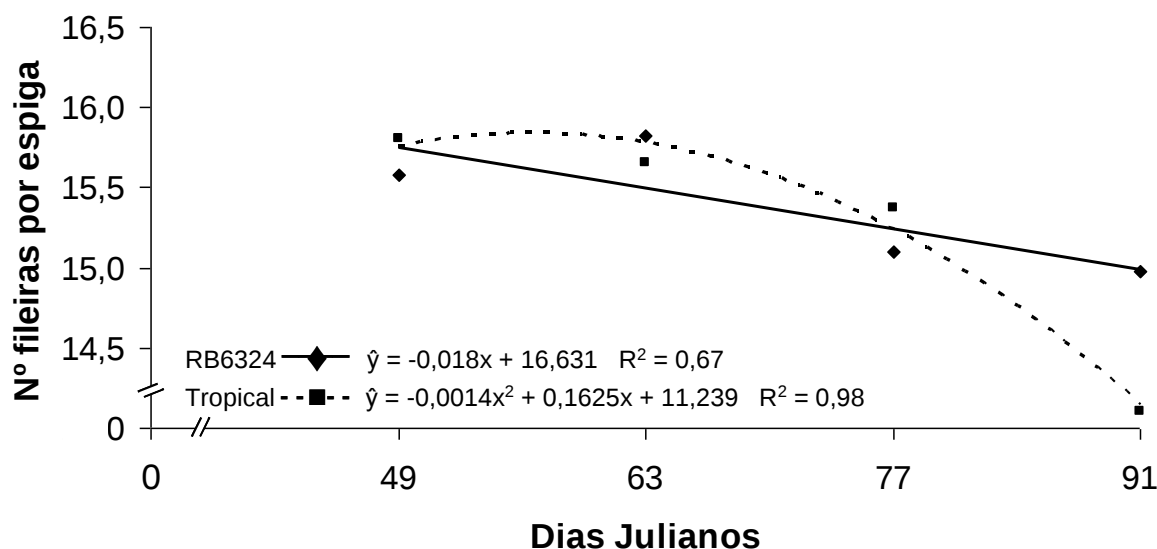


Figura 5. Número de fileiras de grãos por espigas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

O número de fileira por espiga variou com as épocas e híbridos apresentando comportamentos distintos na média dos anos. O modelo polinomial quadrático e o linear decrescente foram os que melhor se ajustaram ao comportamento da característica para os híbridos Tropical Plus e RB6324. O número máximo de fileiras por espigas do híbrido Tropical Plus (16) foi estimado para o dia juliano 57 (26/2). Para o modelo linear (RB6324) o decréscimo estimado pelo coeficiente angular, foi de 1,8 fileiras para cada cem dias de atraso na época de semeadura (Figura 5).

Pela Tabela 7 pode se verificar que o híbrido RB6324 superou o Tropical Plus ($P < 0,05$) apenas na quarta época de semeadura para a característica número de fileiras por espiga.

A característica número de grãos por fileira foi significativa ($P < 0,05$) para as interações épocas x híbridos e épocas x anos (Tabela 4). Os híbridos e anos apresentaram comportamentos e ajustes semelhantes, sendo o modelo polinomial quadrático o que melhor se ajustou ao comportamento da característica. Os máximos números de grãos por fileiras foram 38,4; 40,4; 40,9 e 37,9 em semeaduras

estimadas para os dias julianos 57 (26/2), 59 (28/2), 57 (26/2/2011) e 59 (28/2/2012), respectivamente para os híbridos (média dos anos) RB6324 e Tropical Plus; e os anos (média dos híbridos) 2011 e 2012 (Figura 6).

Tabela 7. Número de fileiras de grãos por espiga na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012 desdobrado dentro dos híbridos Tropical Plus e RB6324 em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Híbridos	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Tropical Plus	15,80a	15,65a	15,38a	14,10b
RB6324	15,58a	15,83a	15,10a	14,98a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

A estimativa do dia juliano para o máximo número de grãos por fileiras (58 = 27/02 - Figura 6) e número de fileiras por espigas (57 = 26/2 - Figura 5) estão bem próximos dos estimados para as características de crescimento e desenvolvimento (62 - altura de plantas e 65 – IAF, Figuras 3 e 4), e após tais datas, reduções expressivas foram verificadas para todos os componentes de produção.

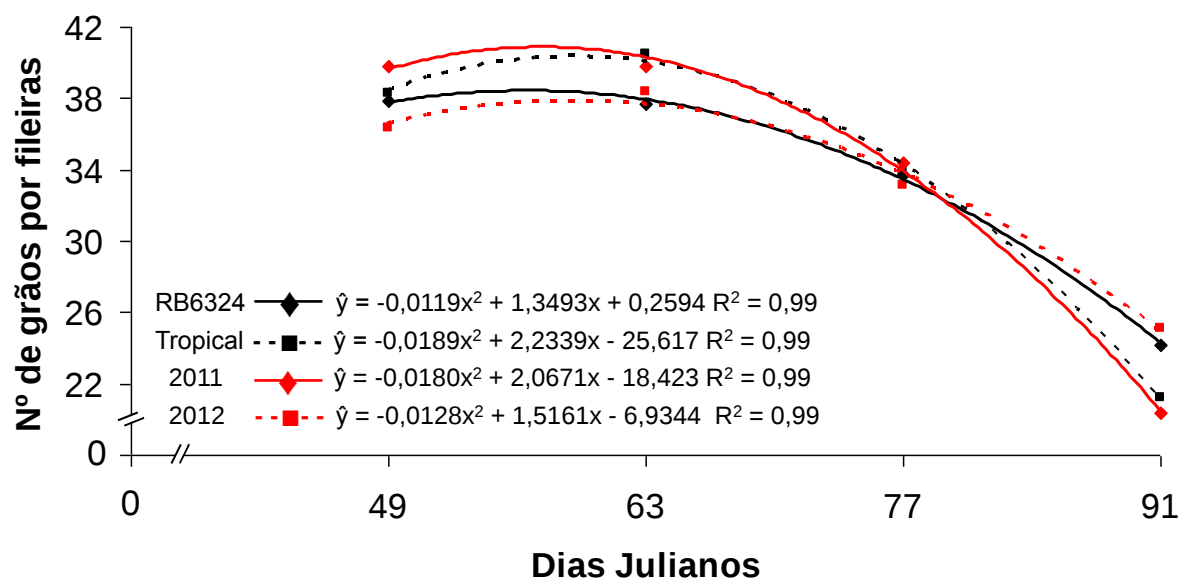


Figura 6. Número de grãos por fileira dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Contudo, a redução no crescimento vegetativo nas plantas semeaduras em março (Figuras 3 e 4), provavelmente, limitou a fonte de fotossintética (ANDRADE,

1995; TOLLENAAR, 1999), o que resultou em menores valores dos componentes de produção (Figuras 5 e 6).

A área foliar é frequentemente correlacionada com a redução dos componentes de produção de milho, uma vez que as folhas das plantas têm papel fundamental na captação e conversão da irradiância solar em energia química no processo fotossintético (TOLLENAAR; BRUULSEMA, 1988, ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; DUETE et al., 2008; TSIMBA et al., 2013a).

Na Tabela 8 pode se verificar que na quarta época de semeadura o híbrido RB6324 superou o Tropical Plus ($P < 0,05$), assim como o ano de 2012 foi melhor que 2011, para a característica número de grãos por fileiras.

Tabela 8. Número de grãos por fileiras desdobrados dentro dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324, e dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Fatores	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Tropical Plus	38,30a	40,50a	33,85a	21,23b
RB6324	37,83a	37,68b	33,70a	24,24a
2011	39,78a	39,80a	34,43a	20,33b
2012	36,35b	38,38a	33,13a	25,10a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

O desdobramento da interação tripla (épocas x híbridos x anos) para a produção de espigas comerciais despalhadas revelou comportamentos distintos, ajustando-se aos modelos quadrático e linear decrescente em 2011 e 2012 respectivamente, em função dos híbridos e épocas de semeadura (Figura 7). Em 2011 as produções máximas obtidas pelos híbridos RB6324 e Tropical Plus foram 8,2 e 8,1 Mg ha⁻¹, estimadas para os dias julianos 53 (22/2/2011) e 57 (26/2/2011) respectivamente. Por sua vez, em 2012, os decréscimos estimados pelos coeficientes angulares na produtividade do milho doce foram de 208,9 kg (RB6324) e 230,9 kg (Tropical Plus) para cada dia de atraso na época de semeadura (Figura 7).

Tomando como base a cotação de preço kg⁻¹ das espigas de milho doce nas Centrais Estaduais de Abastecimento (CEASAS) de Campinas (R\$ 1,4); Curitiba (R\$ 1,9) e Espírito Santo - Vitória (R\$ 2,2) em janeiro/2015, torna-se imperativo afirmar que, no ano agrícola de 2012, para cada dia de defasagem na época de semeadura

da lavoura, a perda foi de R\$ 383 dia ha⁻¹ (RB6324) e R\$ 423 dia ha⁻¹ (Tropical Plus). Nesse mesmo orçamento, embora tenha sido milho verde comum, nos Ceasas de Belo Horizonte e Rio de Janeiro, os preços kg⁻¹ eram de R\$ 0,8 e R\$ 1,1, respectivamente, significando, mesmo assim, prejuízos médios diários na ordem de R\$ 209 dia ha⁻¹ para cada dia de defasagem na época semeadura.

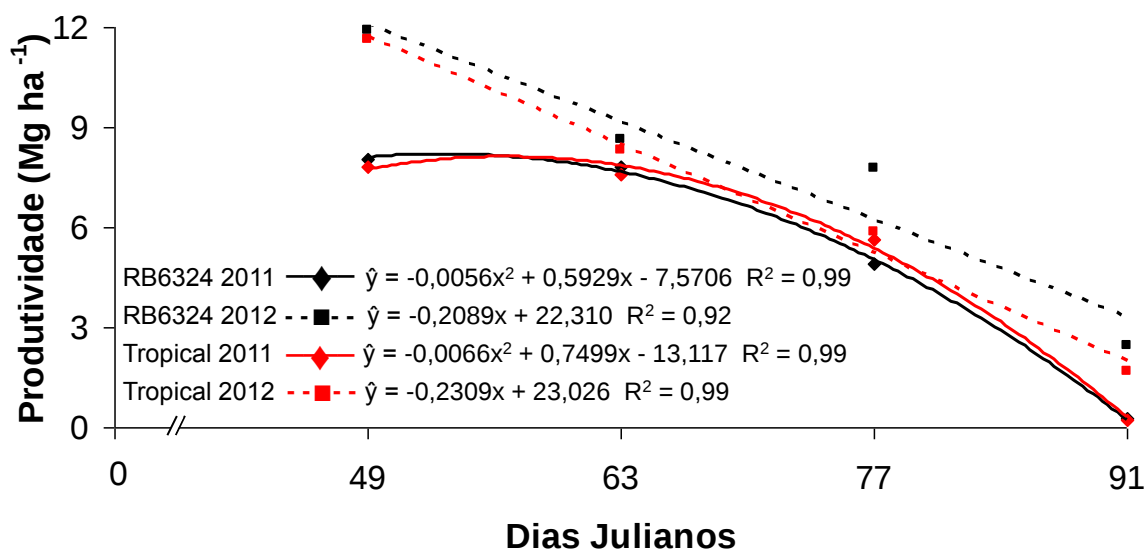


Figura 7. Produtividade de espigas comerciais despalhadas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Logo, o cultivo do milho doce constitui-se em uma fonte de renda compensadora (principalmente no litoral), em virtude do alto preço unitário das espigas (STORCK; LOVATO; CAMASSETTO, 1984; CANIATO et al., 2004; 2007). Assim, além de atraente, o retorno econômico é relativamente rápido, pois é colhido verde, tornando excelente alternativa para a agricultura familiar (KHAN et al., 2011). Porém, grande parte do lucro do agricultor, se não o total, pode ser perdido, quando os mesmos, desejarem semear os híbridos avaliados em épocas inapropriadas na região Noroeste do Paraná.

Em 2012, a tendência observada foi de que maiores produtividades pudessem se obtidas com semeaduras anteriores a primeira testada (Figura 7). O mesmo é válido para altura de plantas (Figura 3), IAF (Figura 4) e número de fileiras de grãos por espiga (Figura 5). Ou seja, todas as características até aqui estudadas, sofreram reduções acentuadas com a defasagem da época de semeadura do milho

doce, com efeitos negativos pronunciados principalmente sobre a produtividade (Figura 7).

Outros estudos constataram que a defasagem na época de semeadura, influenciou negativamente a produção de milho doce (KWABIAH, 2004; WILLIAMS; LINDQUIST, 2007; MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009; KHAN et al., 2011). Esses resultados podem ser explicados pelo fato das condições climáticas terem sido um tanto mais restritivas com atraso das semeaduras (Figura 1).

Em condições climáticas adversas (principalmente temperatura), as plantas recebem muito mais luz solar do que são capazes de utilizar no transporte de elétrons durante a fotossíntese e na fixação de CO₂ (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994; VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996). Isto causa um dano fotoxidativo, ou seja, acúmulo excessivo de energia luminosa absorvida e de fotorredutores nos cloroplastos com a consequente ativação do O₂ molecular em espécies reativas de oxigênio (ERO), tais como o radical superóxido (O₂⁻), o radical hidroxila (OH⁻) e o oxigênio singlete (¹O₂) (GILL; TUTEJA, 2010).

As ERO são produzidas dentro das membranas do tilacóide e responsável pela peroxidação de lipídeos (ASADA, 2000; MÜLLER; LI; NIYOGI, 2001). Adicionalmente, as ERO induzem perda de integridade estrutural e funcional das membranas celulares, redução da atividade de várias enzimas vitais e inibição da capacidade de aquisição de nutrientes das raízes. Ainda, as ERO são altamente tóxicas aos constituintes vitais das células e uma das responsáveis pela destruição de clorofila, DNA, lipídeos e proteínas das membranas (TSUGANE et al., 1999; BORSANI et al., 2001; ZHU, 2001; GILL; TUTEJA, 2010).

Por essas razões o dano fotoxidativo é o processo-chave envolvido no dano celular e na morte de células de plantas expostas a fatores de estresse ambientais (FOYER; LELANDIS; KUNERT, 1994; FOYER et al., 1997; ASADA, 2000). Consequentemente, a capacidade produtiva do milho é fortemente diminuída, com severos danos nos cloroplastos (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994).

As baixas temperaturas têm um papel importante no dano celular, pela formação de ERO pela NADPH oxidase (SHEN; NADA; TACHIBANA, 2000) e a fotoinibição é mais severa a temperaturas mais baixas (LONG, 1983; ORTIZ-LOPEZ et al., 1990). A produção de ERO em plantas submetidas a estresse causado por baixas temperaturas também pode ser esperada devido ao comprometimento do transporte de elétrons durante a fotossíntese e da fixação de CO₂ no metabolismo

do carbono (WISE; NAYLOR, 1987; FOYER; LELANDAIS; KUNERT, 1994; ASADA, 2000). Verheul, Picatto e Stamp (1996) observaram, na cultura do milho, aumento da fotoinibição na fotossíntese quando as baixas temperaturas coincidiram com uma alta intensidade de luz, concordando com Long; Humphries; Falkowski (1994), condições climáticas essas observadas durante a condução do presente estudo (Figura 1).

Ao nível da cultura, a consequência das baixas temperaturas é uma redução na eficiência do uso da radiação - EUR (produção de biomassa por unidade de luz interceptada pelo dossel) (VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996; EDREIRA; OTEGUI, 2012), como foi relatado para o milho (CICCHINO et al., 2010; TSIMBA et al., 2013a). Parte desta ineficiência pode ser devido à fotoinibição (ORTIZ-LOPEZ et al., 1990).

A EUR diminuiu com a redução da temperatura de 21 para 16 °C (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993). A temperatura não afetou a EUR em plantas não submetidas ao estresse de refrigeração (KINIRY et al., 1989). No entanto, em milho cultivado em regiões caracterizadas por uma primavera fria (15 - 18 °C) a EUR foi menor que para o milho cultivado em regiões mais quentes (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993).

Com baixas temperaturas Ying, Lee e Tollenaar (2000) verificaram redução da rota do carbono nas folhas de milho, com abrupta taxa de declínio do enchimento de grão. O menor carbono assimilado nas folhas do milho estressado por frio foi associado a uma redução da fluorescência da clorofila. Ainda segundo o mesmo autor, essa redução causou ineficiência do Fotossistema II. O mesmo foi verificado por Andrews, Fryer e Baker (1995).

As baixas temperaturas, contudo, podem afetar o rendimento, afetando uma série de outros processos, incluindo a interceptação de radiação através de efeitos sobre o desenvolvimento e duração da área foliar, eficiência de utilização da radiação e/ou padrões de particionamento de hidratos de carbono (LAFITTE; EDMEADES, 1997; MADDONNI; OTEGUI; BONHMME, 1998).

Na Tabela 9 pode-se verificar que os híbridos estudados não diferiram ($P>0,05$) para a característica produção de espigas comerciais despalhadas em todas as épocas no ano de 2011. Ademais, embora durante o ciclo de crescimento e de desenvolvimento das plantas, nos dois anos agrícolas, os experimentos tenham sido irrigados, verificaram-se diferenças estatísticas entre os anos de cultivos

(Tabela 9). O ano de 2012 superou 2011 ($P < 0,05$) em praticamente todas as épocas para ambos os híbridos (Tabela 9).

Tabela 9. Produtividade de espigas comerciais dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro de anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Híbridos	2011				2012			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Tropical Plus	7,82a	7,61a	5,62a	0,22a	11,63a	8,30a	5,87b	1,66b
RB6324	8,05a	7,80a	4,89a	0,28a	11,91a	8,62a	7,80a	2,44a
Anos	Tropical Plus				RB6324			
2011	7,82b	7,61a	5,62a	0,22b	8,05b	7,80b	4,89b	0,28b
2012	11,63a	8,30a	5,87a	1,66a	11,91a	8,62a	7,80a	2,44a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

Martin e Williams (2008) investigando o efeito da época de semeadura na cultura do milho doce, com irrigação suplementar, verificaram que o rendimento foi maior em 2007 do que em 2006. Os autores concluíram que as diferenças de rendimento foram consistentes com biomassa total da parte aérea e as diferenças de índice de área foliar observados em ambos os anos.

