

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JULIANA MARQUES VORONIAK

Simulação da produtividade do milho pipoca em diferentes épocas de
semeadura na região noroeste do Paraná

Maringá

2017

JULIANA MARQUES VORONIAK

Simulação da produtividade do milho pipoca em diferentes épocas de
semeadura na região noroeste do Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia do Departamento
de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Estadual de Maringá, como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio
Lourenço de Freitas.

Maringá

2017

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

V954s Voroniak, Juliana Marques
Simulação da produtividade do milho pipoca em diferentes épocas de semeadura na região noroeste do Paraná/Juliana Marques Voroniak. -- Maringá, 2017.
72 f. : il. , figs. , tabs.,

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017.

1. Produção Vegetal. 2. Milho pipoca. 3. Época de semeadura. 4. Simulação da produtividade. I. Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, orient.II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
III. Título.

CDD 22. ED.633.15
JLM000758

FOLHA DE APROVAÇÃO

JULIANA MARQUES VORONIAK

Simulação da produtividade do milho pipoca em diferentes épocas de semeadura
na região noroeste do Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof^a. Dr^a. Reni Saath
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Lincoln Zotarelli
University of Florida

Aprovada em: 21 de fevereiro de 2017

Local de defesa: Universidade Estadual de Maringá, Bloco J45 – Anfiteatro II

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Julio Voroniak e Claudedir Marques Voroniak, ao meu irmão Alécio Marques Voroniak, por todo apoio e incentivo em todas as fases da minha vida. Pela confiança depositada e por terem lutado comigo pelo meu sonho.

Ao orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas pela orientação e por compartilhar seus conhecimentos. Além da oportunidade, do incentivo e da confiança depositada durante estes anos.

Aos amigos Carolina Fedrigo Coneglian, Liliane Scabora Mito, Marla de Marchi, Cláudia Salin Lozano, Bruna Rafaela Barbieri, Lucas Caiubi, Karla Gabriela Manzatti, Maiara Rezende, Anna Paola Tonello, Paulo Demeneck, Cleonir Andrade, André Biscaia e, aos demais colegas não citados, pela amizade e companheirismo, ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue e ao grupo de solos pela disponibilização dos dados para a realização deste trabalho.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Érika Cristina T. Sato e Reinaldo Bernado, pelo auxílio e atendimento impecável durante estes anos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de estudo e realização deste trabalho.

À todos que contribuíram tanto diretamente, quanto indiretamente para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.

Cora Coralina.

Simulação da produtividade do milho pipoca em diferentes épocas de semeadura na região noroeste do Paraná

RESUMO

O milho pipoca ainda é uma cultura pouco explorada no Brasil, mas com grande potencial de expansão. A partir do conhecimento das exigências da cultura, como necessidade hídrica, temperatura e radiação, é possível identificar épocas e regiões com menores riscos de perdas de safras para o cultivo da cultura do milho pipoca. O objetivo deste trabalho foi calibrar o modelo CERES-Maize para o híbrido de milho pipoca, IAC 125 e, após a calibração, utilizá-lo para simular o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho pipoca, em quatro datas de semeadura, durante 36 safras agrícolas, compreendidas entre os anos de 1980 a 2015, para a região de Paiçandu, no noroeste do Estado do Paraná. As simulações foram realizadas utilizando-se o modelo CERES-Maize inserido no DSSAT, versão 4.6.10, desenvolvido para a simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho. Para a elaboração dos arquivos de dados de entrada do modelo, foram utilizados dados climatológicos referentes, a precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, radiação solar. Características do solo também foram utilizadas. Um conjunto de dados de componentes de produção do híbrido foi utilizado para calibrar o modelo. Após a calibração dos coeficientes genéticos, foram realizadas simulações para quatro datas de semeadura, 27/09, 21/10, 14/11 e 08/12. Para a época de semeadura em 14/11 foram encontradas as maiores produtividades, com média 4.703,31 kg ha⁻¹. À medida que a semeadura foi sendo realizada em datas mais tardias, observou-se que o período da semeadura – florescimento, semeadura - maturidade e ciclo total da cultura diminuíram. Com os resultados observados, pode-se verificar que a data de semeadura em 14/11 apresenta as condições mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho pipoca.

Palavras-chave: Milho pipoca. Época. Simulação.

Simulation of productivity performance of popcorn at different sowing times in the northwestern region of Paraná

ABSTRACT

Popcorn is still a poorly exploited crop in Brazil, but great potential for expansion. Based on the knowledge of crop requirements, such as water requirements, temperature and radiation solar, it is possible to identify planting dates and locations with lower risks of crop losses for the crop of popcorn. The objective of this work was to calibrate the CERES-Maize model for the popcorn corn hybrid, IAC 125 and, after the calibration, to use it to simulate the growth and development of popcorn for four sowing dates based on field data from 36 season, between 1980 and 2015, for the region of Paçandu, in the northwest of the State of Paraná. The simulations were carried out using the CERES-Maize model inserted in the DSSAT, version 4.6.10, developed for growth simulation, development and productivity of the maize. Input data files of the model, we used climatological data of to precipitation, maximum and minimum air temperature, solar radiation. Soil characteristics were also included. A data set of production components of the hybrid was used to calibrate the model. After calibration of the genetic coefficients, simulations were performed for four sowing dates, Sep. 27, Oct. 21, Nov. 14 and Dec.08. Higher popcorn yield (4,703 kg/ha) were observed for the planting date of Nov. 14, with a mean of 4,703.31 kg ha⁻¹. The later sowing, it was observed that the sowing, period - flowering, sowing - maturity and total cycle of the crop decreased. Thus, of sowing on November 14 presented the most favorable conditions popcorn for the growth and development.

Keywords: Popcorn. Season. Simulation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média dos valores de precipitação (P), radiação solar (Rg), temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) para a região de Paiçandu, no período de 1980 a 2015.	25
Tabela 2. Análise química do solo, na profundidade de 0 – 20 e 20 – 40 cm, antes da implantação da cultura (Paiçandu/PR -2015/16.	26
Tabela 3. Análise granulométrica do solo na profundidade de 0 – 20 e 20 – 40 cm.	26
Tabela 4. Características físico hídricas.	26
Tabela 5. Coeficientes genéticos do híbrido IAC 125 utilizados para a calibração do modelo, obtidos durante a condução do experimento na safra agrícola 2015/2016.	27
Tabela 6. Coeficientes genéticos ajustados para o híbrido IAC 125.	30
Tabela 7. Valores da radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1981/1982 e 1985/1986, respectivamente.	35
Tabela 8. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar durante o florescimento até a maturidade fisiológica e, seus respectivos desvios e coeficientes para as safras agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986, respectivamente.	36
Tabela 9. Valores da radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente.	41
Tabela 10. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar durante o florescimento até a maturidade fisiológica e, seus respectivos desvios e coeficientes para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente.	43
Tabela 11. Valores da radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1982/1983 e 2003/2004, respectivamente.	48
Tabela 12. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar durante o florescimento até a maturidade fisiológica e, seus respectivos desvios e coeficientes para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente.	50

Tabela 13. Valores da radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1990/1991 e 2003/2004, respectivamente.	54
Tabela 14. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar durante o florescimento até a maturidade fisiológica e, seus respectivos desvios e coeficientes para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004, respectivamente.	56
Tabela 15. Produtividade média, máxima, mínima simulada e, os respectivos desvios padrões (DP) e coeficiente de variação (CV) das 144 safras em 4 datas de plantio, para o híbrido IAC 125.	58
Tabela 16. Duração do período (dias) da semeadura – florescimento, semeadura – maturidade fisiológica e ciclo total da cultura, simulados para as quatro datas de semeadura, durante os 36 anos.	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Definição dos coeficientes genéticos do modelo CERES-Maize.20

Quadro 2. Descrição das características agronômicas do híbrido IAC 125.24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados climáticos, em decêndios, da precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas, durante o período de condução do experimento, entre outubro de 2015 e janeiro de 2016.	23
Figura 2. Valores das produtividades simuladas e radiação solar global média, para os anos agrícolas de 1980 a 2015, para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.	31
Figura 3. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.	32
Figura 4. Índice de área foliar (IAF) simulados para as safras agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.	33
Figura 5. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.	35
Figura 6. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.	36
Figura 7. Valores de produtividade simuladas pelo CERES-Maize e radiação solar global média, para os anos de 1980 a 2015, para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.	38
Figura 8. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.	39
Figura 9. Índice de área foliar (IAF) simulados para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.	40
Figura 10. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.	42
Figura 11. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.	44
Figura 12. Valores de produtividade simuladas pelo CERES-Maize e radiação solar global média, para os anos de 1980 a 2015, para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.	45
Figura 13. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1982/1983 e 2003/2004.	46
Figura 14. Índices de Área Foliar, simulados para a safra 1982/1983 e 2003/2004.	47
Figura 15. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1982/1983 e 2003/2004.	49

Figura 16. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.	50
Figura 17. Valores das produtividades simuladas e radiação solar global média, para os anos agrícolas de 1980 a 2015, para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.	51
Figura 18. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.	52
Figura 19. Índices de Área Foliar, simulados para a safra 1990/1991 e 2003/2004.	54
Figura 20. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.	55
Figura 21. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.	57
Figura 22. Probabilidade de rendimento do híbrido IAC 125, simulada para a semeadura em 27 de setembro, 21 de outubro, 14 de novembro e 08 de dezembro.	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.	3
2.1 Importância do milho pipoca no Brasil.	3
2.2 Exigências climáticas da cultura do milho pipoca.	5
2.2.1 Exigências térmicas.	7
2.2.2 Exigências hídricas.	10
2.2.3 Radiação.	13
2.3 Época de semeadura.	15
2.4 Modelos de simulação de crescimento na agricultura.	17
2.5 O modelo CERES-Maize.	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.	22
3.1 Caracterização do experimento conduzido na safra 2015/2016.	22
3.1.1 Instalação e condução do experimento.	22
3.1.2 Características agrônômicas do híbrido IAC 125.	24
3.2 Dados de entrada do modelo CERES-Maize.	24
3.2.1 Climatológicos.	25
3.2.2 Caracterização do solo.	26
3.2.3 Dados fenológicos.	27
3.3 Calibração do modelo CERES-Maize.	27
3.4 Variáveis de saída do modelo.	28
3.5 Simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade.	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.	30
4.1 Coeficientes genéticos ajustados.	30
4.2 Simulações realizadas.	31
4.2.1 Simulação realizada para data de semeadura em 27 de setembro.	31
4.2.2 Simulação realizada para data de semeadura em 21 de outubro.	38
4.2.3 Simulação realizada para data de semeadura em 14 de novembro.	45
4.2.4 Simulação realizada para data de semeadura em 08 de dezembro.	51

4.3 Análise das produtividades simuladas.	58
4.4 Análise da duração do período de semeadura – florescimento, semeadura – maturidade e ciclo total da cultura.	59
4.5 Probabilidade acumulada.	61
5 CONCLUSÃO.	63
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	64

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho pipoca (*Zea mays* L.) apresenta grande importância econômica, uma vez que seus grãos são apreciados na alimentação humana e, por possuir valor comercial superior ao do milho comum. De acordo com informações do Anuário Brasileiro de Milho (2016) para a safra 2015/2016 foi estimada uma produção total de 90.180 ton, sendo este valor 55.031 ton inferior na safra 2014/2015, cuja redução está sendo atribuída a falta de precipitação durante o ciclo da cultura.

O milho pipoca ainda é pouco explorado no Brasil, visto que o maior número de cultivares disponíveis no mercado pertencem às empresas empacotadoras e/ou a poucos pesquisadores. Atualmente o mercado brasileiro, ainda necessita da importação de grãos para atender o consumo interno, principalmente de países como a Argentina e Estados Unidos.

Apesar do milho pipoca pertencer à mesma espécie botânica do milho comum, o milho pipoca apresenta algumas particularidades, mas assim como, outras culturas, o crescimento, desenvolvimento, e produção das plantas de milho pipoca são influenciados tanto por fatores bióticos como por fatores abióticos. Deste modo, é importante intensificar as pesquisas relacionadas ao milho pipoca, para definir quais são as exigências da cultura, o manejo adequado e a melhor época de semeadura.

Embora a época de semeadura do milho pipoca ser a mesma do milho comum, e definida principalmente, pelo fator precipitação, nem sempre essa prática torna-se apropriada para a cultura do milho pipoca.

A produtividade e a qualidade dos grãos da cultura do milho pipoca são muito afetadas pela época de semeadura, pois é considerada um fator de produção muito importante para a cultura. A escolha da data de semeadura determina a exposição das plantas as variações climáticas, cujos fatores climáticos são determinantes para o sucesso da cultura no campo, especialmente, a distribuição de chuvas, temperatura do ar e radiação solar.

Neste sentido, para que o estabelecimento da cultura ocorra no campo, as condições climáticas devem ser favoráveis ao longo do ciclo da planta. Por tanto, estudos que determinam as melhores épocas de semeadura surgem como uma prática necessária, para auxiliar nas tomadas de decisão, aumentando o sucesso do estabelecimento da cultura no campo.

Muitas pesquisas demonstram que a melhor época de semeadura para a cultura do milho pipoca é aquela que coincide o período do florescimento com os dias mais longos do ano e, o

enchimento de grãos com o período de temperaturas mais elevadas e alta disponibilidade de radiação.

De modo geral, a determinação da época de semeadura é realizada por meio da experimentação convencional. No entanto, o uso de modelos de crescimento de culturas, como o Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT), vem sendo utilizado como uma alternativa para determinar o potencial de produção da cultura em determinada época de semeadura, recomendação de adubação, influência de doenças, avaliar a densidade de plantas e o manejo.

Os modelos estimam os estádios de desenvolvimento das culturas e atuam como ferramentas que auxiliam nas práticas de manejo, indicando a melhor data de semeadura para as plantas desenvolverem em condições ambientais adequadas, e também pode auxiliar na escolha de cultivares que melhor se adaptam em cada região.

A partir do conhecimento da necessidade hídrica, bem como, da temperatura e da radiação solar, é possível identificar áreas e épocas de semeadura com menores riscos para o cultivo da cultura do milho pipoca.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar o modelo CERES-Maize para o híbrido de milho pipoca IAC 125 e após a calibração, utilizá-lo para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura em quatro épocas de semeadura, durante 36 anos agrícolas, 1980 a 2015, e determinar, em função das produtividades simuladas, as melhores épocas de semeadura para a cultura do milho pipoca para o noroeste do Estado do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do milho pipoca no Brasil

O milho pipoca pertence a mesma espécie botânica do milho comum (*Zea mays* L.). Os grãos do milho pipoca diferenciam-se do milho comum pois possuem uma fina cápsula que envolve o endosperma dos grãos. Além disso, os grãos são duros, pequenos, de cor laranja, arredondados e, possuem a capacidade de estourar devido à pressão formada dentro grão, quando aquecido a 180°C. Considerado um tipo de milho especial, o milho pipoca se diferencia dos demais milho devido a característica de se expandir (EMBRAPA, 2010).

A planta de milho pipoca, quando comparada com o milho comum, apresenta algumas particularidades como, grãos menores, menor número de folhas, menor tamanho de espigas, maior altura de inserção de espigas, menor espessura do colmo, menor vigor, maior susceptibilidade a pragas, a doenças, ao acamamento e ao quebramento do colmo e, conseqüentemente menor produtividade (ZIEGLER & ASHMAN, 1994). De acordo com Mangelsdorf e Smith Júnior (1949) o primeiro relato de descoberta do milho pipoca foi o exemplar com data estimada de 2500 a.C encontrado no sítio arqueológico de ‘Bat Cave’, Novo México. Ainda de acordo com estes autores, o milho não se originou do teosinto.

O milho pipoca ainda é uma cultura pouco explorada no Brasil, porém muito apreciada na alimentação humana e com valor comercial superior ao milho comum (SIMON et al., 2004; SCAPIM et al., 2006). Além disso, é conhecida como uma cultura de alta rentabilidade e com produto de grande aceitação popular.

Durante alguns anos, a produção de milho pipoca era direcionada apenas para atender o consumo nacional, porém nos últimos anos o consumo brasileiro de milho pipoca aumentou exponencialmente. Contudo o suprimento do milho pipoca ainda depende de importação da Argentina para atender a demanda de consumo interno.

Segundo informações do Anuário Brasileiro de Milho (2016), para o ano de 2016 a produção de milho pipoca foi estimada em 90.180 toneladas, sendo 55.031 toneladas a menos que 2015, pois a produtividade pode ser afetada pela falta de chuvas. Apesar de poucas informações sobre o mercado de milho pipoca no Brasil e no mundo, sabe-se que a cultura do milho pipoca é produzida em vários Estados brasileiros, acompanhando a rota do milho comum (CONAB, 2015).

No Brasil, não há dados oficiais sobre o plantio total de milho pipoca e também do que é importado no país, mas segundo cálculos de mercado, 80% da produção nacional vem do Estado do Mato Grosso, principalmente do município de Campo Novo do Parecis, considerado o maior produtor de milho pipoca no país. A área semeada com milho pipoca varia, de ano para ano, em função da demanda de mercado futuro. As principais regiões produtoras de milho pipoca no Brasil são regiões onde atuam grandes empacotadoras de milho pipoca, que a partir de contratos de parceria com produtores, envolvendo o fornecimento de sementes e a compra parcial ou total da produção (SAWAZAKI, 2010). Os principais estados produtores de milho pipoca no Brasil, são Mato Grosso, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná.

O mercado do milho pipoca caracteriza-se por ser mais estável que a do milho comum, pois apresenta um sistema integrado entre indústria e produtor. A maior parte dos produtores que investem no cultivo de milho pipoca recebem as sementes das próprias empresas para qual fornecem a produção final, além de saber o valor que receberá pela saca produzida. O pacote tecnológico do milho pipoca é semelhante ao do milho comum e atualmente o custo de produção é de R\$ 0,53/kg, para uma produtividade média que varia de 4.000 a 4.500 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

O cultivo comercial de milho pipoca ainda é limitado no Brasil, em razão da necessidade de obtenção de novas cultivares e do uso de tecnologias mais avançadas na colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento dos grãos. Segundo Scapim et al., (2010) o número de cultivares de milho pipoca disponível no mercado brasileiro é pequeno, contrastando com o milho comum. De acordo com Filho & Borghi (2016), na safra de 2016/2017, estavam disponíveis no mercado, 355 cultivares de milho.

Além disso, o mercado de cereais apresenta uma carência de cultivares de milho pipoca com características agronômicas desejáveis e com alto índice de capacidade de expansão (SILVA et al., 2010; RANGEL et al., 2011), sendo assim, é necessário intensificar o lançamento de variedade e híbridos comerciais.

No início da década de 90, a valorização do real em relação ao dólar favoreceu a importação de grãos de milho pipoca, principalmente de países como Estados Unidos e Argentina. No entanto, mudanças no mercado brasileiro ocorreram, e conseqüentemente ocasionou a diminuição da dependência de sementes importadas, em consequência da maior utilização de cultivares nacionais.

Atualmente o Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apresenta entre cultivares e híbridos, 75 registros (BRASIL, 2017). A maioria dos

registros pertencem às empresas empacotadoras, sendo dezenove registradas em nome da Yoki Alimentos S/A e sete em nome da Pipolino Indústria e Comércio Ltda, e outras empresas distribuidoras de sementes. Além disso, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) apresenta doze registros.

Em consequência ao lançamento de variedades desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Brasil diminui a dependência de sementes importadas. Hoje, os produtores rurais têm à disposição no mercado os híbridos, IAC 112 e IAC 125. O híbrido IAC 112 é o mais procurado no mercado por ser mais produtivo do que o IAC 125. Apesar do híbrido IAC 125 apresentar menor produção, os grãos possuem melhor qualidade.

De acordo com dados da Conab (2015) o Estado do Mato Grosso na safra 2014/2015 produziu 70 mil toneladas, em uma área estimada de 16 mil hectares, principalmente na região do município de Campo Novo Parecis. Por outro lado, o Estado do Rio Grande do Sul apresentou uma redução na área de produção de 3.000 hectares para 2.500 hectares, resultado da competitividade da área com soja e, também resultado dos baixos preços.

O valor comercial do milho pipoca depende principalmente de características agronômicas como, a capacidade de expansão (CE). De acordo com Freire (2015) a qualidade e capacidade de expansão apresentam uma correlação positiva, ou seja, grãos que apresentam maiores valores de capacidade de expansão (CE) possuem maior maciez e melhor textura.

O milho pipoca possui custo de produção semelhante ao do milho comum, porém sua produtividade é aproximadamente 40% inferior. Sendo assim, o milho pipoca precisa valer entre 2 e 2,2 vezes mais que o milho comum para compensar o cultivo. Segundo o Anuário Brasileiro do Milho (2016), para que ocorra a semeadura da cultura de milho pipoca é importante o estímulo de preço, visto que, o valor do milho pipoca é maior ou igual a dois por um.

