

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

CLEONIR ANDRADE FARIA JÚNIOR

Simulação da produtividade da cultura do milho pipoca, para otimização do uso
da água e zoneamento climático no Estado do Mato Grosso

Maringá
2017

CLEONIR ANDRADE FARIA JÚNIOR

Simulação da produtividade da cultura do milho pipoca, para otimização do uso da água e zoneamento climático no Estado do Mato Grosso

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

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Rivanildo Dallacort

Maringá

2017

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

F224s Faria Júnior, Cleonir Andrade
Simulação da produtividade da cultura do milho pipoca, para otimização do uso da água e zoneamento climático no Estado do Mato Grosso / Cleonir Andrade Faria Júnior. -- Maringá, 2018.
114 f; Il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
Coorientador: Prof. Dr. Rivanildo Dallacort.

Tese (Doutor em Agronomia)- Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Agronomia.

1. Milho pipoca - irrigação. 2. Zea mays - irrigação. 3. Coeficiente dual do cultivo. I. Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, orient. II. Dallacort, Rivanildo, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

633.15 21.ed.

Cicilia Conceição de Maria
CRB9- 1066
cc-003947

FOLHA DE APROVAÇÃO

CLEONIR ANDRADE FARIA JÚNIOR

Simulação da produtividade da cultura do milho pipoca, para otimização do uso da água e zoneamento climático no Estado do Mato Grosso

Tese 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 Doutor em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof^a. Dr^a. Flavia Carvalho Silva
Universidade Estadual de Maringá

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

Prof. Dr. Altair Bertonha
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rivanildo Dallacort
Universidade do Estado de Mato Grosso

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

Aprovada em: 24 de abril de 2017.

Local da defesa: Anfiteatro II, PGA, Bloco J-45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e familiares, e a minha esposa, que não mediram esforços para que este sonho fosse realizado. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e por dar força suficiente para superar todas as dificuldades e desafios.

Aos meus pais com muito orgulho, Cleonir Andrade Faria e Angela Malta do Carmo Faria (in memoriam), por todos ensinamentos e valores a mim destinados, e apoio para poder chegar até aqui.

A minha amada esposa, Cristiane Ferreira Ramos, pelo amor, força, cobrança e incentivo constante.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGA), pela estrutura, oportunidade e aprendizado.

Ao meu orientador, professor Doutor Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, pela amizade, companheirismo, conselhos, ensinamentos, e a oportunidade de conviver com pessoas fantásticas durante o Doutorado.

Aos professores do CTI que me receberam de braços abertos, Roberto Rezende, Antonio Carlos e Altair Bertonha.

À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) por possibilitar o desenvolvimento de parte desta tese em suas dependências.

Ao meu co-orientador professor Doutor Rivanildo Dallacort, pela amizade, companheirismo, conselhos e ensinamentos.

Aos demais professores do PGA, pelas disciplinas, troca de experiências, sugestões e amizade.

À Érika e Reinaldo, grandes amigos da secretaria do PGA, pelos puxões de orelha e conselhos.

Aos mais que amigos, que me ajudaram de forma incessante e sempre que necessária, presentes nas horas boas e ruins, um muito obrigado a João Danilo, Francielle Freitas, Thiago Villela, William Fenner, Karol Ascari, Karin Prestes, Paulo Demeneck, Ânderson Takashi, Fernando André Silva Santos, Jhonatan Monteiro de Oliveira.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, pelas horas ausentes e aos aqui não denominados, mas não menos importantes para que a realização deste estudo fosse possível.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CAD – Capacidade de água disponível
- ISNA – Índice de satisfação e necessidade de água
- ETo – Evapotranspiração da cultura de referência
- Kcb – Coeficiente basal da cultura
- Ke – Coeficiente de evaporação
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- ETr – Evapotranspiração real
- ETp – Evapotranspiração potencial
- N – Nitrogênio
- Kg – Quilograma
- Km – Quilômetros
- ha – Hectare
- CERES – Crop Environment Resource Synthesis
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- DSSAT – Decision Support System for Agrotechnology Transfer - Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Agrotecnologia
- d – Índice de Willmott
- EFM – Índice estatísticos de eficiência de modelagem
- CPEDA – Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agroambientais
- C0 – Efeito pepita
- C0+C1 – Patamar
- GDE – Grau de dependência espacial
- ERSI – Environmental Systems Research Institute
- DP – Desvio padrão

Simulação da produtividade da cultura do milho pipoca, para otimização do uso da água e zoneamento climático no Estado do Mato Grosso

RESUMO GERAL

Objetivou-se determinar a demanda hídrica do milho pipoca e as melhores épocas de semeadura em segunda safra para o Estado de Mato Grosso, por meio de experimentos com lâminas de água e doses de nitrogênio, determinação do coeficiente dual de cultivo, análise de dados meteorológicos para realização do zoneamento agrícola e simulação da produtividade do milho pipoca. Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2014 e 2015. O experimento com lâminas e doses de nitrogênio foi conduzido em um delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições, em que os tratamentos foram compostos por quatro lâminas de água (L1:30, L2:70, L3:110 e L4:150 % da ETo) e quatro doses de nitrogênio em cobertura (D1:30, D2:60, D3:90 e D4:120 kg ha⁻¹). Para a determinação do coeficiente dual da cultura do milho pipoca o experimento foi conduzido em seis lisímetros de pesagem de precisão com área de 2,25 m² e 1,20 m de profundidade, previamente calibrados com coeficientes de determinação acima de 0,99, para a determinação do Coeficiente Basal da Cultura (Kcb) e quatro micro-lisímetros de 150 mm de diâmetro para a determinação do Coeficiente de Evaporação (Ke). O zoneamento foi realizado através da interpolação dos valores de Índice de Satisfação da Necessidade de Água – ISNA, calculado para semeaduras realizadas entre o 4º e 10º decêndio do ano, para as 36 estações meteorológicas utilizadas, considerando a presença de três tipos de solo, baixa, média e alta Capacidade de Água Disponível – CAD, com valores de 20, 40 e 60 mm respectivamente. O potencial produtivo do milho pipoca foi de 6485,0 Kg ha⁻¹, quando aplicado 89,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água de 137,4% da ETo. Os coeficientes de evaporação do solo (Ke) observados foram 0,8, 0,5 e 0,8, para as fases iniciais, pleno desenvolvimento e maturação, respectivamente, enquanto os coeficientes basais da cultura (Kcb) foram de 0,7, 1,1 e 0,3. A semeadura do milho pipoca é considerada apta em todo o Estado de Mato Grosso no período compreendido entre o primeiro e quarto decêndio (01 de janeiro a 10 de fevereiro). Para a simulação da produtividade do milho pipoca utilizou-se dados meteorológicos diários do ano agrícola de 2004 a 2015. Os coeficientes genéticos foram obtidos por meio de um experimento a campo. A calibração dos coeficientes genéticos assim como a simulação de produtividade se deu pelo modelo CERES-Maize incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.6). As simulações foram realizadas para as seguintes datas de semeadura (01/02, 10/02, 20/02, 01/03, 10/03 e

20/03), sendo as produtividades médias simuladas pelo modelo foram 4928, 4116, 2868, 1554, 1074 e 985 Kg ha⁻¹ respectivamente.

Palavras-chave: Coeficiente dual de cultivo, *Zea mays* L., Zoneamento, Irrigação, Simulação.

Simulation of productivity, optimization of water use and zoning of popcorn cultivated in the second crop in the State of Mato Grosso

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to determine the water demand of popcorn maize and the best sowing times in the second harvest for the state of Mato Grosso, by means of experiments with water depths and nitrogen doses, determination of the dual culture coefficient, analysis of meteorological data for the accomplishment of the agricultural zoning and simulation of the productivity of the corn popcorn. The experiments were conducted in 2014 and 2015. The experiment with slides and nitrogen doses was conducted in a randomized block design in a 4x4 factorial scheme with four replications, in which the treatments were composed of four water slides (L1:30, L2:70, L3:110 e L4:150 % ETo) and four nitrogen doses in coverage (D1:30, D2:60, D3:90 e D4:120 kg ha⁻¹). For the determination of the dual coefficient of popcorn maize, the experiment was conducted in six precision lysimeters with an area of 2,25 m² and 1,20 m depth, previously calibrated with determination coefficients above 0,99, for the determination of the Basal Coefficient of Culture (Kcb) and four micro-lysimeters of 150 mm diameter for the determination of Evaporative Coefficient (Ke). The zoning was performed through the interpolation of the Water Need Satisfaction Index (ISNA), calculated for sowing between the 4th and 10th ten days of the year, for the 36 meteorological stations used, considering the presence of three types of soil, Low, medium and high Available Water Capacity - CAD, with values of 20, 40 and 60 mm respectively. The productive potential of popcorn was 6485,0 kg ha⁻¹, when 89,4 kg ha⁻¹ of N was applied under an irrigation depth of 137,4% of ETo. The soil evaporation coefficients (Ke) were 0,8, 0,5 and 0,8 for the initial, full development and maturation phases, respectively, while the basal coefficients of the crop (Kcb) were 0,7, 1,1 and 0,3. The sowing of popcorn is considered suitable throughout the state of Mato Grosso in the period between the first and fourth decade (January 1 to February 10). For the simulation of popcorn corn productivity daily meteorological data from the year 2004 to 2015 were used, the genetic coefficients were obtained by means of a field experiment. The calibration of the genetic coefficients as well as the simulation of productivity was based on the CERES-Maize model included in the Support System for Agro-Technology Transfer (DSSAT v.4.6). The simulations were performed for the following sowing dates (01/02, 10/02, 20/02, 01/03, 10/03 and 20/03) and the average productivities simulated by the model were 4928, 4116, 2868, 1554, 1074 and 985 kg ha⁻¹ respectively.

Keywords: Dual crop coefficient, *Zea mays* L., Zoning, Irrigation, Simulation.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Coeficiente basal da cultura do milho pipoca para o município de Tangará da Serra – MT, separado pelas fases de desenvolvimento da cultura – F.D.C, medidos em lisímetros de pesagem e estimados pelo modelo da FAO 56.....	65
----------	---	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Classificação dos solos de Mato Grosso quanto a capacidade de água disponível (CAD).....	79
Tabela 2	Médias dos valores ISNA e Desvio Padrão (DP) para as CAD de 20, 40 e 60 mm, do decêndio 4° ao 10° para o Estado de Mato Grosso.....	82
Tabela 3	Coeficientes e modelos dos semivariogramas ajustados para as CAD de 20, 40 e 60 mm e para as diferentes épocas de semeadura para o Estado de Mato Grosso.....	83
Tabela 4	Áreas inaptas, restritas e aptas em km ² para o Estado de Mato Grosso considerando as CADs de 20, 40 e 60 mm.....	88

CAPÍTULO 4

Tabela 1	Valores dos coeficientes genéticos calibrados pelo CERES-Maize, para o híbrido de milho pipoca AP 6002 semeado em Tangará da Serra – MT.....	102
Tabela 2	Valores observados e preditos das variáveis nos tratamentos com diferentes lâminas de água e porcentagem de desvio (PD), índice de concordância (d) e eficiência do modelo (EFM).....	104
Tabela 3	Valores do número de dias para emergência florescimento e duração do ciclo para o híbrido AP 6002, para datas de semeadura simulada, para a	

	região de Tangará da Serra -	
	MT.....	105
Tabela 4	Valores de produtividade simulada para datas de semeadura com desvio padrão e porcentagem de redução, para a região de Tangará da Serra -	
	MT.....	105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1	Evapotranspiração de referência (A) e temperaturas máximas, médias e mínimas (B) após a semeadura do milho pipoca.....	38
Figura 2	Total de água recebida nas diferentes lâminas de água.....	39
Figura 3	Produtividade do milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura.....	41
Figura 4	Diâmetro de espiga do milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura.....	42
Figura 5	Número de grãos por fileiras (A e B), altura da planta (C e D) e altura de inserção da espiga (E e F) de milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura.....	44
Figura 6	Comprimento de espiga de milho pipoca em função de lâminas de água (A) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (B) e número de fileiras em espigas de milho pipoca em função de lâminas de água (C).....	46

CAPÍTULO 2

Figura 1	Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação ocorridas após a emergência do milho pipoca em Tangará da Serra – MT.....	62
Figura 2	Evapotranspiração da cultura, de referência diária, para o período de cultivo do milho pipoca em Tangará da Serra – MT.....	63
Figura 3	Curvas reais de Kcb e Ke diário para a cultura do milho pipoca em Tangará da Serra – MT.....	64
Figura 4	Curvas reais de Kcb ajustado e Kcb medido diário para a cultura do milho pipoca em Tangará da Serra – MT.....	66

CAPÍTULO 3

Figura 1	Localização das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa.....	78
Figura 2	Solos do Estado de Mato Grosso agrupados pela capacidade de água disponível, conforme a classificação proposta por Sans et al. (2001)	80
Figura 3	Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 20 mm.....	84
Figura 4	Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 40 mm.....	85
Figura 5	Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 60 mm.....	86
Figura 6	Mapas do zoneamento de ISNA para diferentes épocas de semeadura, considerando as CAD de 20, 40 e 60 mm, para o Estado de Mato Grosso.....	87

CAPITULO 4

Figura 1	Temperaturas médias, mínimas e máximas, precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura no tratamento 3, utilizado para a calibração dos coeficientes genéticos.....	100
Figura 2	Taxa de enchimento dos grãos de milho pipoca híbrido AP 6002 medido e estimado em Tangará da Serra – MT.....	103
Figura 3	Valores de produtividade anual do milho pipoca híbrido AP 6002, obtidos a partir das datas simuladas em Tangará da Serra – MT.....	106
Figura 4	Probabilidade acumulada de produtividade para o híbrido de milho pipoca AP 6002 em Tangará da Serra – MT, para diferentes épocas de semeadura, decêndio 4 (01/02 -09/02), decêndio 5 (10/02 – 19/02), decêndio 6 (20/02 – 28/02), decêndio 7 (01/03 – 09/03), decêndio 8 (10/03 – 19/03) e decêndio 9 (20/03 – 31/03)	107

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1.	A cultura de milho pipoca.....	18
2.2.	Irrigação	19
2.3.	Adubação nitrogenada em cobertura	20
2.4.	Coefficiente de cultivo (Kc).....	21
2.5.	Zoneamento agrícola.....	22
2.6.	Modelos de simulação	23
3.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	Resposta do milho pipoca em função das diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para a região de Tangará da Serra – MT, cerrado mato-grossense	33
	RESUMO.....	34
	ABSTRACT	35
1.	INTRODUÇÃO.....	36
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.	CONCLUSÕES	48
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	Capítulo 1 Coeficiente dual de cultivo do milho pipoca para a região de Tangará da Serra – MT.....	53
	RESUMO.....	54
	ABSTRACT	55
1.	INTRODUÇÃO.....	56
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.	CONCLUSÕES	68

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
Capítulo 2 Zoneamento agrícola da cultura do milho pipoca para o estado de Mato Grosso.....	73
RESUMO.....	74
ABSTRACT	75
1. INTRODUÇÃO.....	76
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4. CONCLUSÕES	89
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
Capítulo 3 Calibração dos coeficientes genéticos e simulação da produtividade do milho pipoca para a região de Tangará da Serra - MT	93
1. INTRODUÇÃO.....	96
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	98
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	102
4. CONCLUSÕES	109
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do milho pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*) é até três vezes mais rentável que o milho comum, porém o seu plantio comercial apresenta uma restrição aos produtores, pois depende das limitações de cultivares disponíveis no mercado (SILVA et al., 2012).

O Estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro deste grão, sendo responsável por cerca de 80% da produção nacional, destacando os municípios de Campo Novo do Parecis e Sapezal. Apesar da significativa importância econômica desta cultura, informações referentes ao seu cultivo no Estado são extremamente escassas, limitando-se principalmente ao melhoramento genético e estabilidade de novos cultivares.

Inúmeros fatores podem influenciar a produção do milho pipoca, destacando-se os climáticos, como a precipitação e a temperatura, que não podem ser modificados de forma direta pelo homem, surgindo, assim a necessidade de se estudar a aptidão das culturas agrícolas quanto as suas épocas de semeadura de modo a reduzir os riscos de produção.

No Estado de Mato Grosso o cultivo é realizado principalmente em segunda safra, tornando assim, seu cultivo com relevante risco climático, pelo fato do estado possuir um período de seca extenso que vai de maio a setembro, coincidindo com a época de segunda safra (DALLACORT et al., 2011a).

Para minimizar tais riscos, informações acerca da necessidade hídrica, épocas de semeadura e resposta da cultura a lâminas de água são de suma importância. Neste cenário, a irrigação pode ser uma forte aliada ao produtor rural, em busca de um melhor desenvolvimento do milho pipoca, e aumento das janelas de semeadura, em virtude da possibilidade de suplementação hídrica em casos de veranicos.

A irrigação é considerada a atividade de maior utilização de água, desta forma é fundamental a adoção de práticas que favoreçam o aumento da eficiência do uso da água, sem que a produtividade das culturas seja prejudicada (SOUZA et al., 2011), e uma das formas de realizar um bom dimensionamento de um sistema de irrigação é conhecer o coeficiente da cultura a ser irrigada.

O coeficiente da cultura indica sua demanda hídrica, e pode ser determinado pela utilização de lisímetros, podendo ser de pesagem, de drenagem ou até mesmo de lençol freático. Sendo que existem duas principais metodologias para determinar o K_c , a primeira através da relação entre a Evapotranspiração da Cultura – E_{Tc} e a Evapotranspiração de Referência E_{To} , ou ainda pode ser determinado por meio do coeficiente duplo de cultivo (ALLEN et al., 1998),

estabelecendo a influência da evaporação do solo (k_e) e da transpiração da cultura (k_{cb}) na evapotranspiração final (FLUMIGNAN et al., 2011), em que o segundo apresenta-se mais preciso, sendo que os cálculos são realizados de forma diária.

Ainda, conhecendo a demanda hídrica da cultura é possível determinar as épocas ideais para a semeadura em sequeiro, e/ou proporcionar o cultivo a partir do manejo com a utilização de irrigação suplementar.

Importante destacar que a distribuição irregular ou insuficiência das chuvas tem sido um dos principais fatores limitantes à produção agrícola na região de estudo, tornando necessário estudos que definam as melhores épocas de semeadura.

O zoneamento agrícola pode ser uma ferramenta útil na determinação destas épocas, tendo em vista que o mesmo considera, na conjuntura, dados meteorológicos aliados aos coeficientes da cultura, para calcular o Índice de Satisfação da Necessidade de Água - ISNA. Considerando que os valores de ISNA, são obtidos através da relação entre a Evapotranspiração Real – E_{Tr} e a Evapotranspiração Potencial da Cultura – E_{Tp} , sendo estes influenciados diretamente pelas variáveis meteorológicas e tipo de solo.

Outra ferramenta que pode auxiliar no planejamento agrícola e na tomada de decisão são os modelos de simulação. Modelos são representação simplificada de um sistema e simulação é o estudo do sistema e seu desempenho utilizando modelos. Assim, modelo de simulação de cultura nada mais é do que a simplificação de um sistema vegetal, sendo utilizado nos estudos do desenvolvimento e crescimento da cultura para verificar seu desempenho em função do ambiente (AMJED et al., 2012).

Um modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas visa buscar informações básicas das diversas interações entre a planta e o ambiente, maximizando o uso de recursos naturais de cada região, ou de determinada condição de cultivo. Sendo assim, pode se determinar a melhor forma de manejo de uma dada cultura e ainda favorecer o planejamento das atividades agrícolas e da pesquisa científica (PEREIRA et al., 2010).

Pesquisadores de diversos países têm utilizado vários modelos de culturas, testando a habilidade na simulação de eventos fenológicos, produção de biomassa, produtividade e rendimento de grãos (DOURADO NETO, 2001). No Brasil, a diversidade edafoclimática, bem como a importância econômica da cultura do milho, faz desse modelo uma ferramenta extremamente útil na estimativa da produção (PAGLIS; VON PINHO, 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi gerar informações acerca da demanda hídrica do milho pipoca, realizar o zoneamento da cultura para o Estado de Mato Grosso e simular o desenvolvimento e produtividade do milho pipoca em segunda safra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura de milho pipoca

O milho pipoca é caracterizado por possuir grãos pequenos e duros, que apresentam a capacidade de estourar quando aquecidos à 180 °C, diferindo-se, assim, do milho comum, porém pertencem a mesma espécie botânica *Zea mays* L. (SAWAZAKI, 2001).

Produzido em vários estados brasileiros, seguindo as áreas de produção do milho amarelo comum, ao qual muito se assemelha, de mesmas exigências em termos de clima e fertilidade do solo (CONAB, 2015).

No ano de 2001, o consumo nacional de milho pipoca era em torno de 80 mil toneladas, sendo que aproximadamente 75% desse produto era proveniente do milho importado, principalmente da Argentina e Estados Unidos (SAWAZAKI, 2001).

A área destinada ao cultivo da planta, que ocorre principalmente na segunda safra no Estado de Mato Grosso, totalizou 56.507 hectares no ano de 2014, onde 17 municípios plantam a cultura no Estado, cujo Campo Novo do Parecis, com produção de 110 mil toneladas e área de 23 mil hectares é o maior produtor em nível nacional. O município de Sapezal obteve o segundo maior resultado, com 46.800 toneladas, em lavoura de 10 mil hectares, conforme a unidade estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (CARVALHO et al., 2015).

A produção recorde de 255 mil toneladas de milho pipoca registrada em 2014 no Mato Grosso, estimulada principalmente pelo Brasil sendo sede da copa do mundo, vem caindo desde então. Não há dados oficiais sobre o cultivo total de pipoca no Brasil, mas cálculos de mercado indicam que mais de 80% da produção do País venha de Mato Grosso.

No ano de 2016, foram semeados 21.835 hectares nos municípios mato-grossenses, com redução de 13.104 hectares em relação ao plantio realizado em 2015, cuja projeção evidencia uma redução de 55.031 toneladas.

Dos municípios no Estado que atualmente destinam alguma área ao cultivo milho pipoca, em 2016, quatro municípios (Brasnorte, Primavera do Leste, General Carneiro e Tangará da Serra) deixaram de plantar a cultura nesta safra. As duas maiores safras estão previstas para os municípios de Campo Novo do Parecis, com 49.560 toneladas e Sapezal, com 16.380 toneladas (KIST et al., 2016).

2.2. Irrigação

Nos últimos anos, o cultivo de milho irrigado tem aumentado significativamente no Brasil, minimizando o efeito da deficiência hídrica, atribuído à distribuição irregular ou baixo índice pluviométrico um dos principais fatores limitantes à produção agrícola brasileira. Neste contexto tem havido alterações nas formas de manejo das lavouras, através do planejamento de uso mais intensivo das áreas para compensação do alto investimento, com maior número de cultivos e culturas envolvidas e possibilidade de uso de doses mais elevadas de fertilizantes (PAVINATO et al., 2008).

A cultura do milho necessita de 400 a 800 mm de água bem distribuídos em seu ciclo para uma boa produtividade (ÁVILA et al., 2011). A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água e/ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (FANCELLI, DOURADO NETO, 2008). Fato que também pode ser observado para a cultura de milho pipoca.

Os períodos de maior demanda hídrica do milho, assim como da maioria das culturas anuais, concentram-se na fase de emergência, florescimento e formação dos grãos. A ocorrência de déficits hídricos nestes períodos podem ocasionar redução tanto na produção bem como na qualidade de grãos (CARDOSO et al., 2004).

Pegorare et al. (2009), em experimentos conduzidos na Universidade Federal da Grande Dourados, estudando lâminas de irrigação suplementar aplicadas na cultura do milho em segunda safra, verificaram um aumento linear da produtividade até a lâmina de 570 mm.

Ávila et al. (2011), trabalhando com dois híbridos de milho pipoca (Jade e IAC 125) em Umuarama – PR, observaram comportamento diferente quanto à resposta dos híbridos ao aumento das lâminas de água. Com relação à produtividade, o híbrido Jade apresentou uma resposta quadrática, enquanto que o IAC 125 respondeu linearmente; ainda, concluíram que a deficiência hídrica implica em resultados negativos ao desempenho da cultura do milho pipoca.

Souza et al. (2011), avaliando a eficiência de utilização da água pelas culturas do milho e feijão-caupi irrigados, no município de Petrolina – PE, utilizando as lâminas de 0, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o), verificaram a maior produtividade do milho na lâmina de 125% da ET_o.

Como em áreas irrigadas os riscos na produção são minimizados, os produtores podem investir mais em fertilizantes, esperando aumentos na produtividade (PAVINATO et al., 2008).

2.3. Adubação nitrogenada em cobertura

A agricultura moderna requer cada vez mais a aplicação de conhecimentos no manejo das culturas, visando a obtenção de altas produtividades. A avaliação da fertilidade natural dos solos apresenta-se como uma opção importante para a aplicação de fertilizante em quantidade suficiente e adequada para o perfeito desenvolvimento das culturas (ROCHA, 2010). A necessidade nutricional das plantas é um dos principais fatores a ser considerado, quando o objetivo é elevar a produção de grãos.

O milho responde progressivamente à adubação, quando os demais fatores encontram-se em níveis ótimos, sendo que o nitrogênio é o nutriente que apresenta maior resposta de aumento de produtividade de grãos (BISCARO et al., 2011), atuando principalmente no acúmulo de proteína e no enchimento de grãos (PAVINATO et al., 2008).

Aplicação de N em diferentes cultivares de milho tem elevado a produtividade, sendo a época de aplicação do fertilizante definida em função das características de cada cultivar, tais como: precocidade, produtividade e fase fonológica da planta, resultando em maior eficiência da adubação. Gokmen et al. (2001), estudando a aplicação de 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg de N por hectare na cultura do milho pipoca na Turquia, concluíram que doses superiores a 100 kg por hectare não proporcionaram aumento na produtividade da cultura, não diferindo entre si pelo teste de tukey.

Casagrande; Fornasieri Filho (2002), avaliando dois híbridos simples e doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) na forma de ureia, aplicadas (totalmente na semeadura ou totalmente em cobertura) no estágio de cinco a seis folhas, não observaram efeito das doses nem da forma de aplicação do N no rendimento de grãos.

Biscaro et al. (2011), conduzindo experimentos com milho safrinha, na Universidade Federal da Grande Dourados, identificaram uma resposta quadrática de produtividade em função de doses crescentes de Nitrogênio (0, 90, 180 e 360 kg por hectare) aplicadas em cobertura, tendo como o ponto de máxima produtividade dose de 300 kg por hectare de N.

Araújo et al. (2004), verificaram o aumento de produtividade de milho em função da aplicação de doses crescentes de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg por hectare) no município de Morro Agudo – SP, cuja resposta foi linear obtendo-se a maior produtividade na dosagem de 240 kg de N por hectare.

2.4. Coeficiente de cultivo (Kc)

O coeficiente de cultura (Kc) é definido como a quantidade de água que uma cultura consome ao longo de seu ciclo, sendo que o consumo varia conforme cada fase do seu desenvolvimento, além disso, os valores de Kc variam de acordo com a cultura, as condições climáticas e as condições edafoclimáticas de cada região, assim, a estimativa do Kc deve ser realizada nas condições reais, na qual a cultura será implantada (LOPES et al., 2011; JUNIOR et al., 2013).

Estimar o Kc de uma cultura é de suma importância, já que tal prática permite um correto dimensionamento e manejo do sistema de irrigação, e conseqüentemente, otimizar a utilização da água e equipamentos de irrigação, além dos benefícios na produção da cultura (SANTOS et al., 2009).

O conhecimento do consumo hídrico das plantas é fundamental para o uso racional dos recursos hídricos e a potencialização dos sistemas de cultivos. Neste âmbito, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de determinar a evapotranspiração de culturas agrícolas para a otimização de sistemas de irrigação, bem como indicar as melhores épocas de cultivo, devido às irregularidades nos regimes pluviométricos (SILVA et al., 2013; FENNER et al., 2016; VIEIRA et al., 2016).

Muitas pesquisas a respeito da estimativa de consumo de água pelas plantas têm sido realizadas (LOPES et al., 2011; MARCO et al., 2014; FENNER et al., 2016), inclusive através do produto do Kc pela ETo, cuja determinação é com base em dados meteorológicos. As metodologias e procedimentos de cálculo de ETo têm sido apresentados e recomendados pela Food and Agriculture Organization– FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977; ALLEN et al., 1998).

Para estimar o coeficiente de cultura, pode ser adotado o método de Kc único ou o método de Kc dual. Esses procedimentos de determinação de coeficiente de cultivo podem ser mais precisos quando divide-se Kc em dois coeficientes distintos, sendo um caracterizando a transpiração da cultura, o Kcb, e outro responsável pela quantificação da evaporação da superfície do solo (Ke) (ALLEN et al., 1998).

O Kc dual fornece os valores em escala diária, de forma que calcula os aumentos reais no Kc durante cada dia em função das fases de desenvolvimento da planta e da umidade da superfície do solo, deste modo, a transpiração da planta e a evaporação do solo são determinados separadamente, em função, respectivamente, dos coeficientes basal da cultura

(K_{cb}) e de evaporação de água do solo (K_e) (ALLEN et al., 1998; SANTOS et al., 2009; SILVA et al., 2012).