No presente estudo, as baixas produtividades de espigas comerciais no primeiro ano, em relação a 2012, podem ser justificadas pelo fato de 2011 ter apresentado, principalmente, nas duas primeiras épocas de semeadura menores amplitudes térmicas e nas duas últimas, temperaturas mínimas muito próximas de zero (Figura 1).

A cinética de crescimento e desenvolvimento das plantas de milho é favorecida pela ocorrência de amplitudes térmicas (PETERS et al., 1971). Temperaturas elevadas prevalentes no período noturno promovem consumo energético demasiado (CIRILO; ANDRADE, 1994a; 1994b), em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com consequente queda na produtividade da cultura (MUCHOW, 1990; CANTARERO; CIRILO; ANDRADE, 1999; EDREIRA; OTEGUI, 2012).

Ademais, a disponibilidade de radiação solar em 2012 superou a de 2011 (Figura 1). A radiação solar é um dos fatores climáticos mais influentes sobre a cultura do milho, pois atuam diretamente nas atividades fisiológicas, interferindo na produção (BRACHTVOGEL et al., 2009). Embora não avaliado, fortes evidências

levam a crer que a EUR foi preponderante para justificar a superioridade do ano de 2012, pois o ano de 2011 foi mais frio (Figura 1), o que conforme bem documentado, diminui a EUR. Contudo, provavelmente, em 2011 além da radiação ter sido usada de forma ineficiente, naturalmente ela foi limitada (Figura 1).

Adicionalmente, essas condições climáticas resultaram em menor desenvolvimento das plantas, representado pelos baixos valores de altura de plantas de 1,58 (2011) contra 1,96 (2012) (Tabela 5) e do IAF de 2,42 (2011) versus 3,23 (2012) (Tabela 6) na média dos híbridos. Assim, as plantas apresentaram menor dossel no ano agrícola de 2011 (agravante indireto) capaz de potencializar a interceptação da radiação solar (BLACKSHAW, 1994; ARGENTA et al., 2001; SANGOI, 2001; OTTMAN; WELCH, 1989; MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006), que é um dos principais fatores determinantes da produtividade (TSIMBA et al., 2013a). Esta constatação ocasiona menor acúmulo de nutrientes, menor produção de fotoassimilados e por fim menor translocação desses fotoassimilados para o enchimento de grãos, na qual proporciona uma diminuição no potencial produtivo dos híbridos (KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988; UHART; ANDRADE, 1995; DUETE et al., 2008).

Outro resultado pertinente verificado na Tabela 9 é a superioridade do híbrido RB6324 ($P < 0,05$) nas duas últimas épocas de semeadura (18/03 e 01/04) no ano agrícola de 2012, bem como na última época para número de fileiras de grãos por espiga (Tabela 7) e número de grão por fileira (Tabela 8) – semeadura 01/04/2012. Tanto a última como a penúltima época de semeadura, independentemente dos anos, foram as que proporcionaram piores condições climáticas. Todavia, pelas características de exploração do milho doce, é comum o plantio escalonado durante o ano todo (TEIXEIRA et al., 2001), ou pelo menos parte do ano (MARTIN; WILLIAMS, 2008), sendo praticamente inevitável a não coincidência do ciclo com fatores climáticos adversos (TEIXEIRA et al., 2001; MARTIN; WILLIAMS, 2008). Neste particular, híbridos que respondem com maiores componentes de produção em condições climáticas restritivas, surge como valiosa ferramenta.

Okumura et al. (2014), observou superioridade do híbrido RB6324 em relação ao Tropical Plus para a característica produtividade de espigas comerciais. Os autores enfatizaram a importância dessa descoberta para os produtores de milho

doce, uma vez que eles são remunerados tanto pela quantidade quanto pela qualidade de espigas verdes produzidas.

4.5.7. Características da composição química dos grãos

A análise de variância conjunta para o conteúdo de açúcar total nos grãos de milho doce revelou efeito principal significativo ($P < 0,05$) para o fator ano de cultivo (Tabela 4). Em relação aos anos avaliados, observou-se que 2012 superou o ano de 2011 (Tabela 10).

Tabela 10. Conteúdo de açúcares totais nos grãos de milho doce na média dos híbridos Tropical Plus e RB6324 e das épocas de semeadura, nos anos agrícolas de 2011 e 2012, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Anos agrícolas	Açúcares totais
2011	32,39b
2012	37,12a

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

O elevado conteúdo de açúcares totais encontrados nos grãos de milho doce é característico do gene *shrunken-2*, uma vez que este bloqueia a síntese de amido (BOYER; SHANNON, 1984), o que acarreta no acúmulo de altos conteúdos de açúcares totais (OKUMURA et al., 2014), em detrimento do amido (SOUZA et al., 2013) e por isso são denominados de super doce (BOYER; SHANNON, 1984). Os valores obtidos no presente estudo estão de acordo com aqueles relatados por Okumura et al. (2014) (35%), e Souza et al. (2013) (30,5%), que avaliaram os mesmos híbridos do presente estudo.

Embora a análise tenha revelado independência entre os fatores nas interações dos conteúdos de açúcares totais nos grãos, o desdobramento revelou ajuste significativo para a interação épocas x híbridos. Para o híbrido Tropical Plus o melhor ajuste foi obtido com a regressão linear decrescente $\hat{Y} = 43,097 - 0,1117x$ com R^2 de 0,79. O decréscimo do conteúdo de açúcar estimado pelo coeficiente angular foi de aproximadamente 1,12% para cada dez dias de atraso na época de semeadura. Não houve ajuste significativo para o híbrido RB6324 (Figura 8).

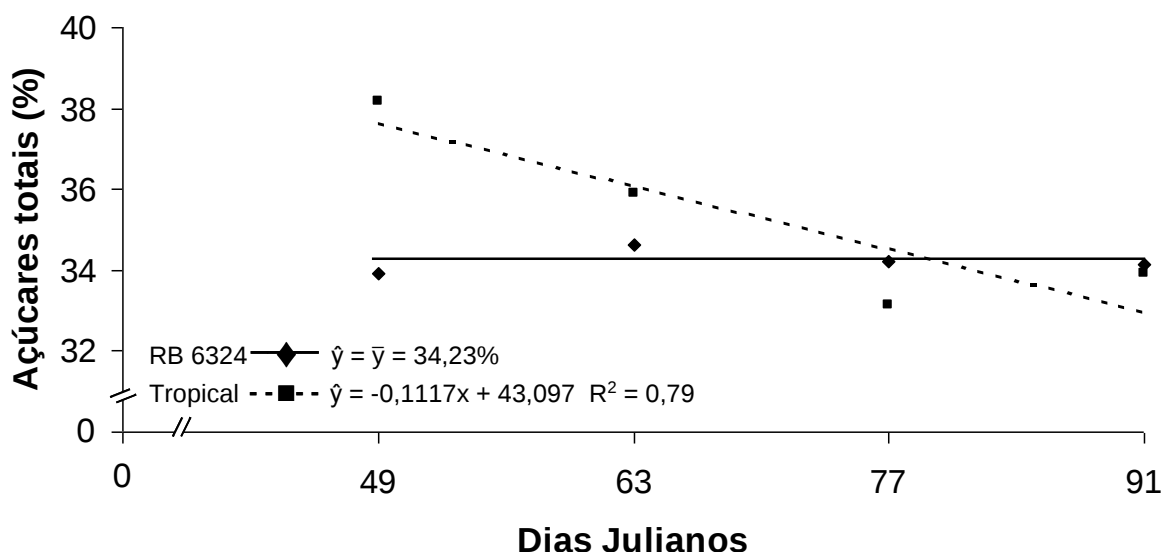


Figura 8. Conteúdo de açúcares totais nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno na média dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

A assimilação do CO₂ atmosférico pelas folhas resulta em sacarose e amido como produtos finais de duas rotas gliconeogênicas fisicamente separadas: sacarose no citosol e amido nos cloroplastos (EL-SHARKAWY, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013). A sacarose é um dissacarídeo não redutor e é o carboidrato que se movimenta na planta de milho, formado por uma molécula de glicose e uma de frutose (monossacarídeos redutores) (KOCH, 1996; CAZETTA; SEEBAUER; BELOW, 1999).

Os açúcares produzidos pela fotossíntese movem-se primeiro do sítio de síntese (mesófilo) para os tecidos vasculares (floema). Logo, a concentração de sacarose no citosol é, em grande parte, dependente das taxas de fotossíntese (LEE; TOLLENAAR, 2007). As trioses fosfatos, formadas no ciclo de Calvin, são utilizadas na formação do amido no cloroplasto ou transportada para o citosol em troca de um fosfato inorgânico (EL-SHARKAWY, 2009). No citosol este é convertido em sacarose, ou seja, a sacarose é sintetizada no citosol a partir de trioses fosfatos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Todavia, em temperaturas baixas, a fotossíntese pode ser também limitada pela disponibilidade de fosfato nos cloroplastos (SAGE; SHARKEY, 1987). Quando trioses fosfatos são exportadas dos cloroplastos para o citosol, uma quantidade equimolar de fosfato inorgânico é absorvida via translocadores na membrana dos

cloroplastos (WEBER; SCHWACKE; FLÜGGE, 2005). Se a taxa de utilização de trioses fosfato no citosol diminui, o ingresso de fosfatos no cloroplasto é inibido e a fotossíntese torna-se limitada por eles (GEIGER; SERVAITES, 1994). Consequentemente a síntese de amido e sacarose diminui rapidamente com a temperatura, reduzindo a demanda por trioses fosfatos e causando a limitação de fosfatos observada em temperaturas baixas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A diminuição da produção de fotoassimilados faz com que a planta de milho consuma suas reservas de carboidratos, a fim de suprir a falta de energia e obter compostos osmorreguladores (SICHER; BARNABY, 2012). Caniato et al. (2007), observaram que a disponibilidade de carboidratos por unidade de grão decresceu linearmente com o atraso da semeadura.

Considera-se, ainda, que a diminuição dos conteúdos de açúcares pode ser explicada pelo fato da redução do CO_2 a carboidratos, mediante as reações da fotossíntese ligadas ao carbono, estarem acopladas ao consumo de NADPH e ATP sintetizados pelas reações luminosas das membranas dos tilacóides (TAIZ; ZEIGER, 2013). Está bem documentando que em condições climáticas restritivas, principalmente em baixas temperaturas, há um dano fotoxidativo, com a ativação do O_2 molecular e a produção de ERO, exatamente dentro das membranas do tilacóide, com danos agudos nas mesmas. Consequentemente é possível deduzir que com o adiamento das semeaduras, menos NADPH e ATP foram sintetizados o que acarreta menores reduções do CO_2 a carboidratos. Segundo Taiz e Zeiger (2013) o resfriamento reduz a taxa de respiração bem como a síntese e o consumo de ATP.

Ademais, a baixa translocação pode ser outra explicação para esse resultado. Ximenes et al. (2004), verificaram que a translocação das reservas na planta é máxima a 30°C , caindo progressivamente com a diminuição da temperatura. Vários outros autores observaram reduções de movimento de carboidratos para os grãos com o abaixamento da temperatura (HOFSTRA; NELSON, 1969; JONES; SIMMONS, 1983; TOLLENAAR; DAYNARD, 1978; MUCHOW, 1990). De acordo com Bilska e Sowinski (2010) o frio em milho modifica a estrutura dos plasmodesmos, diminui a produção destes canais e, além disso, desativa os já existentes pelo depósito de calose. Essa alteração nos plasmodesmos influencia negativamente no transporte de intermediários da fotossíntese. Tais alterações fisiológicas resultam em menor exaustão das reservas acumuladas durante o período que antecedeu os estresses, aumentando o saldo de açúcares nos colmos e

folhas das plantas, sendo este efeito resultante da menor força de dreno (CIRILO; ANDRADE, 1994a). Assim, embora não mensurado, é bem provável que tenha havido um aumento de carboidratos nas partes vegetativas, em detrimento dos grãos em desenvolvimento.

O aumento das concentrações de sacarose na fonte resulta em taxa fotossintética menor (SCHULZ et al., 1998), pois os açúcares agem como moléculas sinalizadoras que regulam muitos processos metabólicos e de desenvolvimento nos vegetais (ROITSCH; BITTNER; GODT, 1995; KOCH, 1996; PETERS; FRENKEL, 2004; SICHER; BARNABY, 2012). A deficiência de carboidratos aumenta a expressão de genes para a fotossíntese, mobilização de reservas e processos de exportação, enquanto o suprimento abundante de carbono promove a expressão de genes de estocagem e utilização (KOCH, 1996; HALFORD; PAUL, 2003). Mais essa hipótese pode explicar o comportamento decrescente dos conteúdos de açúcares.

O desdobramento da interação tripla (épocas x híbridos x anos) mostrou ajustes significativos ($P < 0,05$) para os conteúdos de amido nos grãos de milho doce, em função da época de semeadura dentro dos híbridos e anos de cultivo (Figura 9).

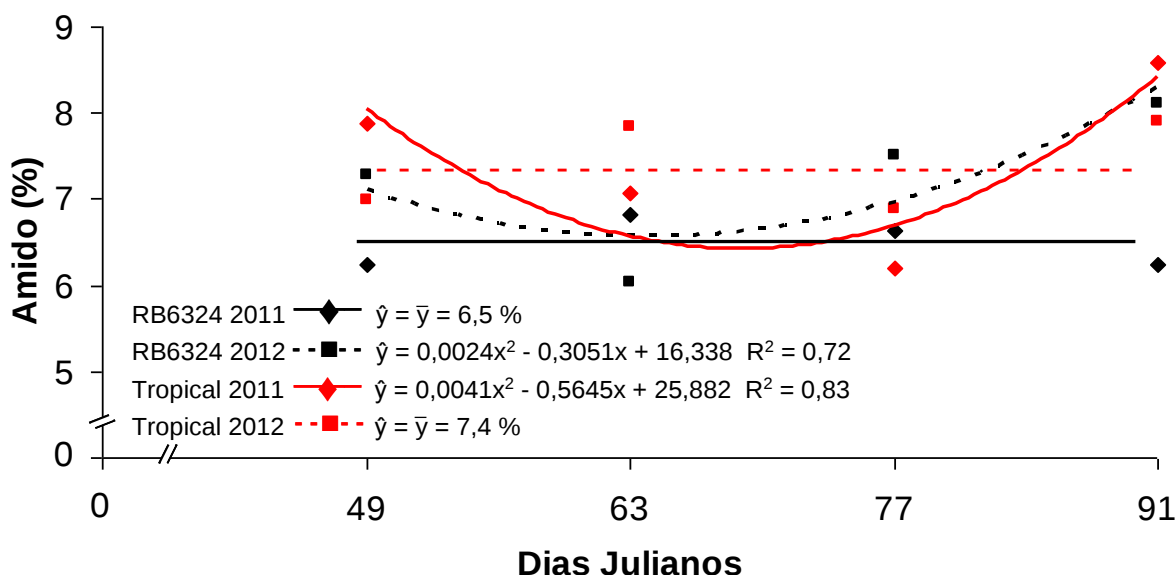


Figura 9. Conteúdo de amido nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Ajustou-se o modelo quadrático para o híbrido RB6324 no ano de 2012 e para o Tropical Plus em 2011, com valores mínimos estimados em 6,64% e 6,45%,

nos dias julianos 64 (4/3/2012) e 69 (10/3/2011) respectivamente. Por sua vez, tanto para o híbrido RB6324 no ano de 2011 como para o Tropical Plus em 2012, não houve ajuste significativo ($P>0,05$) (Figura 9).

A sacarose que chega ao grão em desenvolvimento, proveniente da parte vegetativa, é a principal matéria prima utilizada para a biossíntese do amido (polissacarídeo não redutor, formado de muitas moléculas de glicose) durante o período de crescimento do endosperma (MATHER; GISER, 1951; CREECH, 1965; 1968; JENNER; RATHJEN, 1977; OHSHIMA; HAYASHI; CHINO, 1990; NELSON; PAN, 1995; JAMES; DENYER; MYERS, 2003).

Com exceção da primeira época de semeadura (18/02), o conteúdo de amido (Figura 9) relacionou negativamente com os conteúdos de açúcares totais (Figura 8), ou seja, a redução do conteúdo de açúcares totais esteve associada ao aumento do conteúdo de amido. Tal descoberta torna possível inferir que a biossíntese de amido a partir dos açúcares precursores (CREECH, 1965; CREECH, 1968; NELSON; PAN, 1995; JAMES; DENYER; MYERS, 2003) aumentou, no endosperma dos grãos, com o adiamento das semeaduras. Creech (1965) obteve correlações negativas entre o conteúdo de açúcares totais, açúcares redutores e sacarose com a matéria seca e o amido, concluindo que os açúcares são precursores do amido. Caniato et al. (2007), verificou que o efeito fisiológico negativo dos estresses climáticos resultou em menor massa de grãos e proporcionou menor permanência de açúcares livres no endosperma, em detrimento do acúmulo de amido.

Os conteúdos de amido nos grãos do milho doce do presente estudo (Figura 9) relacionaram negativamente com a temperatura, fotoperíodo e radiação solar (Figura 1), condições que proporcionam menores custos metabólicos e gastos de energia (CIRILO; ANDRADE, 1994a; 1994b; JONES et al., 2009). Tal fato pode justificar o incremento no conteúdo de amido a partir 10/03/2011 (Tropical Plus) e 04/03/2012 (RB6324) – (Figura 9), pois os carboidratos são importantes fontes de energia (KAYS, 1991). Por fim, outra hipótese que corrobora é a possibilidade de um efeito de concentração. Quando as condições ambientais foram mais críticas (Figura 1), menores foram as produtividades de espigas comerciais (Figura 7) e maiores foram os acréscimos dos conteúdos de amido nos grãos de milho doce (Figura 9).

Os híbridos estudados diferiram ($P < 0,05$) para o conteúdo de amido nos grãos nas épocas 1 (18/02) e 4 (01/04) no ano agrícola de 2011 e para a época 2 (04/03) no ano de 2012, com superioridade para o híbrido Tropical Plus (Tabela 11).