2.2 Exigências climáticas da cultura do milho pipoca

A cultura do milho pipoca ainda é restrita a algumas regiões do Brasil, mas com boas perspectivas de expansão. Atualmente, o cultivo de milho pipoca é limitado em consequência da falta de cultivares no mercado, pois as pesquisas carecem da mesma intensidade de pesquisas realizadas para o milho comum. As pesquisas disponíveis encontram-se restritas a poucos pesquisadores de instituições públicas e a algumas empresas privadas produtoras de sementes.

Além de tudo, a tecnologia de baixa produção, também, atua como fator limitante para a expansão do cultivo da cultura no Brasil.

De acordo com Ávila et al., (2011) para que o plantio de milho pipoca se consolide no Brasil é importante a obtenção de informações agronômicas sobre o seu cultivo como, melhor época de semeadura, viabilidade do cultivo na safrinha, zoneamento edafoclimático, manejo da irrigação, aumento da produtividade e, também características que atendam às exigências do produtor como, capacidade de expansão, maciez e textura do grão.

Assim, como as demais culturas, o milho pipoca também está sujeito a condições adversas no campo, para ocorrer o estabelecimento adequado da cultura no campo, as condições para a germinação e a emergência das plântulas devem ser favoráveis. A temperatura, a radiação solar e a distribuição de chuvas destacam-se como fatores ambientais mais importantes para o estabelecimento da cultura no campo. A duração das fases fenológicas de uma cultura, varia entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das variações climáticas, como umidade relativa, temperatura do ar e do solo, chuva, radiação solar e fotoperíodo (COSTA, 1994).

Segundo Vaz-de-Melo et al., (2012) o conhecimento do comportamento de diferentes genótipos de milho pipoca sob condições de estresses abióticos como, temperatura e déficit hídrico, contribui para a escolha da região e da melhor época de semeadura para a cultura, pois estes fatores podem restringir a semeadura onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas. O estresse é um fator fundamental na determinação de como o solo e o clima limitam a distribuição de espécies vegetais (TAIZ & ZEIGER, 2006), em diferentes regiões.

A escolha da época de semeadura contribui para a definição da duração do ciclo, da altura da planta e da produção de grãos. Desta forma, quase tão importante quanto a época de semeadura para a produtividade é a época de colheita, para não prejudicar a qualidade do grão. Para manter a qualidade dos grãos de milho pipoca, é importante que, a partir da maturação fisiológica até a colheita ocorra um período com menores precipitações, pois a presença de chuvas nessa época faz com que os grãos voltem a se hidratar e depois secar, influenciando na redução do potencial genético de expansão. Quando o produtor dispõe de irrigação, pode-se levar em conta o atraso na semeadura, para que a colheita ocorra em um período mais seco.

Os fatores determinantes para o sucesso de uma adequada instalação de lavoura são os relacionados a época de semeadura, pois a escolha da melhor época de semeadura determinará a exposição das plantas aos fatores climáticos como, precipitações, temperatura e radiação solar.

Como forma de minimizar os efeitos dos estresses abióticos, é indispensável semear apenas cultivares adaptadas à região e a condição de solo. Desta forma, é importante conhecer a influência que os fatores climáticos exercem sobre o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho pipoca, para que haja sucesso na instalação da cultura na região de interesse.

2.2.1 Exigências térmicas

O desempenho das plantas está diretamente relacionado com a temperatura, pois é, um dos principais fatores ambientais que influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas (MUCHOW, 1990; TOLLENAAR, 1999). A duração dos diferentes estádios de desenvolvimento de cada cultura, são influenciados pela temperatura, uma vez que as plantas exigem uma condição ótima de temperatura, que varia com a exigência dos diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento das plantas.

O conhecimento das exigências térmicas de uma determinada espécie contribui positivamente para a previsão da duração do ciclo da planta, em função da influência que os fatores ambientais (BARBANO et al., 2003), podem exercer sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade de uma cultura. A temperatura é um fator muito importante para o desenvolvimento das plantas, visto que exerce grande influência sobre a velocidade, porcentagem de germinação e emergência e também afeta as reações bioquímicas que determinam o processo germinativo (VAZ-DE-MELO et al., 2012), e todas as atividades fisiológicas. Assim, para cada processo fisiológico existe uma temperatura mínima, abaixo da qual o processo não ocorre, chamada de temperatura base e uma temperatura na qual o processo ocorre com máxima intensidade, denominada de temperatura ótima (SANGOI et al., 2010).

O milho, por ser uma espécie C4, apresenta uma temperatura base de 10°C, enquanto a temperatura ideal está em torno de 25°C a 35°C. As espécies C4 requerem maior demanda energética e, a PEP (fosfoenolpiruvato) carboxilase que realiza a carboxilação inicial é sensível a baixas temperaturas, enquanto a rubisco encontrada nas espécies C3 é muito eficiente mesmo em baixas temperaturas (TAIZ & ZEIGER, 2006). Por outro lado, as espécies C4 são mais tolerantes a temperaturas elevadas, do que as espécies C3.

A temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para predizer os estádios fenológicos da cultura, desde que não ocorra déficit hídrico (GADIOLI et al., 2000), atuando em praticamente todas as fases de desenvolvimento da planta.

A menor velocidade de germinação das plântulas de milho pipoca, expostas a baixas temperaturas no campo, pode expor as sementes às pragas e microorganismos do solo e, reduzir a obtenção da população de plantas desejadas. Segundo Marques et al., (2015) o rendimento do milho é positivamente influenciado, quando as plantas atingem área foliar máxima coincidindo com temperaturas diurnas entre 19 °C e 35 °C e, entre 13 °C e 24 °C, durante a noite.

A ocorrência de temperaturas noturnas elevadas durante as fases de prefloração, floração e início de enchimento de grãos é um fator limitante à obtenção de altos rendimentos na cultura do milho. Durante a noite, a planta paralisa a sua atividade fotossintética, porém continua respirando, dessa forma, quanto maior a temperatura, maior é a atividade respiratória da cultura e mais acelerado será o desenvolvimento da espiga. O aumento da atividade respiratória reduz a disponibilidade de fotoassimilados aos óvulos e grãos na fase inicial do seu desenvolvimento (SANGOI et al., 2010).

Brunini et al., (2006), observaram que, em algumas regiões, os efeitos das temperaturas noturnas podem ser minimizados, em função da definição da época ideal de semeadura. Ainda de acordo, com estes autores, valores elevados de temperaturas noturnas podem prejudicar a produtividade da cultura do milho.

No período de enchimento de grãos, quando não ocorre deficiência hídrica e nutricional, os principais fatores que influenciam o número de grãos por unidade de área são radiação solar e temperatura (RODRIGUES & DIDONET, 2003). De acordo com Muchow (1990) nesse período o aumento da temperatura provoca aumento na taxa de crescimento do grão e diminuição da duração do período de enchimento de grão. A temperatura apresenta efeito na taxa de desenvolvimento e na taxa de acúmulo de matéria seca, pois limita a fonte produtora de assimilados e altera a partição, assim refletindo na acumulação de massa seca nos grãos (TOLLENAAR, 1989).

Antigamente, o ciclo de uma cultivar de milho era determinado em função do número de dias, desde a semeadura até a maturidade fisiológica ou a colheita (GADIOLI et al., 2000). Porém atualmente, as empresas classificam seus híbridos, como superprecoces, precoces, normais ou tardios, em função do número de unidade de calor (UC), heat units (HU), unidades calóricas (°C),

unidade térmicas de desenvolvimento (U.T.D) ou graus-dia (GD) (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1997; SANGOI et al., 2010).

Cada estágio de desenvolvimento do ciclo de vida das plantas requer o acúmulo de uma determinada quantidade de calor, expressa pelo índice graus-dias. Segundo Bonhomme (2000) graus-dias são muito utilizados para estimar ou prever os comprimentos das diferentes fases de desenvolvimento das plantas.

O acúmulo térmico é necessário para que a planta atinja um determinado estágio fenológico de desenvolvimento (NESMITH & RITCHIE, 1992). Cada espécie vegetal ou variedade possui uma temperatura base, porém é comum adotar-se uma única temperatura base para todo o ciclo da planta (CAMARGO et al., 1987).

As variedades de milho disponíveis no mercado apresentam as seguintes exigências térmicas (GD), entre a emergência e a antese, híbridos superprecoces: GD inferior a 830°C.dia; híbridos precoces, superior a 831°C.dia e inferior 890°C.dia, e tardio: superior a 890°C.dia (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1997). Nesse sentido, quando as exigências térmicas da planta não são atendidas, poderá ocorrer o prolongamento ou a redução da fase vegetativa da cultura do milho.

Para Bergamaschi & Matzenauer (2014) a fenologia do milho é regulada pelo regime térmico, permitindo o emprego de modelos de crescimento baseados em somas térmicas. Além disso, o milho tem sido considerado com uma espécie sem resposta fotoperiódica. Desta forma, o desenvolvimento da planta de milho, depende, basicamente, das condições térmicas.

Algumas pesquisas evidenciam o efeito que a temperatura exerce sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Marques et al., (2013) estudando o efeito da época de semeadura no ciclo fenológico e na produtividade do milho pipoca, verificaram que a redução da temperatura promoveu o prolongamento do ciclo fenológico e reduziu a produtividade de grãos. Durante o período vegetativo, a diminuição da temperatura média, ocasiona redução do rendimento (GADIOLI et al., 2000).

Muchow et al. (1990) observaram que as altas temperaturas reduzem o tempo de crescimento da cultura do milho, entretanto, em consequência da elevada radiação solar incidente diária, o rendimento final de grãos pode não ser afetado.

2.2.2 Exigências hídricas

Assim como as demais culturas, o milho pipoca também está sujeito a condições adversas no campo, que podem interferir no seu desenvolvimento (MOTERLE et al., 2006). A água desempenha papel fundamental na vida das plantas, atuando praticamente, em todos os processos fisiológicos e bioquímicos. De todos os recursos que a planta necessita para crescer e desenvolver, a água é o mais limitante para a produtividade agrícola (TAIZ & ZEIGER, 2006).

O conhecimento da necessidade hídrica em cada estágio de desenvolvimento da cultura do milho pipoca, torna-se indispensável para o ajuste da época de semeadura à disponibilidade hídrica da região de cultivo. Desta forma, evitando que os períodos críticos, em relação a deficiência hídrica coincidam com os períodos de menor disponibilidade de água para a cultura.

Inicialmente, a deficiência hídrica combinada com baixas temperaturas no campo, pode afetar a germinação das sementes e, comprometer o estabelecimento e o estande final da cultura, pois contribui para a exposição das plantas ao ataque de pragas e patógenos (LIMA, 2006; VAZ-DE-MELO et al., 2012).

O déficit hídrico é um dos principais fatores responsáveis pelas grandes quedas de produtividades das culturas (NOGUEIRA et al., 2001) e, pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ & ZEIGER, 2006).

A restrição hídrica ocasiona estresses as plantas de milho, reduzindo o seu crescimento devido a diminuição da expansão, do alongamento celular e do decréscimo da turgescência (TAIZ & ZEIGER, 2006; CHUN et al., 2011).

Quando a planta, passa por um período de déficit hídrico, tende a reduzir o fluxo transpiracional e realizar o ajustamento osmótico, de maneira a garantir a absorção de água e manter as células turgidas (TAIZ & ZEIGER, 2009). A redução da disponibilidade hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e outros processos (BERGAMASCHI, 1992).

Assim como para a cultura do milho comum, a determinação da melhor época de semeadura para o milho pipoca, coincide com o período chuvoso. A cultura do milho requer um consumo de 400 a 800 mm de água em seu ciclo completo para alcançar uma boa produtividade (ÁVILA et al., 2011).

O período de máxima exigência está compreendido entre o florescimento e a maturidade fisiológica, podendo atingir de 5 a 7,5 mm/dia e, dependendo das condições de clima, com temperaturas muito elevadas e umidade relativa do ar muito baixa, o consumo poderá atingir até 10 mm/dia (EMBRAPA, 2011a). A produtividade do milho pipoca é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre no período do florescimento, podendo causar perdas de até 50% de rendimento dos grãos, porém na fase vegetativa e durante o enchimento de grãos, as perdas são menores.

Desta forma, é importante que durante o período reprodutivo, especificamente entre pendramento e embonecamento, a cultura não sofra déficit hídrico (EMBRAPA, 2004). Por outro lado, durante a maturação fisiológica a presença de chuvas é prejudicial para a qualidade dos grãos do milho pipoca, reduzindo o potencial genético de expansão.

Existem diversos estudos sobre os efeitos do déficit hídrico no rendimento de grãos de milho e os períodos mais sensíveis ao déficit para esta cultura. Os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento da cultura de interesse podem variar em função da sua intensidade, duração, época de ocorrência, local, tipo de solo e cultivares (MATZENAUER et al., 1995) e, da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (CUNHA & BERGAMASCHI, 1992).

Os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento e rendimento das culturas, varia com os estádios de desenvolvimento. De modo geral, o conhecimento dos períodos críticos no ciclo das culturas, quando há máxima sensibilidade ao déficit hídrico no solo, possibilita a adoção de importantes práticas de manejo (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014). Almeida (2016) relatou que o déficit hídrico na fase de pendramento e florescimento ocasiona os maiores prejuízos, quando comparados aos outros períodos. Para a cultura do milho pipoca, assim como, a grande maioria das culturas, a disponibilidade hídrica é importante, principalmente, no período do florescimento.

As plantas apresentam uma capacidade de tolerância ao estresse e, segundo Taiz & Zeiger (2006), pode ser definida como a aptidão que a planta exerce para enfrentar um ambiente desfavorável. Vaz-de-Melo et al., (2012) avaliando a germinação e o vigor de sementes de milho pipoca sob o estresse hídrico e térmico, observaram que as cultivares sob estresse hídrico, direcionam o metabolismo da planta para solucionar essa condição de estresse e, conseqüente ocorre um maior gasto de energia.

Rufino et al., (2012) avaliando o desempenho de genótipos de milho submetidos a diferentes períodos de déficit hídrico no estágio de crescimento vegetativo, verificaram que todas as variáveis da parte aérea, bem como altura de plantas, fitomassa e área foliar, foram afetadas pela redução da disponibilidade hídrica. A área foliar exerce papel de destaque na produtividade final, visto que as folhas, são fontes de fotoassimilados para o desenvolvimento das raízes, que são estruturas importantes na assimilação de nutrientes e na resistência ao déficit hídrico (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Souza et al., (2015) objetivando avaliar o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos; componentes de produção e eficiência do uso da água e, identificar genótipos de milho com tolerância ao déficit hídrico, constataram que o déficit hídrico reduz o número de grãos por m⁻², o número de espigas por m⁻² e o rendimento de grãos. No entanto, observaram que os híbridos sob déficit hídrico aumentaram a eficiência do uso da água. Beiragi et al., (2011) estudando o efeito do déficit hídrico no milho, também observaram que a redução da disponibilidade hídrica afeta a produção e os componentes de rendimento da cultura do milho. Ávila et al., (2011) observaram que quando não ocorre limitação de água durante o ciclo do milho pipoca há a probabilidade de se alcançar elevadas produtividades.

Uma das principais consequências causadas pelo déficit hídrico é a diminuição da expansão foliar, influenciando diretamente na redução da área foliar. Essa consequência causada pelo déficit hídrico ocorre devido as modificações na anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica das plantas (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

Brito et al., (2013) estudando os aspectos fitotécnicos do milho doce sob estresse hídrico, verificou que a planta sob estresse tende a fechar os estômatos com o objetivo de minimizar a perda de água e manter a turgescência, que influencia diretamente na formação de carboidratos na fotossíntese e no acúmulo de fitomassa na planta.

Outra consequência causada pelo déficit hídrico é a redução da eficiência de absorção da radiação fotossinteticamente ativa (MAKINO, 2015), em razão da redução da área foliar, visto que a expansão foliar é extremamente sensível ao déficit hídrico (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Nesse sentido é importante o conhecimento das condições climáticas, principalmente da distribuição das precipitações na região de interesse da instalação da cultura do milho pipoca, como forma de identificar as melhores cultivares e/ou híbridos e, assim expressar o rendimento e estabilizar a produção.

2.2.3 Radiação Solar

A radiação solar desempenha papel fundamental nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, e é considerada uma das propriedades de maior importância para a planta de milho, uma vez que o processo fotossintético é inibido e, a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo (EMBRAPA, 2010b).

A radiação fotossinteticamente ativa é captada por moléculas de clorofila e carotenoides (TAIZ & ZEIGER, 2004). Segundo Squire (1990) apenas uma proporção da radiação incidente é interceptada pelas plantas durante seu ciclo e, está disponível para a fotossíntese. Para Taiz & Zeiger (2004) apenas 5% da energia total incidente é aproveitada pelas plantas para a formação de carboidratos, enquanto o restante é perdido na forma de calor.

A produtividade de uma cultura é dependente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) absorvida pelas folhas e, da eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química através do processo fotossintético (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014). Nesse sentido, a produção final de biomassa depende da eficiência com que as folhas convertem energia radiante em energia química através da fotossíntese (ASSIS & MENDES, 1989).

Para que a cultura atinja altos rendimentos de grãos é importante maximizar a eficiência fotossintética da cultura, através da melhoria da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel e a eficiência de conversão da radiação em biomassa e, a partição adequada de fotoassimilados para as estruturas de rendimento (MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006; ANDRADE, 1995).

No entanto, a eficiência com que a planta intercepta a radiação depende de fatores climáticos principalmente, da temperatura e disponibilidade hídrica. A temperatura diurna e noturna são fatores que durante o ciclo da planta, exercem influência na eficiência máxima de conversão da radiação solar. Desta forma, temperaturas relativamente elevadas (28-32°C) possibilitam altas taxas fotossintéticas, enquanto que temperaturas noturnas amenas (18-20°C) colaboram para o prolongamento do período de crescimento (FANCELLI, 2000).

Além dos fatores climáticos, a escolha adequada do arranjo de plantas e a densidade, contribuem para a interceptação da radiação solar (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001) e, conseqüentemente na produtividade de grãos. Andrade (1995) observou que a redução da densidade de plantas de milho diminui a eficiência da conversão da interceptação da radiação solar.

O milho, por ser uma planta C4, apresenta características fisiológicas favoráveis no que se refere a conversão de CO₂ em compostos orgânicos. Além disso, é conhecida como uma cultura altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química (SANGOI et al., 2010), pois a radiação interceptada possui um efeito direto no acúmulo de biomassa.

A maior sensibilidade do milho a variação de luminosidade é observada no início do período reprodutivo, ou seja, no período correspondente aos 10-15 dias após o pendoamento e, como consequência ocorre a redução da massa específica (CRUZ et al., 2011). Assim, a baixa incidência de radiação solar causada por períodos excessivamente nublados, pode contribuir com a redução do acúmulo de açúcares no colmo (RODRIGUES& DIDONET, 2003). Freitas et al., (2001) estudando a influência da radiação sob a produtividade da cultura do milho, simulados pelo modelo CERES-Maize, observaram que a diferença de radiação no período de florescimento até o período de maturidade fisiológica influenciou para que ocorresse diferentes produtividades.

Na cultura do milho alguns fenômenos são afetados pela intensidade da radiação solar global, enquanto outros dependem da duração da radiação (BARBOSA, 1983). Durante a semeadura tardia do milho, realizada nos meses de dezembro a janeiro, observa-se que o potencial de rendimento de grãos é mais baixo, em razão da menor quantidade de radiação solar durante o período de enchimento de grãos e, à maior incidência de doenças foliares e do colmo (SILVA et al., 2010b; UATE, 2013).

A redução da intensidade de interceptação de radiação pela planta, pode influenciar a distribuição de fotoassimilados, visto que, em condições de baixa luminosidade, os fenômenos como movimento dos estômatos, fotossíntese e balanço de energia diminuem de intensidade e, a planta atinge o ponto de compensação, ou seja, aquele nível metabólico que em que os assimilados sintetizados na fotossíntese são consumidos na respiração e, em outros processos vitais para a planta (BARBOSA, 1983).

Desta forma, a determinação da época de semeadura deve priorizar as datas que apresentem o melhor aproveitamento da radiação solar pela cultura de interesse, uma vez que, a radiação solar influencia o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de grãos.

2.3 Época de semeadura

A escolha da época de semeadura é um fator de produção muito importante para a cultura do milho pipoca, pois determina a exposição das plantas as variações climáticas e, contribui para a definição da duração do ciclo, da altura de planta e da produtividade de grãos. A época de semeadura é fortemente influenciada pelas condições de precipitação, temperatura e radiação solar, que são variáveis nas diferentes regiões do Brasil (VAZ-DE-MELO, et al., 2012). Além dos fatores ambientais, a escolha adequada dos cultivares e/ou híbrido de milho pipoca contribui para o sucesso da instalação da cultura na região de interesse (SAWAZAKI, 2001; NASCIMENTO et al., 2011).