K_{cb} corresponde ao coeficiente de cultura basal que é a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração potencial (ET_c/ET_p), o solo encontra-se com a superfície seca, porém a transpiração ocorre a uma taxa potencial, sem que a água do solo limite a transpiração. Para construir a curva do coeficiente de cultura divide-se o período de crescimento geral em três partes, que corresponde ao inicial, intermediário e final (ALLEN et al., 1998).

K_e é o coeficiente de evaporação do solo, onde a superfície do solo é molhada, seja por precipitação ou irrigação, o K_e é máximo. Se não houver nenhuma água na superfície do solo, ou seja, quando este estiver seco, o K_e será pequeno ou zero (ALLEN et al., 1998).

A determinação do K_c dual é mais recomendada para o manejo de sistema de irrigação, para cálculos de balanço hídrico do solo e para pesquisa, tendo em vista que seu procedimento de cálculo é realizado diariamente e diferenciando as fases da cultura, levando-se em consideração os efeitos das variações diárias de umedecimento do perfil do solo e seu impacto resultante no valor diário da ET_c (TAVARES, 2012).

2.5. Zoneamento agrícola

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático é utilizado como um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, o estudo é elaborado com o objetivo de mitigar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos permitindo que cada município identifique a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares (BRASIL, 2016). O zoneamento é uma importante ferramenta para o planejamento da agricultura e na tomada de decisão, proporcionando conhecimentos com vistas a sua utilização racional, de modo que venha a refletir na otimização dos investimentos, permitindo, a partir das análises das variabilidades climáticas locais e de sua espacialização, a delimitação de regiões com diferentes aptidões climáticas ao cultivo (SANS et al.; 2001; CASTRO et al.; 2010).

Atualmente, graças aos avanços tecnológicos, o zoneamento agroclimático pode ser realizado através de softwares de geoprocessamento, conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas, o SIG, além da utilização de Sistemas de Informações Agrometeorológicas, o SIA. Ambos são considerados como um conjunto de técnicas que visam auxiliar no planejamento das atividades agrícolas e estão fundamentadas em três bases de

dados: os dados meteorológicos, os biológicos e os dados de previsão do tempo (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

Para a realização do zoneamento agrícola utiliza-se por parâmetro os dados de Índice de Satisfação e Necessidade de Água – ISNA, sendo que o mesmo é calculado com base no balanço hídrico, representando a relação entre as evapotranspirações real e máxima da cultura. Calcula-se um valor de ISNA para cada estação e fase fenológica da cultura, considerando-se diferentes datas de semeadura, uma a cada decêndio do ano (FARIAS et al., 2009; CUNHA et al., 2001).

Para a cultura do milho na região Centro Oeste e o Estado de Minas Gerais, Sans et al. (2001) utilizou três classes de ISNA para definição de áreas aptas, restritas e inaptas, ou seja: $ISNA > 0,55$ (região agroclimática favorável, com pequeno risco climático); $0,55 > ISNA > 0,45$ (região agroclimática intermediária, com médio risco); $ISNA < 0,45$ (região agroclimática desfavorável, com alto risco climático e elevado déficit hídrico), utilizando três tipo de solo, baixa, média e alta Capacidade de Água Disponível - CAD com 20, 40 e 60 mm respectivamente.

Maluf et al. (2001), realizando o zoneamento agrícola do milho para o estado do Rio Grande do Sul, assim como Sans et al. (2001) utilizou as seguintes classes de aptidão: favorável ($ISNA > 0,55$), intermediária ($ISNA$ entre 0,45 e 0,55) e desfavorável ($ISNA < 0,45$), entretanto, por se tratar de regiões com diferentes predominâncias de solo, utilizou os seguintes valores para os três tipos de solo com CAD: 35, 50 e 70 mm.

Os valores de ISNA utilizados para definir as classes de aptidões são variáveis em função da cultura estudada, Silva e Amaral (2007), para realizar o zoneamento agrícola do amendoineiro no Estado do Rio Grande do Norte utilizaram por base os seguintes valores de ISNA: $ISNA \geq 0,45$ - baixo risco climático para cultura do amendoim de sequeiro; $0,35 \leq ISNA < 0,45$ - risco climático médio para cultura do amendoim de sequeiro; $ISNA < 0,35$ - alto risco climático para cultura do amendoim de sequeiro. Considerando dois tipos de solo, um com CAD de 30 mm e outro com CAD 40 mm.

2.6. Modelos de simulação

Modelos de simulação computacional vem sendo utilizados há quase 40 anos, tornando-se mais complexos com os avanços no conhecimento científico e na ciência da computação. Os modelos têm sido usados para examinar os processos físicos, químicos e biológicos subjacentes

aos fenômenos estudados, a exemplo, o movimento da água nos solos ou a evapotranspiração no contínuo solo-planta-atmosfera e expressar a ciência conhecida como equações matemáticas. Os modelos de culturas têm sido bem recebidos em campos onde a descrição de processos físicos é comum, como a física do solo e a agrometeorologia (HOOGENBOOM, 2004).

Os modelos podem ser classificados como descritivos ou explicativos. Os modelos descritivos simulam o sistema de maneira simplificada, descrevendo as relações entre os fatores e as respostas dos cultivos sem poder explicar as mesmas, tendo como exemplo os modelos estatísticos, que utilizam a regressão para descrever a relação entre as variáveis envolvidas. As informações geradas a partir dos modelos descritivos são de aplicação restrita, sendo sua utilização limitada aos locais para os quais os mesmos foram gerados (JAME; CUTFORTH, 1996). Enquanto que os modelos explicativos expõem quantitativamente os mecanismos e os processos que norteiam o funcionamento do sistema. Dentre os modelos explicativos podem ser citados os modelos matemático-fisiológicos e os modelos mecanísticos, apesar de serem classificados dessa maneira, um ponto importante no uso de modelos é a sua aplicabilidade, a qual deve estar associada à confiabilidade das informações geradas.

As primeiras aplicações dos modelos, e ainda as mais frequentes, têm sido na área da pesquisa científica, por permitirem a organização e assimilação dos conhecimentos gerados na experimentação, a identificação de lacunas na investigação científica, além de facilitar o trabalho interdisciplinar e favorecer uma visão sistêmica dos processos produtivos. Possibilitando, assim, que sistemas complexos, como o crescimento de culturas, sejam analisados de forma dinâmica e quantitativa (ANDRADE, 2009). Os modelos de simulação de cultura são utilizados para diversas finalidades, como pesquisa, ensino, treinamento e transferência de tecnologia, além de auxiliar os agricultores e agentes governamentais na tomada de decisão (HOOGENBOOM, 2000).

Os modelos de simulação de culturas são ferramentas muito importantes no estudo das funções de produção, nos quais interagem submodelos dos distintos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, para a previsão de crescimento, desenvolvimento e produção das culturas (DALLACORT et al., 2011b), além de tornar possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição, podendo modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e de outras variáveis, como a evapotranspiração e as necessidades de água da cultura (FREITAS et al., 2005).

Vários modelos de simulação de culturas estão disponíveis para serem utilizados. Entre eles, dois se destacam pela extensa utilização, principalmente em pesquisa: o APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) (KEATING et al., 2002), desenvolvido na Austrália com a finalidade de auxiliar na recomendação de diferentes cultivos, possuindo um grande número de módulos; e o DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), desenvolvido, inicialmente, na Universidade do Havaí, possuindo atualmente 28 modelos de simulação de cultura (HOOGENBOOM et al., 2012).

Entre os diversos modelos utilizados para simulação do crescimento de plantas, particularmente para gramíneas, destacam-se os modelos CERES (Crop Environment Resource Synthesis), em que, o que se destina para simulações com a cultura do milho são denominados CERES-Maize. A principal inovação desses modelos é a utilização do conceito de coeficiente genético, o qual significa que uma característica comum a todas as variedades de uma dada cultura pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações (SALVADOR, 1993).

Para a cultura do milho os coeficientes são os seguintes (HOOGENBOOM et al., 2010).

– P1: representa a duração do período vegetativo, soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C).

– P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas.

– P5: duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C).

– G2: número máximo de grãos por planta.

– G3: taxa de enchimento do grão (mg dia⁻¹) sob condições ótimas de crescimento.

O modelo tem sido testado em diversos locais, com bons resultados de estimativa de rendimento de grãos. No Brasil, o modelo CERES-Maize foi eficiente na simulação das datas de florescimento, maturidade fisiológica dos híbridos, rendimento e da produtividade de grãos de híbridos de milho em condições favoráveis de cultivo, para a região de Lavras – MG (PEREIRA et al., 2010).

Em experimentos também realizados em Lavras – MG por Paglis et al, (2009), o modelo apresentou-se como uma ferramenta eficaz para simular o desempenho de cultivares de milho sob doses crescentes de fertilizantes, podendo ser útil ao produtor na hora do planejamento do seu plantio.

Soler et al, (2007) concluíram que o modelo CERES-Maize é uma ferramenta promissora para a previsão de rendimentos de cultivares de milho, tendo potencial para auxiliar os produtores na tomada de decisões. Neste estudo realizado no município de Piracicaba – SP, foram utilizados quatro híbridos de milho semeados em diferentes épocas, sob condição de sequeiro e irrigado, em que o modelo simulou com precisão a fenologia e rendimento dos híbridos estudados.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56**, FAO, n. 56, p. 300, 1998. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>>.

AMJED, A.; SANJANI, S.; HOOGENBOOM, G.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; WAJID, S.A.; NOORKA, I.R.; AHMAD, S. Application of crop growth models in agriculture of developing countries: a review. **New Horizons in Science & Technology**, Brampton, v. 1, n. 4, p. 95-99, 2012

ANDRADE, C. DE L. T.; AMARAL, T. A.; JÚNIOR, J. C. F. B.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA, A. G.; TOJO-SOLER, C. M.; SILVA, D. DE F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. Modelagem do crescimento de culturas : aplicações à cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 65, 2009.

ARAÚJO, L. A. N. DE; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. DA. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 771–777, 2004.

ÁVILA, M. R.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; SCAPIM, C. A.; BARIZÃO, D. A. O.; ALBRECHT, L. P.; RODOVALHO, M. A. Híbridos de milho pipoca cultivados sob diferentes lâminas de irrigação. **Scientia Agraria**, v. 12, n. 4, p. 199–209, 2011.

BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. DE A.; RANZI, R.; VAZ, M. A. B.; PRADO, E. A. F. DO; SILVEIRA, B. L. R. Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p. 10–19, 2011.

BRASIL. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politicaagricola/zoneamento-agricola/>>.

CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina - PR, utilizando o modelo Ceres-Maize. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 291–300, 2004.

CARVALHO, C. DE; KIST, B. B.; SANTOS, C. E. DOS; MÜLLER, I.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro do milho 2015**. Gazeta ed. Santa Cruz do Sul , 2015.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 33–40, 2002.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Zoneamento agroclimático para espécies do gênero Pinus no Estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 235-250, 2010.

CONAB. **Proposta de preços mínimos - Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_10_09_53_53_proposta_pm_-_verao_-_texto_completo.pdf>.

CUNHA, G. R. DA; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; CARAMORI, P. H.; ASSAD, E. D.; BRAGA, H. J.; JR., J. Z.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S. L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 400–414, 2001.

DALLACORT, R.; DE FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; GONCALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; GUIMARÃES, R. M. L. Simulation of bean crop growth, evapotranspiration and yield in Paraná State by the CROPGRO-Drybean model. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 429–436, 2011b .

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra , médio norte do Estado de Mato Grosso , Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193–200, 2011a.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation Drainage. Paper No.24**, p. 156, 1977.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; SANTOS BACCHI, O. O.; LOPES, P. P. **Soil water retention curve** (software): version 3.0. Piracicaba, ESALQ. CD-ROM, 2001.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Piracicaba: livrocere, 2008.

FARIAS, J. R.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Soja. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de meteorologia, 2009. p. 133–149.

FENNER, W.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. DE; FARIA JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, M. A. C. DE; BARIVIERA, G. Dual crop coefficient of common bean in Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 455–460, 2016.

FLUMIGNAN, D. L.; DE FARIA, R. T.; PRETE, C. E. C. Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 5, p. 791–800, 2011.

FREITAS, P. S. L. DE; MANTOVANI, E. C.; GILBERTO CHOYAKU SEDIYAMA; COSTA, L. C. Penalização da produtividade da cultura do milho imposta pelo modelo CERES-Maize. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 97–105, 2005.

GOKMEN, S.; SENCAR, O.; SAKIN, M. A. Response of Popcorn (*Zea mays everta*) to Nitrogen Rates and Plant Densities. **Turk J Agric For**, v. 25, p. 15–23, 2001.

HOOGENBOOM G.; JONES J. W.; PORTER C.H.; WILKENS P.W.; BOOTE, K.J.; HUNT L.A.; TSUJI G.Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer**, Version 4.5. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI. 2010

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to simulation of crop production and its applications. **Agricultural and forest meteorology**, v. 103, p. 137–157, 2000.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.L.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; ROYCE, F.S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A.J.; TSUJI, G.Y.; KOO, J. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)**. Honolulu: University of Hawaii, 2012. 1 CDROM

HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. W.; MESSINA, C. D. From genome to crop: Integration through simulation modeling. **Field Crops Research**, v. 90, n. 1, p. 145–163, 2004.

JAME, Y. W.; CUTFORTH, H. W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 76, n. 1, p. 9–19, 1996.

JÚNIOR, E. G. C. et al. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 261–267, 2013.

KEATING, B. A.; CARBERRY, P. S.; HAMMER, G. L.; PROBERT, M. E.; ROBERTSON, M. J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N. I.; HARGREAVES, J. N. G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J. P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K. L.; ASSENG, S. et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3–4, p. 267–288, 2003.

KIST, B. B.; SANTOS, C. E. DOS; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro do milho 2016**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 548–553, 2011.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R. DA; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.; PIRES, J. L. F. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 460–467, 2001.

MARCO, K. DE; DALLACORT, R.; SANTI, A.; OKUMURA, R. S.; INOUE, M. H.; BARBIERI, J. D.; ARAUJO, D. V. DE; ANTÔNIO, R.; MARTINEZ, S.; FENNER, W. Thermic sum and crop coefficient of canola (*Brassica napus* L .) for the region of Tangará da Serra , Mato Grosso State , Brazil. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 3 & 4, p. 232–236, 2014.

PAGLIS, C. M.; VON PINHO, R. G. Simulação de florescimento e da produção de milho através do modelo CERES - Maize. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 509–513, 2009.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 358–364, 2008.

- PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “ safrinha ” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 262–271, 2009.
- PEREIRA, A. M. DE A. R.; PINHO, R. G. VON; PAGLIS, C. M.; PEREIRA, J. L. DE A. R.; ALTOÉ, T. F. Efficiency of the CERES-Maize model in the simulation of corn hybrid performance. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 486–493, 2010.
- ROCHA, R. J. DE S. Adubação nitrogenada em milho em semeadura direta e cultivo convencional na região Meio-Norte do Piauí. **Tese - Universidade Estadual Paulista - Unesp**, p. 89, 2010
- SALVADOR, R.J. Use of computerized simulation to advance agricultural research in developing countries. In: **International Congress on Research in Electrical Sciences**, 8., 1993, Torreón. Proceeding... Torreón, Coahuila, México: Instituto Tecnológico de la Laguna, 1993.
- SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 564–570, 2001.
- SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na Região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 27, n. 6, p. 30–33, 2009.
- SAWAZAKI, E. A cultura do milho-pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, v. 53, n. 2, p. 11–13, 2001.
- SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. DO. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, p. 93–99, 2007.
- SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G. B., SOUZA, J. L.; NETO, J. D. Adaptação do método de Kc “dual” (FAO-56) para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **Revista Educação agrícola Superior**, v. 27, n. 2, p. 87–93, 2012.

SILVA, V. DE P. DA; TAVARES, A. L.; SOUSA, I. F. DE. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 255–259, 2013.

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, n. 2–4, p. 165–177, 2007.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; DA SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; DE CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 15–22, 2011.

SOUZA, L. S. B. DE; MOURA, M. S. B. DE; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. DA. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 715–721, 2011.

TAVARES, A. L. Consumo hídrico e coeficientes de cultivos simples e dual do coentro. **Dissertação - Universidade Federal de Campina Grande**, p. 65, 2012.

VIEIRA, P. V. D.; FREITAS, P. S. L. DE; SILVA, A. L. B. R. DA; HASHIGUTI, H. T.; REZENDE, R.; FARIA JÚNIOR, C. A. Determination of wheat crop coefficient (K_c) and soil water evaporation (K_e) in Maringa, PR, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 44, p. 4551–4558, 2016.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: Linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 179-190, 2013.

CAPÍTULO 1

Resposta do milho pipoca em função das diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para a região de Tangará da Serra – MT, cerrado mato-grossense

Resposta do milho pipoca em função das diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para a região de Tangará da Serra – MT, cerrado mato-grossense

RESUMO

O nitrogênio é o nutriente mineral exigido em maior quantidade pela planta e também o que mais influencia na produtividade de grãos. A eficiência da adubação nitrogenada aliada a irrigação é uma variável importante a ser considerada na produção de milho pipoca. Objetivou-se avaliar os componentes de desenvolvimento de planta e a produtividade de milho pipoca em função de diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para a região de Tangará da Serra-MT. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições, em que os tratamentos foram compostos por diferentes lâminas de água aplicadas via irrigação (L1:30, L2:70, L3:110 e L4:150 % da ETo) e doses de nitrogênio em cobertura (D1:30, D2:60, D3:90 e D4:120 kg ha⁻¹), para condições edafoclimáticas típicas do cerrado mato-grossense, cujo clima é caracterizado por elevadas temperaturas durante todo o ano e inverno seco. Foram avaliadas variáveis de desenvolvimento e produção do milho pipoca, bem como, a altura de planta, altura de inserção de espiga, diâmetro de espiga, comprimento de espiga, número de fileira por espiga, número de grãos por fileira de espiga, produtividade e capacidade de expansão. Quanto a produtividade e diâmetro de espiga, estas apresentaram interação significativa entre fatores, obtendo-se a máxima produção, com 6485,0 Kg ha⁻¹, com a dose de 89,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água de 137,4% da ETo. O maior diâmetro de espiga observado foi de 3,85 cm, com a dose de 78,4 Kg ha⁻¹ de N e lâmina de água de 135,7% da ETo. Para as variáveis número de grãos por fileira, altura de planta, altura de inserção de espiga e comprimento de espiga, não houve interação significativa entre fatores, porém observou-se respostas quadráticas significativas para cada fator.

Palavras-Chave: Adubação nitrogenada, Necessidade hídrica, *Zea mays* L.

Water depths and nitrogen doses on popcorn maize in the cerrado of Mato Grosso

ABSTRACT

Nitrogen is the mineral nutrient required by the plant, and the one that most influences grain yield. The efficiency of nitrogen fertilization combined with irrigation is an important variable to be considered in the production of popcorn maize. The objective of this study was to evaluate the production components of plant and the productivity of popcorn maize as a function of irrigation depths and nitrogen doses for the Tangará da Serra-MT region. The experimental design was a randomized complete block design in a 4x4 factorial, with four replications, in which the treatments were composed of different water blades (L1: 30, L2: 70, L3: 110 and L4: 150%), and nitrogen doses of (D1: 30, D2: 60, D3: 90 and D4: 120 kg ha⁻¹), for typical edaphoclimatic conditions of the cerrado of Mato Grosso, whose climate is characterized by high temperatures all year round, and dry winter. Popcorn production variables were evaluated, as well as plant height, ear insertion height, ear diameter, ear length, number of row per ear, number of grains per row of ears, productivity and expansion capacity. For the variables yield and ear diameter, there was a significant interaction between factors, obtaining the maximum production, with 6485.0 kg ha⁻¹, with the dose of 89.4 kg ha⁻¹ of N under a water blade of 137.4% of ETo. The largest ear diameter observed was 3.85 cm, with a dose of 78.4 kg ha⁻¹ of N and a water blade of 135.7% of ETo. For the variables number of grains per row, plant height, spike insertion height and spike length, there was no significant interaction between factors, but significant quadratic responses were observed for each factor.

Keywords: Nitrogen fertilization, Water requirement, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do milho pipoca (*Zea mays* L.) no Brasil vem principalmente pelo potencial de retorno econômico da cultura, quando comparado ao do milho comum, e pela produção brasileira ser insuficiente para atender o mercado nacional, colocando-o em posição de destaque, com um mercado futuro promissor.

Pelo fato do Brasil importar a maior parte do milho pipoca consumido nacionalmente, estudos que busquem determinar a necessidade hídrica da cultura, controle de pragas, doenças e plantas daninhas, adubação, utilização de sistemas de irrigação, entre outras, ainda são incipientes (ÁVILA et al., 2011; PRICINOTTO et al., 2014). Portanto, é necessário o desenvolvimento de técnicas voltadas ao manejo e tratos culturais, que visem principalmente, proporcionar o potencial máximo de produtividade da cultura do milho pipoca.

O milho pipoca pertence a mesma espécie do milho comum, porém, este assume um tipo especial de milho, com características diferenciadas, tais como, grãos pequenos, duros e com pericarpo mais espesso, que possibilita o estouro quando submetidos à temperatura em torno de 180 °C (OLIVEIRA et al., 2009b).

Grande parte dos produtores realizam as práticas culturais da mesma forma que no milho convencional destinado à produção de grãos, aumentando os riscos associados ao cultivo de milho pipoca, tendo em vista que o mesmo difere do milho convencional e requer alta qualidade de grãos para proporcionar índices satisfatórios de capacidade de expansão (VIEIRA et al., 2009).

O Estado de Mato Grosso é o maior produtor nacional de milho pipoca. No ano de 2014 colheu 255.719 toneladas do grão em uma área de 56.507 hectares, com a semeadura realizada em segunda safra. Dentre os 17 municípios produtores, destacam-se Campo Novo do Parecis, com 110.400 toneladas e área de 23.000 hectares, e o município de Sapezal, com 46.800 toneladas em lavouras de 10 mil hectares, que são responsáveis por mais de 60% da produção estadual (CARVALHO et al., 2015).

O milho é uma das culturas mais exigentes em nitrogênio e a aplicação do mesmo tem efeitos significativos sobre componentes de produção, tais como, o comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso de mil grãos e rendimento de grãos de pipoca (PRICINOTTO et al., 2014). Logo, o fornecimento inadequado e os baixos teores de N no solo são fatores limitantes à produtividade (CIVARDI et al., 2011).

A adubação nitrogenada tem como finalidade suprir a necessidade de N para cultura, sendo realizada no momento em que há maior exigência deste nutriente, pois o nitrogênio é

rapidamente disponível para as plantas quando comparado a outros nutrientes, como P e K (PAVINATO et al., 2008). O nitrogênio, quando aplicado em quantidades insuficientes, pode gerar consequências negativas no metabolismo da planta e produzir problemas em escalas agronômicas, econômicas e ambientais (OKUMURA et al., 2011). Estes efeitos podem ser ainda mais intensos, quando da ocorrência de déficit hídrico.

A instabilidade dos regimes de chuva pode limitar o desenvolvimento do milho, principalmente em cultivos de segunda safra no cerrado mato-grossense, em que os períodos chuvosos e secos são bem definidos, ocasionando uma pequena janela para este cultivo (DALLACORT et al., 2011), com alta probabilidade de veranicos no período reprodutivo da cultura. O uso adequado da irrigação, aliado a adubação nitrogenada pode minimizar os riscos durante o processo de condução da lavoura e, maximizar o rendimento produtivo de milho pipoca (BORIN; LANA; PEREIRA, 2010).

O manejo correto da irrigação deve atender a critérios racionais, em que a água aplicada deve ser controlada para que esta prática não prejudique o meio ambiente e possibilite a cultura expressar seu potencial produtivo (ÁVILA et al., 2011).

A irrigação pode ser utilizada para reduzir os efeitos do déficit hídrico nas plantas, sobretudo nos períodos mais críticos da cultura, como emergência (VE), diferenciação dos órgãos reprodutivos (V4 a V6), florescimento e enchimento de grãos (VT a R6) (NIELSEN; HALVORSON; VIGIL, 2010).

Pesquisas demonstram que a eficiência na absorção de N pela planta de milho é potencializada quando associada a lâminas de água, alcançando maior rentabilidade e produtividade (PAVINATO et al., 2008; ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004).

Objetivou-se avaliar as respostas das variáveis de desenvolvimento de planta e produção do milho pipoca em função de diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para a região de Tangará da Serra – MT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental pertencente ao Laboratório de Agrometeorologia, do Centro de Estudos, Pesquisa e Desenvolvimento Agroambientais (CEPEDA) da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra, localizada nas coordenadas geográficas de 14° 39' Sul e 57° 25' Oeste e com altitude de 440 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido megatérmico (AW) e o solo é do tipo Latossolo Vermelho Distroférrico (DALCHIAVON et al., 2010). Os valores médios anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar são, respectivamente, 24,4 °C, 1.500 mm e 70 – 80 % (DALLACORT et al., 2011).

Próximo a área experimental, foi instalada uma estação meteorológica automática Campbell Científico, modelo UT 30, da qual foram obtidos os dados de temperatura, precipitação, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência – ETo, método Penman-Monteith definido como padrão pela FAO (ALLEN et al., 1998) (Figura 1).

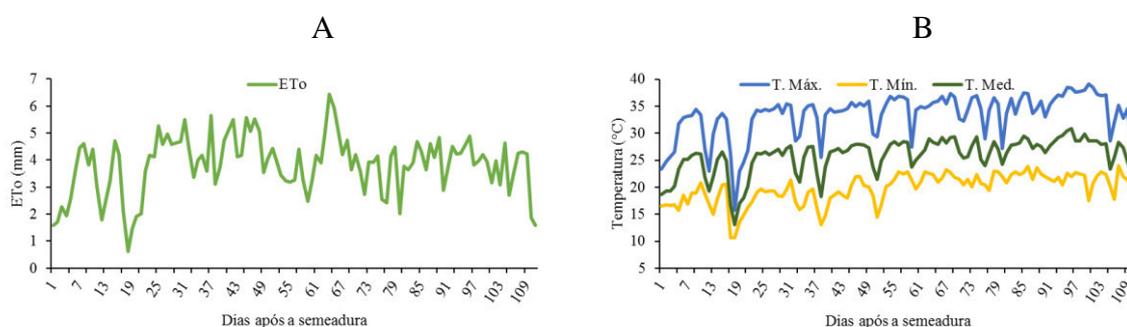


Figura 1. Evapotranspiração de referência (A) e temperaturas máximas, médias e mínimas (B) após a sementeira do milho pipoca

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições, em que os tratamentos foram compostos por quatro lâminas de água aplicadas via irrigação (L1:30, L2:70, L3:110 e L4:150 % da ETo), (Figura 2) e quatro doses de nitrogênio em cobertura (D1:30, D2:60, D3:90 e D4:120 kg ha⁻¹). O preparo do solo, correção e adubação foram realizados de acordo com as necessidades da cultura, e os demais tratamentos culturais, como o controle das pragas, doenças e plantas daninhas, foram realizados conforme recomendações para a cultura.

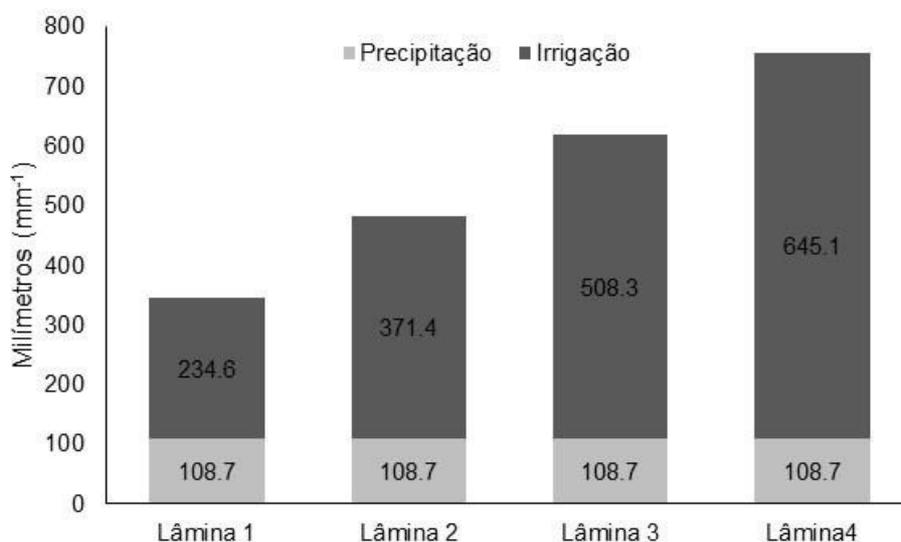


Figura 2. Total de água recebida nas diferentes lâminas de água

A cultivar utilizada foi o híbrido AP-6002 da Yoki, altamente produtivo e recomendado para o Estado de Mato Grosso. A semeadura foi realizada no dia 09/07/2014 e a colheita no dia 27/10/2014. O estande mantido foi de 65.000 plantas ha⁻¹, conforme recomendado para a cultivar.

O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, utilizando-se aspersores Fabrimar Eco A232, espaçados em 12 x 18 m, com bocais de 4,00 x 2,80 mm, coeficiente de uniformidade de 82% e lâmina média de 7 mm h⁻¹, operando sob pressão de 30 m.c.a.. A diferenciação de lâminas se deu 30 dias após a semeadura.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: Altura de planta (m); Altura de inserção de espiga (m); Diâmetro de espiga (cm); Comprimento de espiga (cm); Número de fileiras por espiga; Número de grãos por fileira de espiga; Produtividade (Kg ha⁻¹) e Capacidade de expansão (mL g⁻¹).