Tabela 11. Conteúdo de amido nos grãos dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Híbridos	2011				2012			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Tropical Plus	7,89a	7,06 ^a	6,19a	8,58a	6,99a	7,84a	6,89a	7,89a
RB6324	6,24b	6,82 ^a	6,64a	6,24b	7,29a	6,03b	7,51a	8,12a
Anos	Tropical Plus				RB6324			
2011	7,89a	7,06 ^a	6,19a	8,58a	6,24a	6,82a	6,64a	6,24b
2012	6,99a	7,84 ^a	6,89a	7,89a	7,29a	6,03a	7,51a	8,12a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

Esses resultados novamente evidenciam uma superioridade do híbrido RB6324, fundamental para os produtores. Genótipos de milho doce que possuem altos conteúdos de açúcares totais nos grãos, em detrimento do amido possuem preferências para a indústria beneficiadora e para o consumidor final (ERDAL et al., 2011).

As épocas de semeadura tiveram efeito sobre o conteúdo de proteína nos grãos do milho doce. O conteúdo de proteína variou com as épocas e anos apresentando comportamentos distintos na média dos híbridos (Figura 10). Para o ano de 2011, ajustou-se melhor a regressão linear, e o acréscimo estimado pelo coeficiente angular foi de aproximadamente 0,93% para cada dez dias de atraso na época de semeadura. No ano de 2012 o melhor ajuste foi obtido com regressão quadrática, com mínimo de 18,75% estimado para o dia juliano 68 (8/3/2011) (Figura 10).

Portanto, de maneira geral, as defasagens das semeaduras, proporcionaram incremento no conteúdo de proteína nos grãos, e apresentaram relação negativa com os conteúdos de açúcares totais.

A assimilação do nitrogênio está intimamente relacionada com as reações da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, tanto pela necessidade de energia para redução do nitrato à amônia, como também pelo fornecimento de cadeias carbônicas necessárias para a incorporação de amônia e a formação dos

aminoácidos (CAZETTA; SEEBAUER; BELOW, 1999; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Estes dois processos estão estreitamente interligados, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese; e a capacidade fotossintética, por sua vez, depende do nitrogênio, pois grande parte do nitrogênio das folhas está alocada nas proteínas envolvidas no processo fotossintético (SEEMANN et al., 1987; UHART; ANDRADE, 1995).

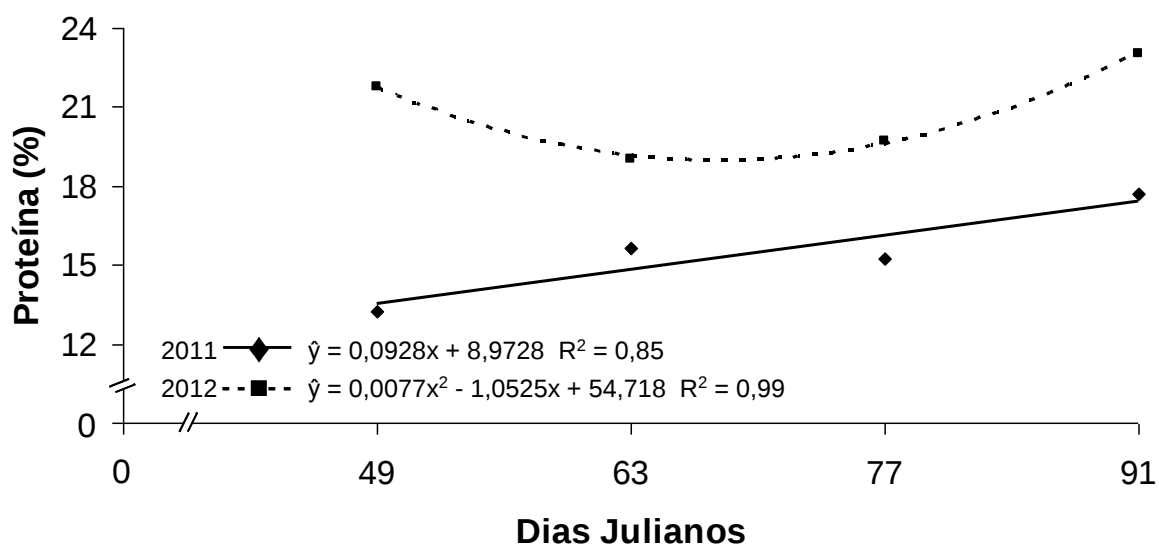


Figura 10. Conteúdo de proteína nos grãos na média dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 em função das épocas de semeadura no período de Outono/Inverno dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 04/03; E₃ = 18/03; E₄ = 01/04.

Logo, após absorção do N pela planta de milho doce, ele irá se combinar com esqueletos carbônicos (cedidos pelos açúcares) para a síntese de aminoácidos, nas quais resultará em proteínas que será armazenada nos tecidos vegetais (LEA; AZEVEDO, 2006). Assim sendo, a absorção e assimilação do N pela planta é absolutamente essencial para a biossíntese de proteínas, dentre elas as enzimas, o que explica o fato do N desempenhar papel fundamental na manutenção do metabolismo dos carboidratos (SINGLENTARY et al., 1990; FALEIROS; SEEBAUER; BELOW, 1996; CAZETTA; SEEBAUER; BELOW, 1999; FERREIRA et al., 2002), fazendo com que os metabolismos de C e N sejam interligados (SINGLENTARY; BELOW, 1989).

Entretanto, Singletary e Below (1989) avaliando a composição química dos grãos de milho in vitro com diferentes concentrações de N, observaram que o

acréscimo de N no sistema diminuiu o conteúdo de açúcares solúveis no endosperma em detrimento do conteúdo de proteína (zeínas, gluteninas, albuminas e globulinas). Tal observação, similar a do presente estudo, se deve provavelmente à conversão do N-foliar ter sido direcionada de forma significativa para a síntese de proteínas ou outros metabólitos contendo N em sua estrutura (KUSANO et al., 2011). À medida que aumenta a concentração de N na planta, o conteúdo de carboidrato nos grãos tende a diminuir em detrimento de aminoácidos e proteínas (SANDER; ALLAWAY; OLSEN, 1987).

Outra hipótese que justifica o incremento do conteúdo de proteína com o atraso na época de semeadura é o fato de muitas proteínas serem sintetizadas pelo frio (THOMASHOW, 2001), relacionadas às reações de defesa (HAYASHI et al., 2000; WALZ et al., 2004). Várias proteínas diferentes acumulam durante a aclimação ao frio, como resultado de mudanças na expressão gênica (GUY, 1999). Isso porque muitos genes são induzidos durante ao estresse por baixas temperaturas (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2000).

O estresse pelo frio reduz a atividade hídrica e leva ao estresse osmótico dentro das células (STEUDLE, 2000; AROCA et al., 2003; AROCA; PORCEL; RUÍZ-LOZANO, 2012). O efeito desse estresse osmótico provoca a ativação de rotas de sinalização de proteínas envolvidas na aclimação ao frio (FOWLER et al., 2005). Este grupo de proteínas (associadas ao estresse osmótico) inclui proteínas envolvidas na síntese de osmólitos e proteínas de estabilização de membrana (WISNIEWSKI; ARORA, 1993). A causa primária da maioria dos danos por resfriamento é a perda de propriedades das membranas decorrente de mudanças na sua fluidez (LUKATKIN et al., 2012).

Outros grupos de proteínas (proteínas de choque térmico e proteínas anticongelamento) têm também sua síntese totalmente regulada em estresse de baixas temperaturas. Essas proteínas têm a capacidade de inibir o crescimento de cristais de gelo de uma maneira não-coligativa, evitando, assim, danos em temperaturas de congelamento intermediárias. Estas conferem às soluções aquosas a propriedade de histerese térmica (a transição do líquido para o sólido promovida a uma temperatura mais baixa que a transição do sólido para o líquido) de modo que às vezes elas são identificadas como proteínas de histerese térmica (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Outro fato particularmente digno de nota, é que no primeiro ano (2011) a semeadura foi realizada após o milho de verão (com gradagem), e no último (2012) após a cultura da aveia (plantio direto) sendo as duas, culturas de alta relação C/N. Portanto, a maior presença de resíduos orgânicos, na superfície do solo, pode ter favorecido maior atividade e imobilização do N nas primeiras semeaduras, pelos microrganismos (AITA et al., 2001), comprometendo sua disponibilidade (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; BORTOLINI et al., 2002). Entretanto, para as demais épocas de semeadura é pouco provável que tal fato tenha ocorrido, pois é conhecido o efeito benéfico de resíduos culturais na disponibilização de N por meio da mineralização, após a imobilização (CRUSCIOL et al., 2008).

O ano de 2012 superou 2011 ($P < 0,05$), proporcionando maiores acúmulos de proteínas nos grãos de milho doce em todas as épocas, na média dos híbridos (Tabela 12).

TABELA 12. Conteúdo de proteínas nos grãos na média dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em cada épocas de semeadura, no período de Outono/Inverno, em Maringá

Anos	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
2011	13,26b	15,63b	15,26b	17,72b
2012	21,78a	19,05a	19,72a	23,06a

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 18/02; E₂ = 4/03; E₃ = 18/03 e E₄ = 1/04.

Por fim, é oportuno inferir que os estudos que contemplam o metabolismo nitrogenado e glicídico em plantas submetidas a diferentes estresses têm sido pouco realizados e há uma grande lacuna no conhecimento (MONJARDINO; SMITH; JONES, 2005). Em milho doce o entendimento dessas rotas metabólicas torna-se ainda mais difícil, uma vez que há genes que bloqueiam a síntese de amido (BOYER; SHANNON, 1984), não surpreendendo que as respostas sejam complexas. Todavia conforme discutido, é essencial relatar que esses estudos básicos agregam valor econômico ao produto final.

4.6. Conclusões

O crescimento vegetativo foi limitado pelo atraso na época de semeadura, afetando negativamente os componentes de produção, a produtividade de espigas comerciais e a composição química dos grãos de milho doce.

O ano de 2012 proporcionou melhores condições climáticas para o desenvolvimento da cultura com reflexos positivos nas características de crescimento, de produtividade e na composição química dos grãos.

O híbrido RB6324 mostrou melhor desempenho nas épocas de semeadura em que as condições climáticas eram mais indesejadas.

A defasagem na época de semeadura não proporcionou variação no acúmulo de soma térmica entre épocas, híbridos e anos. O acúmulo de soma térmica entre a semeadura - pendoamento e pendoamento - grãos leitosos, foi de, respectivamente, 848 e 272.

A defasagem na época de semeadura prolongou a fase vegetativa e a fase reprodutiva dos híbridos RB6324 e Tropical Plus. O número de dias entre a semeadura - V_T ; e entre V_T - grãos leitosos, foram respectivamente 61 e 32 dias para a primeira época de semeadura (18/02) e de 82 e 38 para a última época de semeadura (01/04).

A segunda quinzena do mês de fevereiro constitui a época preferencial para a semeadura do milho doce no período de Outono/Inverno na região Noroeste do Estado do Paraná.

4.7. Referências bibliográficas

ADEGAS, F.S.; VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P. Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária *ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1226-1233, 2011.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETA, C.J.; GONÇALVES, C.N.; ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.157-165, 2001.

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; SOUZA FILHO, A.X.; FIORINI, I.V.A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.768-775, 2008.

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, v.24, n.2, p.69-76, 2008.

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982, 371p.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.241-248, 2002.

ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, v.41, n.1, p.1-12, 1995.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v.32, n.1, p.17-25, 1993.

ANDRADE, F.H.; VEJA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, v.39, p.453-459, 1999.

ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 9.ed. São Paulo: Andrei Editora, 2013, 1616p.

ANDREWS, J.R.; FRYER, M.J.; BAKER, N.R. Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence. **Journal of Experimental Botany**, v.46, p.1195-1203, 1995.

ARGENTA, G.S.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.71-78, 2001.

AROCA, R.; VERNIERI, P.; IRIGOYEN, J.J.; SANCHEZ-DIAZ, M.; TOGNONI, F.; PARDOSSI, A. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. **Plant Science**, v.165, p.671-679, 2003.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUÍZ-LOZANO, J.M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.43-57, 2012.

ASADA, K. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. **Philosophical Transactions Biological Science**, v.355, p.1419-1430, 2000.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4º ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BARBIERI, V.H.B.; LUZ, J.M.Q.; BRITO, C.H.; DUARTE, J.M.; GOMES, L.S.; SANTANA, D.G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.826-830, 2005.

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos**. 2.ed. Porto Alegre: Mecnas, 2013, 214p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BILSKA, A.; SOWINSKI, P. Closure of plasmodemata in maize (*Zea mays*) at low temperature: a new mechanism for inhibition of photosynthesis. **Annals of Botany**, v.106, p.675-686, 2010.

BIRCH, C.J.; RICKERT, K.G.; HAMMER, G.L. Modelling leaf production and crop development in maize (*Zea mays* L.) after tassel initiation under diverse conditions of temperature and photoperiod. **Field Crops Research**, v.58, n.2, p.81-95, 1998.

BLACKSHAW, R.E. Differential competitive ability of winter wheat cultivars against downy brome. **Agronomy Journal**, v.86, p.649-654, 1994.

BOLAÑOS, J.; EDMÉADES, G.O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, v.48, n.1, p.60-80, 1996.

BORRÁS, L.; WESTGATE, M.E.; ASTINI, J.P.; ECHARTE, L. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. **Field Crops Research**, v.102, n.1, p.73-85, 2007.

BORSANI, O.; CUARTERO, J.; FERNANDEZ, J.A.; VALPUESTA, V.; BOTELLA, M.A. Identification of two loci in tomato reveals distinct mechanisms for salt tolerance. **The Plant Cell**, v.13, p.873-887, 2001.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.361-366, 2002.

BOX, G.E.P. Non-normality and tests on variances. **Biometrika**, v.40, n.3-4, p.318-335, 1953.

BOYER, C.D.; SHANNON, J.C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. **Plant Breeding Review**, v.1, p.139, 1984.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p. 2334-2339, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília, 2005. cap.4, p.116-141. (Série A: normas técnicas e manuais técnicos).

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.365-372, 2000.

BUITINK, J.; WALTERS-VERTUCCI, C.; HOEKSTRA, F.A.; LEPRINCE, O. Calorimetric properties of dehydrating pollen: analysis of a desiccation-tolerant and an intolerant species. **Plant Physiology**, v.111, n.3, p.235-242, 1996.

CANIATO, F.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; PUIATTI, M.; OLIVEIRA, D.A.; FERREIRA, J.L. Quantificação de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1893-1896, 2007.

CANIATO, F.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; RIBEIRO, R.A.; MIRANDA, G.V.; PUIATTI, M. Composição de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.1, p.38-44, 2004.

CANTARERO, M.G.; CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Night temperature at silking affects set in maize. **Crop Science**, v.39, n.3, p.703-710, 1999.

CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R.C; BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels growing *in vitro*. **Annals of Botany**, v.84, n.1, p.747-754, 1999.

CICCHINO, M.; EDREIRA, J.I.R.; URIBELARREA, M.; OTEGUI, M.E. Heat stress in field grown maize: response of physiological determinants of grain yield. **Crop Science**, v.50, p.1438-1448, 2010.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1039-1043, 1994a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1044-1046, 1994b.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 4º Levantamento, Jan/2015** - Brasília, v.2, n.3, p.1-90, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2015.

COSTA, E.F.N.; SOUZA, J.C.; LIMA, J.L.; CARDOSO, G.A. Interação entre genótipos e ambientes em diferentes tipos de híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1433-1440, 2010.

COSTA, R.V.; COTA, L.V.; SILVA, D.D. **Doenças: cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/doencas.htm>. Acesso em: 5 dez. 2013.

CREECH, R.G. Carbohydrate synthesis in maize. In: NORMAN, A.G. (ed.). **Advances in Agronomy**. New York: Academic, 1968, p.275-289.

CREECH, R.G. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. **Genetics**, v.52, p.1175-1185, 1965.

CROSS, H.Z.; ZUBER, M.S. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. **Agronomy Journal**, v.64, n.3, p.351-355, 1972.

CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

CRUZ, J.C.; SILVA, G.H.; PEREIRA FILHO, I.A.; GONTIJO NETO, M.M.S.; MAGALHÃES, P.C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.2, p.177-188, 2010.

CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.1, p.62-68, 2008.

CUTFORTH, H.W.; SHAYKEWICH, C.F. A temperature response function for corn development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.50, p.159-171, 1990.

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

DERESSA, T.T.; HASSAN, R.M.; RINGLER, C.; ALEMU, T.; YESUF, M. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. **Global Environmental Change**, v.19, 248-255, 2009.

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

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

ECHARTE, L.; ANDRADE, F.H.; VEGA, C.R.C.; TOLLENAAR, M. Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. **Crop Science**, v.44, p.1654-1661, 2004.

ECHARTE, L.; TOLLENAAR, M. Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. **Crop Science**, v.46, p.870-878, 2006.

EDREIRA, J.I.R.; OTEGUI, M.E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. **Field Crops Research**, v.130, n.1, p.87-98, 2012.

ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; EDMEADES, G.O.; ROBERTS, E.H. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. **Crop Science**, v.32, p.1225-1232, 1992.

EL-SHARKAWY, M.A. Pioneering research on C₄ photosynthesis: implications for crop water relations and productivity in comparison to C₃ cropping systems. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.7, n.3-4, p.468-484, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8^o ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm>. Acesso em: 10 jun. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2^a. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.

ERDAL, S.; PAMUKÇU, M.; SAVUR, O. TEZEL, M. Evaluation of developed standard sweet corn (*Zea mays saccharata* L.) hybrids for fresh yield, yield components and quality parameters. **Turkish Journal of Field Crops**, v.16, n.2, p.153-156, 2011.

FALEIROS, R.R.S.; SEEBAUER, R.J.; BELOW, F.E. Nutritionally induced changes in endosperm of shrunken-1 and brittle-2 maize kernels grown *in vitro*. **Crop Science**, v.36, p.947-954, 1996.

FENNELL, A.; MARKHART, A.H. Rapid acclimation of root hydraulic conductivity to low temperature. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.879-884, 1998.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; PURCINO, A.A.C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.13-17, 2002.

FOLBERTH, C.; GAISER, T.; ABBASPOUR, K.C.; SCHULIN, R.; YANG, H. Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa: model setup, evaluation, and estimation of maize yields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.151, p.21-33, 2012.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; SUHRE, E.; RAMBO, L. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1341-1348, 2004.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. Desempenho agrônômico e

econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

FOWLER, S.; COOK, D.; THOMASHOW, M.F. The CBF cold response pathway. In: JENKS, M.A.; HASEGAWA, P.M. (Ed). **Plant Abiotic Stress**, Oxford: Blackwell, p.71-99, 2005.