No Brasil, a produção do milho pode ser caracterizada por duas épocas de semeadura, primeira safra e safrinha. A primeira safra, ou safra de verão, tem sido realizada no período compreendido entre o fim de agosto até os meses de outubro e novembro, durante o período chuvoso, considerado ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura no campo. A segunda safra, conhecida como safrinha, tem sido realizada entre os meses de janeiro e março, após a safra da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo.

Para a região Sul e Sudeste do Brasil, semeaduras realizadas na safrinha, tem demonstrado que o desempenho do milho não é satisfatório devido à falta de água e temperaturas desfavoráveis durante o ciclo da cultura (NASCIMENTO et al., 2011). Segundo Gonçalves et al., (2002) o período de safrinha apresenta restrições climáticas ao crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, principalmente em relação à temperatura e precipitação hídrica. Além disso, em semeaduras realizadas tardiamente, ocorre o maior acúmulo de graus-dia e, conseqüentemente redução do período de emergência ao espigamento (SANGOI et al., 2010).

Para Sangoi et al., (2007) na região Sul do Brasil, à época ideal para a cultura do milho, visando o melhor aproveitamento da radiação solar, está compreendida entre meados de setembro e o final de outubro. A semeadura nesta época contribui para que o período de florescimento e início de enchimento de grãos ocorram entre dezembro e janeiro, meses em que os dias são mais longos e há maior ocorrência da radiação solar (FORSTHOFER et al., 2004).

Nunes et al., (2003) avaliando o comportamento de cultivares de milho pipoca em diferentes épocas de semeadura, constataram que o mês de outubro é a época ideal para otimizar o rendimento e, concluíram que quando a cultivar é a mesma utilizada entre anos e semeada no mesmo local, o

que influencia o rendimento dos grãos são resultados das condições climáticas, principalmente temperatura e a precipitação.

De modo geral, sementeiras em épocas anterior ou posterior ao período mais indicado para uma determinada região reduzem o rendimento de grãos. No Sul do Brasil, são consideradas sementeira precoces aquelas realizadas entre o final de julho e começo de setembro (SANGOI et al., 2007). Nessa época, a radiação solar incidente e a temperatura mais baixa diminui o crescimento o desenvolvimento da cultura e, como consequência reduz área foliar por planta, índice de área foliar e altura de planta (SANGOI et al., 2001).

Segundo Forsthofer et al., (2006) em regiões que a disponibilidade hídrica não é limitante, como para regiões Sul e Sudeste, observam-se menores potenciais de rendimento de grãos em sementeira precoces, realizadas em agosto, em relação à época considerada como preferencial. Além disso, a ocorrência de chuvas durante o período de pós-maturação e colheita contribui para a perda de qualidade dos grãos (SAWAZAKI, 2001).

As sementeiras tardias são aquelas realizadas nos meses de dezembro e janeiro (SANGOI et al., 2007). Durante a sementeira tardia, as plantas estão expostas a maiores riscos de perdas provocadas pela menor quantidade de radiação solar durante o período de enchimento de grãos e, maiores incidências de doenças foliares e do colmo, além da deficiência hídrica (SILVA et al., 2010b; UATE, 2013).

Uate et al., (2015) ao avaliarem o comportamento de cultivares de milho em duas épocas de sementeira, normal e tardia, verificaram existir diferenças na altura média de plantas, altura de inserção de espiga e produtividade, a partir do atraso da época de sementeira. Todavia, sementeiras antecipadas também apresentam algumas desvantagens para o crescimento e desenvolvimento da planta, como o alongamento do período sementeira até a emergência, em virtude da menor temperatura do solo e, redução da atividade fotossintética, devido à redução da área foliar (SANGOI et al., 2010).

Para atingir uma boa produtividade as exigências climáticas da cultura de interesse devem ser respeitadas. Além disso, a escolha adequada de cultivares para cada região, desempenha papel fundamental para o sucesso da cultura no campo. Portanto, a sementeira do milho pipoca na época adequada possibilita o uso de genótipos de milho com diferentes exigências térmicas e, possibilita o escape dos riscos climáticos ao qual a cultura estará sujeita no campo (GONÇALVES et al., 2002).

2.4 Modelos de simulação de crescimento na agricultura

Os modelos de crescimento e desenvolvimento de culturas podem contribuir para o monitoramento e previsão da produtividade das culturas de interesse. Segundo Monteith (1996), os modelos de simulação da cultura podem ser definidos como um conjunto quantitativo, utilizados para estimar o crescimento, desenvolvimento e rendimento de uma cultura, baseado em uma série de coeficientes genéticos e variáveis ambientais. Para Andrade et al., (2009) existem três principais aplicações dos modelos de cultura: na pesquisa, tomada de decisões e, como ferramenta de ensino e transferência de tecnologia.

Os modelos de simulações de culturas vêm sendo utilizados para estudar o impacto das mudanças climáticas na produção agrícola (HOOGENBOOM, 2000). Para Lu et al., (2010) a modelagem do crescimento de plantas procura simular os processos biológicos da planta e, sua interação com o ambiente e, as alterações causadas pela influência do clima e do manejo, a partir de técnicas de computação ligadas ao conhecimento agrônomo.

Desta forma, a técnica de modelagem permite que experimentos virtuais possam avaliar as interações de muitas variáveis de forma simultânea (COSTA, 2015), como temperatura, precipitação e radiação, no crescimento e desenvolvimento de uma cultura específica. No entanto, é importante destacar que a utilização de modelos de crescimento de plantas em condições diferentes do local onde eles foram desenvolvidos, requer testes e adaptações, devido a diferença de solo, clima e características genéticas das culturas.

O *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) é um dos programas computacionais que envolvem modelos de simulação de culturas e, que tem se mostrado eficiente para simular a produtividade de diversas culturas. O programa DSSAT combina dados de solo e de clima com modelos de culturas, a fim de simular os resultados de vários anos de estratégias no manejo das culturas (ICASA, 2007).

De modo geral, esse programa é apropriado para estudos a longo prazo, permitindo avaliação de estratégias eficientes de manejo para cultura de interesse e, otimização da produção. O programa DSSAT tem como objetivo simular o sistema de produção e, analisar o comportamento fenológico da cultura em respostas as características do solo, condições climáticas durante o ciclo da cultura, ataque de pragas e características genéticas da espécie, cultivar ou híbrido (JONES, 2003; SASEENDRAN et al., 2012).

Atualmente, a versão 4.6.10 do DSSAT é constituída por 31 modelos de simulação para diversas culturas. Dentro da estrutura do DSSAT encontram-se alguns modelos de simulação como: milho (CERES-Maize), soja (CROPGRO-Soybean), trigo (CERES-Wheat), sorgo (CERES-Sorghum), arroz (CERES-Rice), cevada (CERES-Barley), girassol (CERES-Sunflower) (VERHAGEN et al., 2001).

Os modelos de simulação vêm sendo utilizados por distintos pesquisadores de diversas partes do mundo e, com diferentes objetivos. Utilizando o modelo CROPGRO-Soybean, Rodrigues et al., (2012) estudaram a calibração e a validação do modelo para analisar a performance e o efeito da ferrugem asiática para duas cultivares de soja nas condições edafoclimáticas de Viçosa. Enquanto, Dallacort (2004) utilizou o modelo CROPGRO-Soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, no Estado do Paraná, onde constatou que à medida que a semeadura da soja é realizada em datas mais tardias, o ciclo da cultura tende a diminuir.

Dettori et al., (2011) testaram o modelo CERES-Wheat em três variedades italianas de trigo duro, com um conjunto de dados de 30 anos e, em condições de clima e solos do tipo Mediterrâneo do Sul da Sardenha, Itália. De acordo com os resultados, os autores observaram que o modelo apresentou desempenho na previsão da produção de grão e data da antese.

Ahmad et al., (2011) estudando a aplicação do modelo CERES-Rice para avaliar a densidade de plantas e o manejo do nitrogênio em arroz transplantado para um ambiente semi-árido irrigado, observaram que o modelo simulou com precisão o crescimento e o desenvolvimento do arroz irrigado em condições semiáridas.

Costa (2015) utilizando o modelo CERES-Maize para auxiliar na recomendação de adubação para a agricultura de precisão, observou que o modelo foi capaz de estimar a produtividade potencial do milho para as diferentes condições de clima e solo. Além disso a produtividade potencial simulada pode ser utilizada para recomendar fertilizantes com base em tabelas de recomendação.

Amaral et al., (2015) avaliando o desempenho do modelo CERES-Maize para diferentes cultivares de milho, verificaram que o modelo simulou de forma satisfatória o crescimento, desenvolvimento e a produtividade de grãos.

2.5 O modelo CERES-Maize

O modelo CERES-Maize, foi desenvolvido para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do milho. Entre os modelos desenvolvidos para a cultura do milho, o CERES-Maize é um dos mais detalhados para prever estágios fenológicos e o rendimento de grãos da cultura (PEREIRA, 2008_a). Esse modelo permite a simulação dos principais processos físicos e fisiológicos da cultura como: fotossíntese, respiração, acumulação e partição da biomassa, fenologia, crescimento foliar, de caules e raízes, extração de água do solo e evapotranspiração (JONES & KINIRY, 1986). Os modelos da família CERES (*Crop Environment Resource Synthesis*) foram desenvolvidos pelo Grassland Soil and Water Research Laboratory, e estão agrupados em um sistema de suporte à decisão para a transferência de agrotecnologia (DSSAT), coordenado pelo IBSNAT - International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (RITCHIE, 1986).

O arquivo de dados de entrada do modelo inclui parâmetros climáticos, características do solo e coeficientes fenotípicos da cultura. O conjunto das variáveis climáticas de entrada utilizada pelo modelo são composto por temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), total de precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) em escala diária. O conjunto de informações fenológicas necessárias para a simulação são data de semeadura, emergência, floração e maturação fisiológica, peso de 1.000 grãos e produtividade da cultura (kg ha^{-1}). Além disso, são necessárias características como, classificação do solo, granulometria, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e declividade (DALLACORT, 2004).

O modelo CERES-Maize apresenta seis coeficientes genéticos (Quadro 1), que simula o desenvolvimento da cultura do milho (HOOGENBOOM et al., 1994). Esses coeficientes podem ser divididos em dois grupos, o primeiro refere-se ao desenvolvimento fenológico e, o segundo ao acúmulo de matéria seca (COSTA, 2015).

Quadro 1. Definição dos coeficientes genéticos do modelo CERES-Maize

Coeficientes	Definição
P1	Representa o tempo térmico de emergência das plântulas até o fim da fase juvenil.
P2	Representa a sensibilidade ao fotoperíodo, até que o ponto a evolução é adiada para cada aumento de hora em fotoperíodo acima de 12,5 horas.
P5	Representa o tempo térmico do pendoamento à maturação fisiológica, expresso em graus-dia acima de uma temperatura base de 8 °C.
G2	Número máximo de grãos por planta.
G3	Taxa linear de enchimento de grãos, sob condições ótimas (mg dia ⁻¹).
PHNT	Representa o intervalo de tempo térmico entre as sucessivas aparições das folhas, intervalo filocromático.

O modelo tem sido testado por diversos autores e, com distintos objetivos de avaliar o rendimento de grãos. Liu et al., (2011) utilizaram o modelo CERES-Maize para avaliar o rendimento do milho e a dinâmica do nitrogênio em um estudo de 50 anos de produção do milho em Woodslee, província de Ontario no Canadá, e observaram que o modelo não forneceu previsões precisas do rendimento anual da cultura do milho. Entretanto, em relação a dinâmica do nitrogênio, o modelo simulou a perda acumulativa de nitrato no solo para o tratamento milho/milho com adubação, mas para o tratamento milho/milho sem adubação superestimou a perda de nitrato no solo.

Desta forma, estes resultados podem auxiliar a compreensão dos efeitos a longo prazo do uso de fertilizantes, no rendimento de milho e a melhoria de propriedades do solo degradado. No entanto, os modelos precisam ser ajustados para os locais de estudo.

Soler et al., (2007) com o objetivo de avaliar a capacidade do modelo CERES-Maize, em simular o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de quatro híbridos de milho cultivados fora da época recomendada em uma região subtropical do Brasil, em condições de sequeiro e com irrigação, observaram que o modelo foi capaz de simular satisfatoriamente a fenologia e a produtividade para os quatro híbridos de milho. Além disso, concluíram que o atraso na data de plantio, para as condições de sequeiro, resultou em uma diminuição do rendimento médio, 55%. Já para as condições de irrigação, a diminuição do rendimento apresentou-se menor, apenas 22%.

Pereira et al., (2010) estudando a eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de cinco híbridos de milho, concluíram que o modelo apresentou uma simulação

satisfatória para as datas de florescimento, maturidade fisiológica, número de grãos por metro quadrado, massa de grãos e produtividade de grãos.

Com o objetivo de utilizar o modelo CERES-Maize para a recomendação de fertilizantes em agricultura de precisão, Costa (2015) observou que o modelo é capaz de estimar a produtividade potencial do milho para diferentes condições de solo e clima. Além disso, verificou que a partir da produtividade potencial simulada pode-se recomendar fertilizantes com bases em tabelas de recomendação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para as condições de clima e solo da região de Paiçandu, localizado no noroeste do Estado do Paraná. As simulações foram realizadas utilizando-se o modelo CERES-Maize inserido no DSSAT, versão 4.6.10, desenvolvido para a simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho. Para a elaboração das simulações foi realizada a montagem dos arquivos de dados de entrada do modelo. Foram utilizados dados climatológicos referentes, a precipitação (mm), temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), compreendido entre os anos de 1980 a 2015, 36 anos. Além disso, foram utilizados dados de componentes de produção e características do solo.

3.1 Caracterização do experimento conduzido na safra 2015/2016

O experimento foi realizado no período entre 21 de outubro de 2015 a janeiro de 2016, ano da colheita do experimento e, conduzido pelo grupo de pesquisa em solos da Universidade Estadual de Maringá.

3.1.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2015/2016, em uma área localizada no município de Paiçandu, região noroeste do Estado do Paraná, situada a uma latitude de $23^{\circ}27'$ sul e longitude $52^{\circ} 2'$ oeste, com altitude de 491 m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 2006), de textura muito argilosa. Foi realizada a análise química e física do solo antes da instalação do experimento.

O clima predominante da região é do tipo Cfa - subtropical úmido mesotérmico, caracterizado pela predominância de chuvas abundantes no verão e invernos secos, segundo classificação de Köppen. Durante o período de condução do experimento foi registrado temperatura média do ar de $25,4^{\circ}\text{C}$, radiação solar global média de $20,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e uma precipitação total de 1.082,1 mm.

A cultura do milho necessita de uma lâmina mínima de 400 a 800 milímetros para completar o ciclo sem que haja prejuízo (Ávila et al., 2011). Desta forma, a precipitação acumulada no período foi suficiente para não restringir o desenvolvimento das plantas. Na Figura 1 pode-se observar a precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (°C), referentes ao período de condução do experimento em campo.

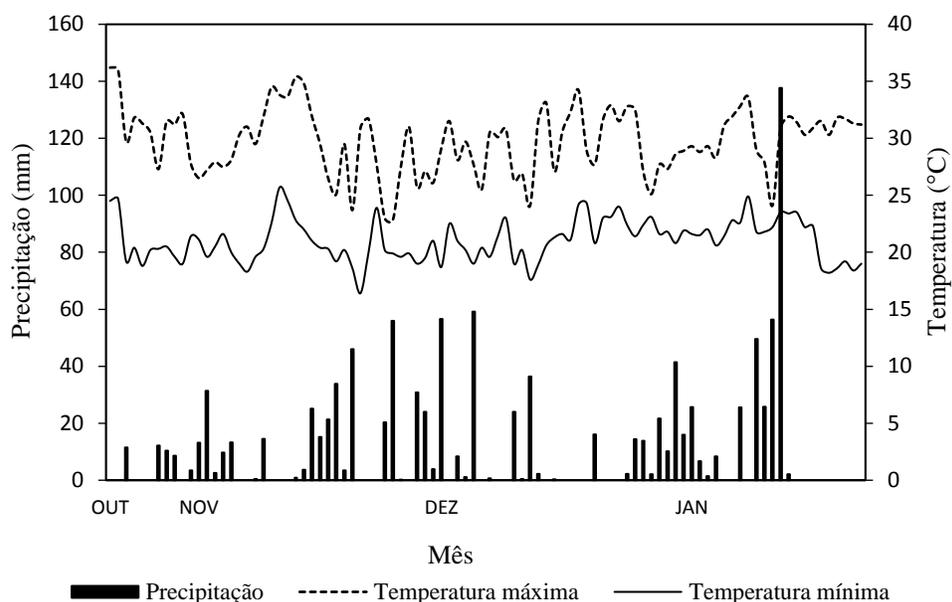


Figura 1. Dados climáticos diários, da precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas, durante o período de condução dos experimentos, entre outubro de 2015 e janeiro de 2016. Fonte: Estação climatológica da Universidade Estadual de Maringá - INMET.

O experimento foi arranjado em delineamento em blocos casualizados (DBC), com 2 tratamentos, sendo estes representados por um híbrido de milho pipoca, IAC 125 e, uma variedade, Americano RS 20 e, quatro repetições por tratamento. A área experimental foi composta de 8 parcelas com 10 m de comprimento e 4 linhas espaçadas de 0,45 m. A população de plantas utilizada foi de 60 mil plantas ha⁻¹, de acordo com a recomendação do Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas, 200 (AGUIAR et al., 2014).

3.1.2 Características agronômicas do híbrido IAC 125

Para a realização da calibração, optou-se por usar apenas o híbrido IAC 125. No Quadro 2, pode-se observar as características agronômicas do híbrido IAC 15 utilizado para a calibração do modelo CERES-Maize, inserido no DSSAT.

O híbrido IAC 125 destaca-se por apresentar alta capacidade de expansão da pipoca, boa produtividade, boa uniformidade da planta e dos grãos, bom empalhamento e sanidade de espigas, boa resistência as principais doenças do milho e menor custo das sementes. Além disso, é adaptado às principais regiões produtoras de milho pipoca da região Centro-Sul do Brasil (IAC, 2016).

Quadro 2. Descrição das características agronômicas do híbrido IAC 125

Características agronômicas	Descrição
Tipo de cultivar	Híbrido top cross
Tipo de grão	Duro tipo pipoca americana
Ciclo	Superprecoce
Altura média de planta	2,04 m
Altura da espiga	1,10 m
Peso de 1.000 grãos	148,8 g
População de plantas recomendadas	60 mil plantas ha ⁻¹
Florescimento	57 dias (737 GD)
Potencial produtivo	4.000 kg ha ⁻¹

Fonte: Instituto Agrônomo de Campinas

3.2 Dados de entrada do modelo CERES-Maize

Para a realização das simulações, o modelo CERES-Maize necessita de dados de entrada, composto de dados climáticos, das características do solo e dos componentes de produção do híbrido utilizado.

3.2.1 Climatológico

Os elementos climáticos necessários para a implementação dos arquivos para o modelo CERES-Maize, inserido no DSSA, são compostos por dados de temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), total diário de precipitação (mm) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), que são armazenados nos arquivos de clima (ESTAÇÃO.WTH e ESTAÇÃO.CLI).

Os elementos climáticos requeridos pelo modelo CERES-Maize, foram obtidas da estação Meteorológica do INMET, localizada na Universidade Estadual de Maringá, Estado do Paraná. Na realização deste trabalho, foram utilizados dados dos anos de 1980 a 2015, os quais foram utilizados para as simulações. Na tabela 1, são apresentados os valores médios mensais para o período de 1980 a 2015, da precipitação (mm), da radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e da temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Tabela 1. Médias dos valores da precipitação (P), radiação solar (R_G), temperatura máxima (T_{max}) e mínima do ar (T_{min}) para a região de Paiçandu, no período de 1980 a 2015

Mês	P (mm)	R_G ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{min} ($^{\circ}\text{C}$)
Janeiro	214,2	22,8	30,2	20,7
Fevereiro	200,8	21,9	30,3	20,6
Março	154,6	20,7	30,1	20,1
Abril	124,1	18,1	28,5	18,6
Mai	125,4	14,9	24,9	15,4
Junho	106,7	13,2	23,8	14,1
Julho	74,6	14,3	24,2	13,8
Agosto	52,2	16,8	26,7	15,4
Setembro	136,4	18,4	27,4	16,3
Outubro	160,8	21,5	29,3	18,3
Novembro	151,0	23,6	30,1	19,2
Dezembro	197,1	23,2	30,2	20,3

Fonte: Estação Meteorológica do INMET.

3.2.2 Caracterização do solo

Para o funcionamento do modelo CERES-Maize, os dados de solo requeridos para a implementação dos arquivos necessários, foram obtidos através da análise de solo realizada antes da instalação do experimento. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico. Os dados de solos são armazenados no arquivo SOIL.SOL.