As avaliações de altura de planta e altura da inserção de espiga foram realizadas com o auxílio de uma trena, medindo-se a distância entre o solo e a inserção da folha bandeira, a distância do solo ao ponto de inserção da espiga no caule, respectivamente. O comprimento e o diâmetro de espiga foram obtidos com paquímetro digital. Determinou-se a produtividade pela razão entre a massa de grãos colhida e a área útil de cada parcela experimental, sendo posteriormente corrigida para 13% de umidade em base seca, e para determinar a capacidade de expansão, utilizou-se um forno micro-ondas (MATTA; VIANA, 2001; GOES et al., 2013).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de homocedasticidade das variâncias e normalidade dos erros e, posteriormente, à análise de variância. Quando verificada interação

significativa entre os fatores, procedeu-se a seleção de modelos, afim de demonstrar em gráficos tridimensionais a interação entre os fatores, e quando a interação foi não significativa, procedeu-se a análise de regressão individualmente para cada fator.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade apresenta interação significativa entre as doses de N e lâminas de irrigação, possibilitando o desdobramento realizado por meio da seleção de um modelo que representa, em forma de superfície tridimensional as repostas obtidas no experimento (Figura 3).

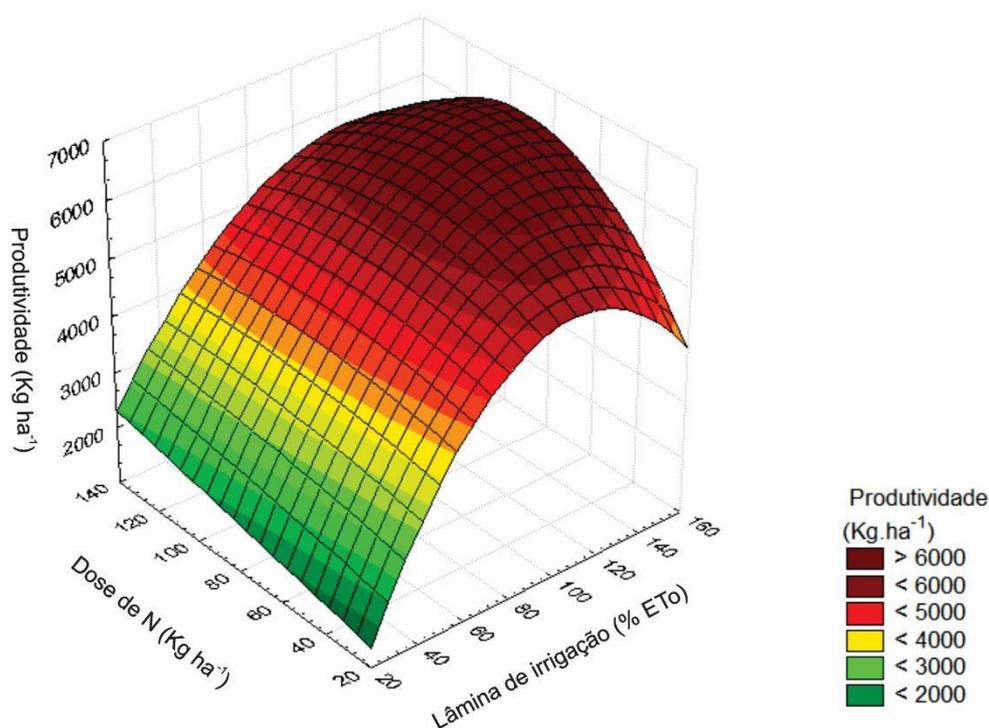


Figura 3. Produtividade do milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura

A máxima produtividade foi observada com doses de N entre 80 e 100 Kg ha⁻¹, desde que associada com a aplicação de lâmina de água entre 100 e 120% da ETo. Dos dados obtidos no experimento encontrou-se uma máxima produtividade, de 6485,0 Kg ha⁻¹, quando aplicado 89,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água 137,4% da ETo.

Sob irrigação por aspersão, Pavinato et al. (2008), encontraram máxima produtividade de grãos de milho com a aplicação de 283 a 289 Kg ha⁻¹ de N parcelados em V3 e V6.

Pesquisa desenvolvida por Gokmen; Sencar; Sakin, (2001) encontraram resultados semelhantes ao deste trabalho, em que doses superiores a 100 Kg ha⁻¹ proporcionaram aumento significativo na produtividade do milho pipoca, e não diferindo estatisticamente até o limite de 250 Kg ha⁻¹.

Pavinato et al. (2008), afirmam que no geral doses de N entre 120 e 160 Kg ha⁻¹ podem ser consideradas como base para a obtenção de altas produtividades de grãos de milho. Tal afirmação se difere do encontrado neste estudo, em que as doses de N até 100 Kg ha⁻¹ de N, proporcionaram incrementos na produtividade, porém, com 120 Kg ha⁻¹ de N, houve início da queda de produtividade de milho pipoca.

Ao analisar a influência das lâminas de água e doses de N sobre o diâmetro da espiga do milho pipoca, constatou-se que doses entre 70 e 90 Kg ha⁻¹ de N combinadas a lâminas de água entre 120 e 150% da ETo, possibilitaram um maior diâmetro da espiga, em que o maior diâmetro estimado foi de 3,85 cm, quando aplicados 78,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água de 135,7% da ETo (Figura 4).

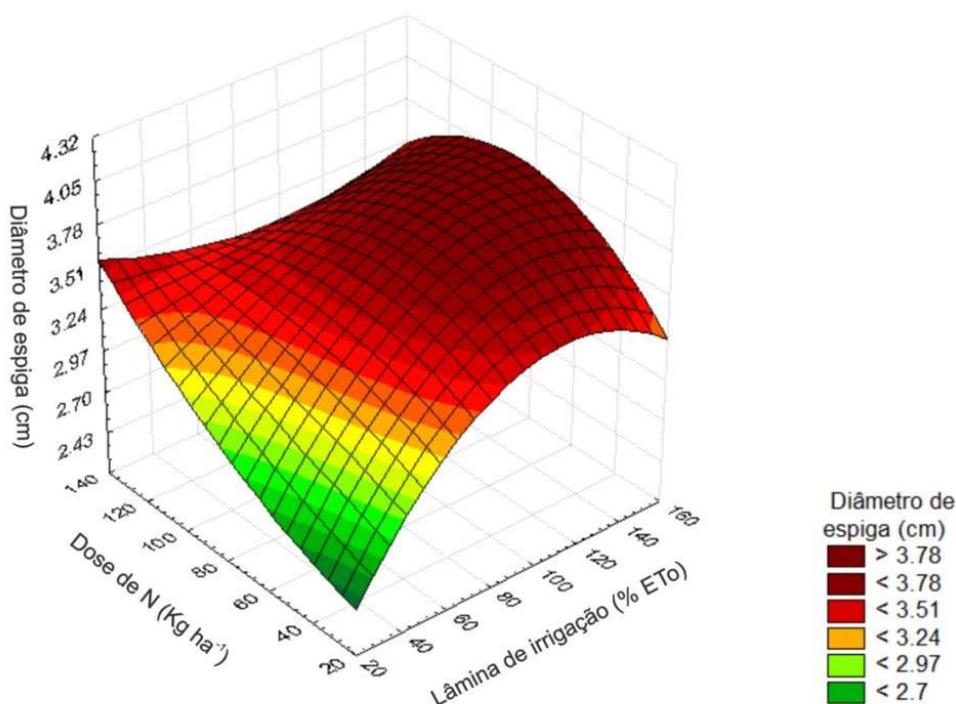


Figura 4. Diâmetro de espiga do milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura

Resultados semelhantes foram observados por Souza et al. (2015), avaliando o efeito da irrigação em função da aplicação de nitrogênio encontraram maiores diâmetros de espiga em lâminas de 75 a 100 % da ETo e em tratamentos com 100 a 200 Kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Ávila et al. (2011), avaliando lâminas de água na cultura do milho pipoca, obtiveram resultados semelhantes, em que se verificaram comportamento quadrático assintótico, com maior valor de diâmetro de espiga observado na lâmina 120% ETo.

Pesquisa realizada por Freire et al. (2010), no município de Prudente de Morais- MG, utilizando irrigação por aspersão convencional e cinco doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 e 240 Kg ha⁻¹), verificaram influência significativa das doses de N na variável diâmetro de espiga sem palha, em que a dose de 136 Kg de N ha⁻¹ foi a que proporcionou maiores valores para diâmetro da espiga.

Para as variáveis número de grãos por fileiras, altura de plantas e altura de inserção de espiga, não houve interação significativa entre os fatores estudados, entretanto, quando analisadas individualmente, a lâmina de água e dose de N proporcionaram respostas com funções quadráticas significativas (Figura 5).

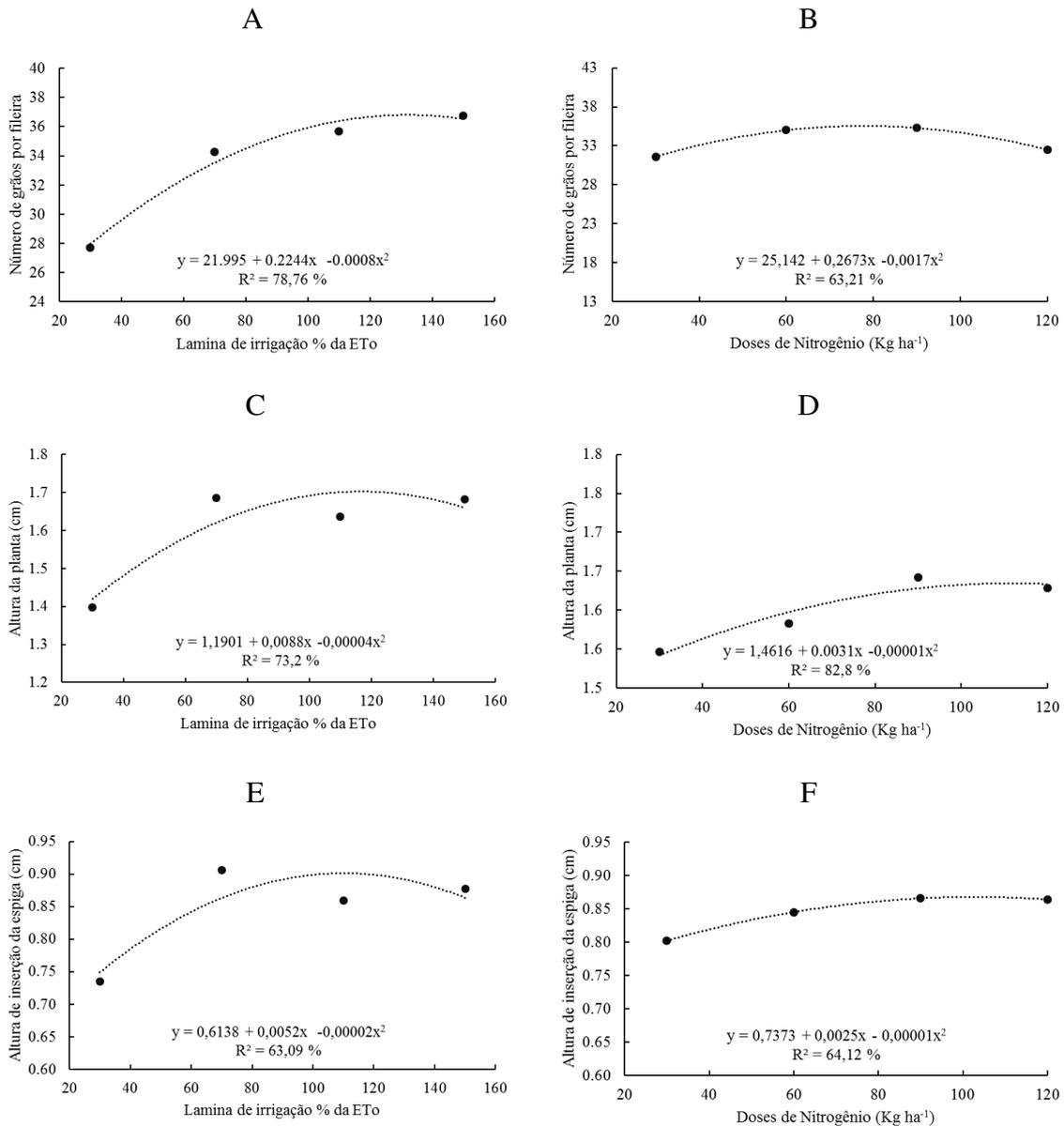


Figura 5. Número de grãos por fileiras (A e B), altura da planta (C e D) e altura de inserção da espiga (E e F) de milho pipoca em função de lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura

Para o número de grãos por fileira (Figura 5A), o valor máximo observado foi de 36,8 fileiras, quando aplicada uma lâmina de água de 132% da ETo, enquanto que para a altura de planta (Figura 5C) a lâmina de água que proporcionou maior desempenho foi a de 115,6% da ETo, obtendo-se plantas com 1,70 m de altura. Já para a altura de inserção da espiga (Figura 5E) o maior valor encontrado foi de 0,90 m quando a lâmina de água aplicada foi de 108,8% da ETo.

Ao analisar a resposta destas variáveis sob diferentes lâminas de água identificou-se que os maiores valores para número de grãos por fileira (Figura 5A), altura de plantas (Figura 5C)

e altura de inserção de espiga (Figura 5E) foram observados sempre com lâminas entre 105 e 135% da ETo.

Ávila et al. (2011), observaram comportamento quadrático para inserção da primeira espiga, em função da irrigação, em que a maior altura foi 92,7 cm com uma lâmina de 160 mm. Concordando com este trabalho, em que tratamentos que apresentaram maior altura de plantas também apresentaram maior inserção da espiga, podendo ser observado na figura 5 C e E.

As variáveis altura de planta (Figura 5D) e altura de inserção da espiga (Figura 5F), para atingir o ponto máximo, necessitaram de 110,7 e 105,6 Kg ha⁻¹ de N para obter alturas de 1,63 e 0,87 m, respectivamente. Já o número de grãos por fileira (Figura 5B) necessitou de 77,9 Kg ha⁻¹ de N para obter o maior valor estimado de 35,5 fileiras.

Corroborando com este resultado, Biscaro et al. (2011), observaram regressão quadrática para o número de grãos por fileira e número de grãos por espiga, sendo que estes foram influenciados pelas doses de nitrogênio. Souza et al. (2011), observaram que a elevação das doses de N aumentou o número de grãos na fileira da espiga de milho convencional até a dose de 142 Kg de N ha⁻¹, bem como o número de grãos na espiga até a dose de 159 Kg de N ha⁻¹.