FOYER, C.H; LELANDAIS, M.; KUNERT, K.J. Photooxidase stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v.92, p.696-717, 1994.

FOYER, C.H; LOPEZ-DELGADO H.; DAT, J.F.; SCOTT, I.M. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. **Plant Physiology**, v.100, p.241-254, 1997.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E.A. Rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, v.9, n.5, p.537-539, 1969.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R.A.; SCAPIM, C.A.; MIRANDA, G.V.; REZENDE, L.M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.34, n.1, p.99-101, 2012.

GEIGER, D.R.; SERVAITES, J.C. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C₃ plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.45, p.235-256, 1994.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina, 1976. p.17-36.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 401p.

GONÇALVES, S.L.; CARAMORI, P.H.; WREGE, M.S.; SHIOGA, P.; GERAGE, A.C. Épocas de semeadura do milho "Safrinha", no Estado do Paraná, com menores riscos climáticos. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.24, n.5, p.1287-1290, 2002.

GUEI, R.G.; WASSON, C.E. Inheritance of some drought adaptative trait in maize. I. Interrelationships between yield, flowering and ears per plant. **Maydica**, v.37, p.157-164, 1992.

GUY, C. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular**, v.41, p.187-223, 1990.

GUY, C. Molecular responses of plants to cold shock and cold acclimation. **Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology**, v.1, n.2, p.231-242, 1999.

HALFORD, N.G.; PAUL, M.J. Carbon metabolite sensing and signalling. **Plant Biotechnology Journal**, v.1, n.6, p.381-398, 2003.

HASSAN, R.; NHEMACHENA, C. Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: multinomial choice analysis. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.2, p.83-104, 2008.

HAYASHI, H.; FUKUDA, A.; SUZUI, N.; FUJIMAKI, S. Proteins in the sieve element-companion cell complexes: their detection, localization and possible functions. **Australian Journal of Plant Physiology**. v.27, n.6, p.489-496, 2000.

HOFSTRA, G.; NELSON, C.D. The translocation of photosynthetically assimilated ¹⁴C in corn. **Canadian Journal of Botany**, v.47, p.1435-1442, 1969.

IPCC, 2007 [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, 996p, 2007.

IPCC, 2013 [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. [Thomas Stocker, Qin Dahe e Gian-Kasper Plattner (eds)] Stockholm, Sweden, 2216p, 2013.

JAMES, M.G.; DENYER, K.; MYERS, A.M. Starch synthesis in the cereal endosperm. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, p.215-222, 2003.

JENNER, C.F.; RATHJEN, A.J. Supply of sucrose and metabolism in developing grains of wheat. **Australian Journal Physiology**, v.4, p.691-701, 1977.

JONES, H.G.; SERRAJ, R.; LOVEYS, B.R.; XIONG, L.; WHEATON, A.; PRICE, A.H. PETERS, J.S.; FRENKEL, C. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, v.36, p.978-989, 2009.

JONES, R.J.; SIMMONS, S.R. Effect of altered source sink relation on growth of maize kernels. **Crop Science**, v.23, n.8, p.129-134, 1983.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v.80, n.2, p.232-242, 1988.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; FARHATULLAH; KHAN, M.Y.; ISRAR, M.; BASIR, A. Selecting optimum planting date for sweet corn in Peshawar, Pakistan. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.27, n.3, p.341-347, 2011.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; NIGAR, S.; KHALIL, I.; HAQ, I.; AHMAD, I.; ALI, A.; KHAN, M.Y. Phenology and yield of sweet corn landraces influenced by planting dates. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.25, n.2, p.153-157, 2009.

KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991, p.532.

KINIRY, J.R.; JONES, C.A.; G'TOOLE, J.C.; BLANCHET, R.; CABELGUENNE, M.; SPANEL, D.A. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. **Field Crop Research**, v.20, p.51-64, 1989.

KOCH, K.E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.47, p.509-540, 1996.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948, 478p.

KUSANO, M.; FUKUSHIMA, A.; REDESTIG, H.; SAITO, K. Metabolomic approaches toward understanding nitrogen metabolism in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.4, p.1439-1453, 2011.

KWABIAH, A.B. Growth and yield of sweet corn (*Zea mays* L.) cultivars in response to planting date and plastic mulch in a short-season environment. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.147-66, 2004.

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Agronomic traits and chemical composition of single hybrids of sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.4, p.531-536, 2011.

LAFITTE, H.R.; EDMEADES, G.O. Temperature effects on radiation use and biomass partitioning in diverse tropical maize cultivars. **Field Crops Research**, v.49, p.231-247, 1997.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M.; OLIVEIRA, F.B.; PAULA, G.M. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1441-1448, 2008.

LANA, M.C.; WOYTICHOSKI Jr., P.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA, M.R.; ALBRECHT, L.P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.31, n.3, p.433-438, 2009.

LARCHER, W. A planta sobre estresse. In: LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000, 341-437p.

LAUX, P.; JACKEL, G.; TINGEM, R.M.; KUNSTMANN, H. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon. A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, p.1258-1271, 2010.

LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. **Annals of Applied Biology**, v.149, n.2, p.243-247, 2006.

LEE, E.A.; TOLLENAAR, M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. **Crop Science**, v.47, p.202-215, 2007.

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, n.1, p.72-78, 2005.

LIST, R.J. **Smithsonian meteorological tables**. 6.ed. Washington: Smithsonian Institution, 1951, 527p. (Smithsonian Miscellaneous Collections, 114).

LIU, Z.; HUBBARD, K.G.; LIN, X.; YANG, X. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. **Global Change Biology**, v.19, n.11, p.3481-3492, 2013.

LIU, Z.; YANG, X.; HUBBARD, K.G.; LIN, X. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. **Global Change Biology**, v.18, n.11, p.3441-3454, 2012.

LONG, S.P. C₄ photosynthesis at low temperatures. **Plant Cell Environ**, v.6, p.345-363, 1983.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P.G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.45, p.633-662, 1994.

LUKATKIN, A.S.; BRAZAITYTĖ, A.; BOBINAS, C.; DUCHOVSKIS, P. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. **Zemdirbyste - Agriculture**, v.99, p.111-124, 2012.

MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E.; BONHOMME R. Grain yield components in maize II. Postsilking growth and kernel weight. **Field Crops Research**. v.56, p.257-264, 1998.

MAGALHÃES, P.C.; SOUZA, T.C. **Ecofisiologia: cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8^o ed. out. 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm>. Acesso em: 28 jun. 2013.

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, p.170-181, 2006.

MARQUES, O.J.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; FRANCO, A.A.N.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; NUMOTO, A.Y. Sowing time of popcorn under supplementary irrigation in the second season in Parana State, Brazil. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.12, n.2, p.640-647, 2014.

MARTIN, M.; WILLIAMS, I.I. Sweet corn growth and yield responses to planting dates of the North Central United States. **HortScience**, v.43, n.6, p.1775-1779, 2008.

MATHER, D.E.; GISER, H. Protein and carbohydrate accumulation in normal and highlysine barley in spike culture. **Plant Physiology**, v.60, p.75-80, 1951.

MIEDEMA, P. The effects of low temperature on *Zea mays*. **Advances in Agronomy**, v.35, n.1, p.93-128, 1982.

MONJARDINO, P.; SMITH, A.G.; JONES, R.J. Heat stress effects on protein accumulation of maize endosperm. **Crop Science**, v.45, p.1203-1210, 2005.

MONTEITH, J.L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. (Eds.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman e Hall, p.3-18, 1993.

MOSS, D.N.; MUSGRAVE, R.B.; LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. III. Some effects of light, carbon dioxide, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of corn. **Crop Science**, v.1, p.83-87, 1961.

MUCHOW, R.C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, v.23, n.2, p.145-158, 1990.

MÜLLER, P.; LI, X.P.; NIYOGI, K. K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. **Plant Physiology**, v.125, p.1558-1566, 2001.

NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S.J.; RODRIGUES, J.G.L.; FURTADO, M.B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta às épocas de semeadura. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p.193-201, 2011.

NELSON, D.W.; SOMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. **Agronomy Journal**, v.65, p.109-112, 1973.

NELSON, O.; PAN, D. Starch synthesis in maize endosperms. **Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology**, v.46, p.475-496, 1995.

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). **Field Crops Research**, v.28, n.3, p.251-256, 1992.

NIELSEN, D.C.; HALVORSON, A.D.; VIGIL, M.F. Critical precipitation period for dryland maize production. **Field Crops Research**, v.118, n.3, p.259-263, 2010.

OHSHIMA, T.; HAYASHI, H.; CHINO, M. Collection and chemical composition of pure phloem sap from *Zea mays*, L. **Plant Cell Physiology**, v.31, n.5, p.735-737, 1990.

OKUMURA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; FRANCO, A.A.N.; SOUZA, R.S.; RECHE, D.L. Effects of nitrogen rates and timing of nitrogen topdressing applications on the nutritional and agronomic traits of sweet corn.

International Journal of Food, Agriculture and Environment, v.12, n.2, p.391-398, 2014.

OLIVEIRA Jr., L.F.G.; PEREIRA, M.G.; BRESSAN-SMITH, R. Caracterização e avaliação agronômica de híbridos e linhagens de milho doce (*su1*). **Horticultura Brasileira**, v.24, p.283-288, 2006.

ORTIZ-LOPEZ, A.; YING; NIE, G.; OFT, D.R.; BAKER, N.R. The involvement of the photoinhibition of photosystem II and impaired membrane energization in the reduced quantum yield of carbon assimilation in chilled maize. **Planta**, v.181, p.78-84, 1990.

OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H.; SUERO, E.E. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**, v.40, n.1, p.87-94, 1995.

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

PAGANO, E.; MADDONNI, G.A. Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around flowering. **Field Crops Research**, v.101, p.306-320, 2007.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.68-72, 2008.

PEREIRA FILHO, I.A. **O cultivo do milho-verde**. 1.ed. Brasília: Embrapa, 2003, 204p.

PETERS, D.B.; PENDLETON, J.W.; HAGEMAN, R.H.; BROWN, C.M. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat and soybeans. **Agronomy Journal**, v.63, p.809, 1971.

PETERS, J.S.; FRENKEL, C. Relationship between alcohol dehydrogenase activity and low-temperature in two maize genotypes, Silverado F1 and Adh1 Adh2– doubly null. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.42, p.841–846, 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990, 401p.

POLLOCK, C.J. The response of plants to temperature change. **Journal of Agricultural Science**, v.115, p.1-5, 1990.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996, 285 p. (Boletim, 100).

RESENDE, M.; OLIVEIRA, A.C. Comparação de diferentes estratégias de programação de irrigação suplementar em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.205-214, 2005.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n.48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.

ROITSCH, T.; BITTNER, M.; GODT, D.E. Induction of apoplastic invertase of *Chenopodium rubrum* by D-glucose and glucose analog and tissue expression suggest a role in sink-source regulation. **Plant Physiology**, v.108, n.1, p.285-294, 1995.

SAGE, R.F.; SHARKEY, T.D. The effect of temperature on the occurrence of O₂ and CO₂ insensitive photosynthesis in field grown plants. **Plant Physiology**, v.84, p.658-664, 1987.

SANDER, D.H.; ALLAWAY, W.H.; OLSEN, R.A. Modification of nutritional quality by environment and production practices. In: OLSEN, R.A.; FREY, K.J. (Eds). **Nutritional quality of cereal grains: genetic and agronomic improvement**. 1987. American Society of Agronomy, Monograph, n.28, Madison, WI, p.45-82.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p.159-168, 2001.

SANGOI, L.; SCHMIT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p.263-271, 2007.

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

SCAPIM, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.5, p.683-686, 1995.

SCHULZ, A.; KÜHN, C.; RIESMEIER, J.W.; FROMMER, W.B. Ultrastructural effects in potato leaves due to antisense-inhibition of the sucrose transporter indicate a symplasmic pre-phloem transport of assimilates and an apoplasmic mode of phloem loading. **Planta**, v.206, p.533-543, 1998.

SEEMANN, J.R.; SHARKEY, T.D.; WANG, J.L.; OSMOND, C.B. Environmental effects on photosynthesis, nitrogen use efficiency, and metabolic pools in leaves of sun and shade plants. **Plant Physiology**, v.84, p.796-802, 1987.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, n.3-4, p.591-611, 1965.

SHEN, W.; NADA, K.; TACHIBANA, S. Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars. **Plant Physiology**, v.124, p.431-439, 2000.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Molecular responses to dehydration and low temperature: differences and cross-talk between two stress signaling pathways. **Current Opinion in Plant Biology**, v.3, p.217-223, 2000.

SHIOGA, P.S.; GERAGE, A.C. Influência da época de plantio no desempenho do milho Safrinha no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p.236-253, 2010.

SICHER, R.C.; BARNABY, J.Y. Impact of carbon dioxide enrichment on the responses of maize leaf transcripts and metabolites to water stress. **Physiologia Plantarum**, v.144, p.238-253, 2012.

SILVA, M.A.V.; FERREIRA, W.P.M.; ANDRADE, V.M.S.; ARAUJO, S.G.A. Época de semeadura do milho para a região de Sete Lagoas, MG, baseada na probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos. **Revista Ceres**, v.57, n.4, 2010.

SILVA, P.S.L.; SILVA, P.I.B. Efeitos de épocas de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1057-1064, 2002.

SILVA, P.S.L.; SILVA, P.I.B. Parcelamento da adubação nitrogenada e rendimento de espigas verdes de milho. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p.149-152, 2003.

SINGLETERY, G.W.; BELOW, F.E. Growth and composition of maize kernels cultured *in vitro* with varying supplies of carbon and nitrogen. **Plant Physiology**, v.89, p.341-346, 1989.

SINGLETERY, G.W.; DOEHLERT, D.C.; WILSON, C.M.; MUHITCH, M.J.; BELOW, F.E. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. **Plant Physiology**, v.94, p.858-864, 1990.

SOLER, C.M.T.; SENTELHAS, P.C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v.143, p.169-182, 2005.

SOUSA, S.M.; PAES, M.C.D.; TEIXEIRA, F.F. **Milho doce: origem de mutações naturais**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012. (Documentos, n. 144). 44p.

SOUZA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; QUEIROZ, D.C.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; CORTINOVE, V.B. Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. **Semina**, v.34, p.995-1010, 2013.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1960, 633p.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.1531-1542, 2000.

STONE, P.J.; SORENSEN, I.B.; JAMIESON, P.D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v.63, p.169-178, 1999.

STORCK, L.; LOVATO, C.; COMASSETTO, V. Avaliação do rendimento e outras características agronômicas de cultivares de milho doce. **Ciência Rural**, v.14, n.3-4, p.153-160, 1984.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; PAULA, G.M. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v.70, n.3, p.696-706, 2011.

STRECK, N.A.; SILVA, S.D.; LANGNER, J.A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.1-12, 2012.

SYNGENTA SEEDS LTDA. **Milho doce**. Disponível em: <<http://www.syntinela.com.br/website/produtos-e-marcas/sementes/rogers/milho-doce/>>. Acesso em: 21 ago. 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954p.

TEIXEIRA, F.F.; SOUSA, I.R.P.; GAMA, E.E.G.; PACHECO, C.A.P.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X.; MEIRELLES, W.F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.3, p.483-488, 2001.

THOMASHOW, M.F. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! **Plant Physiology**, v.125, p.89-93, 2001.

THORNTON, P.K.; JONES, P.G.; ALAGARSWAMY, A.; ANDRESEN, J. Spatial variation of crop yield responses to climate change in East Africa. **Global Environmental Change**, v.19, p.54-65, 2009b.

THORNTON, P.K.; STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, v.101, n.3, p.113-127, 2009a.

TINGEM, M.; RIVINGTON, M. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.14, p.153-168, 2009.

TOLLENAAR, M. Duration of the grain-filling period in maize is not affected by photoperiod and incident PPFD during the vegetative phase. **Field Crops Research**, v.62, n.1, p.15-21, 1999.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature. I. Dry matter partitioning. **Crop Science**, v.29, n.5, p.1239-1246, 1989a.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature. II. Leaf photosynthesis. **Crop Science**, v.29, n.5, p.1275-1279, 1989b.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationship during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, v.22, p.49-75, 1977.

TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T.W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, v.80, n.4, p.580-585, 1988.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Kernel growth and development in two positions on the ear of maize (*Zea mays* L.). **Canadian Journal Plant Science**, v.58, n.1, p.189-197, 1978.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; HUNTER, R.B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. **Crop Science**, v.19, n.3, p.633-666, 1979.

TSIMBA, R.; EDMEADES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize: phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v.150, p.145-155, 2013b.

TSIMBA, R.; EDMEADES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v.150, p.135-144, 2013a.

TSUGANE, K.; KOBAYASHI, K.; NIWA, Y.; OHBA, Y.; WADA, K.; KOBAYASHI, H. A recessive arabidopsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. **Plant and Cell**, v.11, p.1195-1206, 1999.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize. II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. **Crop Science**, v.35, n.5, p.1384-1389, 1995.

USDA – United States Department of Agriculture. **Grain: world markets and trade**. Washington, Foreign Agricultural Service, January 2015. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015.

VEGA, C.R.C.; ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O.; UHART, S.A.; VALENTINUZ, O.R. Seed number as a function of growth: a comparative study in soybean, sunflower and maize. **Crop Science**, v.41, p.748-754, 2001.

VERHEUL, M.J.; PICATTO, C.; STAMP, P. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field. **European Journal of Agronomy**, v.5, p.31-43, 1996.

VIEIRA, M.A.; CAMARGO, M.K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H.S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.32, n.1, p.81-86, 2010.

VILHEGAS, A.C.G.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES VIDIGAL, M.C.; BRACCINI, A.L.; SAGRILO, E. Efeito de épocas de semeadura e estabilidade de híbridos de milho em plantios de Safrinha no Noroeste do Paraná. **Bragantia**, v.60, n.1, p.45-51, 2001.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.395-405, 2006.

VON PINHO, R.G.; ALTUNA, G.G.; PINHO, E.V.R.V.; VIANA, L.O.S. Efeito de métodos de adubação e épocas de semeadura em características agrônômicas de cultivares de milho cultivadas na "Safrinha". **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.4, p.719-730, 2002.

WAHA, K.; MÜLLER, C.; BONDEAU, A.; DIETRICH, J.P.; KURUKULASURIYA, P.; HEINKE, J.; LOTZE-CAMPEN, H. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. **Global Environmental Change**, v.23, p.130-143, 2013.