Quanto as análises de solo, estas foram realizadas nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm. A seguir são apresentadas as características químicas (Tabela 2), granulométricas (Tabela 3) e físico hídricas (Tabela 4).

Tabela 2. Análise química do solo, na profundidade de 0 - 20 e 20 - 40 cm, antes da implantação da cultura (Paiçandu/PR -2015/2016)

Prof. (cm)	Ph		cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	g dm ⁻³	
	H ₂ O	CaCl ₂	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	P	C
0 – 20	6,10	5,40	0,00	4,78	8,56	7,03	0,36	12,36	18,44
20 – 40	6,20	5,50	0,00	4,12	6,68	5,42	0,28	7,29	13,13

Laboratório de análises de solos. Laboratório Rural de Maringá.

Tabela 3. Análise granulométrica do solo na profundidade de 0 - 20 e 20 - 40 cm

Prof. (cm)	Total Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 20	20	13	67
20 – 40	19	13	68

Laboratório de análise de solos. Laboratório Rural de Maringá.

Tabela 4. Características físico hídricas

Camada (cm)	Capacidade de campo (cm ³ cm ⁻³)	Ponto de murcha (cm ³ cm ⁻³)	Densidade global (g cm ⁻³)
0 – 20	0,385	0,228	1,35
20 – 40	0,406	0,249	1,36

3.2.3 Dados Fenológicos

Para a calibração dos coeficientes genéticos do modelo CERES-Maize foi necessário um conjunto de informações do híbrido utilizado como, data de semeadura, florescimento (dias), maturação fisiológica (dias), peso de 1.000 grãos (kg) e a produtividade da cultura (kg ha^{-1}). Os dados dos componentes de produção do híbrido IAC 125 (Tabela 5) foram obtidos a partir da realização do experimento na safra 2015/2016.

Tabela 5. Componentes de produção do híbrido IAC 125 utilizados para a calibração do modelo obtidos durante a condução do experimento na safra agrícola 2015/2016

Coeficientes genéticos	IAC 125
Florescimento (dias)	68
Maturação fisiológica (dias)	93
Peso de 1.000 grãos (kg)	0,179
Produtividade (kg ha^{-1})	3.365

3.3 Calibração do modelo CERES-Maize

A calibração do modelo CERES-Maize, para as condições experimentais deste trabalho, foi efetuada a partir de ajustes dos coeficientes genéticos que caracterizam aspectos importantes da cultura, segundo recomendações de Hoogenboom et al., (2003) e Jones et al., (2003). A sequência dos procedimentos para se obter a calibração dos coeficientes genéticos foi: 1) selecionar os coeficientes genéticos de um determinado genótipo a partir de genótipos que estavam no mesmo grupo de maturação ou que apresentavam crescimento em área de adaptação similar ao genótipo em questão; 2) rodar o modelo para o local, cultivar ou tratamento e 3) comparar os valores estimados e observados, e verificar seu ajuste; se o ajuste não foi adequado, ajustar primeiramente a data prevista de florescimento e, em seguida, a data prevista de maturação, e finalmente o ajuste dos componentes de rendimento. O ajuste foi realizado aumentando e diminuindo o valor de determinados coeficientes por processo de tentativa e erro, até que se obteve os resultados de desejados.

Desse modo, o conjunto de coeficientes genéticos obtidos foram utilizados para simular o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura nos anos e nas datas de semeadura para um determinado local.

3.4 Variáveis de saída do modelo

O modelo CERES-Maize é capaz de gerar três arquivos de saída, o primeiro apresenta o resumo dos parâmetros de entrada e daqueles calculados pelo modelo; o segundo arquivo, as variáveis da cultura versus o tempo e o terceiro, o balanço hídrico do solo.

Nas datas em que são alcançados os diversos estádios fenológicos da cultura, durante o ciclo de crescimento, são listadas no primeiro arquivo de saída, que mostra o acúmulo de biomassa, variação do índice de área foliar e os componentes do balanço de água, como a precipitação e o manejo de irrigação, se for utilizado. Ainda nesse arquivo, são listadas as datas de florescimento e maturação fisiológica, produtividade de grãos e massa de 1.000 grãos.

No segundo arquivo de saída, é listada a variação do índice de área foliar máximo, a biomassa total. No terceiro arquivo de saída são listados os componentes de balanço hídrico, como a precipitação, bem como dados climatológicos e o conteúdo de água no solo em função do tempo.

3.5 Simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade do híbrido IAC 125

A partir dos coeficientes genéticos do híbrido IAC 125 ajustados, realizou-se a simulação do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho pipoca para o município de Paiçandu, região noroeste do Estado do Paraná.

No planejamento as escolhas das datas de semeaduras foram definidas de acordo com recomendações do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Foram definidas quatro datas, as quais compreendem uma semeadura antecipada, duas normais e uma tardia. Para a época de semeadura antecipada, a data foi 27 de setembro, a época de semeadura normal compreendeu 21 de outubro e 14 de novembro e a tardia foi em 08 de dezembro.

A realização da semeadura em diferentes épocas do ano, permite observar como as alterações climáticas que ocorrem ao longo do ano e entre anos, podem influenciar no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho pipoca. Visando informações das interações

da planta com o ambiente, a simulação foi realizada para os 36 anos agrícolas, compreendido entre o período de 1980 a 2015, em um total de 36 simulações por data.

Após as simulações, foram analisados os aspectos que ocasionaram a maior e a menor produtividade da cultura do milho pipoca, para as quatro datas de semeaduras simuladas pelo modelo CERES-Maize, para um período de 36 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coeficientes genéticos ajustados

Para realizar a simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho pipoca em novas datas, foi necessário efetuar o ajuste dos coeficientes genéticos para o híbrido em estudo. Com o conjunto de coeficientes genéticos calibrado o modelo CERES-Maize simula o desenvolvimento e a produtividade do milho pipoca. Os coeficientes genéticos do modelo CERES-Maize podem ser divididos em dois grupos, os que se referem a fenologia da cultura, representados pelos coeficientes P1, P2 e P5, e aqueles relacionados com a produtividade, coeficientes G2 e G3. O coeficiente P1: caracteriza a soma térmica da emergência das plântulas até a fase juvenil (temperatura base 8°C); P2: caracteriza a sensibilidade ao fotoperíodo (como a cultura do milho pipoca não é sensível ao fotoperíodo, esse coeficiente não influenciou os resultados de simulações para a região noroeste do Estado do Paraná); P5: tempo térmico entre a antese e a maturidade fisiológica (temperatura base 8°C); G2: número máximo de grãos por planta; G3: taxa de enchimento do grão (mg d^{-1}) sob condições ótimas de crescimento e PHINT: intervalo térmico entre as sucessivas aparições das folhas, intervalo filocromático.

Na Tabela 6, encontram-se apresentados os coeficientes genéticos ajustados para o híbrido IAC 125, utilizado no trabalho para a calibração do modelo CERES-Maize, nas condições de solo e clima da região de Paiçandu, Estado do Paraná.

Tabela 6. Coeficientes genéticos ajustados para o híbrido IAC 125

Híbrido	Coeficientes					
	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
IAC 125	305,8	0,400	850,5	346,0	7,89	38,90

A calibração dos coeficientes genéticos foi realizada de forma manual, alterando seus valores no arquivo da cultura MZCER046.CUL.

4.2 Simulações realizadas

4.2.1 Simulação realizada para data de semeadura em 27 de setembro

Os valores das produtividades simuladas e a radiação solar global média durante os 36 anos agrícolas, estão apresentados na Figura 2. A produtividade média, para os 36 anos, foi de 4.246,72 kg ha⁻¹ e o desvio padrão de 1.056,86 kg ha⁻¹. A radiação solar global média, foi de 22,65 MJ m⁻² d⁻¹ e o desvio padrão foi de 0,95 MJ m⁻² d⁻¹.

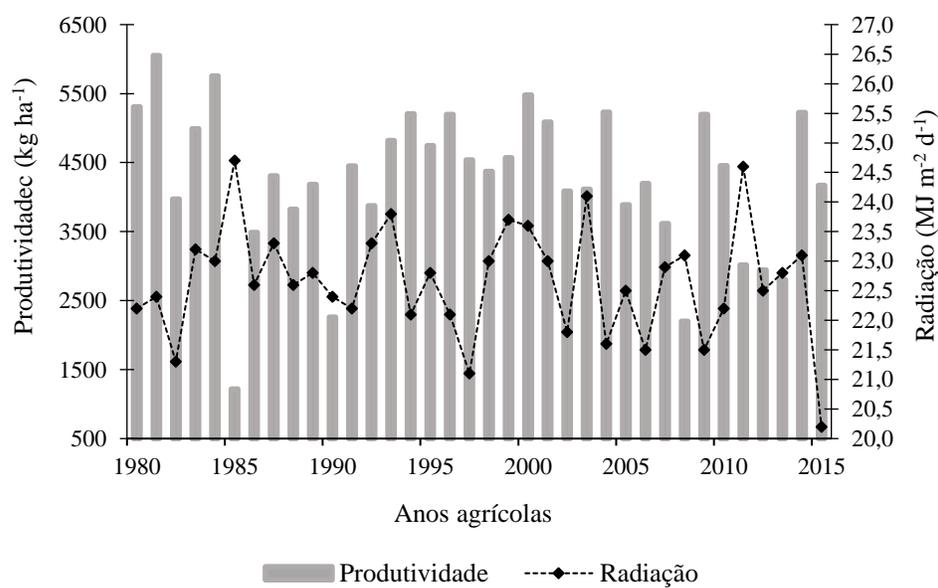


Figura 2. Valores das produtividades simuladas e da radiação solar global média para o período de 1980 a 2015 para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.

Para a data de simulação em 27 de setembro a produtividade simulada para os 36 anos agrícolas, variou de 1.219 kg ha⁻¹ a 6.051 kg ha⁻¹. O fator radiação solar foi determinante para estes resultados, uma vez que, ocorreu diferentes valores de radiação solar global durante o período de simulação pelo modelo CERES-Maize. Corroborando com Freitas et al., (2001), ao avaliarem o efeito da radiação solar sobre a produtividade da cultura do milho simuladas pelo modelo CERES-Maize e, observaram as diferenças de valores da radiação solar global média influencia os valores das produtividades da cultura do milho.

Na safra de 1985/1986 (Figura 2) nota-se o maior valor de radiação solar global média durante o ciclo da cultura, $24,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e, também a menor produtividade simulada pelo modelo CERES-Maize, para os 36 anos.

Desta forma, o rendimento de grãos de milho está diretamente ligado a quantidade de radiação incidente e da proporção interceptada pelas plantas (FRANÇA et al., 1999). No entanto a eficiência com que a planta intercepta a radiação solar depende de fatores climáticos como, temperatura e disponibilidade hídrica (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

Durante as safras em que ocorreram a maior e a menor produtividade da cultura do milho pipoca, foram analisados os aspectos que contribuíram para esta diferença na produtividade de grãos. Na Figura 3 é apresentada a precipitação total ocorrida durante os anos de maior e menor produtividade, 1981/1982 e 1985/1986, respectivamente.

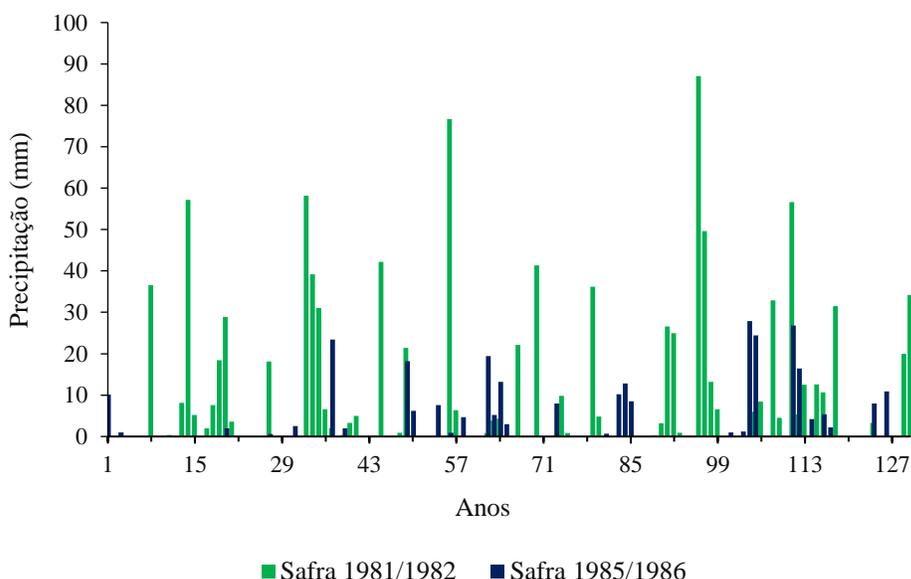


Figura 3. Distribuição pluviométrica para os anos agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.

A maior produtividade para o híbrido IAC 125 foi obtida no período compreendido entre os anos 1981/1982, sendo a produtividade de 6.051 kg ha^{-1} . Neste período, as precipitações foram bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura, totalizando $916,4 \text{ mm}$.

Segundo Ávila et al., (2011) quando não ocorre limitação hídrica durante o ciclo do milho há a probabilidade de se alcançar elevadas produtividades. Além disso, a ausência do déficit

hídrico, durante o período de pendoamento e enchimento de grão, condição está considerada ideal, pode ter contribuído para não penalizar a produtividade simulada (EMBRAPA, 2004).

A menor produtividade foi de 1.219 kg ha⁻¹ e, ocorreu no período compreendido entre os anos de 1985/1986, coincidindo com o período em que a precipitação totalizou apenas 386,3 mm. Este fato, pode ter provocado à queda de produção de grãos, devido a distribuição irregular de chuvas ao longo do ciclo da cultura, não atingindo a necessidade da cultura que fica entre 400 mm e 800 mm bem distribuídos (ÁVILA et al., 2011), permitindo então a penalização da produção simulada pelo modelo.

Analisando o índice de área foliar (IAF) durante a safra, de maior e menor produtividade, ao longo do ciclo da cultura (Figura 4) observa-se diferenças entre os valores de IAF para as duas safras. Nota-se que na safra de 1981/1982, o valor de IAF máximo, foi alcançado aos 68 dias após a semeadura, cujo valor foi de 5,14 m² m⁻². Na safra de 1985/1986 o valor de IAF máximo foi de 3,56 m² m⁻² e, ocorreu 62 dias após a semeadura.

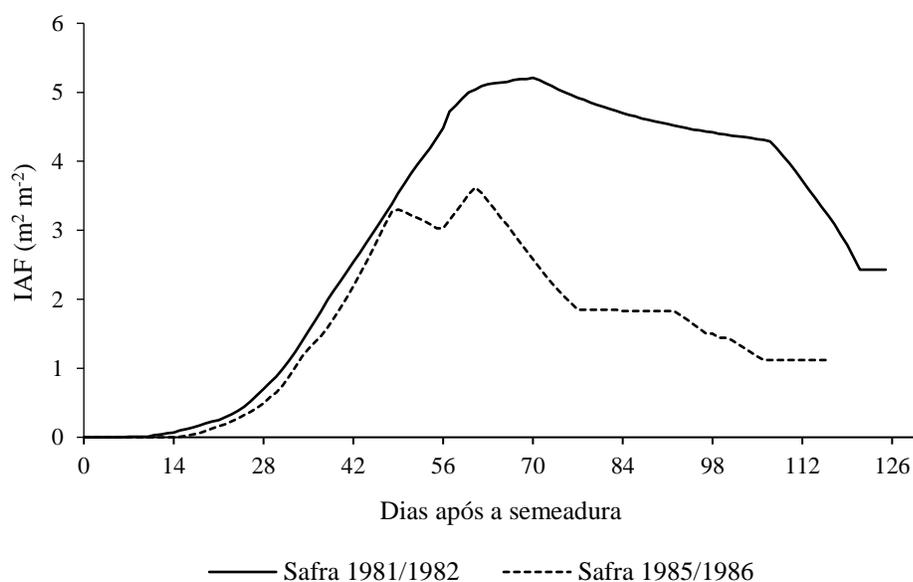


Figura 4. Índices de área foliar, simulados para as safras de 1981/1982 e 1985/1986.

A diferença de valores de IAF podem ser justificadas em decorrência do déficit hídrico mais intenso durante a safra de 1985/1986. Esses resultados corroboram com os dados de Bergamaschi et al., (2006), ao avaliarem o impacto do déficit hídrico no rendimento do milho e concluírem que

o déficit hídrico durante o período vegetativo, reduz o crescimento do milho em função do decréscimo da área foliar e da biomassa.

Quando a planta passa por uma fase de déficit hídrico, uma das respostas mais significativas consiste no decréscimo da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração na senescência e abscisão das folhas (TAIZ & ZEIGLER, 2006). Vários trabalhos realizados com a cultura do milho, registraram redução do IAF em decorrência do déficit hídrico, visto que a expansão foliar é muito sensível ao déficit hídrico.

Na Tabela 7, está apresentada a comparação dos valores das médias de radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), florescimento e ciclo da cultura (dias), para as safras de maior e menor produtividade. Pode-se observar que, as variáveis radiação solar, temperatura máxima e mínima apresentam valores superiores para a safra de menor produtividade. Por outro lado, as variáveis precipitação e ciclo apresentam valores maiores para a safra de maior produtividade.

Tabela 7. Valores da radiação solar, temperatura máxima e mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1981/1982 e 1985/1986, respectivamente

	Safra 1981/1982	Safra 1985/1986
Radiação Solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	22,4	24,7
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	29,0	33,6
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	16,1	19,0
Precipitação (mm)	916,4	386,3
Florescimento (dias)	53	46
Ciclo (dias)	125	116

A duração dos períodos simulados, referente a semeadura até o florescimento e o ciclo da cultura, foram menores para a safra agrícola de 1985/1986, cujos valores são 45 dias e 116, respectivamente. Para a safra de 1981/1982, os períodos simulados foram mais longos, 53 e 125 dias, respectivamente. O aumento de 8 dias na duração do ciclo da safra de maior produtividade, caracteriza o fato da cultura ter se desenvolvido em períodos com menores temperaturas do ar e,

consequentemente o acúmulo térmico necessário ser mais lento, o que pode ter influenciado o aumento de dias no ciclo do híbrido IAC 125 para a safra de 1981/1982.

Resultados obtidos por Didonet et al. (2001) vão ao encontro com os obtidos neste estudo ao afirmarem que, baixas temperaturas do ar prolongam as fases fenológicas do milho e proporcionam maior tempo para a planta produzir e translocar fotoassimilados.

Por outro lado, o período de florescimento da safra de maior e menor produtividade, apresentaram valores similares, 72 e 71 dias, respectivamente, isso ocorreu devido as exigências térmicas da cultura terem sido atendidas, sendo assim não se observou prolongamento da fase vegetativa, o que consequentemente poderia ter afetado o rendimento de grãos.

Na Figura 5 está apresentada a radiação solar global, durante o ciclo da cultura, para as safras de 1981/1982 e 1985/1986, quando ocorreram, respectivamente, a maior e a menor produtividade. Observa-se a predominância de valores mais elevados de radiação solar global durante a safra de 1985/1986.

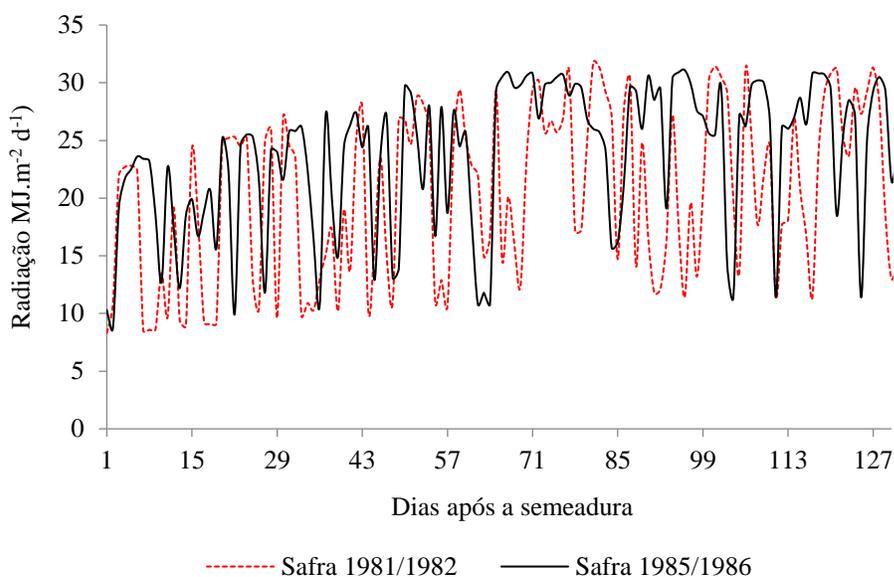


Figura 5. Radiação solar global durante os anos agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.

A predominância de valores mais elevados de radiação solar, durante a safra agrícola de 1985/1986 indicam que durante este período, houve menor incidência de dias, com céu nublado e, consequentemente menor ocorrência de precipitações pluviométricas durante esta safra.