Pricinotto et al. (2014), pesquisando milho pipoca, também observaram regressão quadrática para o número de grãos por fileira de espiga, com obtenção de 36 grãos por fileira em dose de 100,65 Kg ha⁻¹ de N. Por sua vez Schlichting et al. (2014) em ensaios com milho convencional, destacaram que a altura de plantas apresentou variação quadrática com as doses de nitrogênio, atingindo um máximo correspondente a 172,54 cm para uma dose de 102,61 kg de N ha⁻¹.

Mar et al. (2003) analisando doses de adubação nitrogenada em Latossolo Vermelho Eutroférico argiloso, obtiveram altura de planta de milho pipoca de 209,52 cm com dose de nitrogênio de 121 Kg ha⁻¹. Silva e Silva (2003) verificaram altura de planta de milho verde de 194,0 cm para adubação com nitrogênio de 120,0 Kg ha⁻¹. Oliveira et al. (2009a) e Soratto et al. (2010) observaram resposta linear de altura de planta de milho para a adubação com nitrogênio até 120,0 Kg ha⁻¹.

O resultado sugere que o nitrogênio atua no crescimento vegetativo, influenciando diretamente a divisão e a expansão celular e no processo fotossintético, promovendo acréscimo na altura das plantas (AMARAL FILHO et al., 2005).

Para o comprimento da espiga, não houve interação significativa. Entretanto, quando analisadas as fontes de variação individualmente, as lâminas de água proporcionaram uma

resposta quadrática, enquanto que para as doses de N a função foi linear. O número de fileiras foi influenciado significativamente apenas pela lâmina de água (Figura 6).

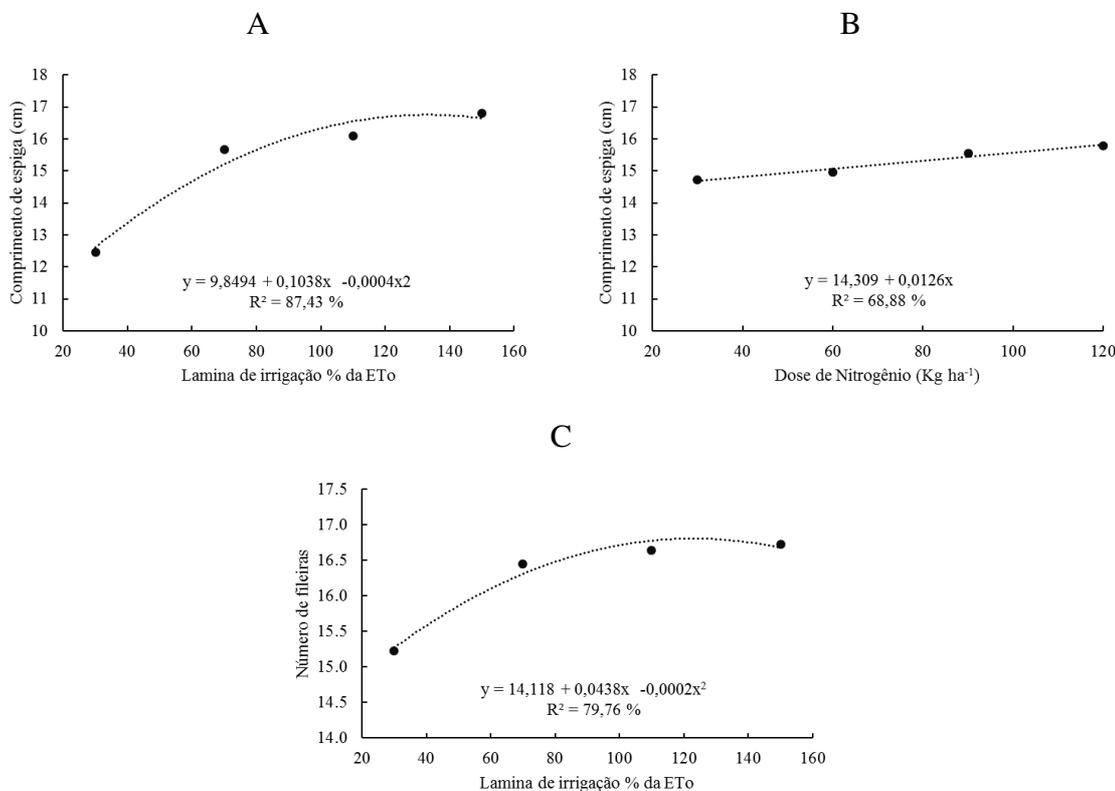


Figura 6. Comprimento de espiga de milho pipoca em função de lâminas de água (A) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (B) e número de fileiras em espigas de milho pipoca em função de lâminas de água (C)

Para o comprimento de espiga (Figura 6A), a lâmina de água que proporcionou maior comprimento da espiga foi de 133,1% da ET0, alcançando um comprimento de 16,8 cm, e com relação as doses de N (Figura 6B), a cada Kg ha^{-1} de N aplicado em cobertura, o comprimento da espiga aumentou em 0,01 cm.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ávila et al. (2011), que observaram resposta quadrática com maior comprimento de espiga de milho (15,42 cm) referente a uma lâmina de água de 220 mm para o híbrido Jade, afirmando que quando há suplementação com água as espigas são maiores.

Com relação a dose de nitrogênio, resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram observados por Pricinotto et al. (2014), em que a resposta máxima de comprimento de espiga foi de 14,99 cm na dose de N de $107,71 \text{ Kg ha}^{-1}$.

O número de fileiras por espiga foi influenciado pelas diferentes lâminas de água, em que o maior número de fileiras foi de 16,8, sob uma lâmina de 123% da ETo (Figura 6C).

A capacidade de expansão do milho pipoca não foi influenciada significativamente pelas doses de N, tampouco pelas lâminas de água, apresentando média de 32,2 ml g⁻¹.

Frizzone et al. (1996) observaram que a relação entre os fatores irrigação e aplicação de nitrogênio tem sido caracterizado como uma relação positiva para as culturas, em que a resposta da cultura a irrigação aumenta com acréscimo nos níveis de adubação mineral.

4. CONCLUSÕES

A produtividade e diâmetro de espiga de milho pipoca foram influenciadas pela interação entre as lâminas de água e as doses de nitrogênio.

A produtividade máxima de 6485,0 Kg ha⁻¹ foi obtida ao aplicar 89,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água de 137,4% da ETo.

O diâmetro da espiga máximo valor foi de 3,85 cm, quando aplicados 78,4 Kg ha⁻¹ de N sob uma lâmina de água de 135,7% da ETo.

As variáveis número de fileira, número de grãos por fileira, altura de planta, altura de inserção da espiga e comprimento de espiga, não foram influenciadas significativamente pela interação entre doses de N e lâminas de água, apresentando significância apenas quando os fatores foram analisados individualmente.

A capacidade de expansão do milho pipoca não foi influenciada por nenhuma das fontes de variação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56**, FAO, n. 56, p. 300, 1998. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>>.

AMARAL FILHO, J. P. R. DO; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 467 – 473, 2005.

ARAÚJO, L. A. N. DE; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. DA. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 771–777, 2004.

ÁVILA, M. R.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; SCAPIM, C. A.; BARIZÃO, D. A. O.; ALBRECHT, L. P.; RODOVALHO, M. A. Híbridos de milho pipoca cultivados sob diferentes lâminas de irrigação. **Scientia Agraria**, v. 12, n. 4, p. 199–209, 2011.

BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. DE A.; RANZI, R.; VAZ, M. A. B.; PRADO, E. A. F. DO; SILVEIRA, B. L. R. Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p. 10–19, 2011.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. Edição especial, p. 1591–1597, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000700001&nrm=iso>.

CARVALHO, C. DE; KIST, B. B.; SANTOS, C. E. DOS; MÜLLER, I.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro do milho 2015**. Gazeta ed. Santa Cruz do Sul: [s.n.], 2015.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52–59, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/8146>>.

DALCHIAVON, F. C.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; SANTI, A.; NIED, A. H.;

MARTINS, J. A.; COLETTI, A. J. Características agronômicas das sementes e dos frutos de pinhão-mansão no município de Tangará da Serra, MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 95–101, 2010.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193–200, 2011.

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

FREIRE, F. M.; VIANA, M. C. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; PEDROSA, M. W.; COELHO, A. M.; ANDRADE, C. L. T. Produtividade econômica e componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 213–222, 2010.

FRIZZONE, J. A.; JÚNIOR, A. V. M.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 425–434, 1996.

GOES, R. J.; RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES; TERUO, A.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250–259, 2013.

GOKMEN, S.; SENCAR, O.; SAKIN, M. A. Response of Popcorn (*Zea mays everta*) to Nitrogen Rates and Plant Densities. **Turk J Agric For**, v. 25, p. 15–23, 2001.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F. DE; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, v. 62, n. 2, p. 267–274, 2003.

MATTA, F. P.; VIANA, J. M. S. Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 845–851, 2001.

NIELSEN, D. C.; HALVORSON, A. D.; VIGIL, M. F. Critical precipitation period for dryland maize production. **Field Crops Research**, v. 118, n. 3, p. 259–263, set. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429010001425>>.

Acesso em: 26 ago. 2015.

OKUMURA, R. S.; TAKAHASHI, H. W.; SANTOS, D. G. C. DOS; LOBATO, A. K. DA S.; MARIANO, D. DE C.; MARQUES, O. J.; SILVA, M. H. L. DA; NETO, C. F. DE O.; JUNIOR, J. A. DE L. Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 9, n. 3 & 4, p. 510–514, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C.; FILHO, J. F. C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 238–244, 2009.

Disponível em:

<[http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path\[\]=335](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path[]=335)>.

OLIVEIRA, F. DE A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, C. J. G. S.; JÚNIOR, A. B. A.; AMÂNCIO, M. G. Desenvolvimento inicial do milho- pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade Initial development of popcorn irrigated with water of different salinity levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 149–155, 2009.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 358–364, 2008. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000200010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

PRICINOTTO, L. F.; FILHO, P. S. V.; SCAPIM, C. A.; MARQUES, O. J.; OKUMURA, R. S.; RECHE, D. L.; UEM. Effects of nitrogen rates and application time on popcorn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 27, p. 2132–2141, 2014.

VIEIRA, R. A.; RODOVALHO, M. A.; SCAPIM, C. A.; TESSMANN, D. J.; JÚNIOR, A. T. A.; BIGNOTTO, L. S. Desempenho agrônômico de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 29-36, 2009.

- SCHLICHTING, A. F.; KOETZ, M.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. Desenvolvimento do milho submetido a doses de nitrogênio e tensões de água no solo. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 598–611, 2014.
- SILVA, P. S. L.; SILVA, P. I. B. Parcelamento da adubação nitrogenada e rendimento de espigas verdes de milho. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 149–152, 2003.
- SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M. DA; LAMPERT, V. DO N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 511–518, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902010000400002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.
- SOUZA, E. J. DE; CUNHA, F. F. DA; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R. DA; SANTOS, O. F. DOS. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on agronomic traits of sweet corn. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 282–290, 2015.
- SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447–454, 2011.

CAPÍTULO 2

Coeficiente dual de cultivo do milho pipoca para a região de Tangará da Serra – MT

Coeficiente dual de cultivo do milho pipoca para a região de Tangará da Serra – MT

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente duplo da cultura do milho pipoca para o município de Tangará da Serra - MT, por meio da utilização de lisímetros de pesagem. O experimento foi conduzido no campo experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, sendo o solo desta localidade classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com textura muito argilosa. A semeadura foi realizada no dia 02/05/2015 sendo semeada manualmente nos seis lisímetros de pesagem de precisão, previamente calibrados com coeficientes de determinação acima de 0,99, para a bordadura foi utilizada uma semeadora de plantio direto e discos de 9 mm, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, a colheita foi realizada manualmente no dia 16/08/2015. As irrigações foram realizadas conforme a evapotranspiração potencial calculada diariamente pelos lisímetros e irrigados quando necessário por sistema composto de 6 aspersores (Eco 232 Frabrimar) com bocais de 4,2 x 2,8 mm espaçados em 12 x 12 metros, com coeficiente de uniformidade de distribuição de 86%. Durante o desenvolvimento da cultura foram coletados diariamente a variação de massa dos microlisímetros por meio de pesagem em balança portátil, determinando a evaporação de água no solo em todas as fases da cultura. Durante o ciclo da cultura a temperatura média foi de 24,5°C e um aporte hídrico total de 571,4 mm. Os valores médios de Kcb obtidos para as fases de inicial, pleno desenvolvimento e maturação, foram de 0,7, 1,10 e 0,3 respectivamente.

Palavras-chave: Coeficiente cultural, Coeficiente de evaporação, Coeficiente basal de cultura, *Zea mays* L. subsp. *everta*

Dual crop coefficient of popcorn corn in Tangara da Serra - MT

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the double coefficient of the popcorn corn crop for the municipality of Tangará da Serra - MT, through the use of weighing lysimeters. The experiment was conducted in the experimental field of the State University of Mato Grosso - UNEMAT, the soil of this locality being classified as a dystroferric Red Latosol, with a very clayey texture. Seeding was carried out on 05/02/2015 by hand sowing in the six precision lime meters previously calibrated with determination coefficients above 0.99. A no-tillage seeder and 9 mm discs were used for the border, With line spacing of 0.45 m, the harvest was performed manually on 08/16/2015. Irrigations were performed according to the potential evapotranspiration calculated daily by the lysimeters and irrigated when necessary by a system composed of 6 sprinklers (Eco 232 Frabrimar) with nozzles 4.2 x 2.8 mm spaced 12 x 12 meters, with a uniformity coefficient of Distribution of 86%. During the development of the culture, the mass variation of the microlisimeters were collected daily by portable weighing, determining the evaporation of water in the soil at all stages of the crop. During the crop cycle the average temperature was 24.5 °C and a total water intake of 571.4 mm. The mean values of Kcb obtained for the initial, full development and maturation phases were 0.7, 1.10 and 0.3 respectively.

Keywords: Crop coefficient, Coefficient of evaporation, Basal crop coefficient, *Zea mays* L. subsp. everta

1. INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso destaca-se por sua vasta expansão territorial e abundância em recursos hídricos, tanto para uso em geração de energia, quanto para uso na agricultura por meio da irrigação. Contudo a variabilidade climática vem causando grandes discussões relacionadas a preservação e racionalização desses recursos, pressionando a comunidade científica desenvolver ferramentas que viabilizem a utilização da irrigação.

Segundo dados do IBGE a produção de milho pipoca no estado de Mato Grosso em 2015 foi de 145.211 toneladas, representando 80% da produção nacional, tornando o Estado maior produtor do País, com área semeada de 21.835 hectares e com produtividade média de 6650 kg ha⁻¹, o milho pipoca está sendo uma opção de cultivo em segunda safra para os produtores.