WAHA, K.; MÜLLER, C.; ROLINSKI, S. Separate and combined effects of temperature and precipitation change on maize yields in sub-Saharan Africa for mid-to late-21st century. **Global and Planetary Change**, v.106, p.1-12, 2013.

WALLACE, H.A.; BRESSMAN, E.N. Classification of corn. In: WALLACE, H.A.; BRESSMAN, E.N. (ed.). **Corn and corn growing**. New York: Wiley, 1949, 52-60p.

WALZ, C.; GIAVALISCO, P.; SCHAD, M.; JUENGER, M.; KLOSE, J.; KEHR, J. Proteomics of cucurbit phloem exudate reveals a network of defense proteins. **Phytochemistry**, v.65, p.1795-1804, 2004.

WARRINGTON, I.J.; KANEMASU, E.T. Corn growth response to temperature and photoperiod: I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. **Agronomy Journal**, v.75, p.749-754, 1983.

WEBER, A.P.M.; SCHWACKE, R.; FLÜGGE, U. Solute transporters of the plastid envelope membrane. **Annual Review of Plant Biology**, v.56, p.133-164, 2005.

WILLIAMS, M.M. Agronomics and economics of plant population density on processing sweet corn. **Field Crops Research**, v.128, p.55-61, 2012.

WILLIAMS, M.M.; LINDQUIST, J.L. Influence of planting date and weed interference on sweet corn growth and development. **Agronomy Journal**, v.99, p.1066-1072, 2007.

WISE, R.R.; NAYLOR, A.W. Chilling-enhanced photooxidation. The peroxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. **Plant Physiology**, v.83, p.272-277, 1987.

WISNIEWSKI, M.; AURORA, R. Adaptation and response of fruit trees to freezing temperatures. In: **Cytology, histology and histochemistry of fruit tree diseases**, BIGGS, A.R. (Ed.). Boca Raton: CRC Press, 1993, 299-320p.

XIMENES, A.C.A.; SOUZA, L.C.F.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C. Avaliação da incidência de geadas em componentes de produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p. 214-227, 2004.

YAN, W.; HUNT, L.A. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, v.84, p.607-614, 1999.

YING, J.; LEE, E.A.; TOLLENAAR, M. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain-filling period. **Field Crops Research**, v.68, p.87-96, 2000.

ZHU, J.K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v.6, p.66-71, 2001.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. **Crop Science**, v.35, n.1, p.158-163, 1995.

5. CAPÍTULO II

Época de semeadura de milho doce no período de Verão no Noroeste do Paraná

5.1. Resumo

Este trabalho objetivou estudar o efeito da época de semeadura na resposta fenotípica de híbridos de milho doce, cultivados durante o período de Verão, com irrigação suplementar, em Maringá, região Noroeste do Estado do Paraná. Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Experimental de Iguatemi, da Universidade Estadual de Maringá, cujo clima é Subtropical, sem estação seca definida, localizada numa altitude de 550m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, em esquema fatorial, com os tratamentos sendo constituídos pela combinação de cinco épocas de semeadura (05/09; 19/09; 03/10; 17/10; 31/10) e dois híbridos comerciais de milho doce (Tropical Plus e RB6324) em dois anos (2011 e 2012). Avaliaram-se características fitotécnicas da parte aérea (altura de plantas e índice de área foliar), a produtividade de espigas comerciais despalhadas e a composição química dos grãos (conteúdo de açúcares totais e de proteína). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta. Os efeitos das épocas de semeaduras foram estudados mediante análise de regressão polinomial e os efeitos dos híbridos e anos agrícolas foram estudados pelo teste F. As épocas de semeadura influenciaram o crescimento das plantas de milho doce com reflexos diretamente proporcional na produtividade de espigas comerciais e no conteúdo de açúcar total dos grãos de milho doce. O híbrido RB6324 apresentou maior produtividade de espigas comerciais e menor acúmulo de proteína nos grãos quando comparado com o híbrido Tropical Plus. A utilização de irrigação foi essencial em todas as épocas de semeadura e anos de estudo. O mês de outubro constitui a época preferencial para a semeadura do milho doce no período de Verão na região Noroeste do Paraná.

Palavras-chave: *Zea mays*, *saccharata*, manejo e produtividade de espigas comerciais.

5.2. Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of the sowing times on the phenotypic answer of sweet corn hybrids, grown in Summer periods, with additional irrigation, in Maringá, Northwest of the Paraná State, Brazil. The experiments were conducted at Experimental Farm of Iguatemi, pertaining Maringá State University, whose the climate is subtropical without defined dry season, located on altitude of 550m. The design used was randomized complete block, in factorial scheme, and the treatments were constituted by combination of five sowing times (09/05; 09/19; 10/03; 17/10; 10/31) and two sweet corn hybrids (Tropical Plus and RB6324) in two agricultural years (2011 and 2012). Were evaluated growth phytotechnical characteristics (plant height and leaf area index), the yield of marketable ears and chemical composition of kernels (total sugars and protein content). The data were submitted to conjunct variance analysis. The effects of sowing times were studied by analysis of polynomial regression and the effects of agricultural years and hybrids were studied by F test. Sowing times influenced the growth of the sweet corn plants with reflex directly proportional on the yield of marketable ears and on the total sugar content of the sweet corn kernels. RB6324 hybrid showed higher yield potential and smaller protein accumulation in the kernels when compared with the Tropical Plus hybrid. The use of irrigation system was essential to replace the daily evapotranspiration in all sowing times and years of study. October is the best time for sweet corn sowing in Sumer period in Northwestern Paraná State, Brazil.

Key-words: *Zea mays*, *saccharata*, crop management and yield of marketable ears.

5.3. Introdução

O milho doce é caracterizado por possuir genes que bloqueiam no endosperma a conversão de açúcares em amido (WALLACE; BRESSMAN, 1949; CREECH, 1965) acarretando no acúmulo de elevado conteúdo de açúcares em detrimento do amido (BOYER; SHANNON, 1984). Este é considerado uma olerícola (OKTEM, 2008) e as principais utilizações alimentares são em conserva (enlatado) e

pelo consumo “in natura” (CANIATO et al., 2007). Adicionalmente, após a colheita, a parte vegetativa pode ser utilizada para produção de silagem, destinada à alimentação animal (MUSTAFA; HASSANAT; BERTHIAUME, 2004; IDIKUT et al., 2009).

Entretanto, embora o milho doce venha ganhando espaço com demanda crescente no Brasil (BARBIERI et al., 2005; SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012), pouca ênfase tem sido dada quanto ao manejo desta cultura frente às condições ambientais (MARTIN; WILLIAMS, 2008). Numerosos estudos apontam para expressivas alterações climáticas (LAGO et al., 2008; THORNTON et al., 2009a; 2009b; LAUX et al., 2010; STRECK et al., 2011; FOLBERTH et al., 2012; LIU et al., 2012; IPCC, 2013) e, neste particular, fixando os genótipos, bem como o manejo da cultura, o resultado é um impacto negativo na produção (TUBIELLO et al., 2000; OLESEN, 2005; PORTER, 2005; LIU et al., 2010).

Todavia, os efeitos negativos das alterações climáticas sob a cultura do milho são amenizados por alterações na época de semeadura (HASSAN; NHEMACHENA, 2008; DERESSA et al., 2009; TINGEM; RIVINGTON, 2009; LAUX et al., 2010; WAHA et al., 2013; LIU et al., 2013), selecionando períodos em que as condições climáticas atuais possam ser otimizadas (SILVA et al., 2010). Tal fato tem reflexo direto na incidência de pragas (OBOPILE; HAMMOND; THOMISON, 2013), severidade das doenças (BLANDINO; REYNERI; VANARA, 2009), no desenvolvimento vegetativo (HASSELL; DUFAULT; PHILLIPS, 2003; KWABIAH, 2004; TSIMBA et al., 2013a; 2013b) e reprodutivo (GAILE, 2012; TSIMBA et al., 2013a). Por sua vez, a utilização de genótipos adaptados com ciclo de desenvolvimento proporcional aos novos períodos de cultivo, complementam as tomadas de decisões que garantem sucesso frente ao atual panorama climático (HEINEMANN et al., 2009; COSTA et al., 2010; TSIMBA et al., 2013a).

Por estas razões, estudos desenvolvidos em diferentes partes do mundo objetivando escolher a melhor época de semeadura e genótipos adequados para a cultura do milho (SHIOGA; GERAGE, 2010; SILVA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011; CÓRDOVA; CARREÑO, 2012; GAILE, 2012; WAHA et al., 2013; TSIMBA et al., 2013a), explicam em grande parte, os aumentos constantes de rendimentos de milho comum (CHEN et al., 2011; WANG et al., 2012; LIU et al., 2012; CONAB, 2015). Todavia, tais esforços científicos não têm contemplado outros tipos de milho, como o milho doce (WILLIAMS; LINDQUIST, 2007; MARTIN; WILLIAMS, 2008;

KHAN et al., 2009; 2011), fazendo com que agricultores utilizem recomendações sugeridas ao milho comum, as quais nem sempre são as ideais (MARTIN; WILLIAMS, 2008).

Logo, o suprimento dessa carência de informações, contribui para aumentar a produção do milho doce (KHAN et al., 2009; 2011). Ademais, o preenchimento dessa lacuna no conhecimento reveste-se de grande importância em função da demanda de alimentos e energia decorrente do aumento da população (GAO, 2012; LIU et al., 2013; SANJUÁN; STOESSEL; HELLWEG, 2014). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito das épocas de semeadura, sobre características agrônômicas de híbridos de milho doce, no período de Verão, com irrigação suplementar, em Maringá, região Noroeste do Paraná.

5.4. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizada no município de Maringá, região Noroeste do Estado do Paraná (Coordenadas geográficas: 23°20'48" S e 52°04'17" W, altitude aproximada de 550 m).

O clima segundo Köppen (1948) é do tipo Cfa, definido como clima subtropical, isto é, temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C. Os verões são quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas no período de verão, sem estação seca definida (GODOY; CORREA; SANTOS, 1976). Os dados de temperatura, precipitação, radiação solar e fotoperíodo observados no período experimental, encontram-se apresentados na Figura 1. Os dados de temperatura foram úteis para determinação da amplitude térmica e para o acúmulo de energia térmica.

O acúmulo de energia térmica na cultura foi determinado pela soma das unidades térmicas (graus dias), de acordo com Cross e Zuber (1972), utilizando a expressão modificada:

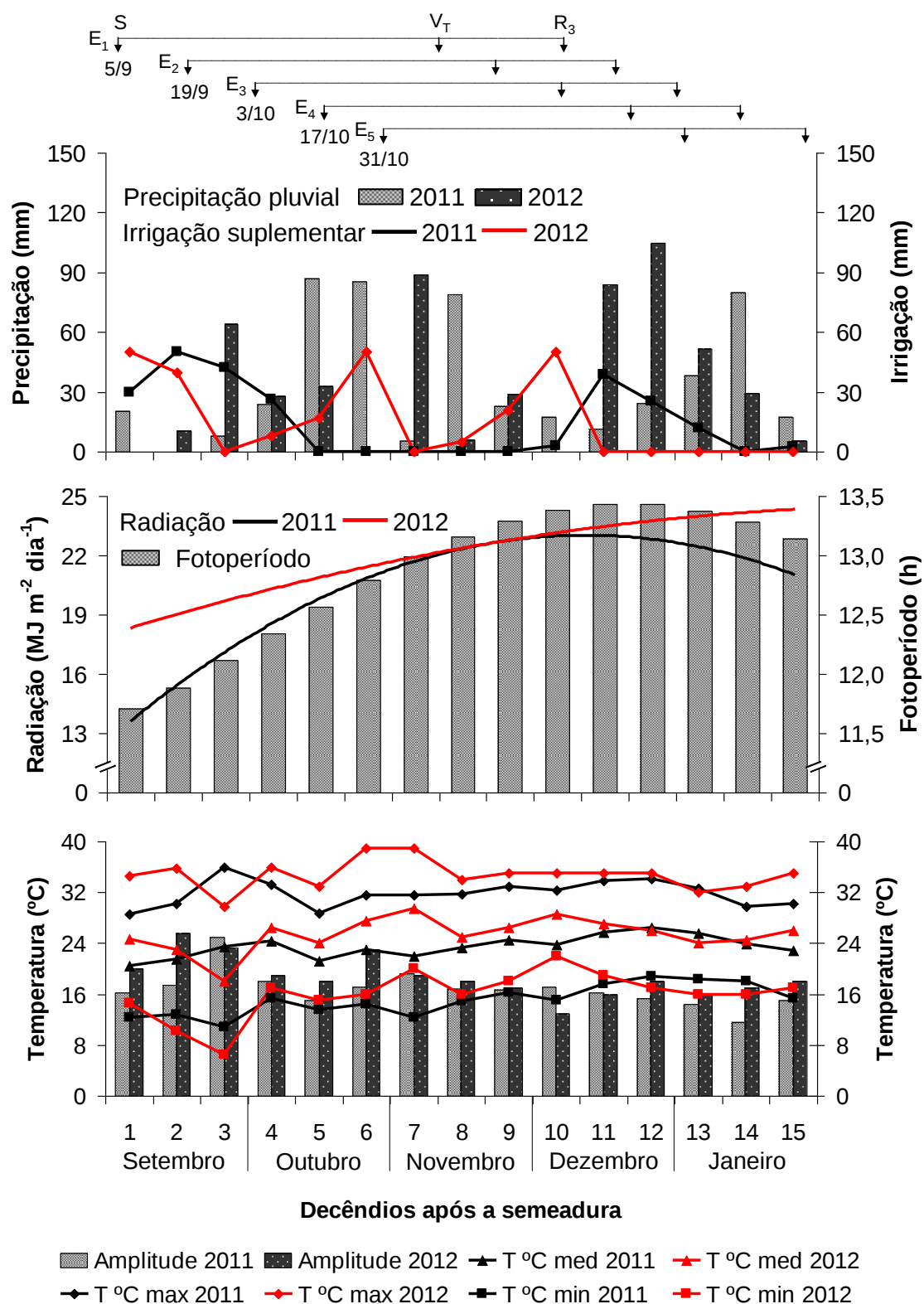


Figura 1. Precipitação pluvial, irrigação suplementar, radiação solar, fotoperíodo, temperaturas máximas (T°Cmax), mínimas (T°Cmin), médias (T°Cmed) e amplitudes térmicas verificados durante o período de Verão dos anos agrícolas 2011 e 2012.

Estádios fenológicos: S = semeadura; V_T = pendoamento e R₃ = grão leitoso (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), nas épocas de semeaduras E₁ (5/9), E₂ (19/9), E₃ (3/10), E₄ (17/10) e E₅ (31/10). Equivalência dos decêndios: 1 (5-10/9), 2 (11-20/9), 3 (21-30/9), 4 (1-10/10), 5 (11-20/10), 6 (21-31/10), 7 (1-10/11), 8 (11-20/11), 9 (21-30/11), 10 (1-10/12), 11 (11-20/12), 12 (21-31/12), 13 (1-10/1), 14 (11-20/1) e 15 (21-31/1).

$$ST = \sum_{n=1}^N GD \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b$$

Em que: ST = soma térmica ($^{\circ}\text{C}$); GD = graus dia; T_{max} = temperatura máxima; T_{min} = temperatura mínima; T_b = temperatura base da cultura, para qual adotou-se 10°C (MONTEITH; ELSTON, 1993).

O solo foi classificado como um Nitossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa (argila: 520 g kg^{-1} ; silte: 140 g kg^{-1} ; areia: 340 g kg^{-1}). As principais características químicas do material de solo da área experimental, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m estão apresentados no Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas das amostras de material de solo da área experimental, provenientes da camada de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, no período de Verão nos anos agrícolas de 2011 e 2012

Ano	pH (CaCl_2)	***C (g dm^{-3})	*P (mg dm^{-3})	*K ⁺	**Ca ⁺²	**Mg ⁺²	**Al ⁺³	SB	CTC	V (%)
Camada de 0,00 – 0,20 m										
2011	5,6	9,21	25,80	0,36	4,20	1,50	0,00	3,17	9,23	65,66
2012	5,1	13,81	22,40	0,29	4,05	1,50	0,00	5,84	9,81	59,53
Camada de 0,20 – 0,40 m										
2011	5,6	9,59	3,90	0,18	4,20	1,54	0,00	5,92	9,09	65,13
2012	5,0	12,28	17,50	0,22	4,02	1,38	0,00	5,62	9,59	58,60

*Mehlich 1 (Mehlich, 1953); **KCl 1 mol L^{-1} (Defelipo e Ribeiro, 1981); ***C (Walkley e Black, 1934).

A instalação e condução dos experimentos ocorreram no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012. Em ambos os anos as semeaduras foram realizadas nas mesmas datas (5/9, 19/9, 3/10, 17/10 e 31/10), após o cultivo do milho em 2011 e após a cultura da aveia em 2012.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos, com tratamentos casualizados, em esquema fatorial 5×2 , com quatro repetições, em 2 anos agrícolas. Os fatores estudados foram: i) fator A - cinco épocas de semeadura e ii) fator B - dois híbridos simples de milho doce (Tropical Plus e RB6324).

Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de plantas com 6,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m, perfazendo uma área total de 27 m^2 e área útil de $13,5 \text{ m}^2$. A densidade de semeadura utilizada foi de 5 plantas m^{-1} , em sistema de semeadura direta, de forma a alcançar uma densidade populacional de aproximadamente $55.500 \text{ plantas ha}^{-1}$ (WILLIAMS, 2012). Os tratos culturais e

fitossanitários utilizados foram os mesmos recomendados para a cultura do milho, incluindo manejo de irrigação (ANDREI, 2013; EMBRAPA, 2012).

No período de pleno florescimento (V_T) das plantas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), avaliaram-se a altura de plantas (SILVA; SILVA, 2003; ROSSINI et al., 2011) e o Índice de Área Foliar - IAF (MADDONNI; OTEGUI, 1996).