A radiação solar é uma das propriedades de maior importância para o milho, pois quando o processo fotossintético é inibido, a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial de produção (EMBRAPA 2010b).

A produtividade da cultura é dependente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas e, da eficiência com as folhas convertem a energia radiante em energia química. Porém, esta eficiência depende de fatores como disponibilidade hídrica e temperatura.

Na Tabela 8, estão apresentados os valores máximo, mínimo e a média da radiação solar global e, seus respectivos desvios e coeficientes. A radiação solar global média, durante o período do florescimento, da safra de 1981/1982 foi inferior a safra 1985/1986, sendo 23,6 e 24,1 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente.

Tabela 8. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar global média (MJ m⁻² d⁻¹) durante o florescimento até a maturidade fisiológicas e, seus respectivos desvios e coeficientes de variação para as safras agrícolas de 1990/1991 e 1985/1986

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1981/1982	23,6	3,78	15,98	24,9	17,7
1985/1986	24,1	3,31	13,74	26,9	21,3

A maior sensibilidade do milho a variação de luminosidade é observada no início do período reprodutivo, 10 – 15 dias após o pendoamento (CRUZ et al., 2011). Desta forma, a baixa incidência de radiação solar causados por períodos excessivamente nublados, podem influenciar negativamente a produtividade do milho pipoca.

Considerando a produtividade de grãos simulada pelo modelo CERES-Maize, o desempenho do híbrido foi variável em função da temperatura. Durante o ciclo da safra de menor produtividade, 1985/1986, as temperaturas mais elevadas foram determinantes para este resultado, uma vez que acelerou o crescimento e o desenvolvimento do híbrido, reduzindo o assim o número de dias desde a semeadura até o florescimento

Na Figura 6, pode ser observada a temperatura média durante o ciclo da cultura para as safras de 1981/1982 e 1985/1986.

A safra de 1985/1986 apresentou predominância de temperaturas mais elevadas durante o ciclo do híbrido IAC 125, o que fez com que o ciclo da cultura apresentasse uma menor duração e, conseqüentemente uma menor produtividade.

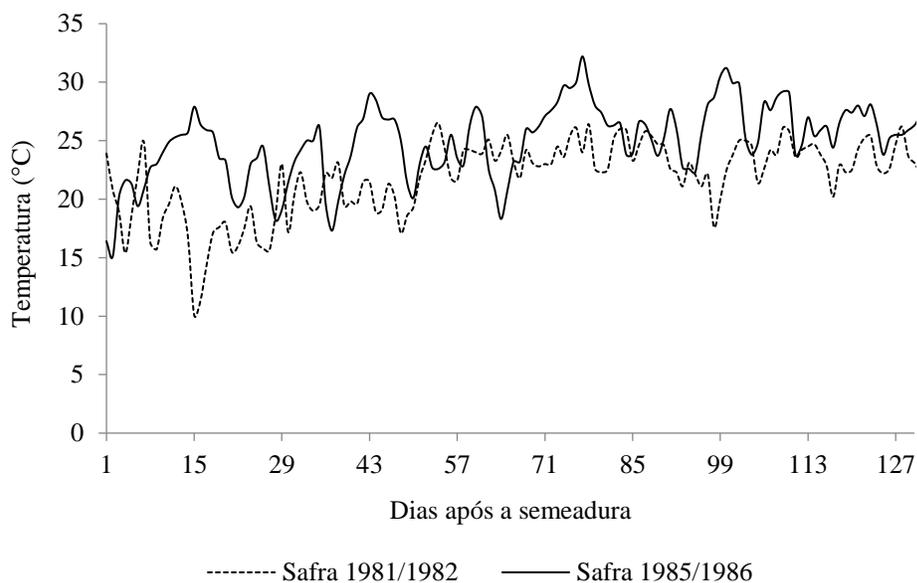


Figura 6. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1981/1982 e 1985/1986.

Concordando com os resultados obtidos neste estudo, Hunter et al., (1977), avaliando o efeito do fotoperíodo e da temperatura nos estádios vegetativos e reprodutivos do milho, concluíram que sob temperaturas menores a cultura do milho apresentou maiores rendimentos, em razão do aumento do comprimento do período de enchimento de grãos.

Marques et al., (2013) avaliando o efeito da época de semeadura no ciclo fenológico e na produtividade do milho pipoca, verificaram que a redução da temperatura promoveu o alongamento do ciclo fenológico e conseqüentemente reduziu a produtividade final.

Segundo Rodrigues & Didonet (2003) quando não ocorre deficiência hídrica e nutricional, os principais fatores que influenciam o número de grãos são a interceptação da radiação solar e a temperatura. Desta forma, para se obter o máximo número de grãos por unidade de área, a área foliar máxima das plantas deve coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, e com temperaturas diurnas entre 19 °C e 35 °C e entre 13 °C e 24 °C durante a noite.

Thompson (1986) averiguando uma série de dados climáticos e agrônômicos da cultura do milho, concluiu que anos com baixa temperaturas estiveram associadas, em geral, com maiores rendimentos.

4.2.2 Simulação realizada para data de semeadura em 21 de outubro

Para o híbrido IAC 125 semeado em 21 de outubro a produtividade simulada e a radiação solar global média. A produtividade média, para os 36 anos, foi de 4.421,41 kg ha⁻¹ e o desvio padrão foi de 1.214,65 kg ha⁻¹; a radiação solar global média, foi de 23,07 MJ m⁻² d⁻¹ e o desvio padrão de 1,00 MJ m⁻² d⁻¹.

Dentro desta época de semeadura, as produtividades variaram de 1.019 kg ha⁻¹ a 6.132 kg ha⁻¹. Os valores das produtividades simuladas e a radiação solar global média durante os 36 anos agrícolas, podem ser observados na Figura 7.

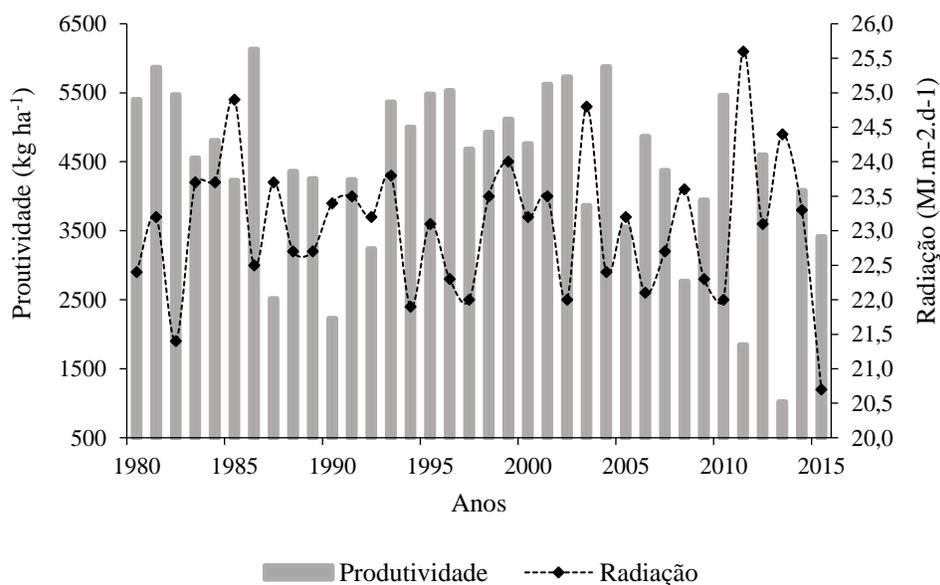


Figura 7. Valores das produtividades simuladas e da radiação solar global média para o período de 1980 a 2015 para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.

As variações das produtividades simuladas pelo modelo CERES-Maize, para os 36 anos agrícolas, podem ser explicadas em função dos diferentes valores de radiação solar global média durante o ciclo da cultura. Outros trabalhos mostram que a radiação solar global média, influencia os valores de produtividade simulada pelo modelo CERES-Maize. Freitas et al., (2001) avaliando a influência da radiação sobre a produtividade do milho simulada, concluíram que a diferença de radiação ocorrida no período de florescimento até a maturidade fisiológica, foi determinante para as diferenças na produtividade da cultura do milho.

Na safra de 2010/2011, ocorreu o maior valor de radiação solar global média durante o período de simulação do ciclo da cultura, $25,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, esta safra apresentou a segunda menor produtividade simulada para a cultura do milho pipoca. Este resultado demonstra, que o rendimento de milho é afetado pela quantidade de radiação incidente e dependente da proporção interceptada pelas plantas (FRANÇA, 1999).

Além disso, indica que a radiação solar, não é a única variável que está afetando a produtividade de grãos do híbrido IAC 125, para essa época de semeadura.

Durante as safras em que ocorreram a maior e a menor produtividade para a cultura do milho pipoca foram analisados os aspectos que contribuíram para esta diferença na produtividade de grãos. A maior produtividade e a menor produtividade foram obtidas nas safras compreendidas entre os anos 1986/1987 e 2013,2014, sendo a produtividade de 6.132 kg ha^{-1} e 1.019 kg ha^{-1} , respectivamente.

Na Figura 8 é apresentada a precipitação pluviométrica total ocorrida durante as safras de maior e menor produtividade, 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente.

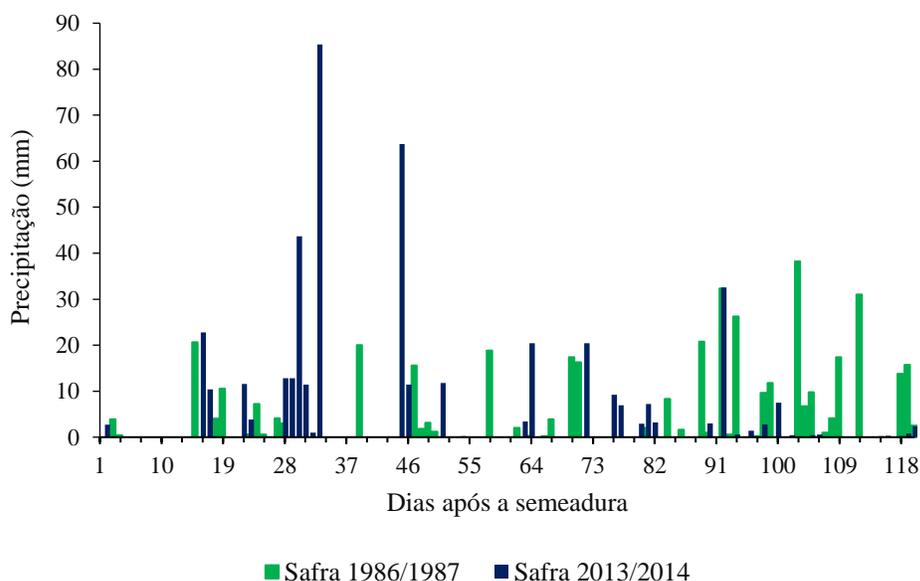


Figura 8. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.

As condições climáticas, durante a safra de maior produtividade foram caracterizadas por índices pluviométricos bem distribuídos ao longo do ciclo da cultura, totalizando 621,2 mm. Este volume de precipitação favoreceu a condição ideal para o cultivo do milho pipoca.

A safra de menor produtividade coincidiu com o período de baixas precipitações, totalizando um volume de 355,2 mm. É importante destacar que durante o período compreendido entre o pendoamento e o enchimento de grãos, a precipitação foi apenas de 3,9 mm, cujo volume pode ter comprometido o desenvolvimento das plantas de milho pipoca e fez com que o modelo penalizasse a produtividade da cultura nessa safra.

Bergamaschi et al., (2006) avaliando o impacto do déficit hídrico, no rendimento de grãos de milho, verificaram que durante o período reprodutivo o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, uma vez que nesse período estão sendo formados os componentes de rendimento.

De acordo com Cruz et al., (2004) é importante que durante o período do pendoamento e enchimento de grãos a cultura não sofra déficit hídrico, visto que o déficit hídrico neste período pode ocasionar perdas de até 50 % de rendimento dos grãos.

Na figura 9, observa-se os índices de área foliar (IAF) para as safras de 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente.

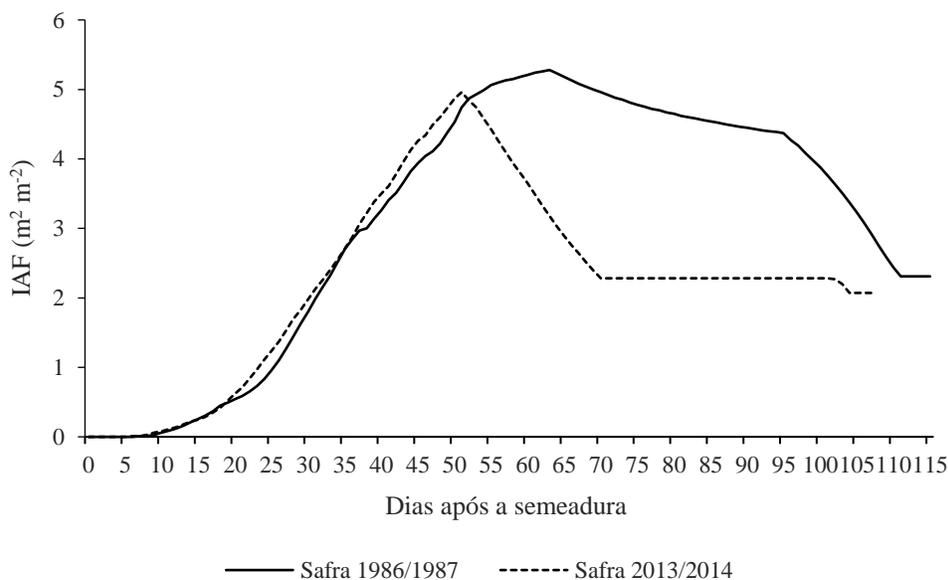


Figura 9. Índices de área foliar (IAF), simulados para a safra 1986/1987 e 2013/2014.

Observado o valor do IAF simulado para o híbrido de milho pipoca, nota-se diferentes valores, entre as duas safras analisadas. Na safra de 1986/1987 o maior valor de índice de área foliar, ocorreu aos 65 dias após a semeadura, sendo $5,36 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Para a safra de 2013/2014 o índice de área foliar máximo obtido, foi aos 62 dias, apenas com $4,96 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, porém nessa safra foram observadas precipitações irregulares, o que fez com que o modelo penalizasse o IAF.

Estes resultados demonstram a influência que o déficit hídrico exerce na cultura do milho pipoca, uma vez que as precipitações irregulares foram determinantes para que o modelo penalizasse o IAF. O aumento do índice de área foliar é uma das formas de aumentar a captação de radiação solar e aumentar a produção de biomassa, assim toda vez que o IAF é influenciado negativamente, ocorre a redução da produtividade, visto que as folhas são essenciais para o processo fotossintético.

Comparando-se os valores das médias da radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), florescimento (dias) e ciclo da cultura do milho pipoca (dias), para as safras de maior e menor produtividade (Tabela 9). Verificou-se que as variáveis radiação solar, temperatura máxima e mínima foram maiores para a safra agrícola de menor produtividade. Para este período, ocorreu distribuição irregular da precipitação e, conseqüentemente resultou em um menor número de dias com céu nublado e parcialmente nublado.

Tabela 9. Valores da radiação solar, temperatura máxima e mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1986/1987 e 2013/2014, respectivamente

	Safra 1986/1987	Safra 2013/2014
Radiação Solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	22,5	24,4
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	29,8	31,6
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	20,0	20,7
Precipitação (mm)	621,2	355,2
Florescimento (dias)	64	61
Ciclo (dias)	115	107

O período da semeadura até a maturidade fisiológica foi de 115 e 107 dias, respectivamente para a safra de maior e menor produtividade simulada. Quanto ao período de florescimento, observou-se que o florescimento durante a safra de maior produtividade, 1986/1987, ocorreu aos

64 dias. Enquanto para a safra de menor produtividade, 2013/2014, o florescimento ocorreu aos 61 dias. A duração do período do florescimento até a maturidade fisiológica na safra 1986/1987 foi de 52 dias, enquanto que na safra de 2013/2014 foi apenas de 47 dias, pode-se observar uma redução de 5 dias do ciclo, para safra de menor produtividade.

O menor número de dias de exposição das plantas a radiação solar durante a safra de 2013/2014, influenciou diretamente a produtividade de grãos. Esse resultado corrobora com informações relatadas por Shaw (1998) que, durante a fase reprodutiva, o menor tempo de exposição das plantas à irradiância pode influenciar na redução da atividade metabólica nas plantas e, conseqüentemente influenciar a produtividade final.

Na Figura 10, constam os valores referente à radiação solar global durante o ciclo do híbrido de milho pipoca, IAC 125, para as safras de 1986/1987 e 2013/2014, quando ocorreram a maior e a menor produtividade, respectivamente. Pode-se observar a predominância de valores mais elevados de radiação solar global durante a safra 2013/2014.

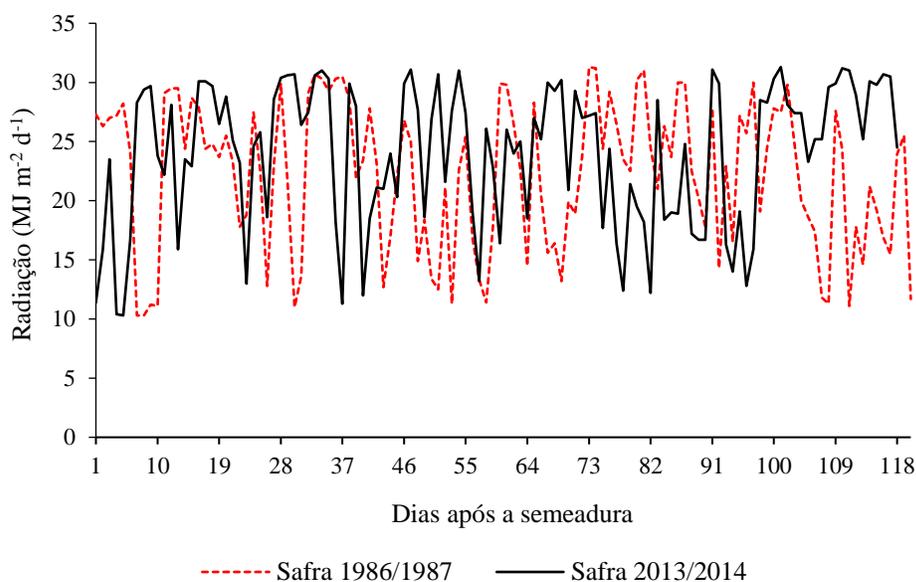


Figura 10. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.

A predominância de valores inferiores de radiação solar para a safra de 1986/1987, em relação à safra de 2013/2014, indicam que durante este período ocorreu maior frequência de precipitações pluviométricas, que contribuíram positivamente para a maior produtividade.

Segundo Muchow (1990) o acúmulo de biomassa é proporcional a quantidade de radiação interceptada. Para o milho expressar sua capacidade máxima na produção de biomassa, a planta deve apresentar estrutura de interceptação da radiação disponível, que será obtida quando evidenciado pelo menos 85 a 90% de sua área foliar máxima (FANCELLI, 2003) e com a maior disponibilidade de radiação solar (RODRIGUES; DIDONET, 2003).

Neste sentido, Freitas et al., (2001) observaram que a diferença de radiação ocorrida durante o período de florescimento até a maturidade fisiológica foi determinante para que ocorressem diferenças na produtividade.

Ao analisar os dados da radiação solar global (Tabela 10) durante o período do florescimento, nota-se que as duas safras apresentaram diferentes valores para esta variável. Na safra de 1986/1987, o valor da radiação solar global durante o período do florescimento foi inferior em relação à safra de 2013/2014.

Tabela 10. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar global média ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) durante florescimento até a maturidade fisiológicas e seus respectivos desvios e coeficientes de variação para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1986/1987	22,7	2,82	12,41	25,9	20,6
2013/2014	23,2	1,44	6,22	24,0	21,5

Todavia, na safra de menor produtividade, 2013/2014, o período de florescimento apresentou-se menor (Tabela 9), o que contribui para redução da luminosidade nessa fase, corroborando com Cruz et al., (2011) ao afirmarem, que a maior sensibilidade à variação luminosa ocorre no início da fase reprodutiva, ou seja, 10-15 dias após o pendoamento, ocasionando a diminuição da massa dos grãos.

Na Figura 11, pode ser observada a temperatura média durante o ciclo da cultura para as safras de 1986/1987 e 2013/2014. A safra de 2013/2014 apresentou predominância de temperaturas mais elevadas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura. A temperatura média, para este período foi de 26,1 °C, enquanto para safra de 1986/1987 foi de 24,9 °C.