O consumo brasileiro de milho pipoca é de aproximadamente 80 mil toneladas, sendo que cerca de 25% deste total advém de importações, vindas principalmente da Argentina (LEONELLO; CAZETTA; FILHO, 2009). O Estado de Mato Grosso nos últimos anos se tornou o maior produtor brasileiro de milho pipoca, superando o Rio Grande do Sul. Crescimento sendo sustentado pelo desenvolvimento de novos cultivares adaptados às diferentes condições do país, sabendo que a temperatura e a disponibilidade hídrica são os mais importantes fatores do ambiente para as plantas, atuando diretamente no desenvolvimento e comportamento dos diferentes genótipos de milho pipoca (VAZ-DE-MELO et al., 2012).

O milho pipoca vem sendo cultivado exclusivamente em segunda safra no Estado de Mato Grosso, concorrendo com a cultura do milho, girassol, algodão entre outras. O cultivo em segunda safra no Estado, em virtude da irregularidade na distribuição de chuvas e presença de veranicos (DALLACORT et al., 2011), pode ser caracterizado como de risco quando não realizado nos primeiros decêndios do ano (FARIA JÚNIOR et al., 2015; BARBIERI et al., 2016), em função da ocorrência de déficit hídrico no período crítico das culturas.

Um dos fatores preponderantes para o desenvolvimento de qualquer espécie vegetal e animal é a água, cujo o déficit da mesma é uma das principais restrições ao crescimento e desenvolvimento das espécies cultivadas (LOPES et al., 2011). O consumo hídrico de uma cultura está diretamente ligado à demanda energética atmosférica, ao conteúdo de água no solo e a resistência da planta a perda de água para a atmosfera (OLIVEIRA; LEITÃO; BISPO, 2013).

Inserido neste contexto a irrigação pode ser uma forte aliada ao produtor rural, em busca de um melhor desenvolvimento das culturas de interesse, e aumento das janelas de semeadura,

em virtude da possibilidade de suplementação hídrica em casos de veranicos. Isto porque a irrigação considera a atividade de melhor utilização de água. Desta forma é fundamental a adoção de práticas que favoreçam o aumento da eficiência do uso da água, para potencializar a produtividade das culturas (SOUZA et al., 2011).

Segundo Fenner et al. (2016), em áreas irrigadas as pesquisas científicas voltadas para o balanço hídrico das plantas cultivadas é fundamental para o uso racional dos recursos hídricos e a potencialização dos sistemas de cultivos.

Determinação da transpiração das culturas e a evaporação da água do solo compõem a evapotranspiração, que pode ser estimada por diferentes métodos, ou determinada em condições locais por meio de lisímetros, sendo este o mais indicado, devido as características intrínsecas de cada local, como clima, vegetação e relevo (MENDONÇA et al., 2003; SANTOS et al., 2008).

Diversos fatores devem ser considerados para uma boa prática de irrigação, desde fatores do clima, (vento e umidade do ar), do solo, (como textura e capacidade de água disponível), e da cultura, (fase de desenvolvimento, índice de área foliar, entre outros). Para determinar a quantidade de água correta a ser irrigada dentre os fatores está o coeficiente de cultura (K_c), o qual compreende a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, e que é dependente da espécie, altura, área foliar, altura e manejo da cultura (ALLEN et al., 1998).

Autores afirmam que independentemente do sistema de cultivo adotado, o conhecimento apenas da necessidade total de água pela cultura não implica em manejo eficiente da irrigação, sendo imprescindível, portanto, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo (MENDONÇA et al., 2007).

O coeficiente da cultura pode ser determinado por meio do coeficiente duplo de cultivo (ALLEN et al., 1998), estabelecendo a influência da evaporação do solo (k_e) e da transpiração da cultura (k_{cb}) na evapotranspiração final (FLUMIGNAN; DE FARIA; PRETE, 2011).

O conhecimento do consumo hídrico (evapotranspiração) de uma cultura durante seu ciclo é de grande importância para o dimensionamento de projetos e manejo dos sistemas de irrigação, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a utilização dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos recursos hídricos. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi determinar o coeficiente duplo da cultura do milho pipoca para o município de Tangará da Serra - MT, por meio da utilização de lisímetros de pesagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no campo experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra, na área experimental designada ao laboratório de agrometeorologia no período de maio a agosto de 2015.

Foram coletados os dados meteorológicos (temperatura, precipitação, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica) por meio de uma estação meteorológica automática da Campbell Scientific, instalada a 30 metros da área experimental nas coordenadas geográficas 14° 65' 00" S, 57° 43' 15" W, com elevação de 440 metros, pertencente ao laboratório de agrometeorologia.

O município de Tangará da Serra possui uma média anual de temperatura 24,5°C (DALLACORT et al., 2010), e precipitação de 1830 mm a região apresenta uma estação seca (maio a setembro) e uma chuvosa (outubro a abril) (DALLACORT et al., 2011), sendo o solo desta localidade classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com textura muito argilosa.

O experimento foi implantado em 02/05/2015 com semeadura manual nos seis lisímetros de pesagem de precisão, previamente calibrados com coeficientes de determinação acima de 0,99, área de 2,25 m² e 1,20 m de profundidade.

Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), nos diversos estádios de desenvolvimento, foram utilizados os seis lisímetros de pesagem, idênticos com células de carga instaladas no braço de apoio das balanças mecânicas funcionando em redução de peso, proporcionando redução de aproximadamente 45 vezes a massa total, que foi registrada por células de carga de tração do modelo SV, de capacidade de 100 kg, seladas contra umidade e dispositivo para compensação contra variação de temperatura no zero e na calibração na faixa de 0 a 50 °C. A sensibilidade das células de carga é de 2 +/- 10% mV V⁻¹ e a acurácia de 0,02% do fundo de escala.

O híbrido de milho pipoca foi o AP 6002 da YOKI, o mais utilizado pelos produtores do Chapadão do Parecis, sendo indicado para semeadura em segunda safra com população de 65 mil plantas por hectare.

No mesmo dia foi realizada a semeadura de bordadura com raio de 30 m no entorno dos lisímetros para evitar o efeito oásis, com a utilização de uma semeadora de plantio direto e discos de 9 mm, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, e a colheita foi realizada manualmente no dia 16/08/2015 de todas as plantas dos lisímetros.

A adubação foi dividida em duas etapas, a de plantio, com aplicação de 300 Kg de NPK formulado 05-25-15 no sulco de semeadura, e em cobertura com 70 Kg de N a lanço, parcelada em duas aplicações, a primeira em V3 e a segunda em V5, conforme o utilizado pelos produtores da região, devido a carência de estudos neste sentido para a cultura do milho pipoca.

As irrigações foram aplicadas por meio de um sistema de irrigação móvel por aspersão, composto por 6 aspersores (Eco 232 Frabrimar) com bocais de 4,2 x 2,8 mm espaçados em 12 x 12 metros, com coeficiente de uniformidade de distribuição de 86%, sob pressão de 30 mca no sistema, proporcionando uma lâmina de água aplicada por hora de 9,76 mm. As lâminas a serem aplicadas foram determinadas pelo cálculo da evapotranspiração potencial contabilizada diariamente nos lisímetros.

O turno de rega seguiu de acordo com a evapotranspiração potencial, com o objetivo de garantir a demanda de água necessária para o desenvolvimento da cultura. Onde a diferença de peso dos lisímetros ocorrida diariamente corresponde a quantidade de água perdida ou consumida no sistema

Para o cálculo da Evapotranspiração de referência (ET_o) utilizou-se a equação proposta por Allen et al. (1998) (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,3U_2)} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que:

ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

R_n é a radiação solar líquida sobre a cultura (MJ m⁻² dia⁻¹);

G é a densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻² d⁻¹);

T é a temperatura do ar a dois metros de altura (°C);

U₂ é a velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹);

e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa), que é estimada pela média de e_s (T_{máx}) e e_s (T_{mín}); e_a é a pressão atual de vapor (kPa);

e_s - e_a é o déficit de pressão e saturação de vapor (kPa °C⁻¹); Δ é da declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹) e

γ é a constante psicométrica (kPa °C⁻¹).

Para determinação do Kc duplo do milho pipoca, o qual divide o Kc em coeficiente basal da cultura (Kcb) e coeficiente de evaporação do solo (Ke), utilizou-se a metodologia proposta pelo boletim FAO – 56 (ALLEN et al., 1998). Foram utilizados 4 microlisímetros de 150 mm de diâmetro e 250 mm de altura para a determinação da evaporação do solo e posterior determinação do coeficiente de evaporação do solo (Ke) (FLUMIGNAM et al. 2012).

A coleta dos dados dos microlisímetros foi realizada diariamente sempre no mesmo horário, por meio da pesagem manual em balança de precisão de 0,005 Kg, e organizada em planilha para o cálculo de variação de massa de um dia para o outro.

Determinou-se a evaporação do solo em milímetros (E_{ML}), conforme a equação (Equação 2):

$$E_{ML} = \frac{\Delta M_{ML}}{A_{ML}} + P \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

E_{ML} é a evaporação do microlisímetro (mm);

ΔM_{ML} é a variação de massa dos microlisímetros (kg);

A_{ML} é a área dos microlisímetros (m²) e

P é a precipitação (mm).

O Ke é a relação entre a evaporação do solo, em milímetros, e a evapotranspiração de referência, obtido diariamente, de acordo com a equação (Equação 3):

$$Ke = \frac{E_{ML}}{E_{To}} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

Ke é o coeficiente de evaporação do solo (Adimensional);

E_{ML} é a evaporação dos microlisímetros (mm);

E_{To} é a evapotranspiração de referência pelo método Penman Montheith FAO (mm).

Os valores da evapotranspiração potencial da cultura (ETc) foram obtidos diariamente por meio da variação de massa dos lisímetros registrados no data logger, convertida em mm dia, segundo (Mendonça et al. 2007).

Por fim, determinou-se o Kcb, conforme a equação (Equação 4):

$$K_{cb} = \frac{(ET_c - K_e)}{ET_o}$$

(Equação 4)

em que:

K_{cb} é o coeficiente basal da cultura;

ET_c é a evapotranspiração potencial da cultura;

K_e é o coeficiente de evaporação do solo e

ET_o é a evapotranspiração potencial de referência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura a temperatura média foi de 24,5 °C a máxima de 36,6 e mínima de 13,3°C, os valores acumulados de precipitação e irrigação entre a emergência à colheita foi de 58,4 mm e 513 mm respectivamente (Figura 1). Nesse período a evapotranspiração da cultura do milho pipoca, determinada pelos lisímetros de pesagem totalizaram 538 mm, com máximo diário de 7,9 mm e mínimo de 2,4 mm.

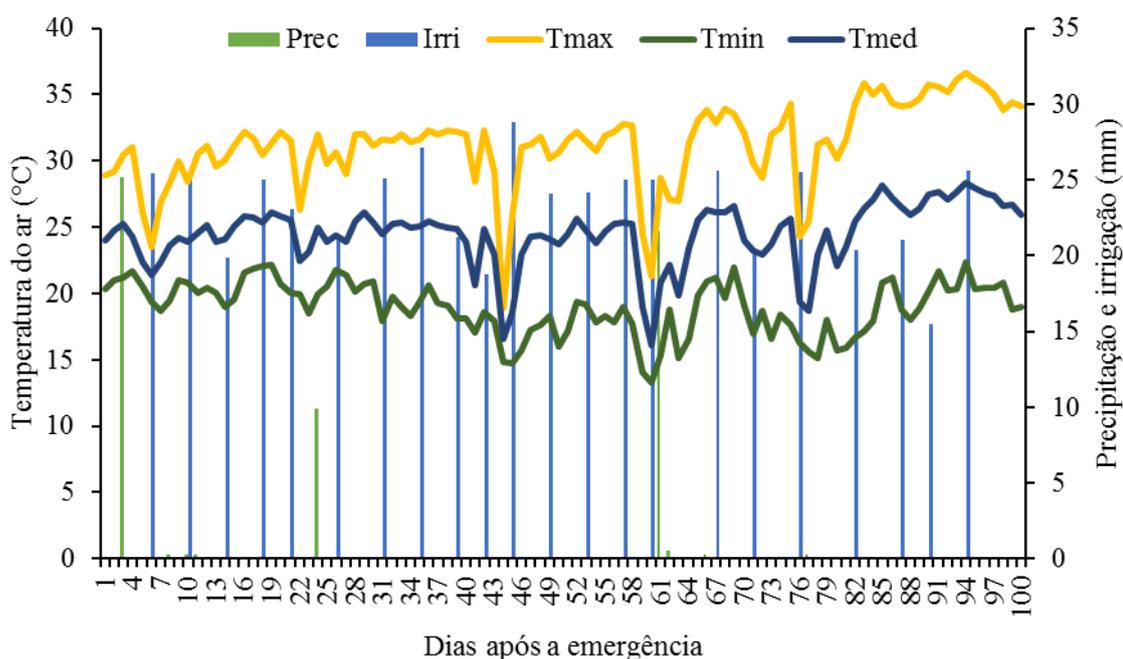


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação ocorridas após a emergência do milho pipoca em Tangará da Serra – MT

Detomini et al. (2009) determinando a demanda hídrica do híbrido DKB 390 concluíram que 600 mm são suficientes para a obtenção de elevadas produções, entretanto com baixa eficiência de uso da água. Pegorare et al. (2009), avaliando lâminas de irrigação suplementar na cultura do milho, verificaram que a lâmina de 510 mm, não apresentou déficit hídrico e proporcionou a maior produtividade entre as lâminas estudadas.

Doorenbos e Kassam (1994), descrevem que a cultura do milho com características de ciclo médio requer entre 500 a 800 mm de água, para apresentar uma boa produção.

Já a evapotranspiração de referência foi estimada em 393 mm, apresentando o valor máximo diário de 6,5 mm e o mínimo de 1,6 mm, após 30 dias de emergência até os 74 dias se encontra o período que ocorre os maiores valores de evapotranspiração da cultura. (Figura 2).