As colheitas das espigas foram realizadas na fase de grãos leitosos (CANIATO et al., 2007; PEREIRA et al., 2009), que corresponde ao estágio fenológico R_3 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Nesta ocasião mensurou-se a produtividade de espigas comerciais despalhadas (comprimento maior que 15 cm, diâmetro maior que 3 cm e isentas de pragas), conforme Albuquerque et al. (2008) e Rodrigues et al. (2009). Após a colheita escolheu-se aleatoriamente cinco espigas de cada tratamento, e destas obtiveram-se os grãos que foram secos em estufa de circulação forçada de ar. Por fim, estes grãos foram moídos para a quantificação dos conteúdos de açúcares totais pelo método de Lane-Eynon (BRASIL, 2005) e proteína pelo método de Kjeldahl (BRASIL, 2005).

Os dados experimentais de cada um dos anos agrícolas avaliados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) ($p > 0,01$) e de Levene (BOX, 1953) ($p > 0,01$), para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais. Em sequência, os dados foram submetidos à análise de variância individual, verificando se as relações entre os quadrados médios residuais eram inferiores a 7:1 (BANZATTO; KRONKA, 2006). Havendo atendimento a mais esse pressuposto, tornou-se possível trabalhar com a análise conjunta dos dados, acrescentando o fator ano como fonte de variação na análise de variância. Procedeu-se os desdobramentos que se mostraram necessários, independentemente da interação entre fatores ter sido significativa ou não (PERECIN; CARGNELUTTI FILHO, 2008; BARBIN, 2013). Adotou-se este procedimento, porque a análise de variância individual apresenta um teste “F” médio (menos rigoroso), e muitas vezes, embora a interação seja não significativa, nos desdobramentos de um fator dentro do outro (análise mais detalhada), pode ser detectada significância que proporciona resultados importantes do ponto de vista prático (PERECIN; CARGNELUTTI FILHO, 2008; BARBIN, 2013).

Os efeitos das épocas de semeadura foram estudados mediante análise de regressão polinomial, observando-se os resultados do teste F ($p < 0,05$) da análise de variância e os coeficientes de determinação (CRUZ; REGAZZI, 2001). Os efeitos dos

híbridos e anos foram estudados pelo teste F ($p < 0,05$) da análise de variância, uma vez que, para dois níveis de fatores ele é conclusivo. Todo o procedimento foi efetuado por meio do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.5. Resultados e discussão

5.5.1. Características climáticas

Os volumes de precipitações observados nas Safras de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012 foram insuficientes para a necessidade hídrica da cultura do milho (Figura 1), pois choveu abaixo do limite inferior de 500 mm (ALDRICH; SCOTT; LENG, 1982; RESENDE; OLIVEIRA, 2005; SILVA et al., 2010). Em 2011 as chuvas se concentraram principalmente em outubro e novembro e as precipitações acumuladas foram de 336, 340, 350, 317 e 278 mm, nas épocas de semeadura E₁ (249 = 6/9), E₂ (263 = 20/9), E₃ (277 = 4/10), E₄ (291 = 18/10) e E₅ (305 = 1/11) respectivamente (Figura 1). Por sua vez, em 2012 houve maior regularidade de precipitação nos meses de dezembro e janeiro e as precipitações acumuladas foram de 260, 286, 242, 380 e 394 mm, nas épocas de semeadura E₁, E₂, E₃, E₄ e E₅ respectivamente (Figura 1). Portanto, em ambos os anos, a irrigação suplementar teve grande relevância para repor a evapotranspiração diária das plantas (RESENDE; OLIVEIRA, 2005; SILVA et al., 2010).

A radiação solar foi mais intensa no ano agrícola de 2012 (Figura 1). Quanto ao fotoperíodo, foram verificados incrementos bem pronunciados até o mês de dezembro, seguido de decréscimos (Figura 1). O fotoperíodo é dependente apenas do dia do ano e da latitude, logo o mesmo é comum em todos os anos (LIST, 1951).

Por fim, as temperaturas apresentaram comportamentos quadráticos, e os máximos valores foram observados durante os meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 1). Ademais, o ano agrícola de 2012 foi mais quente e proporcionou maiores amplitudes térmicas do que o ano de 2011 (Figura 1).

5.5.2. Ciclo fenológico e acúmulo de soma térmica

As defasagens das épocas de semeadura promoveram reduções no ciclo fenológico dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus (Figura 2). Em média, o número de dias entre a semeadura e estágio de grãos leitosos, foi de 91 dias para a primeira época de semeadura (05/09) e de 84 dias para a última época de semeadura (31/10) (Figura 2).

Cumpre-se também ressaltar que os deslocamentos das épocas de semeadura não proporcionaram variações quanto ao acúmulo de graus dias pelos híbridos, entre as épocas de semeadura e anos de cultivo (Figura 2). O acúmulo de soma térmica no período compreendido entre a semeadura - V_T e entre V_T - estágio de grãos leitosos foi, respectivamente, 851 e 336 graus dia para a primeira época de semeadura (05/09) e de 885 e 327 graus dia para a última época de semeadura (31/10) (Figura 2).

Resultado semelhante foi verificado por Martin e Williams (2008), que ao estudarem o efeito da época de semeadura na cultura do milho doce, observaram que o número de dias entre a emergência e espigamento variaram com a data de plantio, diferente para o tempo térmico que pouco mudou. Tal fato é explicado porque o milho necessita de um acúmulo de graus dias para completar os estádios de desenvolvimento e só assim passar para outro estágio (CÓRDOVA; CARREÑO, 2012; GAILE, 2012; TSIMBA et al., 2013b). Por sua vez, a unidade térmica é diretamente proporcional à temperatura (CROSS; ZUBER, 1972; GAILE, 2012). Logo, em altas temperaturas as unidades térmicas diárias são maiores, justificando a redução das fases fenológicas, por completar o acúmulo de soma térmica necessário (BERGAMASCHI et al., 2006).

Por essa razão, a energia térmica descreve a taxa de desenvolvimento com maior precisão do que o tempo expresso em dias, independentemente da época e local de cultivo (SOLER; SENTELHAS; HOOGENBOOM, 2005). Essa constatação é bem evidente ao se analisar o número de dias compreendidos entre a segunda semeadura (19/9) e emergência (VE) durante o ano agrícola de 2012, (Figura 2) ocasião em que foram verificadas as menores temperaturas (Figura 1). Gaile (2012), investigando o efeito da época de semeadura no desenvolvimento do milho, encontrou correlações negativas entre a temperatura do solo e o número de dias até a germinação.

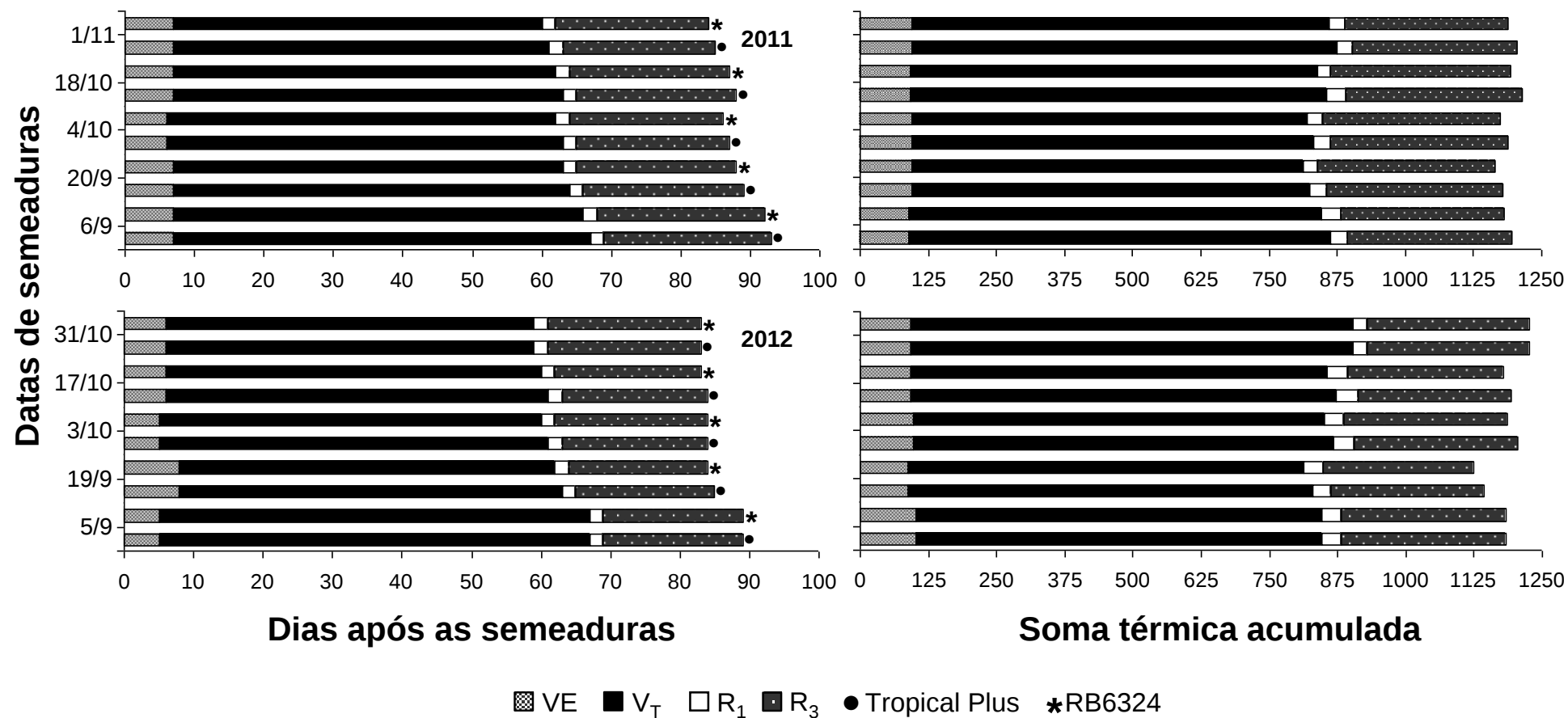


Figura 2. Dias após as sementeiras e soma térmica acumulada até a emergência (VE), pendoamento (V_T), florescimento (R_1) e grão leitoso (R_3) no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012 para os híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus, em Maringá.

5.5.3. Análise de variância conjunta dos experimentos

A análise de variância conjunta dos fatores principais testados de maneira isolada indicou efeito significativo ($P < 0,05$) para épocas de semeadura e anos agrícolas para todas as características avaliadas, exceto para o conteúdo de proteína nos grãos. Por sua vez, o fator híbrido foi significativo para a produtividade de espigas comerciais despalhadas e conteúdo de proteína (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância, coeficiente de variação experimental (CV) e média geral envolvendo cinco épocas de semeadura, dois híbridos de milho doce e dois anos agrícolas para altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), produtividade de espigas comerciais despalhadas (PROD), conteúdo de açúcares totais (AT) e de proteína (PROT) nos grãos

Fontes de variações	GL	Quadrados médios				
		AP	IAF	PROD	AT	PROT
		m	m ² m ⁻²	Mg ha ⁻¹	----- (%) -----	-----
Épocas (E)	4	0,207*	0,418*	20,415*	135,058*	3,208 ^{ns}
Híbridos (H)	1	0,008 ^{ns}	0,315 ^{ns}	6,401*	47,617 ^{ns}	28,179*
Anos (A)	1	0,135*	2,285*	5,762*	228,961*	9,018 ^{ns}
E x H	4	0,007 ^{ns}	0,271 ^{ns}	2,685*	22,440 ^{ns}	2,630 ^{ns}
E x A	4	0,010*	0,094 ^{ns}	6,438*	50,019 ^{ns}	12,611*
H x A	1	0,003 ^{ns}	0,005 ^{ns}	3,172 ^{ns}	1,891 ^{ns}	2,775 ^{ns}
E x H x A	4	0,003 ^{ns}	0,010 ^{ns}	4,333*	27,490 ^{ns}	6,349*
Blocos/Ano	6	0,004	0,010	1,760	39,747	2,229
Resíduo	54	0,004	0,111	0,951	47,539	2,257
Média geral		2,07	3,70	11,72	42,58	17,85
CV (%)		2,93	8,99	8,32	16,19	8,42

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F.

Quanto às interações, a análise de variância mostrou dependência ($P < 0,05$) entre os fatores na interação épocas x híbridos apenas para a produtividade de espigas comerciais. Entretanto, para a interação épocas x anos a análise revelou independência ($P > 0,05$) entre os fatores para as características IAF e conteúdo de açúcares totais. A análise não indicou efeito significativo ($P > 0,05$) na interação épocas x anos em nenhuma característica estudada. Por fim, a interação tripla foi significativa para a produtividade de espigas comerciais e conteúdo de proteína, demonstrando que essas características apresentaram relação com as épocas, com os híbridos e anos (Tabela 2).

5.5.4. Características de crescimento e desenvolvimento das plantas

A altura de planta (AP) e o índice de área foliar (IAF) variaram com as épocas de semeadura apresentando comportamento quadrático (Figura 3).

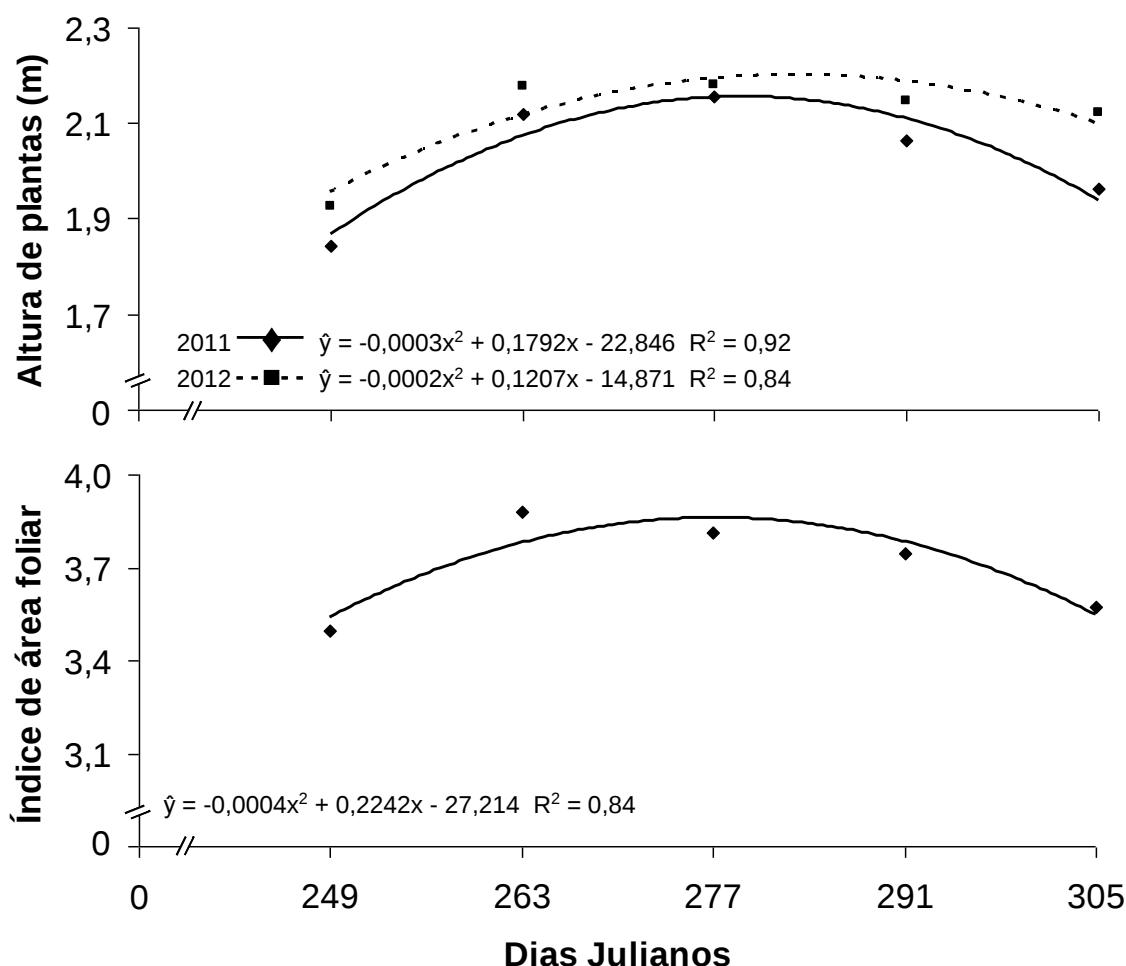


Figura 3. Altura de plantas na média dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324; e índice de área foliar na média dos híbridos e anos agrícolas em função das épocas de semeadura no período de Verão de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 249 (5/9); E₂ = 263 (19/9); E₃ = 277 (3/10); E₄ = 291 (17/10) e E₅ = 305 (31/10).

No ano agrícola de 2011, a máxima altura das plantas (2,17 m) foi estimada para o dia juliano 279 (6/10); em 2012 a altura máxima (2,22 m) foi alcançada na semeadura efetuada no dia juliano 283 (9/10) na média dos híbridos. Por sua vez, o máximo IAF (3,82) foi estimado para o dia juliano 277 (4/10), na média dos híbridos e anos (Figura 3).

O ano de 2012 proporcionou condições mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho doce na maior parte das épocas de semeaduras estudadas (Tabela 3). Embora o crescimento do milho seja fortemente relacionado com característica genética (GAILE, 2012), o maior desenvolvimento das plantas no ano agrícola de 2012, quando comparado com 2011, pode ser justificado pela temperatura e radiação solar (Figura 1). Estes fatores climáticos têm grande influência sobre o crescimento do milho (BRACHTVOGEL et al., 2009; GAILE, 2012).

Tabela 3. Altura de plantas na média dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura; e índice de área foliar na média dos híbridos e épocas, no período de Verão, em Maringá

Anos	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	IAF
	----- Altura de planta (m) -----					(m ² m ⁻²)
2011	1,84b	2,12a	2,16a	2,06b	1,96b	3,53b
2012	1,93a	2,18a	2,18a	2,15a	2,12a	3,87a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeaduras: E₁ = 249 (5/9); E₂ = 263 (19/9); E₃ = 277 (3/10); E₄ = 291 (17/10) e E₅ = 305 (31/10).

A temperatura é o principal fator que controla os mecanismos fisiológicos do milho (VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996; GAILE, 2012). O ano agrícola de 2012 foi mais quente que 2011 (Figura 1), fator este que favoreceu a cultura do milho doce, provavelmente influenciando positivamente o processo fotossintético das plantas (MIEDEMA, 1982; TOLLENAAR, 1989a, 1989b) com maior acúmulo de fotoassimilados nos tecidos vegetais, culminando com a expansão foliar (POLLOCK, 1990; ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; VERHEUL; PICATTO; STAMP, 1996).