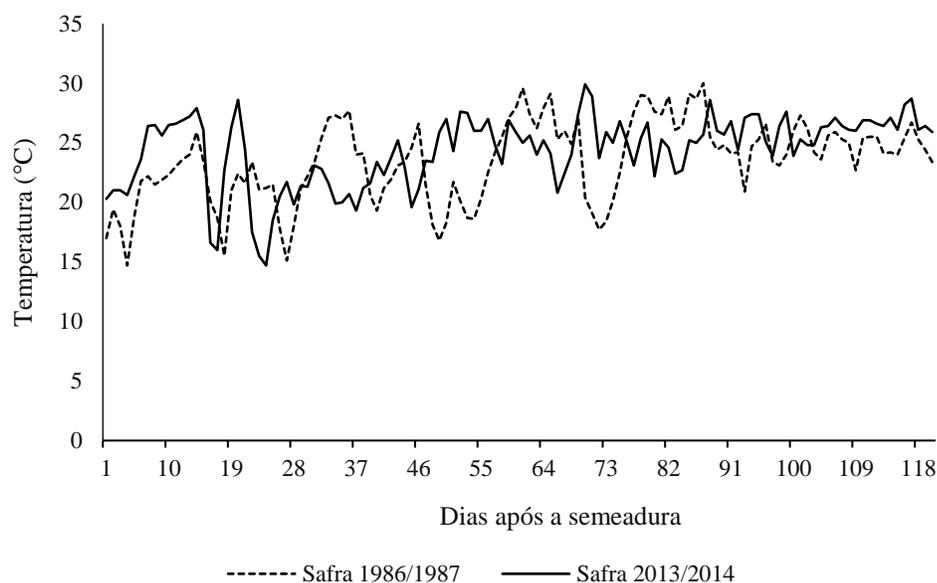


Figura 11. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1986/1987 e 2013/2014.

A diferença de temperatura entre as duas safras agrícolas foi determinante para que o ciclo da cultura de menor produtividade apresentasse uma menor duração. Segundo Muchow (1990) o aumento da temperatura durante o período de enchimento de grãos ocasiona, aumento na taxa de crescimento do grão e diminuição da duração do período de enchimento de grãos.

A temperatura limita a fonte produtora de assimilados e altera a partição de assimilados, que conseqüentemente reflete na acumulação de massa seca nos grãos (TOLLENAAR, 1989). Outros trabalhos demonstraram que o aumento da temperatura influencia na produtividade de grãos. Segundo Shaw (1977) nos meses mais quentes, em que as temperaturas variam de 21 a 27 °C, são observadas as maiores produtividades de milho. Ainda, de acordo com o autor, não existe um limite máximo de temperatura para a produção do milho.

Muchow (1990) afirmou que o aumento da temperatura média diária de 25 a 32°C, reduz a taxa de crescimento e a duração do período de enchimento de grãos. Hunter et al. (1977) observaram maior rendimento de grãos com temperaturas mais baixas, em razão de um aumento do comprimento do período de enchimento dos grãos. A temperatura mais baixa contribui para o aumento do período de enchimento grãos, resultando em um aumento da produção de matéria seca após o florescimento, associado com uma maior duração do período de enchimento de grãos.

4.2.3 Simulação para data de semeadura em 14 de novembro

Na Figura 12, pode-se observar os valores das produtividades simuladas e a radiação solar global média durante os 36 anos agrícolas. A produtividade média, para os 36 anos, foi de 4.703,31 kg ha⁻¹ e o desvio padrão foi de 1.232,75 kg ha⁻¹; a radiação solar global média, foi de 22,77 MJ m⁻² d⁻¹ e o desvio padrão de 1,12 MJ m⁻² d⁻¹.

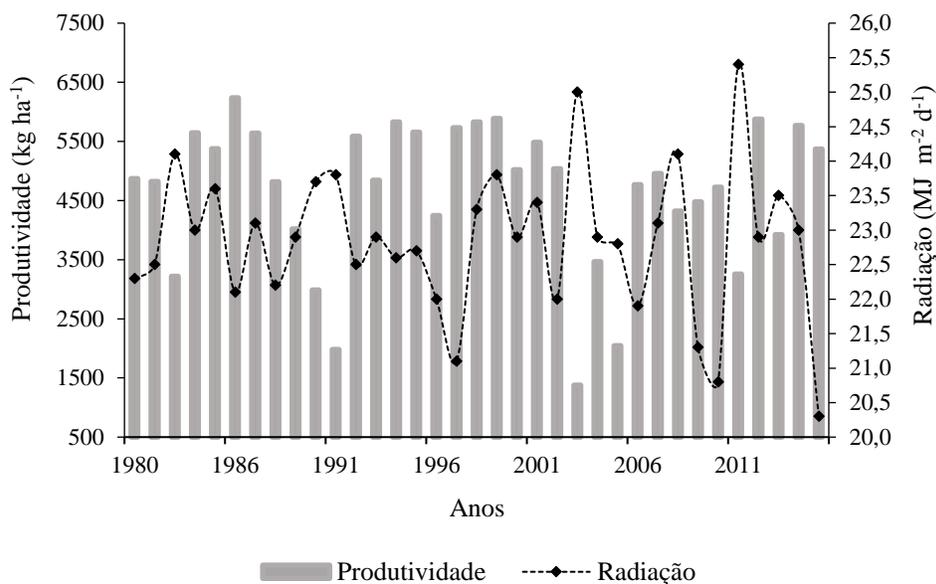


Figura 12. Valores das produtividades simuladas e da radiação solar global média para o período de 1980 a 2015 para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.

Considerando a produtividade simulada, o híbrido de milho pipoca apresentou variações durante os anos agrícolas, que foi variável em função dos distintos valores de radiação solar. Desta forma, o fator radiação solar foi determinante para estes resultados, uma vez que, a radiação solar influencia a produtividade final da cultura do milho pipoca.

Na safra de 2011/2012, ocorreu o maior valor de radiação solar durante o ciclo da cultura do milho pipoca, simulado pelo modelo CERES-Maize, sendo 25,5 MJ m⁻² d⁻¹. O valor de radiação observado nesta safra é superior ao valor de radiação ocorrido na safra que apresentou a menor produtividade. Este resultado, demonstra que a quantidade de radiação incidente e a proporção interceptada pelas sãs são determinantes fundamentais para o rendimento (FRANÇA et al., 1999).

Para os períodos que apresentaram maior e menor produtividade, foram analisados os fatores que contribuíram para esta diferença na produtividade de grãos. Na Figura 13 é apresentada a precipitação pluviométrica total ocorrida durante as safras de maior e menor produtividade, 1982/1983 e 2003/2004, respectivamente.

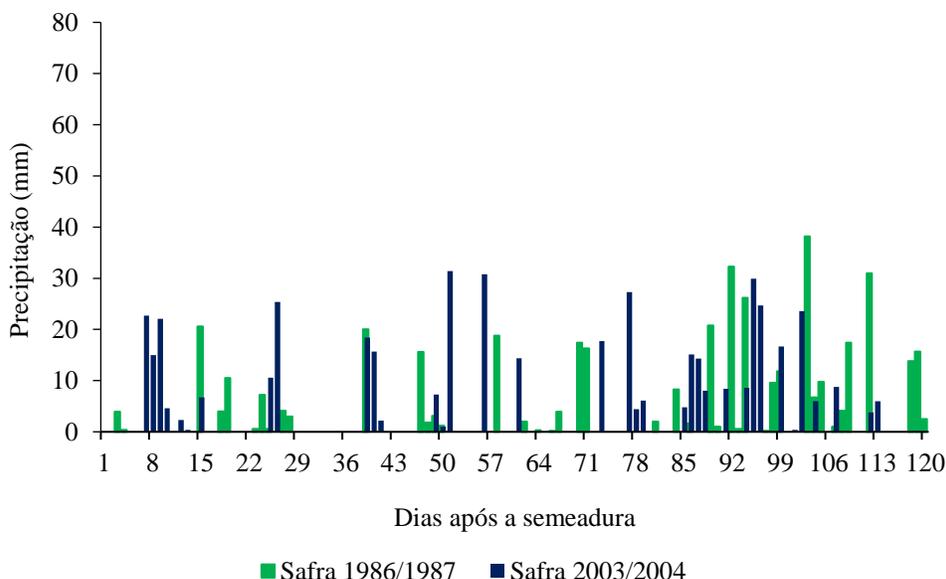


Figura 13. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004.

Dentro desta época de semeadura a maior produtividade simulada para o híbrido de milho pipoca foi obtida na safra compreendida entre os anos 1986/1987, sendo a produtividade de 6.236 kg ha⁻¹. As condições climáticas durante esse período foram caracterizadas por precipitações pluviométricas bem distribuídas ao longo do ciclo, com 641,8 mm, condição considerada ideal para que a cultura atinja altos rendimentos.

A menor produtividade simulada foi obtida no período compreendido entre 2003/2004, cujo valor foi de 1.377 kg ha⁻¹. As baixas precipitações foram determinantes para este resultado, uma vez que as precipitações totalizaram apenas 367,4 mm, considerada abaixo da condição ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Desta forma, as variações das produtividades observadas para a safra agrícola de maior e menor produtividade, podem ser explicadas pelo comportamento das precipitações durante o ciclo do híbrido de milho pipoca.

Quando ocorre déficit hídrico, principalmente no estágio vegetativo, ocasiona atraso na ocorrência de estádios fenológicos e aumenta a necessidade do maior acúmulo de graus-dia para que a cultura complete o seu ciclo. Além de afetar negativamente o índice de área foliar e o acúmulo de matéria seca aérea (FRANÇA et al., 1999).

Na Figura 14 estão apresentados os valores do índice de área foliar (IAF) para as safras de maior e menor produtividade. Analisando o valor do IAF durante o ciclo da cultura do milho pipoca, observa-se que as duas safras apresentaram distintos valores.

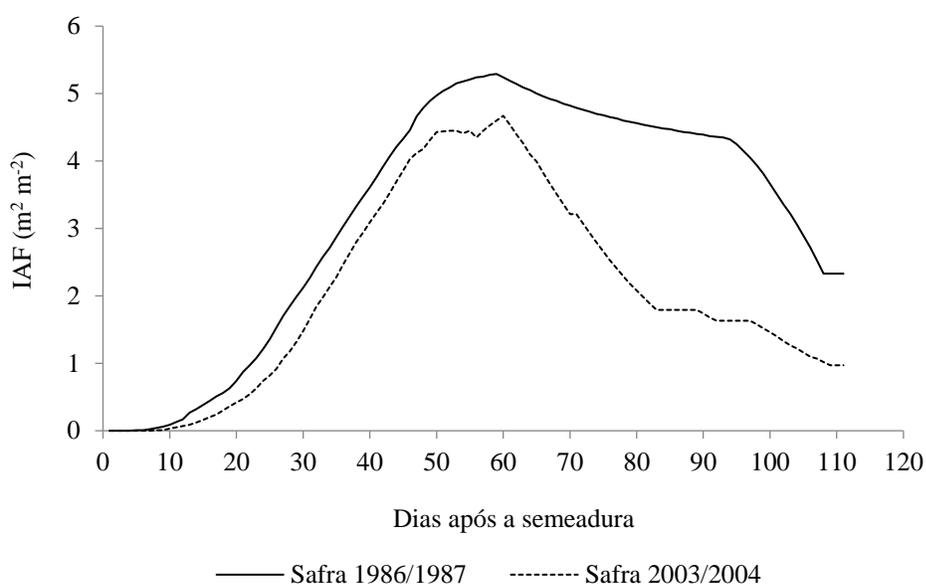


Figura 14. Índices de Área Foliar, simulados para a safra 1986/1987 e 2003/2004.

A safra de 1986/1987, maior produtividade, destaca-se por apresentar valor máximo do IAF obtido, aos 67 dias após a semeadura, sendo $5,29 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$. Por outro lado, a safra 2003/2004, apresentou valor máximo de IAF observado, aos 64 dias após a semeadura, sendo $4,67 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$.

Os diferentes valores de IAF encontrados nas duas safras, podem ser justificados em razão da distribuição pluviométrica ocorrida no período avaliado. Na safra 2003/2004 foi verificada maior influência da menor distribuição pluviométrica, para o valor do IAF, o que corrobora com França et al., (1999) ao afirmar que a condição de estresse hídrico reduz inicialmente a formação do IAF por redução da expansão da área foliar.

Em condições de estresse hídrico, ocorre a redução da eficiência de utilização da radiação (RUSSEL et al., 1989), em consequência da redução da área foliar. Desta forma, qualquer fator que interfira negativamente reduzindo a área foliar, influencia diretamente o processo de enchimento de grãos e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

A comparação dos valores das médias de radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), florescimento (dias) e ciclo da cultura (dias), para a safra agrícola de maior e menor produtividade, encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11. Valores da radiação solar, temperatura máxima e mínima, precipitação, florescimento e ciclo das safras de 1986/1987 e 2003/2004, respectivamente

	Safra 1986/1987	Safra 2003/2004
Radiação Solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	22,1	25,0
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	29,9	30,5
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	20,6	20,3
Precipitação (mm)	641,8	367,4
Florescimento (dias)	60	64
Ciclo (dias)	111	111

Pode-se observar que, as variáveis radiação solar, temperatura máxima e mínima e, florescimento apresentaram maiores valores para a safra de menor produtividade. Apenas a variável precipitação apresenta valor superior em relação à safra de menor produtividade. O ciclo simulado de semeadura até a maturidade fisiológica, das safras de 1986/1987 e 2003/2004, foi igual para as duas safras agrícolas, 111 dias.

Durante o ciclo da cultura, para as safras 1986/1987 e 2003/2004, o florescimento ocorreu aos 60 dias e 64 dias, respectivamente. Nota-se que para a safra de menor produtividade, ocorreu o alongamento do período vegetativo em 4 dias e, este resultado pode ser consequência da distribuição irregular da precipitação durante este período.

Por outro lado, analisando a duração do período do florescimento até a maturidade fisiológica, nas safras de 1986/1987 e 2003/2004, nota-se que estes períodos apresentaram uma duração de 51 dias e 47 dias, respectivamente. A safra de menor produtividade apresentou uma redução de 4 dias para o período do florescimento em relação à safra de maior produtividade.

A menor produtividade simulada pelo CERES-Maize para a safra 2003/2004, pode ser consequência da redução do período reprodutivo. Segundo Shaw (1998) durante a fase reprodutiva, o menor tempo de exposição das plantas à irradiância pode influenciar na redução da atividade metabólica das plantas e, conseqüente afetar a produtividade final.

Na Figura 15 pode-se observar os valores da radiação solar global média, durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004, quando ocorreram respectivamente a maior e a menor produtividade. A radiação solar global média, durante o ciclo da cultura do milho pipoca durante a safra de 1986/1987 foi de $22,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, enquanto para a safra 2003/2004, ano de menor produtividade, foi de $25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

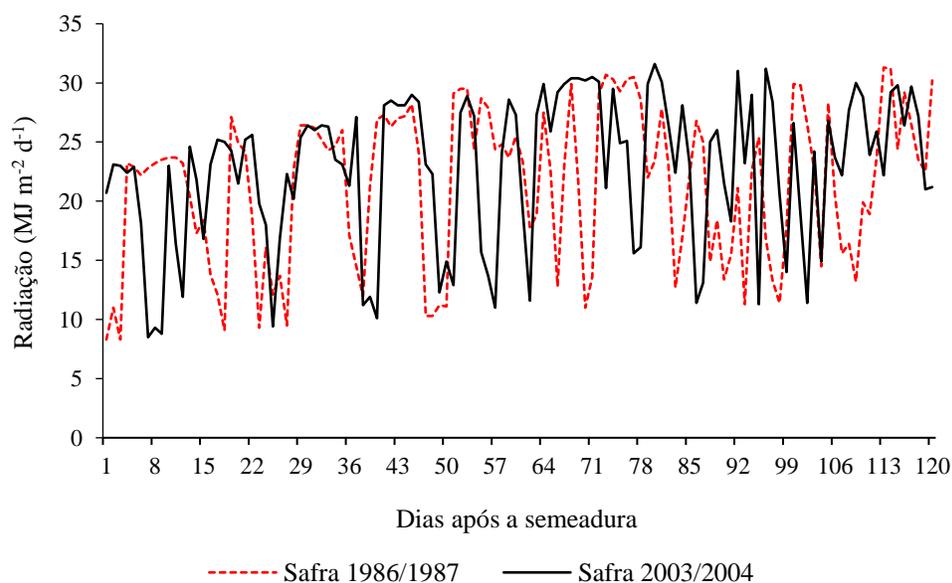


Figura 15. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004.

De maneira geral, nota-se que na safra de menor produtividade, a radiação solar global, durante o ciclo da cultura, foi superior a safra de maior produtividade. Freitas et al., (2001) avaliando a influência da radiação solar sobre a produtividade da cultura do milho, observaram que a diferença de radiação ocorrida durante o período de florescimento até a maturidade fisiológica foi determinante para que ocorressem diferenças na produtividade.

Ao analisar os dados da radiação solar (Tabela 12), nota-se que a média da radiação solar global no período de florescimento até a maturidade fisiológica para o ano de 2003/2004 foi superior ao de 1986/1987.

Tabela 12. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar global média ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) durante florescimento até a maturidade fisiológicas e seus respectivos desvios e coeficientes de variação para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1986/1987	21,65	3,80	17,55	25,6	16,9
2003/2004	23,9	3,55	15,03	26,4	18,3

Na Figura 16 pode-se observar a temperatura média durante o ciclo da cultura híbrido IAC 125 para as safras agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004.

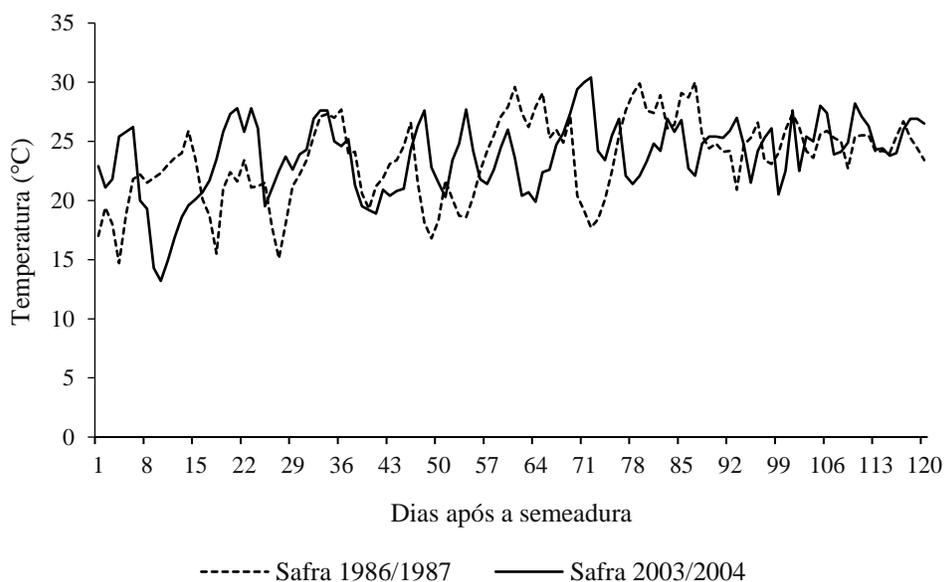


Figura 16. Valores da temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1986/1987 e 2003/2004.

Durante a safra de menor produtividade observa-se que as temperaturas foram mais elevadas e, conseqüentemente acelerou o ciclo do híbrido de milho pipoca. Além disso, observa-se que a temperatura elevada contribuiu para a aceleração do estágio reprodutivo.

4.2.4 Simulação realizada para data de semeadura em 08 de dezembro

Para data de semeadura em 08 de dezembro a produtividade simulada e a radiação solar global média. A produtividade média, para os 36 anos, foi de 4.600,83 kg ha⁻¹ e o desvio padrão foi de 940,73 kg ha⁻¹. A radiação solar global média, foi de 22,16 MJ m⁻² d⁻¹ e o desvio padrão de 1,12 MJ m⁻² d⁻¹.

Na Figura 17, pode-se observa os valores das produtividades simuladas e a radiação solar global média durante os 36 anos agrícolas, e também o valor da produtividade média observada no experimento, na safra 2015/2016.