Ademais, foram verificadas no ano agrícola de 2012 maiores amplitudes térmicas do que em 2011 (Figura 1). O desenvolvimento do milho segue relação linear com a amplitude térmica (PETERS et al., 1971), uma vez que esta é inversamente proporcional ao incremento da respiração celular (CIRILO; ANDRADE, 1994a; 1994b; LOZADA; ANGELOCCI, 1999), ocasionando maior saldo de fotoassimilados (MUCHOW, 1990; CANTARERO; CIRILO; ANDRADE, 1999; EDREIRA; OTEGUI, 2012).

5.5.5. Produtividade de espigas comerciais despalhadas

O desdobramento da interação tripla (épocas x híbridos x anos) para a produção de espigas comerciais despalhadas possibilitou ajustar o modelo polinomial quadrático (Figura 4). Em 2011 as máximas produções foram 13,2 Mg ha⁻¹ (RB6324) e 12,8 Mg ha⁻¹ (Tropical Plus), ambas estimadas para o dia juliano 276 (3/10). Por sua vez, em 2012, as produções máximas obtidas pelos híbridos RB6324 e Tropical Plus foram 13,1 e 12,6 Mg ha⁻¹ estimadas para os dias julianos 282 (8/10) e 288 (15/10), respectivamente (Figura 4).

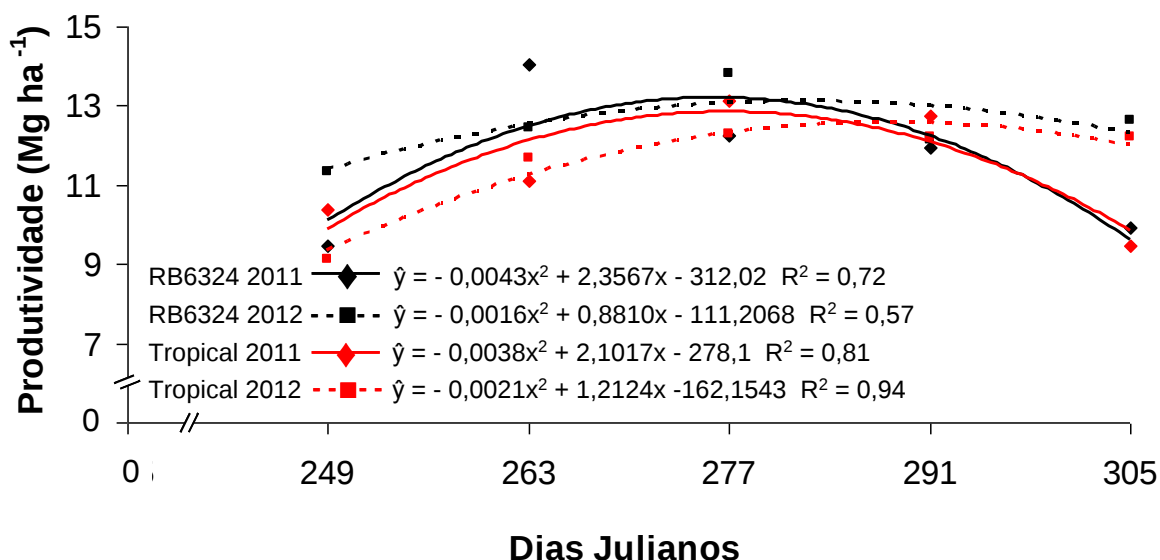


Figura 4. Produtividade de espigas comerciais despalhadas dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus em função das épocas de semeadura no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: E₁ = 249 (5/9); E₂ = 263 (19/9); E₃ = 277 (3/10); E₄ = 291 (17/10) e E₅ = 305 (31/10).

Outros estudos constataram que a antecipação como também o atraso na época de semeadura, exerceram influência negativa na produção de milho doce (KWABIAH, 2004; WILLIAMS; LINDQUIST, 2007; MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009; 2011). A produtividade do milho é determinada pelo seu potencial genético e pelo ambiente (CÓRDOVA; CARREÑO, 2012), logo estes resultados, podem ser explicados pelo fato das condições climáticas terem sido um tanto mais desfavoráveis com os deslocamentos das épocas de semeadura (Figura 1).

Tsimba et al. (2013a) investigando o efeito das épocas de semeadura (19/09; 12/10; 02/11 e 23/11) na cultura do milho em três locais na Nova Zelândia

(37,86°S e 175,32°E a 50 m; 37,98°S e 175,32°E a 84 m; 40,38°S e 175,58°E a 18 m) obtiveram respostas quadráticas para o IAF, biomassa total e produtividade. Os rendimentos máximos foram obtidos em semeaduras efetuadas no final de outubro e início de novembro. Na Nova Zelândia, o verão é entre novembro e fevereiro.

Em semeaduras precoces, antes do início da primavera (agosto a setembro no hemisfério sul), há menor radiação e temperatura na fase inicial de desenvolvimento das plantas (ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993; WILSON; MUCHOW; MURGATROYD, 1995). Tais condições climáticas diminuem a germinação das sementes de milho doce (HASSELL; DUFAULT; PHILLIPS, 2003; KWABIAH, 2004; MARTIN; WILLIAMS, 2008), o crescimento e o desenvolvimento inicial da cultura (ZAKI; SHAH; HAYAT, 1994; GAILE, 2012; TSIMBA et al., 2013b). Isso resulta na formação de menor área foliar por planta e plantas de menor estatura (NOLDIN; MUNDSTOCK, 1987; 1988; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007), ou seja, limitação da fonte (TSIMBA et al., 2013a). Por sua vez, em semeaduras realizadas no final da época recomendada, os componentes de produção são limitados devido a fase de enchimento de grãos coincidir com uma deterioração significativa das condições ambientais, ou seja, limitação do dreno (LAUER et al., 1999; VON PINHO et al., 2002; FORSTHOFER et al., 2006; SANGOI; SCHMIT; ZANIN, 2007; MARTIN; WILLIAMS, 2008; TSIMBA et al., 2013a).

O híbrido RB6324, de maneira geral, apresentou maior produtividade de espigas comerciais despalhadas ($P < 0,05$), independentemente do ano (Tabela 4). Esse resultado é corroborado por Okumura et al. (2014), ao investigarem os mesmos híbridos do presente estudo.

Tabela 4. Produtividade de espigas comerciais dos híbridos de milho doce Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012, e anos agrícolas desdobrado dentro dos híbridos em cada época de semeadura, no período de Verão, em Maringá

Híbridos	2011					2012				
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
Tropical	10,37a	11,11b	13,12a	12,75a	9,48a	9,14b	11,69a	12,29b	12,20a	12,20a
RB6324	9,48a	14,05a	12,25a	11,96a	9,92a	11,33a	12,44a	13,80a	12,15a	12,62a
Anos	Tropical Plus					RB6324				
2011	10,37a	11,11a	13,12a	12,75a	9,48b	9,48b	14,05a	12,25b	11,96a	9,92b
2012	9,14a	11,69a	12,29a	12,20a	12,20a	11,33a	12,44b	13,80a	12,15a	12,62a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeadura: E₁ = 249 (5/9); E₂ = 263 (19/9); E₃ = 277 (3/10); E₄ = 291 (17/10) e E₅ = 305 (31/10).

O ano de 2012 foi mais propício para a produção de milho doce, independentemente dos híbridos (Tabela 4). Esse resultado pode ser explicado, entre outros fatores discutidos, pela maior disponibilidade de radiação em 2012 no comparativo com 2011 (Figura 1). A radiação solar é um dos fatores climáticos mais influentes sobre a cultura do milho (BRACHTVOGEL et al., 2009) por excitar as moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese (MOREIRA; ÂNGULO FILHO; RUDORFF, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2013). Contudo, a radiação solar incidente na atmosfera terrestre é a principal fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais (FAGERIA, 1998). Por essas razões, o rendimento de milho segue relação diretamente proporcional à radiação (LINDQUIST et al., 2005; KUNZ et al., 2007), quando não há restrições hídricas (BERGAMASCHI et al., 2004, 2006).

Adicionalmente, as condições climáticas verificadas em 2011 resultaram em menor desenvolvimento das plantas, representado pelo baixo valor de altura de planta (2,03 em 2011 e 2,11 em 2012) e do IAF de 3,53 (2011) versus 3,87 (2012) (Tabela 3). Embora a produtividade seja dependente da produção fotossintética somente após a floração (LEE; TOLLENAAR, 2007), a área foliar é a principal contribuição para o desenvolvimento da espiga (SUBEDI; MA, 2005), ou seja, o crescimento das plantas e o desenvolvimento do IAF se correlacionam diretamente com o rendimento (CÓRDOVA; CARREÑO, 2012).

Logo, em 2011 as plantas apresentaram um menor dossel (Tabela 3) capaz de potencializar a radiação solar (BLACKSHAW, 1994; ARGENTA et al., 2001; SANGOI, 2001; OTTMAN; WELCH, 1989; SUBEDI; MA, 2005; MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006), fator determinante da produtividade (TSIMBA et al., 2013a). Tal fato ocasiona menor produção de fotoassimilados e por fim menor translocação desses para o enchimento de grãos (KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988; UHART; ANDRADE, 1995; DUETE et al., 2008).

5.5.6. Características da composição química dos grãos

O fator épocas testado de maneira isolada foi significativo para o conteúdo de açúcares totais nos grãos (Tabela 2), porém não foi possível ajustar equações ao comportamento dos dados. Por sua vez, a interação épocas x anos, embora tenha

havido independência entre os fatores ($P>0,05$) (Tabela 2), uma vez desdobrada possibilitou ajuste significativo de equações para o conteúdo de açúcar total nos grãos (Figura 5). Por essas razões, neste caso específico, não foi obedecido o critério da estatística clássica (BARBIN, 2013; PERECIN; CARGNELUTTI FILHO, 2008) e os resultados apresentados na média dos híbridos.

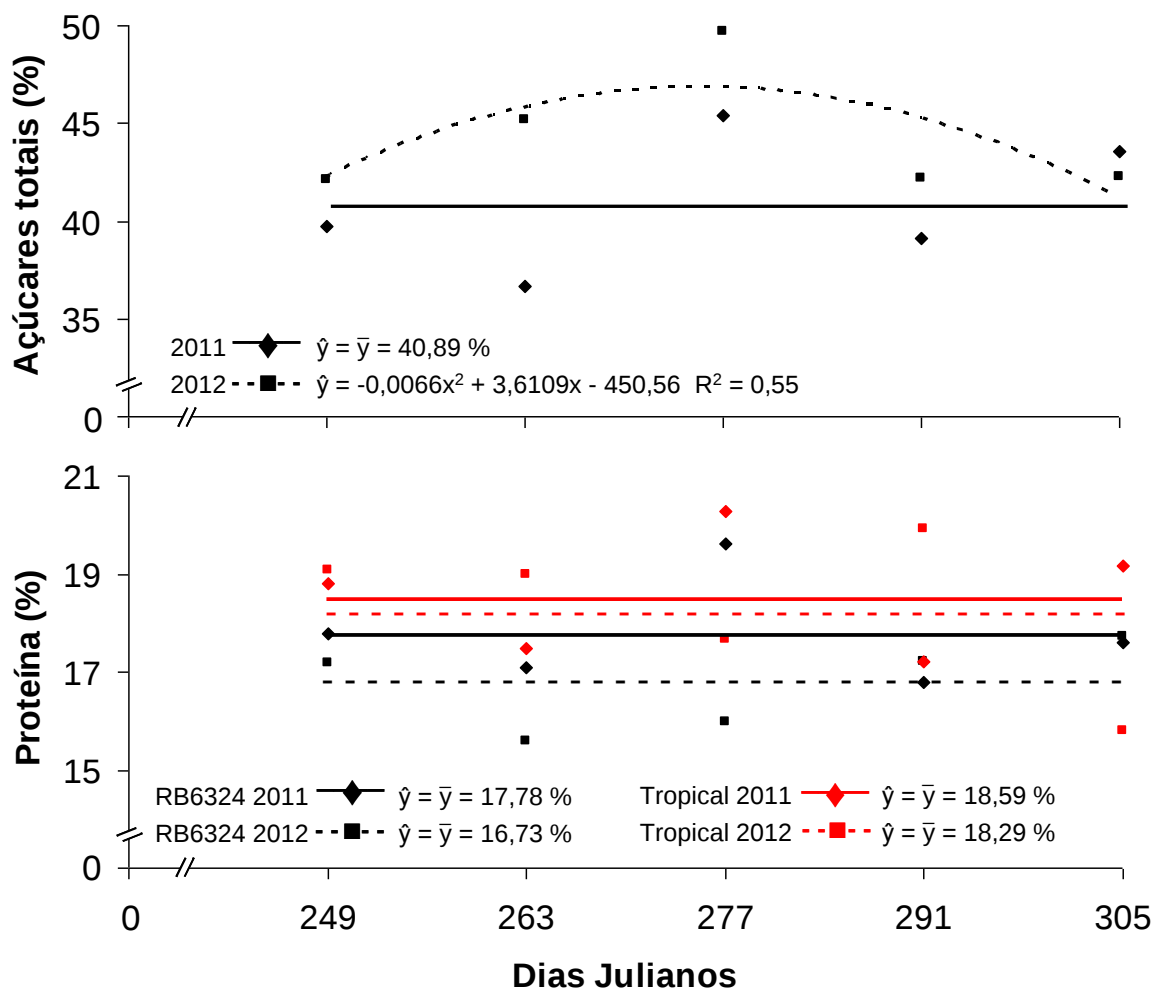


Figura 5: Conteúdo de açúcares totais nos grãos na média dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus; e conteúdo de proteína em função das épocas de semeadura no período de Verão dos anos agrícolas de 2011 e 2012, em Maringá. Épocas de semeadura: $E_1 = 249$ (5/9); $E_2 = 263$ (19/9); $E_3 = 277$ (3/10); $E_4 = 291$ (17/10) e $E_5 = 305$ (31/10).

Em 2012, o modelo polinomial quadrático foi o que melhor se ajustou e o máximo conteúdo de açúcar total nos grãos foi de 46,85% estimado para o dia juliano 276 (2/10) (Figura 5). A assimilação do CO_2 atmosférico pelas folhas resulta em sacarose (SUBEDI; MA, 2005; LEE; TOLLENAAR, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). Este resultado pode ser explicado pelo fato das condições climáticas verificadas no

presente estudo (Figura 1) proporcionarem um máximo IAF (3,82) em sementeiras efetuadas em 4 de outubro (Figura 3).

As épocas de semeadura efetuadas entre 5/9 a 31/10 não influenciaram os conteúdos de proteínas nos grãos de milho doce independente dos anos (Figura 5). Tais descobertas evidenciam o potencial que a região Noroeste do Paraná possui para o cultivo do milho doce, uma vez que a qualidade do produto é dependente da composição química dos grãos (CANIATO et al., 2007; KWIATKOWSKI; CLEMENTE; SCAPIM, 2011).

Ademais, em função de sua característica escalonada de exploração (MARTIN; WILLIAMS, 2008), recomenda-se que o milho doce seja semeado em diferentes épocas (KWABIAH, 2004; MARTIN; WILLIAMS, 2008; KHAN et al., 2009) sendo comum o plantio durante o ano todo (TEIXEIRA et al., 2001), ou pelo menos parte do ano (MARTIN; WILLIAMS, 2008).

A acumulação de proteínas no endosperma do milho é pouco suscetível ao estresse térmico (BHULLAR; JENNER, 1985; WILHELM et al., 1999) e hídrico (OBER et al., 1991). Monjardino; Smith e Jones (2005) estudando o efeito do estresse térmico na acumulação de proteínas no endosperma de milho em condições de campo (Minnesota - EUA) e em câmara de estudo verificaram que o conteúdo de proteína foi levemente afetado pelo estresse térmico (35°C - contínuo). Khodarahmpour (2011), não encontrou correlação significativa para o conteúdo de proteína nos grãos de milho no tratamento em que as temperaturas máximas e mínimas foram respectivamente de 25°C e 38°C durante o desenvolvimento reprodutivo. As mínimas e máximas temperaturas verificadas no presente estudo durante o desenvolvimento reprodutivo foram respectivamente 19°C e 34°C (2011) e 22°C e 35°C (2012) (Figura 1).

O ano de 2012 propiciou melhores condições para o acúmulo de açúcares totais nos grãos de milho doce (Tabela 5). Os conteúdos de açúcares são em grande parte, dependente das taxas de fotossíntese (SUBEDI; MA, 2005; LEE; TOLLENAAR, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). As trioses fosfatos, formadas no ciclo de Calvin, são utilizadas na formação do amido no cloroplasto ou transportada para o citosol em troca de um fosfato inorgânico (SAGE; SHARKEY, 1987; GEIGER; SERVAITES, 1994; WEBER; SCHWACKE; FLÜGGE, 2005). No citosol este é convertido em sacarose, ou seja, a sacarose é sintetizada no citosol a partir de trioses fosfatos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Tabela 5. Conteúdo de açúcar total nos grãos de milho doce na média dos híbridos Tropical Plus e RB6324 desdobrado dentro dos anos agrícolas de 2011 e 2012 em cada época de semeadura; e conteúdo de proteína na média dos anos e épocas, no período de Verão, em Maringá

Anos	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	Híbridos	Proteína
	----- Conteúdo de açúcares totais (%) -----						-- (%) --
2011	39,75a	36,65b	45,35a	39,15a	43,54a	Tropical Plus	18,44a
2012	42,12a	45,14a	49,69a	42,19a	42,24a	RB6324	17,26b

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Épocas de semeaduras: E₁ = 249 (5/9); E₂ = 263 (19/9); E₃ = 277 (3/10); E₄ = 291 (17/10) e E₅ = 305 (31/10).

Embora não mensurado a taxa de fotossíntese, o maior conteúdo de açúcar total nos grãos de milho doce, verificado na segunda época de semeadura (19/09) - (Tabela 5), pode ser explicado porque o ano agrícola de 2012 proporcionou condições climáticas mais propícias ao processo fotossintético (Figura 1). Tal constatação pode ser atestada pelas diferenças significativas verificadas para as características altura de plantas (Tabela 3), IAF (Tabela 3) e produtividade de espigas comerciais despalhadas (Tabela 4).

O híbrido Tropical Plus mostrou maior habilidade em acumular proteínas nos grãos (Tabela 5). Esta verificação pode ser explicada pela correlação negativa existente entre produtividade (Tabela 4) e conteúdo de proteína nos grãos (Tabela 5), conforme Fowler (2003) e Khodarahmpour (2011). Adicionalmente, após absorção do N pela planta de milho doce, ele irá se combinar com esqueletos carbônicos cedidos pelos açúcares (SINGLETTARY; BELOW, 1989) para a biossíntese de aminoácidos (CAZETTA; SEEBAUER; BELOW, 1999; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000), nas quais resultará em proteínas (LEA; AZEVEDO, 2006). A diferença significativa verificada para o acúmulo de proteína nos grãos dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus (Tabela 5) leva a acreditar que o híbrido Tropical Plus pode ser mais eficiente no referido processo metabólico proteico.

5.6. Conclusões

As épocas de semeadura influenciaram o crescimento, a produtividade e os conteúdos de açúcares totais nos grãos de milho doce.

O híbrido RB6324 apresentou maior produtividade de espigas comerciais e menor acúmulo de proteína nos grãos quando comparado com o híbrido Tropical Plus.

O ciclo dos híbridos de milho doce RB6324 e Tropical Plus são semelhantes.

As defasagens nas épocas de semeadura não proporcionaram variações quanto ao acúmulo de graus dias pelos híbridos. O acúmulo de soma térmica no período compreendido entre a semeadura - V_T e entre V_T - estágio de grãos leitosos, foram respectivamente 868 e 331 graus dia.

As defasagens nas épocas de semeadura proporcionaram variações no número de dias para a colheita (estádio de grãos leitosos). O número de dias para a colheita foi de 91 dias para a primeira época de semeadura (05/09) e de 84 dias para a última época de semeadura (31/10).

A primeira quinzena do mês de outubro constitui a época preferencial para a semeadura do milho doce na Safra de Verão na região Noroeste do Paraná.

5.7. Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; SOUZA FILHO, A.X.; FIORINI, I.V.A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.768-775, 2008.

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982, 371p.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v.32, n.1, p.17-25, 1993.

ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 9.ed. São Paulo: Andrei Editora, 2013, 1616p.

ARGENTA, G.S.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.71-78, 2001.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4º ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BARBIERI, V.H.B.; LUZ, J.M.Q.; BRITO, C.H.; DUARTE, J.M.; GOMES, L.S.; SANTANA, D.G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.826-830, 2005.

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agronômicos**. 2.ed. Porto Alegre: Mecnas, 2013, 214p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BHULLAR, S.S.; JENNER, C.F. Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.12, p.363-375, 1985.

BLACKSHAW, R.E. Differential competitive ability of winter wheat cultivars against downy brome. **Agronomy Journal**, v.86, p.649-654, 1994.

BLANDINO, M.; REYNERI, A.; VANARA, F. Effect of sowing time on toxigenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels. **Journal of Phytopathology**, v.157, n.1, p.7-14, 2009.

BOX, G.E.P. Non-normality and tests on variances. **Biometrika**, v.40, n.3-4, p.318-335, 1953.

BOYER, C.D.; SHANNON, J.C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. **Plant Breeding Review**, v.1, p.139, 1984.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p. 2334-2339, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília, 2005. cap. 4, p.116-141. (Série A: normas técnicas e manuais técnicos).

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.365-372, 2000.

CANIATO, F.F.; GALVÃO, J.C.C.; FINGER, F.L.; PUIATTI, M.; OLIVEIRA, D.A.; FERREIRA, J.L. Quantificação de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1893-1896, 2007.

CANTARERO, M.G.; CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Night temperature at silking affects set in maize. **Crop Science**, v.39, n.3, p.703-710, 1999.

CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R.C; BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels growing *in vitro*. **Annals of Botany**, v.84, n.1, p.747-754, 1999.

CHEN, C.; LEI, C.; DENG, A.; QIAN, C.; HOOGMOED, W.; ZHANG, W. Will higher minimum temperatures increase corn production in Northeast China? An analysis of historical data over 1965-2008. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.151, n.12, p.1580-1588, 2011.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1039-1043, 1994a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. **Crop Science**, v.34, n.4, p.1044-1046, 1994b.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 4º Levantamento, Jan/2015** - Brasília, v.2, n.3, p.1-90, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_0_0_21_boletim_gaos_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2015.

CÓRDOVA, N.H.; CARREÑO, F.S. Influence of three planting dates on growth and yield of cereal species grown in tropical conditions. Part I. Maize (*Zea mays* L.). **Cultivos Tropicales**, v.33, n.2, p.44-49, 2012.

COSTA, E.F.N.; SOUZA, J.C.; LIMA, J.L.; CARDOSO, G.A. Interação entre genótipos e ambientes em diferentes tipos de híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1433-1440, 2010.

CREECH, R.G. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. **Genetics**, v.52, p.1175-1185, 1965.

CROSS, H.Z.; ZUBER, M.S. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. **Agronomy Journal**, v.64, n.3, p.351-355, 1972.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química de solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981, 17p.

DERESSA, T.T.; HASSAN, R.M.; RINGLER, C.; ALEMU, T.; YESUF, M. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. **Global Environmental Change**, v.19, 248-255, 2009.

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

EDREIRA, J.I.R.; OTEGUI, M.E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. **Field Crops Research**, v.130, n.1, p.87-98, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 8º ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm>. Acesso em: 10 jun. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FOLBERTH, C.; GAISER, T.; ABBASPOUR, K.C.; SCHULIN, R.; YANG, H. Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa: model

setup, evaluation, and estimation of maize yields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.151, p.21-33, 2012.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. Desempenho agrônomo e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

FOWLER, D.B. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of Spring and Winter wheat. **Agronomy Journal**, v.95, n.2, p.260-265, 2003.

GAILE, Z. Maize (*Zea mays* L.) response to sowing timing under agro-climatic conditions of Latvia. **Zemdirbyste - Agriculture**, v.99, n.1, p.31-40, 2012.

GAO, G. World food demand. **American Journal of Agricultural Economics**, v.94, n.1, p.25-51, 2012.

GEIGER, D.R.; SERVAITES, J.C. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C₃ plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.45, p.235-256, 1994.

GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina, 1976. p.17-36.

HASSAN, R.; NHEMACHENA, C. Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: multinomial choice analysis. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.2, p.83-104, 2008.

HASSELL, R.L.; DUFAULT, R.J.; PHILLIPS, T.L. Low-temperature germination response of *su*, *se*, and *sh2* sweet corn cultivars. **HortTechnology**, v.13, p.136-141, 2003.

HEINEMANN, A.B.; ANDRADE, C.L.T.; GOMIDE, R.L.; AMORIM, A.O.; PAZ, R.L. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.4, p.1026-1033, 2009.

IDIKUT, L.; ARIKAN, B.A.; KAPLAN, M.; GUVEN, I.; ATALAY, A.I.; KAMALAK, A. Potential nutritive value of sweet corn as a silage crop with or without corn ear. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.8, p.734-741, 2009.

IPCC, 2013 [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. [Thomas Stocker, Qin Dahe e Gian-Kasper Plattner (Eds)] Stockholm, Sweden, 2216p, 2013.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v.80, n.2, p.232-242, 1988.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; FARHATULLAH; KHAN, M.Y.; ISRAR, M.; BASIR, A. Selecting optimum planting date for sweet corn in Peshawar, Pakistan. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.27, n.3, p.341-347, 2011.

KHAN, Z.H.; KHALIL, S.K.; NIGAR, S.; KHALIL, I.; HAQ, I.; AHMAD, I.; ALI, A.; KHAN, M.Y. Phenology and yield of sweet corn landraces influenced by planting dates. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.25, n.2, p.153-157, 2009.

KHODARAHMPOUR, Z. Heat stress effect on yield and qualitative traits in maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Advances in Environmental Biology**, v.5, n.5, p.977-981, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948, 478p.

KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

KWABIAH, A.B. Growth and yield of sweet corn (*Zea mays* L.) cultivars in response to planting date and plastic mulch in a short-season environment. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.147-66, 2004.

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Agronomic traits and chemical composition of single hybrids of sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.4, p.531-536, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M.; OLIVEIRA, F.B.; PAULA, G.M. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1441-1448, 2008.

LAUER, J.G.; CARTER, P.R.; WOOD, T.M.; DIEZEL, G.; WIERSMA, D.W.; RAND, R.E.; MLYNAREK, M.J. Corn hybrid response to planting date in the northern corn belt. **Agronomy Journal**, v.91, p.834-839, 1999.

LAUX, P.; JACKEL, G.; TINGEM, R.M.; KUNSTMANN, H. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon. A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, p.1258-1271, 2010.

LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. **Annals of Applied Biology**, v.149, n.2, p.243-247, 2006.

LEE, E.A.; TOLLENAAR, M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. **Crop Science**, v.47, p.202-215, 2007.

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, n.1, p.72-78, 2005.

LIST, R.J. **Smithsonian meteorological tables**. 6.Ed. Washington: Smithsonian Institution, 1951, 527p. (Smithsonian Miscellaneous Collections, 114).

LIU, Y.; WANG, E.; YANG, X.; WANG, J. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. **Global Change Biology**, v.16, n.8, p.2287-2299, 2010.

LIU, Z.; YANG, X.; HUBBARD, K.G.; LIN, X. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. **Global Change Biology**, v.18, n.11, p.3441-3454, 2012.

LIU, Z.; HUBBARD, K.G.; LIN, X.; YANG, X. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. **Global Change Biology**, v.19, n.11, p.3481-3492, 2013.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.37-43, 1999.

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

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, p.170-181, 2006.

MARTIN, M.; WILLIAMS, I.I. Sweet corn growth and yield responses to planting dates of the North Central United States. **HortScience**, v.43, n.6, p.1775-1779, 2008.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄**. North Carolina Soil Test Division. North Carolina Department of Agriculture, Raleigh, NC. 1953, 53p.

MIEDEMA, P. The effects of low temperature on *Zea mays*. **Advances in Agronomy**, v.35, n.1, p.93-128, 1982.

MONJARDINO, P.; SMITH, A.G.; JONES, R.J. Heat stress effects on protein accumulation of maize endosperm. **Crop Science**, v.45, p.1203-1210, 2005.

MONTEITH, J.L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. (Eds.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman e Hall, p.3-18, 1993.

MOREIRA, M.A.; ÂNGULO FILHO, R.; RUDORFF, B.F.T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, v.56, n.3, p.597-603, 1999.

MUCHOW, R.C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, v.23, n.2, p.145-158, 1990.

MUSTAFA, A.F.; HASSANAT, F.; BERTHIAUME, R.R. *In situ* forestomach and intestinal nutrient digestibilities of sweet corn residues. **Animal Feed Science and Technology**, v.114, p.287-293, 2004.

NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S.J.; RODRIGUES, J.G.L.; FURTADO, M.B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta às épocas de semeadura. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p.193-201, 2011.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Desenvolvimento foliar de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.187-193, 1987.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Rendimento de grãos e componentes de rendimento de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.6, p.615-620, 1988.

OBER, E.S. Influence of water deficit on maize endosperm development. **Plant Physiology**, v.97, p.154-164, 1991.

OBOPILE, M.; HAMMOND, R.B.; THOMISON, P.R. Interaction among planting dates, transgenic maize, seed treatment, corn rootworm damage and grain yield. **Journal of Applied Entomology**, v.137, n.2, p.45-55, 2013.

OKTEM, A. Determination of selection criterions for sweet corn using path coefficient analyses. **Cereal Research Communications**, v.36, p.561-570, 2008.

OKUMURA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; FRANCO, A.A.N.; SOUZA, R.S.; RECHE, D.L. Effects of nitrogen rates and timing of nitrogen topdressing applications on the nutritional and agronomic traits of sweet corn. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.12, n.2, p.391-398, 2014.

OLESEN, J.E. Climate change and CO₂ effects on productivity of Danish agricultural systems. **Journal of Crop Improvement**, v.13, n.2, p.257-274, 2005.

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

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.68-72, 2008.

PEREIRA, A.F.; MELO, P.G.S.; PEREIRA, J.M.; ASSUNÇÃO, A.; NASCIMENTO, A.R.; XIMENES, P.A. Caracteres agrônômicos e nutricionais de genótipos de milho doce. **Bioscience Journal**, v.25, p.104-112, 2009.

PETERS, D.B.; PENDLETON, J.W.; HAGEMAN, R.H.; BROWN, C.M. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat and soybeans. **Agronomy Journal**, v.63, p.809, 1971.

POLLOCK, C.J. The response of plants to temperature change. **Journal of Agricultural Science**, v.115, p.1-5, 1990.

PORTER, J.R. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. **Nature**, v.436, n.174, 2005.

RESENDE, M.; OLIVEIRA, A.C. Comparação de diferentes estratégias de programação de irrigação suplementar em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.205-214, 2005.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n.48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.

RODRIGUES, F.; VON PINHO, R.G.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; FARIA FILHO, E.M.; GOULART, J.C. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, v.68, p.75-84, 2009.

ROSSINI, M.A.; MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: variability in plant and ear growth. **Field Crops Research**, v.121, p.373-380, 2011.

SAGE, R.F.; SHARKEY, T.D. The effect of temperature on the occurrence of O₂ and CO₂ insensitive photosynthesis in field grown plants. **Plant Physiology**, v.84, p.658-664, 1987.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p.159-168, 2001.

SANGOI, L.; SCHMIT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p.263-271, 2007.

SANJUÁN, N.; STOESSEL, F.; HELLWEG, S. Closing data gaps for LCA of food products: estimating the energy demand of food processing. **Environmental Science Technology**, v.48, n.2, p.1132-1140, 2014

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, n.3-4, p.591-611, 1965.

SHIOGA, P.S.; GERAGE, A.C. Influência da época de plantio no desempenho do milho Safrinha no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p.236-253, 2010.

SILVA, M.A.V.; FERREIRA, W.P.M.; ANDRADE, V.M.S.; ARAUJO, S.G.A. Época de semeadura do milho para a região de Sete Lagoas, MG, baseada na probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos. **Revista Ceres**, v.57, n.4, 2010.

SILVA, P.S.L.; SILVA, P.I.B. Parcelamento da adubação nitrogenada e rendimento de espigas verdes de milho. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p.149-152, 2003.

SINGLETERY, G.W.; BELOW, F.E. Growth and composition of maize kernels cultured *in vitro* with varying supplies of carbon and nitrogen. **Plant Physiology**, v.89, p.341-346, 1989.

SOLER, C.M.T.; SENTELHAS, P.C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v.143, p.169-182, 2005.

SOUSA, S.M.; PAES, M.C.D.; TEIXEIRA, F.F. **Milho doce: origem de mutações naturais**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012. (Documentos, n. 144). 44p.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; HELDWEIN, A.B.; BURIEL, G.A.; PAULA, G.M. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v.70, n.3, p.696-706, 2011.

SUBEDI, K.D.; MA, B.L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. **Crop Science**, v.45, p.2246-2257, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954p.

TEIXEIRA, F.F.; SOUSA, I.R.P.; GAMA, E.E.G.; PACHECO, C.A.P.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X.; MEIRELLES, W.F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.3, p.483-488, 2001.

THORNTON, P.K.; JONES, P.G.; ALAGARSWAMY, A.; ANDRESEN, J. Spatial variation of crop yield responses to climate change in East Africa. **Global Environmental Change**, v.19, p.54-65, 2009b

THORNTON, P.K.; STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, v.101, n.3, p.113-127, 2009a.

TINGEM, M.; RIVINGTON, M. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.14, p.153-168, 2009.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature. I. Dry matter partitioning. **Crop Science**, v.29, n.5, p.1239-1246, 1989a.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature. II. Leaf photosynthesis. **Crop Science**, v.29, n.5, p.1275-1279, 1989b.

TSIMBA, R.; EDMEADES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize: phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v.150, p.145-155, 2013b.

TSIMBA, R.; EDMEADES, G.O.; MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v.150, p.135-144, 2013a.

TUBIELLO, F.N.; DONATELLI, M.; ROSENZWEIG, C.; STOCKLE, C.O. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. **European Journal of Agronomy**, v.13, n.3, p.179-189, 2000.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize. II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. **Crop Science**, v.35, n.5, p.1384-1389, 1995.

VERHEUL, M.J.; PICATTO, C.; STAMP, P. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field. **European Journal of Agronomy**, v.5, p.31-43, 1996.

VON PINHO, R.G.; ALTUNA, G.G.; PINHO, E.V.R.V.; VIANA, L.O.S. Efeito de métodos de adubação e épocas de semeadura em características agrônômicas de cultivares de milho cultivadas na "Safrinha". **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.4, p.719-730, 2002.

WAHA, K.; MÜLLER, C.; BONDEAU, A.; DIETRICH, J.P.; KURUKULASURIYA, P.; HEINKE, J.; LOTZE-CAMPEN, H. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. **Global Environmental Change**, v.23, p.130-143, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A., 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, n.1, p.29-38, 1934.

WALLACE, H.A.; BRESSMAN, E.N. Classification of corn. In: WALLACE, H.A. & BRESSMAN, E.N. (Ed.). **Corn and corn growing**. New York: Wiley, 1949. p.52-60.

WANG, J.; WANG, E.; YANG, X.; ZHANG, F.; YIN, H. Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the North China Plain by climate change adaptation. **Climatic Change**, v.113, n.4, p.825-840, 2012.

WEBER, A.P.M.; SCHWACKE, R.; FLÜGGE, U. Solute transporters of the plastid envelope membrane. **Annual Review of Plant Biology**, v.56, p.133-164, 2005.

WILHELM, E.P.; MULLEN, R.E.; KEELING, P.L.; SINGLETARY, G.W. Heat stress during grain filling in maize: effects on kernel growth and metabolism. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1733-1741, 1999.

WILLIAMS, M.M. Agronomics and economics of plant population density on processing sweet corn. **Field Crops Research**, v.128, p.55-61, 2012.

WILLIAMS, M.M.; LINDQUIST, J.L. Influence of planting date and weed interference on sweet corn growth and development. **Agronomy Journal**, v.99, p.1066-1072, 2007.

WILSON, D.R.; MUCHOW, R.C.; MURGATROYD, C.J. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in a cool climate. **Field Crops Research**, v.43, p.1-18, 1995.

ZAKI, M.S.; SHAH, P.; HAYAT, S. Effect of date of sowing on maize and non flooded land rice. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.10, n.2, p.191-199, 1994.