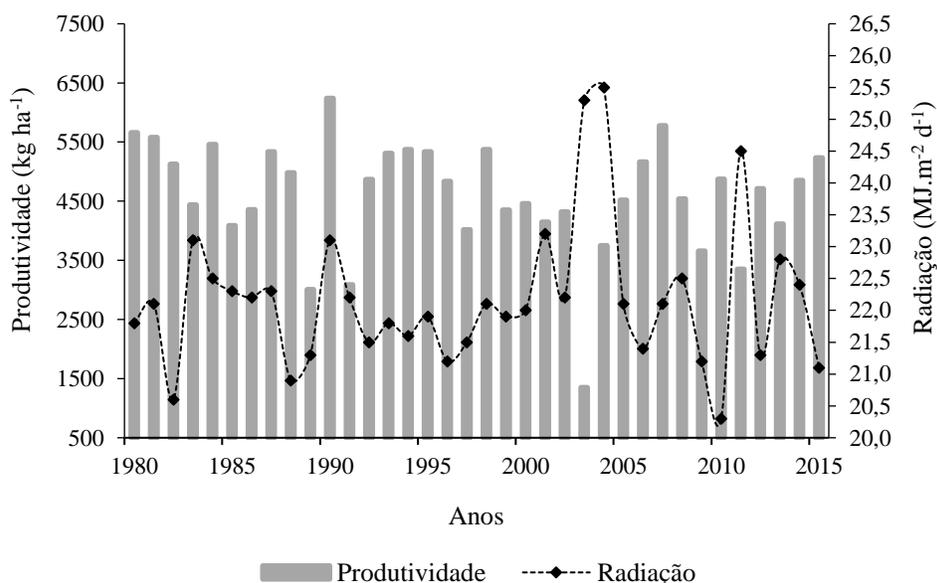


Figura 17. Valores das produtividades simuladas e da radiação solar global média para o período de 1980 a 2015 para a região de Paiçandu, Estado do Paraná.

Dentro desta data de simulação, as produtividades médias simuladas pelo modelo CERES-Maize para os 36 anos, apresentaram variações ao longo do período simulado. As variações das produtividades, podem ser justificadas em função dos diferentes valores de radiação solar global durante o ciclo do híbrido de milho pipoca.

Os resultados deste estudo vão ao encontro com os obtidos por Freitas et al., (2001) ao afirmarem que a diferença de valores de radiação solar global média influencia os valores de produtividade da cultura simulada pelo modelo CERES-Maize.

Na safra 2003/2004 e 2004/2005, ocorreram valores de radiação solar similares, cujo valores foram de $25,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $25,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. No entanto, a produtividade de grãos obtida na safra 2004/2005, foi superior em relação à obtida na safra 2003/2004. Esse resultado demonstra a influência que a quantidade de radiação incidente e proporção interceptada pelas plantas exercer sobre o rendimento de grãos na cultura do milho pipoca (FRANÇA et al., 1999).

Contudo, podemos notar que a interceptação da radiação é dependente de outros fatores como, o déficit hídrico, visto que este fator afeta o crescimento da área foliar (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014) e, conseqüentemente influencia o processo de fotossíntese. A planta sob déficit, fecha os estômatos e, elimina os mecanismos de resfriamento, aumentando conseqüentemente a temperatura, essa estratégia da planta afeta a respiração e, como isso ocorre o maior consumo de reservas, afetando diretamente a produtividade de grãos (CRUZ et al., 2011).

Na Figura 18 é apresentada a precipitação total ocorrida durante as safras de maior e menor produtividade, 1990/1991 e 2003/2004, respectivamente.

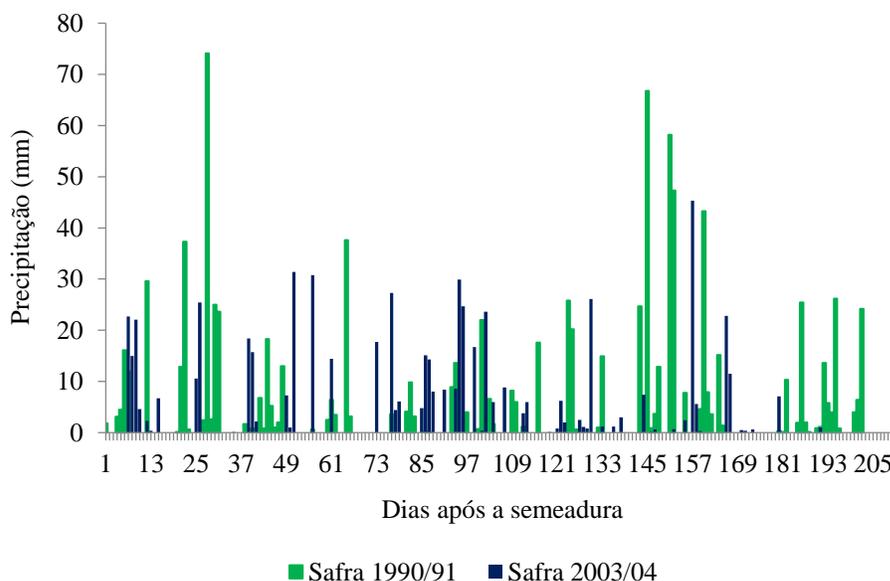


Figura 18. Distribuição da precipitação para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.

Durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho pipoca, foram analisados os aspectos que contribuíram para estas diferenças na produtividade. A maior

produtividade para o híbrido de milho pipoca foi obtida na safra compreendida entre os anos 1990/1991, sendo a produtividade de 6.240 kg ha⁻¹. Neste período as precipitações pluviométricas foram bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura, totalizando 551,9 mm, condição esta que pode ter contribuído para a maior produtividade.

De acordo com Cruz et al., (2004) a ausência de déficit hídrico, durante o período de pendoamento e enchimento de grão, contribui para o alto rendimento de produtividade.

A menor produtividade ocorreu na safra 2003/2004, cujo valor foi de 1.348 kg ha⁻¹. As precipitações neste período não foram favoráveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura, visto que as precipitações totalizaram apenas 216,8 mm, caracterizando uma distribuição irregular ao longo do ciclo, não atingindo a necessidade da cultura que fica entre 400 mm e 800 mm bem distribuídos (ÁVILA et al., 2011), permitindo assim a penalização da produtividade pelo modelo.

Além disso, no início do período do florescimento, as precipitações foram apenas de 9,0 mm, o que pode ter comprometido o desenvolvimento das plantas de milho pipoca, e desta forma fez com que o modelo penalizasse a produtividade simulada pelo modelo CERES-Maize. A cultura do milho pipoca é sensível ao déficit hídrico, principalmente no período do florescimento, podendo ocasionar até 50% de perda da produtividade.

A produtividade de grãos na safra 2003/2004 foi inferior à obtida na safra 1990/1991. Este resultado demonstra a influência que o déficit hídrico exerce sobre a produtividade da cultura do milho pipoca. Segundo França et al., (1999) o déficit hídrico durante o crescimento vegetativo em milho acarreta atraso na ocorrência de estádios fenológicos e a necessidade de maior acúmulo de graus-dia para que a cultura complete o seu ciclo, além de afetar negativamente o índice de área foliar e o acúmulo de matéria seca aérea.

Analisando o índice de área foliar (IAF) máximo para as safras de maior e menor produtividade, observou-se diferenças entre os valores de IAF (Figura 19). O valor de IAF máximo para a safra de 1990/1991 foi obtido 62 dias após a semeadura, sendo o valor de 4,81 m² m⁻². Para a safra de 2003/2004, ocorreu 60 dias após a semeadura, sendo o valor de 3,20 m² m⁻².

A variação no valor do IAF pode ser explicada em função da distribuição de chuvas, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. A condição de estresse hídrico reduz inicialmente a formação do IAF, em consequência da redução da área foliar (FRANÇA et al., 1999).

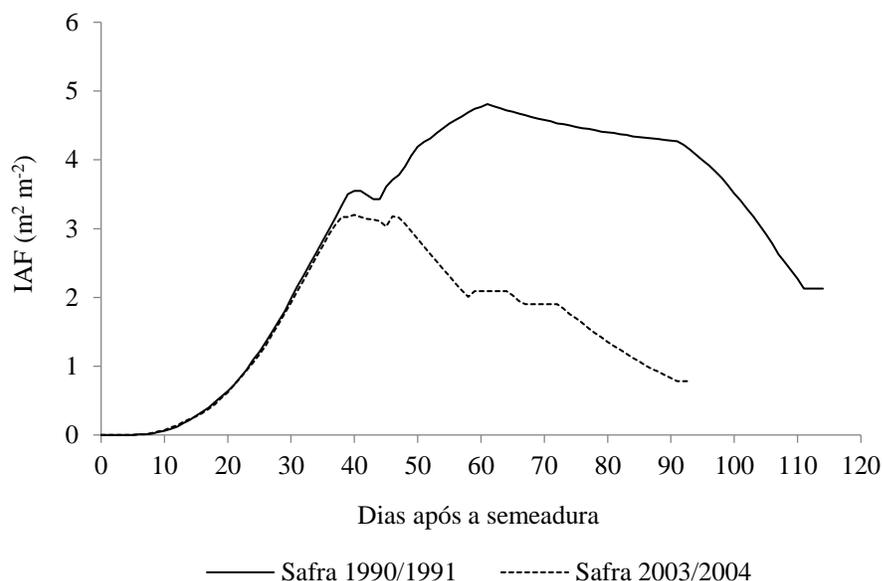


Figura 19. Índices de Área Foliar, simulados para a safra 1990/1991 e 2003/2004.

Outros trabalhos mostram, que o déficit hídrico durante o período vegetativo, reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa (BERGAMASCHI et al., 2006).

Na tabela 13 encontra-se a comparação dos valores das médias da radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), florescimento (dias) e ciclo da cultura (dias), para a safra agrícola de maior e menor produtividade.

Tabela 13. Valores da radiação solar, temperatura máxima e mínima, precipitação, florescimento e ciclo para as safras de 1990/1991 e 2003/2004, respectivamente

	Safra 1990/1991	Safra 2003/2004
Radiação Solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	23,1	25,3
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	31,4	31,7
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	17,8	19,2
Precipitação (mm)	551,9	216,8
Florescimento (dias)	62	60
Ciclo (dias)	114	93

As variáveis radiação solar, temperatura máxima e mínima apresentam valores superiores para a safra de menor produtividade, por outro lado, as variáveis precipitação, florescimento e ciclo apresentam valores inferiores em relação à safra de maior produtividade. Estes resultados indicam que a precipitação ocorrida nessa safra apresentou um volume abaixo do considerado ideal, ocasionando um menor número de dias com céu nublado.

Analisando o período de sementeira até a maturidade fisiológica, observou-se 114 e 93 dias, respectivamente para a safra de maior e menor produtividade simulada. A safra 2003/2004, o apresentou uma redução de 21 dias em relação ao período da safra em 1991/1992. A predominância de temperaturas mais elevadas foi determinante para a redução do ciclo, uma vez que o acúmulo térmico necessário ocorreu em um menor número de dias.

Quanto ao período de florescimento, nota-se que durante a safra de maior produtividade, 1990/1991, ocorreu aos 62 dias. Enquanto, para a safra de menor produtividade, 2003/2004, o florescimento ocorreu aos 60 dias. A duração do período do florescimento até a maturidade fisiológica na safra 1990/1991 foi de 52 dias, enquanto que na safra de 2003/2004 foi apenas de 33 dias, pode-se observar uma redução de 19 dias do ciclo, para safra de menor produtividade.

A Figura 20 apresenta a variação da radiação solar global durante o ciclo da cultura, para as duas safras, de maior e menor produtividade.

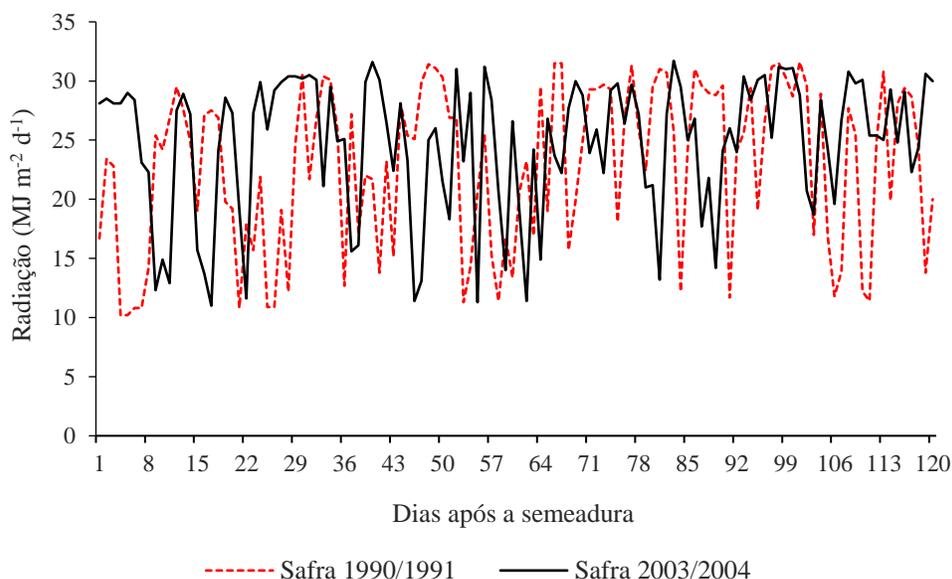


Figura 20. Radiação solar global durante as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.

A safra de 2003/2004 apresenta predominância de valores superiores da radiação solar global em relação à safra de 1990/1991. Porém durante esta safra de menor produtividade, as plantas de milho pipoca ficaram expostas à radiação por um menor período de tempo, 33 dias a menos, que a safra de maior produtividade.

A diferenças de valores e o tempo de exposição à radiação solar global ao longo do ciclo da cultura, contribuíram para esta diferença de produtividade entre as duas safras analisadas para esta data de semeadura.

Na Tabela 14, observa-se que a radiação solar global média no ciclo da cultura do milho pipoca, para a safra de 1990/1991 foi inferior a safra 2003/2004, ano de menor produtividade, sendo respectivamente 23,1 e 25,3 MJ m⁻² dia⁻¹.

Tabela 14. Valores máximo, mínimo e média da radiação solar global média (MJ m⁻² d⁻¹) durante florescimento até a maturidade fisiológicas e seus respectivos desvios e coeficientes de variação para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1990/1991	23,38	5,04	21,56	28,4	16,5
2003/2004	24,00	3,80	16,22	26,4	18,3

A alta temperatura observada durante a safra de menor produtividade, acelerou o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho pipoca, resultando em uma redução no número de dias desde a semeadura até o florescimento. Além disso, as produtividades foram afetadas pela distribuição da radiação ao longo do ciclo da cultura do milho pipoca. Na Figura 21, pode-se observar os valores da temperatura média durante o ciclo da cultura do milho pipoca para as safras agrícolas de 1990/1991 e 2003/2004.

Segundo Shaw (1998) o menor de exposição das plantas a irradiância, reduz a atividade metabólicas das plantas, e conseqüentemente a produtividade final. A temperatura limita a fonte produtora de assimilados e alterar a partição de assimilados, que conseqüentemente reflete na acumulação de massa seca nos grãos (TOLLENAAR, 1989).

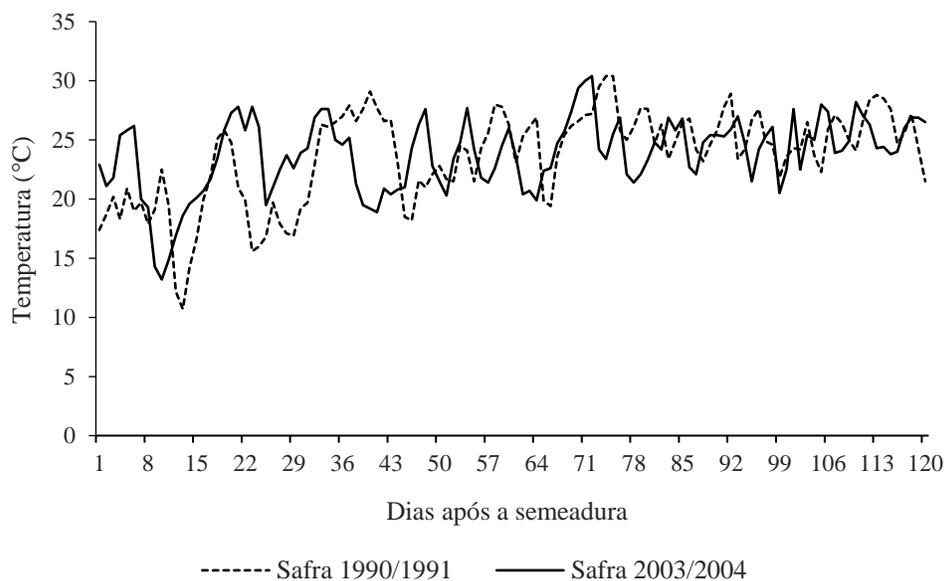


Figura 21. Valores da temperatura média (°C) durante o ciclo da cultura para os anos agrícolas de 1980 a 2015 e 2003/2004.

A radiação solar e a temperatura influenciam diretamente na produção das culturas (MUCHOW et al., 1990). A temperatura ambiente determina o índice de área foliar da cultura e influencia na formação do dossel e na radiação incidente interceptada (MUCHOW e CARBERRY, 1989), sendo necessário avaliar concomitantemente o efeito da temperatura e da radiação solar sobre o rendimento de milho para evitar possíveis erros em condição de campo.

Outros trabalhos mostram, que o aumento da temperatura influencia no rendimento de grãos. Muchow (1990) observou que com o aumento da temperatura média diária de 25 a 32 °C, a taxa de crescimento e a duração do período de enchimento de grãos é mais curta.

Hunter et al. (1977) observaram maior rendimento de grãos com temperaturas mais baixas devido a um aumento no comprimento do período de enchimento do grão. A temperatura mais baixa contribui para o aumento do período de enchimento grãos, resultando em um aumento da produção de matéria seca após o florescimento, associado com uma maior duração do período de enchimento de grãos.

4.3 Análise das produtividades simuladas

Na Tabela 15, estão apresentadas as produtividades médias, máximas e mínimas simuladas, durante as 36 safras agrícolas, em quatro datas de semeadura estudadas e, seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação para o híbrido de milho pipoca, IAC 125. Segundo o Instituto Agronômico de Campinas, as semeaduras realizadas no mês de setembro, são consideradas antecipadas, entre os meses de outubro e novembro, normais, e no mês de dezembro, tardias.

Tabela 15. Produtividade média, máxima, mínima simuladas e, os respectivos desvios padrões (DP) e coeficiente de variação (CV) das 144 safras para 4 datas de semeadura, para o híbrido IAC 125

		Produtividade				
	Semeadura	Média (kg ha ⁻¹)	Máxima (kg ha ⁻¹)	Mínima (kg ha ⁻¹)	DP (kg ha ⁻¹)	CV (%)
IAC 125	27/09	4.246,72	6.051,00	1.1219,00	1.056,86	24,88
	21/10	4.421,41	6.132,00	1.019,00	1.214,65	27,47
	14/11	4.703,31	6.236,00	1.377,00	1.232,35	26,21
	08/12	4.600,83	6.240,00	1.348,00	940,73	20,45

A variação da produtividade média para as quatro datas de semeadura foram de 4.246,72 a 4.703,31 kg ha⁻¹ (Tabela 15). Para a semeadura entre 27 de setembro e 21 de outubro, consideradas “antecipada” e “normal”, a produtividade média cresceu gradativamente de 4.246,72 a 4.421,41 kg ha⁻¹, à medida em que se atrasou a semeadura.

Sangoi et al., (2010) afirma que o maior rendimento de grãos ocorre quando o milho é semeado, entre meados de setembro e o final de outubro. Marques et al., (2013) constataram ser o mês de outubro a época preferencial para a semeadura do milho pipoca na região de Maringá, noroeste do Estado do Paraná.

Analisando as semeaduras entre 14 de novembro e 08 de dezembro, correspondente ao cultivo “normal” e “tardio”, observa-se que a produtividade média decresceu de 4.703,31 para 4.600,83 kg ha⁻¹ (Tabela 15).

Corroborando com estes resultados, Nunes et al., (2003) estudando o comportamento de cultivares de milho pipoca em diferentes épocas de semeadura, concluíram que a semeadura tardia, em dezembro, foi a que mais provocou instabilidade na produtividade de grãos.

O atraso da semeadura ocasiona maior acúmulo de energia, que promove a aceleração do ciclo fenológico, devido o encurtamento do subperíodo de emergência-ventoamento, no qual ocorre a formação de estruturas reprodutivas das plantas e, conseqüentemente os grãos atingem a maturidade fisiológica mais rapidamente (SANGOI et al., 2010).

Com esses resultados, nota-se que, semeaduras antecipadas e/ou tardias influenciam negativamente a produtividade de grãos da cultura do milho pipoca. Desta forma, a determinação da época ideal de semeadura, torna-se indispensável para o sucesso do cultivo da cultura do milho pipoca, uma vez que, à época de semeadura determina a quantidade de precipitação pluviométrica, bem como, a temperatura e a radiação solar disponível para as plantas.

O desvio padrão é uma medida de variabilidade que mede bem a dispersão dos dados da produtividade em relação à média e, permite a interpretação de interesse. O menor valor verificado de desvio padrão para a produtividade média, foi 940,73 kg ha⁻¹ para a semeadura em 08 de dezembro, enquanto o maior, foi 1.232,35 kg ha⁻¹ e, ocorreu para a semeadura em 14 de novembro.

Os coeficientes de variação indicam a precisão de um experimento. Os coeficientes de variação obtidos para as quatro datas de semeadura apresentaram variações, acima de 20% para a produtividade média e, essas variações são consideradas altas ($20\% \leq CV \leq 30\%$), conforme classificação de Scapim et al., (1995). As produtividades médias simuladas apresentam grande variabilidade para as quatro datas de semeadura. As variações podem ser justificadas em função da distribuição irregular das precipitações, bem como, o efeito da temperatura e da radiação sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho pipoca.

4.4 Análise da duração do período de semeadura – florescimento, semeadura – maturidade fisiológica e ciclo total da cultura

A análise dos períodos médios simulados, foi realizada, para cada uma das quatro datas determinadas, durante as 36 safras simuladas para o híbrido IAC 125. Na Tabela 16 pode-se observar a duração dos períodos médios simulados entre semeadura – florescimento, semeadura –

maturidade fisiológica e ciclo total da cultura, para as quatro datas de semeadura, durante as 36 safras agrícolas.

Tabela 16. Duração média do período (dias) da semeadura – florescimento, semeadura - maturidade fisiológica e ciclo total da cultura, simulados para as quatro datas de semeadura, durante os 36 anos

	Duração dos períodos simulados			
	Semeadura	Florescimento	Maturidade	Ciclo
IAC 125	27/09	67	116	116
	21/10	64	113	113
	14/11	63	112	112
	08/12	63	112	112

A duração média dos períodos simulados para a floração, maturação e colheita para o híbrido em estudo, foram maiores para a data de semeadura efetuada em setembro e foram diminuindo a medida em que a semeadura foi simulada mais tardiamente, isso ocorre devido o mês de setembro apresentar temperaturas mais baixas (SANGOI et al., 2001) e, conseqüentemente o acúmulo em graus-dias ser mais lento.

Como as temperaturas foram menores durante o ciclo da cultura na semeadura de setembro, o ciclo apresentou maior duração. Nota-se que a medida que foi adiada a data de semeadura ocorreu redução do período vegetativo de 3 dias (em 21 de outubro), 4 dias (em 14 de novembro e 08 de dezembro). Como as exigências térmicas da planta não foram atendidas, ocorreu o prolongamento da fase vegetativa até que o híbrido atingisse a exigência térmica que o estágio vegetativo requer (MARQUES et al., 2013).

Por outro lado, analisando a duração do período do florescimento até a maturidade fisiológica, observa-se que a duração foi igual para as quatro datas de semeaduras, sendo de 49 dias.

4.5 Probabilidade acumulada

Na Figura 22, observa-se as probabilidades acumulada da produtividade da cultura do milho pipoca, para as quatro datas de semeadura. As probabilidades de melhores rendimentos foram observadas na data de semeadura em 14 de novembro, diminuindo à medida que ocorreu a antecipação e o atraso da época de semeadura, em relação a data de 14 de novembro.

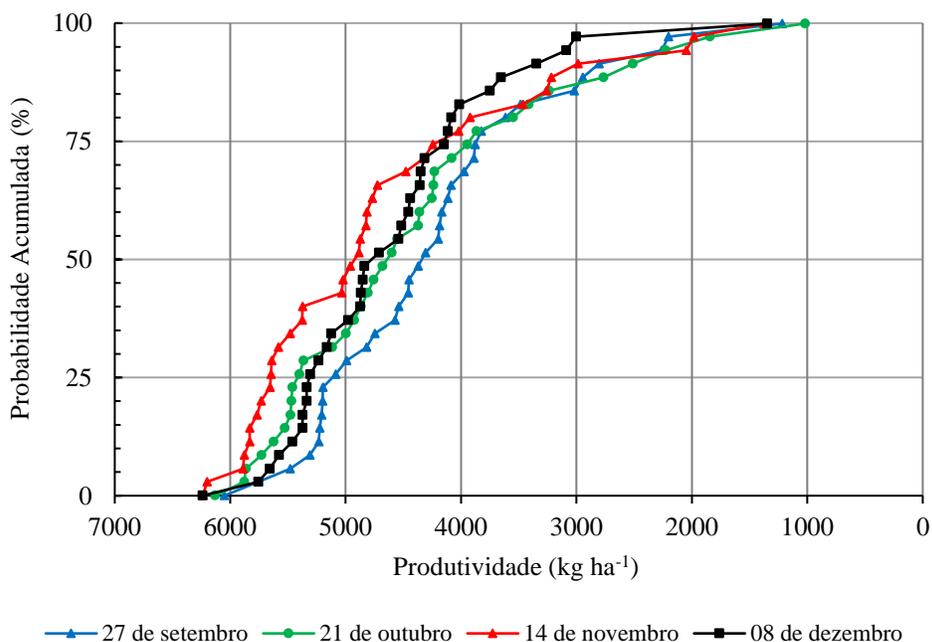


Figura 22. Probabilidade de rendimento do híbrido IAC 125, simulada para a semeadura em 27 de setembro, 21 de outubro, 14 de novembro e 08 de dezembro.

Para a data de semeadura em 14/11 as produtividades variam de 2.988 kg ha⁻¹ a 90% de probabilidade de ocorrência para 5.855 kg ha⁻¹ a 10%.

No nível de 25% de probabilidade acumulada, tem-se uma produtividade média, na semeadura em 27/09 de 5.406,67 kg ha⁻¹, para 21/10 de 5.685, 22 kg ha⁻¹, para 14/11 de 5.891 kg ha⁻¹ e em 08/12 de 5.568 kg ha⁻¹. Para o nível de 50% de probabilidade, as produtividades médias foram de, 4.739,94 kg ha⁻¹ para 27/09, 4.542,33 kg ha⁻¹ para 21/10, 5.003,22 kg ha⁻¹ para 14/11 e 4.726, 88 kg ha⁻¹ para 08/12. Ao nível de 75% de probabilidade, as produtividades médias foram

de: 2.820,33 kg ha⁻¹ em 27/09, 2.715, 78 kg ha⁻¹ em 21/10, 2.920, 22 kg ha⁻¹ em 14/11 e 3.379,22 kg ha⁻¹ em 08/12.

A data de semeadura em 27 de setembro, apresentou as piores probabilidades de rendimentos e menores probabilidades de ocorrência.

CONCLUSÃO

- À medida que a semeadura do milho pipoca é realizada em datas mais tardias, o ciclo da cultura tende a diminuir;
- A época de semeadura que apresentou as melhores produtividades foi 14 de novembro;
- Os valores de radiação solar global influenciaram os valores da produtividade da cultura do milho pipoca simulada pelo modelo CERES-Maize;
- Os valores de temperatura do ar influenciaram a duração do ciclo e a produtividade simulada pelo modelo CERES-Maize para o híbrido IAC 125;
- A duração média dos períodos simulados para floração, maturação e colheita para o híbrido IAC 125, foram maiores para a data de semeadura em 27 de setembro e, foram diminuindo à medida em que a semeadura foi simulada mais tardiamente.

4 REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.; AHMAD, A.; SOLER, C. M. T.; ALI, H.; ZIA-UI-HAQ, M.; ANOTHAI, J.; HUSSAIN, A.; HOOGENBOOM, H.; HASANUZZANAMAN, M. Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and nitrogen management of fine transplanted rice for an irrigated semiarid environment. **Precision Agricultural**, p. 200-218, 2012.
- ALMEIDA, B. DE M. Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido, 2016. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.
- AMARAL, T. A.; DE LIMA, A. C. R.; ANDRADE, C. DE L.; SILVA, S. D. A. Parametrização e avaliação do modelo CSM-Maize para cultivares de milho recomendadas para a microrregião de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 3, p. 371-391, 2015.
- ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, v. 41, p. 1-12, 1995.
- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; BORGES JR., J. C. S.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA, A. G.; TOJO-SOLER, C. M.; SILVA, D. F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. Modelagem de crescimento de culturas: Aplicações a cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. **Documento 91**, 2009. 65p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO. Excesso de chuva afetou a produtividade e qualidade do grão em 2015. p. 81, 2016.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, p. 1075-1084, 2001.
- ÁVILA, M. R.; GOMES, E. P.; SCAPIM, C. A.; BARIZÃO, D. A. O.; ALBRECHT, L. P.; RODOVALHO, M. A. Híbridos de pipoca cultivados sob diferentes lâminas de irrigação. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.12, n.4, p. 199-209, Jul/Dez 2011.
- ASSIS, F. N. de.; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, 1989.
- BARBANO, M. T.; SAWAZAKI, E.; BRUNINI, O.; GALLO, P. B.; PAULO, E. M. Temperatura base e soma térmica para cultivares de milho pipoca (*Zea mays*) no subperíodo emergência florescimento masculino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 7984, 2003.
- BARBOSA, J. V. A. Fisiologia do milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Cultura do milho**. Brasília: EMBRATER, 1983. p. 712 (Embrater: Articulação pesquisa extensão, 3).

- BEIRAGI, M. A.; EBRAHIMI, M.; MOSTAFAVI, K.; GOLBASHY, M.; KHORASANI, S. K. A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. **Journal of Cereals and Oilseeds**, Lagos, v. 2, n. 2, p. 32-37, 2011.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre. Editora da Universidade/UFRGS. p. 25-32. 1992.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, 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**., Brasília, v. 41, n.2, p. 243-249, fev. 2006.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2014. 84p.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROT, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.
- BONHOMME, R. Bases and limits to using ‘degree.day’ units. **European Journal of Agronomy**, v. 13, p. 1–10, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- BRITO, M. E. B.; FILHO, G. D. A.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n.5, p. 1244-1254, Set./Oct. 2013.
- BRUNINI, O.; ABRAMIDES, P. L. G.; BRUNINI, A. P. C.; CARVALHO, J. P. Caracterizações macroclimáticas, agrometeorológicas e restrições ambientais para o cultivo de milho em regiões tropicais baixas. **Infobibos**, Campinas, v.1, n.3, 2006. Disponível em: < http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/AmbienteMilho/Index.htm>. Acesso em: 2017.
- CAMARGO, M. B. P. de.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 115-121, 1987.
- CHUN, J. A.; WANG, Q.; TIMLIN, D.; FLEISHER, D.; REDDY, V. R. Effect of elevated carbon dioxide and water stress on gas exchange and water use efficiency in corn. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 151, n. 3, p. 378 – 384, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. ISSN: 2359-4160. **Proposta de preços mínimos. Safra 2015/2016.** Produtos da Safra de Verão. v.1, Brasília, p. 1 - 144, mar, 2015. Disponível em: < CONAB.http://www.conab.gov.br. > Acesso em: 21 out 2016.

COSTA, A. F. S. da. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio. Viçosa, 1994. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 1994. 109 p.

COSTA, M. M. Recomendação de adubação em agricultura de precisão com base no modelo CERES-Maize. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2015. 142p.

CUNHA, G. R. da.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. p. 85-97, 1992.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; CORRÊA, L. A.; Manejo cultural do milho pipoca. **Circular Técnica 42.** Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2004.

CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; FILHO, I. A. P.; MOREIRA, J. A. A. Milho: O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.338p.

DALLACORT, R. Simulação da produtividade da cultura da soja, para as condições de solo e clima da região de Palotina – PR. Dissertação (2004). Universidade Estadual de Maringá – UEM. p.81.

DETTORI, M.; CASARACCIO, C.; MOTRONI, A.; SPANO, D.; DUCE, P. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. **Field Crops Research**, v. 120, p. 179-188, 2011.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F.; TISSOT, D. Crescimento e desenvolvimento de milho: acúmulo de massa seca do grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 3, p. 447-456, mar. 2001.

EMBRAPA. Manejo da cultura do milho pipoca. Circular técnica 42. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2004.

EMBRAPA MILHO. **A cultura do milho-pipoca.** Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região central do Brasil 2012 e 2013.** Londrina: Embrapa Soja: Londrina, 2011a. 262p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 15).

EMBRAPA. Produção de milho na agricultura familiar. **Circular Técnica 159.** Sete Lagoas, MG, 2011b.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho**: ecofisiologia e rendimento. In: TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE MILHO, 1., Piracicaba, 1997. Trabalhos Apresentados. Piracicaba, p.157-170, 1997.

FANCELLI, A.L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: SIMPÓSIO ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPNI, 2000. p. 9.

FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. Piracicaba, São Paulo. Departamento de Produção Vegetal. São Paulo: ESALQ/USP, 2003, 9p.

FILHO, I. A. P.; BORGHI, E. Mercado de Sementes de Milho no Brasil-Safra 2016/2017. p.1-8, 2016. Disponível em: < <http://www.apps.agr.br/site/Conteudo/4322>>. Acesso em 2017.

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

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

FREIRE, A. I. Avaliação da capacidade de expansão do milho-pipoca pelas técnicas de espectrometria no infravermelho próximo, composição química e microscopia eletrônica. Dissertação (2015). Universidade Federal de Lavras – UFLA. 53.p.

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A. Influência da radiação solar sobre os valores de produtividade da cultura do milho, *Zea mays* L., simulados pelo modelo CERES-Maize. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 5, p. 1221-1227, 2001.

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

GARCIA, R. G.; DALLACORT, R.; KRAUSE, W.; SERIGATTO, E. M.; FARIA JÚNIOR, C. A. Calendário agrícola para a produção do milho em Sinop (MT). **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, v. 43, n. 2, p. 218-222, abr/jun, 2013.

GONÇALVES, S. L.; CARAMORI, P. H.; WREGGE, 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, p. 1287-1290, 2002.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, p. 137-157, 2000.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. H.; BATCHELOR, W. D.; BOWEN, H. T.; HUNT, L. A.; PICKERING, N. B.; SINGH, U.; GODWING, D. C.; BAER, B.; BOOTE, K. J.; RITCHIE, J. T.; WHITE, J. W. Crops models. In: TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). DSSAT v3. Decision support system for agrotechnology transfer. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v. 2, cap. 2, p. 95 – 244.

HUNTER, R.B., TOLLENAAR, M.; BREUER, C. M. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (*Zea mays*) hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 57, p. 1127- 1133, 1977.

JONES, C.A.; KINIRY, J. R. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. **College Station:**Texas A & M University Press, 1986.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v. 18, n. 3/4, p. 235 - 265, 2003.

LAMBERS, H.; CHAPIM III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Second Edition. p. 605, 2008.

LIMA, J. L. Controle genético do florescimento em milho. Dissertação (mestrado) - Lavras, UFLA, p. 56, 2006.

LIU, H. L.; YANG, J. Y.; DRURY, C. F.; REYNOLDS, W. D.; TAN, C. S.; BAI, Y. L.; HE, P.; JIN, J.; HOOGENBOOM, G. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, p. 313-328, 2011.

LU, S.; GUO, X.; WEN, W.; MIAO, T.; XIAO, B. A plug-in framework for modeling plant growth. In: Computer Modeling and Simulation, 2010. **Second International Conference on**. IEEE, p. 255-258, 2010.

MAKINO, P. A. Avaliação de plantas de milho em modalidades de cultivo solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. 2015. 48f. Dissertação (Agronomia - Mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS. 2015

MANGELSDORF, P. C.; SMITH JÚNIOR, C. E. A discovery of remains of primitive maize in New Mexico. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 17, p. 39-43, 1949.

MARQUES, O. J.; VIDIGAL FILHO, P. S.; FRANCO, A. A. N.; OKUMURA, R. S.; NUMOTO, A. Y.; CORTINOVE, V. B. Fenologia e produtividade do milho pipoca em função da época de semeadura na safrinha no noroeste do Paraná, p.1-6, 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, n.2, p.170-181, 2006.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.
- MONTEITH, J. L. The Quest for Balance in Crop Modeling. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 695-697, 1996.
- MOTERLE, L. M.; LOPES, P. DE C.; BRACCINI, A. DE L.; SCAPIM, C. A. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 169-176, 2006.
- MUCHOW, R. C. Effect of High Temperature on Grain-Growth in Field-Grown Maize. *Field Crops Research*, v. 23 (1990) p. 145-158 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990.
- NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; RODRIGUES, J. G. L.; FURTADO, M. B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 193 – 201, mar/abr, 2011.
- NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Short - and long - term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, v. 84, p. 107-113, 1992.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; NETO, E. B. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 66-74, 2001.
- NUNES, H. V.; MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GALVÃO, J. C. C.; COIMBRA, R. R.; MELO, A. D. Comportamento de cultivares de milho-pipoca em diferentes épocas de semeadura. **Revista Ceres**, v. 50 (290), p. 445-460, 2003.
- PEREIRA, A. M. A. R. Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 43p. 2008.
- PEREIRA, A. M. A. R. Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n. 4, p. 486-493, jul/ago , 2010.
- RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A.T. do.; GONÇALVES, L. S.; FREITAS JÚNIOR, S. de P.; CANDIDO, L. S. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho-pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 473-481, 2011.

RITCHIE, J.T. Using Computerized Crop Models for Management Decisions. In: INTERNATIONAL DLG - CONGRESS FOR COMPUTER TECHNOLOGY, 1986. Proceedings. Hannover: Fed. Rep. of Germany, 1986. p. 27-41.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D. Crescimento e desenvolvimento do milho: efeito da temperatura na duração e na taxa de crescimento de grãos. Embrapa Trigo. **Boletim de pesquisa** 7. Passo Fundo, RS. p. 40, 2003.

RODRIGUES, R. A.; PEDRINI, J. E.; FRAISSE, C. W.; FERNANDES, J. M. C.; JUSTINO, F. B.; HEINEMANN, A. B.; COSTA, L. C.; VALE, F. X. R. Utilization of the cropgro-soybean model to estimate yield loss caused by Asian rust in cultivars with different cycle. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 308-317, 2012.

RUFINO, C. A.; TAVARES, L. C.; VIEIRA, J. R.; DOR, C. S.; VILLELA, F. A.; SOUZA, A. C.; BARROS, A. C. S. A. Desempenho de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no estágio vegetativo. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 24, n. 3, p. 217-225, jul/set, 2012.

RUSSEL, G., JARVIS, P.G., MONTEITH, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: Their growth, form and function. RUSSEL, G., MARSHALL, B., JARVIS, P. G. (eds.). Cambridge: **Society for experimental biology seminar series** 31/ University Press, Cambridge. p. 31-40, 1989.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.159-168, 2001.

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

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA G.; RAMBO, L. Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos. Lages: **Graphel**, 88p. 2010.

SASEENDRAN, S. A.; NIELSEN, D. C.; AHUJA, L. R.; MA, L.; LYON, D. J. Simulated yield and profitability of five potential crops for intensifying the dryland wheat-fallow production system. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 175-192, 2013.

SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. **Informações Técnicas**. Agrônomo de Campinas, v. 53 (2), 2001.

SAWAZAKI, E. **Milho-pipoca**, CD-ROM dos Anais do XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia, GO, Brasil, 2010.

SCAPIM, C. A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIEIRA, R. A.; MOTERLE, L. M.; TEIXEIRA, L. R.; VIGANÓ, J.; SANDOVAL JR, G. B. Novos compostos de milho-pipoca para o Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 321-330, abr/jun, 2010.

SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; PINTO, R. J. B.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; RODOVALHO, M. A.; SILVA, R. M.; MOTERLE, L. M. Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 36-41, 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**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683- 686, 1995.

SHAW, R. H. Climatic requiriments. In: Corn and Corn improvement. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, Publisher, 1977. p. 591 – 623 (Serie Agronomy, 18).

SILVA, V. Q. R. et al. Combining ability of tropical and temperate inbred lines of popcorn. **Genetics and Molecular Research**, v. 09, n. 03, p. 1742-1750, 2010b.

SILVA, P. R. F.; PIANA, A. T.; MAASS, L. B.; SERPA, M. S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; ENDRIGO, P. C.; JANDREY, D. B. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 9, n. 1, p. 48-57, 2010a.

SIMON, A. G.; SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; PINTO, R. J. B.; BRACCINI, A. L.; TONET A. Depressão por endogamia em populações de milho pipoca. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 55-62, 2004.

SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, v. 27, p. 165-177, 2007.

SOUZA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BRITO, R. R. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 49-60, 2015.

Squire, G. R. (1990). Dry matter production by interception and conversion of solar radiation. In "The Physiology of Tropical Crop Production," pp. 71 -102. CAB International, Wallingford, UK, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p

THOMPSON, L. M. Climatic change, wheater variability, and corn production. **Agronomy Journal**, v. 78, p. 649 – 653, 1986.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. **Crop Science**, v.29, p.1239-1246, 1989.

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

UATE, J. V. Épocas de semeadura do milho e distribuição espacial de plantas. Dissertação (Mestrado). Lavras-UFLA, p. 59, 2013.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA SUBMETIDAS AO ESTRESSE TÉRMICO E HÍDRICO. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 687-695, Sept./Oct. 2012.

VERHAGEN, A.; CONIJN, S. & SCHAPENDONK, A. (ed.) Quicksan of simulations models Plant Research International, 2001.

ZIEGLER, K. E.; ASHMAN, B. Popcorn. In: Halluer, A. R. (ed.). Specialty corns. Ames, CRC Press, 1994. p. 189-223.