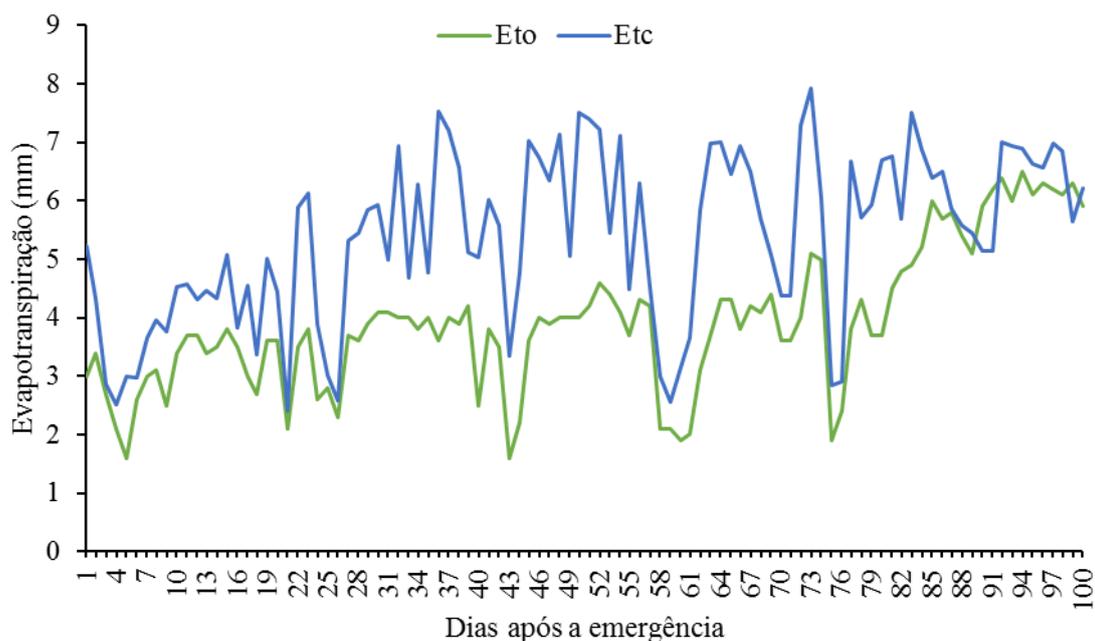


Figura 2. Evapotranspiração da cultura, de referência diária, para o período de cultivo do milho pipoca em Tangará da Serra – MT

Observamos que tanto a evapotranspiração de referência quanto a da cultura variam conforme a temperatura do ar, que aos 45, 59 e 76 dias após a emergência houve queda de temperatura e conseqüentemente redução da evapotranspiração.

Segundo Cruz et al. (2006), a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração é de 24 a 30°C, considerando os limites extremos de desenvolvimento de 10 e 30°C. Para Allen et al. (1998), o calor sensível do ar concomitantemente com sua interação de transferência energética com a cultura, por meio da radiação solar absorvida pela atmosfera e pelo solo, influencia fortemente nos valores de evapotranspiração, fato este, devido à elevação da temperatura do ar, resultando em uma relação direta com os valores de evapotranspiração.

Suyker e Verma (2009) em pesquisa desenvolvida nos Estados Unidos da América, com irrigação em milho obteve um valor de evapotranspiração média da cultura do milho de 683 mm, em cinco anos de cultivo, valor este superior ao encontrado nesta pesquisa, enquanto Souza et al. (2015) conduzindo experimentos no semiárido pernambucano verificou um total evapotranspirado pela cultura do milho de 450,6 mm, com médias diárias de evapotranspiração da cultura do milho iguais a 5,3 mm dia⁻¹ e 6,3 mm dia⁻¹ nas fases de florescimento e enchimento de grãos do milho respectivamente, valores estes, próximos ao observado neste trabalho, que foram 5,5 mm dia⁻¹ e 5,7 mm dia⁻¹, respectivamente.

Na Figura 3 estão apresentados os coeficientes Kcb e Ke diário para a cultura do milho pipoca em Tangará da Serra - MT.

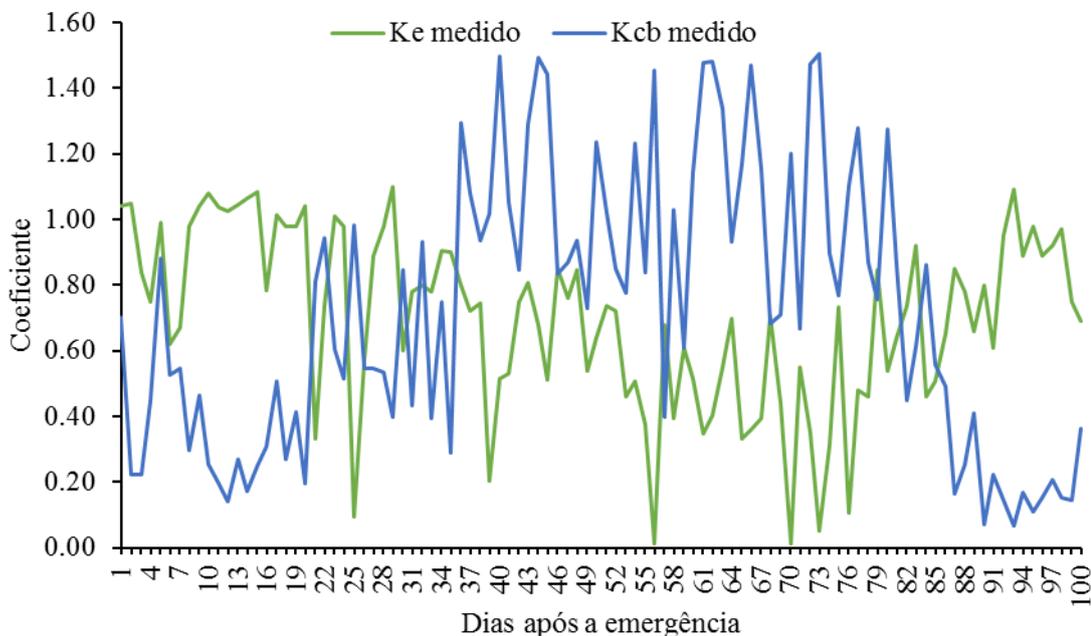


Figura 3. Curvas reais de Kcb e Ke diário para a cultura do milho pipoca em Tangará da Serra – MT

Para a cultura os coeficientes Ke e Kcb ao longo do ciclo apresentam uma relação inversa, da emergência até o vigésimo dia e após o octogésimo quinto dia da emergência da planta. Fato este explicável pelo índice de área foliar, que no início do ciclo é baixo em função do início de formação das folhas, e ao fim do ciclo pela senescência das folhas, tendo em vista que a folha é a principal responsável pelos processos fisiológicos das plantas, inclusive a transpiração.

Os valores de Ke oscilaram entre 0,01 e 1,10 com média de 0,7 ao longo de todo o ciclo da cultura, tendo seu valor diretamente ligado a exposição do solo a radiação solar e a interação com as demais variáveis meteorológicas (umidade do solo e do ar, temperatura do ar e do solo), que é mínimo no pleno desenvolvimento da cultura, em função dos altos valores de área foliar.

Segundo Fenner et al. (2016), em condições de aumento da umidade na camada superficial, o valor de Ke tende a ser próximo de 1, com máximo de 1,2. Com a redução da umidade do solo na superfície, o Ke tende a reduzir, e a evaporação depende da ascensão capilar para ocorrer, porém, com taxa menor que a anterior.

O processo de evaporação da água do solo ocorre em duas etapas distintas, a primeira em que a água está prontamente disponível para ser evaporada na camada superior do solo ocorrendo de forma mais rápida, e a segunda em que a água presente na primeira camada do solo já foi evaporada, tendo a necessidade de uma movimentação hídrica da segunda camada para a primeira, ocorrendo mais lentamente (ALLEN et al., 1998), fazendo com que logo após as irrigações os valores de K_e sejam ligeiramente superiores.

A evaporação da água é influenciada pelo sombreamento gerado pela cultura e também pode ser fortemente reduzida com a presença de cobertura do solo, tendo em vista que a mesma intercepta os raios solares e dificulta a absorção de energia pelo solo (GAVA et al., 2013).

Dalmago et al. (2010), concluíram que a evaporação da água do solo é maior sob preparo convencional logo após precipitações pluviais ou irrigações; contudo, na medida em que os dias de estiagem se acumulam, ela passa a ficar mais elevada no solo em plantio direto, em virtude da maior retenção de água obtida em sistemas de plantio direto.

Evidenciando que a cultura do milho pipoca seja semeado em segunda safra e sob condições de plantio direto com palhada, Freitas et al. (2014), avaliou a evaporação da água do solo sob diferentes níveis de cobertura morta (resteva de trigo) no Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR de Londrina, e observou diferentes reduções na evaporação do solo nos diferentes níveis de cobertura e atribuíram estas diferenças as variações de chuva, em que momento do dia as mesmas ocorriam e os níveis de cobertura do solo.

Isto se justifica pelo fato de que a evaporação da água do solo depende da disponibilidade de energia e água, desta forma, após eventos de irrigação, se houver disponibilidade de energia, a evaporação tenderá a ser maior.

Os valores médios de K_{cb} obtidos para as fases de inicial (0,7), pleno desenvolvimento (1,1) e maturação (0,3) foram próximos aos estimados para a região em estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficiente basal da cultura do milho pipoca para o município de Tangará da Serra – MT, separado pelas fases de desenvolvimento da cultura (FDC), medidos em lisímetros de pesagem e estimados pelo modelo da FAO 56

FDC.	Kcb	
	Medido	Estimado
Inicial	0,7	0,7
Médio	1,1	1,2
Final	0,3	0,6

Os valores de K_{cb} medidos e estimados apresentaram-se bem próximos podendo assim confirmar que para as condições experimentais é possível estimar o K_{cb} pela metodologia da

FAO 56, e obter resultados próximos aos encontrados em lisímetros de pesagem, que apresentam alta precisão em suas medidas.

A proximidade entre os valores de Kcb medidos e estimados corroboram com o resultado reportado por Fenner et al. (2016), que para a cultura do feijão, os valores medidos para as fases: inicial, pleno desenvolvimento e maturação foram de 0,32, 1,10 e 0,81, respectivamente, enquanto os estimados foram de 0,35, 1,13 e 0,97, apresentando também uma mínima diferença.

O valor de Kcb médio foi superior aos demais, fato este associa-se a essa ser a fase de maior expansão foliar, favorecendo os processos fisiológicos da cultura. Os valores dos Kcb obtidos pelos lisímetros apresentaram-se próximos dos obtidos pela metodologia da FAO, em todas as fases fenológicas, apresentando maior variação na fase inicial e final da cultura (Figura 4).

A irrigação aumenta e estabiliza a produção do milho e lâminas de água de aproximadamente 60% da necessidade da cultura proporciona o aumento da umidade do solo à capacidade de campo aumentando a eficiência de uso da irrigação (Bergamaschi et al., 2006).

Souza et al. (2012), observaram valores de Kc para a cultura do milho em Seropédica, RJ, próximos ao encontrados nesse trabalho, valores que também foram obtidos por lisímetros de pesagem, onde na fase inicial apresentou Kc de 0,6 a 0,7, na fase intermediária 1,0 a 1,2 e fase final de 0,5 a 0,7.

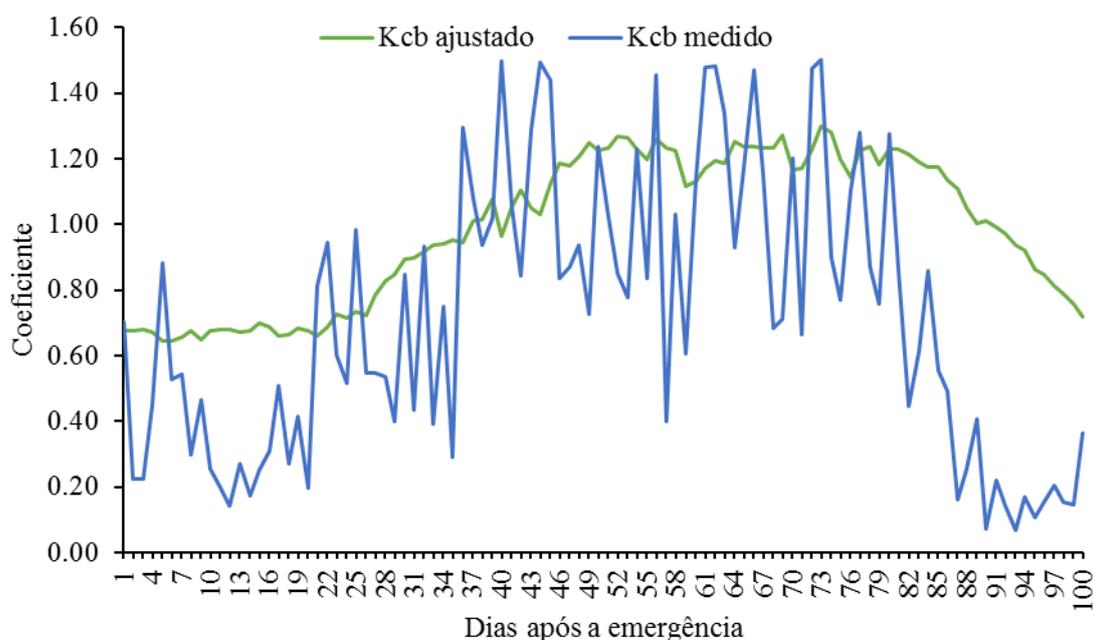


Figura 4. Curvas reais de Kcb ajustado e Kcb medido diário para a cultura do milho pipoca em Tangará da Serra – MT

Com os dados obtidos no experimento observamos que os valores de Kcb determinados por lisimetria estão próximos aos valores estimados pela metodologia da FAO, conforme também observado por Santos et al. (2014), realizando experimento em Mossoró – RN, para a cultura do milho verde obtiveram valores de Kc com intervalo de confiança de 95% de probabilidade durante cada fase fenológica da cultura I–(0,48 a 0,52), II–(0,61 a 0,75), III–(1,14 a 1,19) e IV– (1,08 a 1,17).

4. CONCLUSÕES

Os valores de k_{cb} estimados pela metodologia da FAO56 foram próximos aos dados experimentais.

Os valores do coeficiente basal da cultura (K_{cb}) são inversamente proporcional aos valores do coeficiente de evaporação do solo (K_e) no ciclo da cultura;

Enquanto nas fases inicial e desenvolvimento o K_{cb} (0,7 – 1,1) é crescente, K_e (0,8 – 0,5) decrescente, na fase de maturação K_{cb} (0,3) é inferior a K_e (0,8).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>>.

BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; FARIA JÚNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L. DE; ARAÚJO, D. V. DE. Classificação de risco climático para o cultivo do amendoim no Estado de Mato Grosso. **Espacios**, v. 37, n. 8, p. 25, 2016.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M.; DE OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Circular Técnica_ Manejo da cultura do Milho. **Sete Lagoas**, p. 1–12, 2006.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; DE FREITAS, P. S. L.; KRAUSE, W. Aptidão agroclimática do pinhão manso na região de Tangará da Serra, MT. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 41, n. 3, p. 373–379, 2010.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra , médio norte do Estado de Mato Grosso , Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193–200, 2011.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRUGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 780–790, 2010.

DETOMINI, E. R.; MASSIGNAN, L. F. D.; LIBARDI, P. L.; NETO, D. D. Consumo hídrico e coeficiente de cultura para o híbrido DKB 390. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 445–452, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212009000300012>.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. (FAO. Estu ed. Campina Grande: UFPB: [s.n.], 1994.

FANCELLI, A. L. Milho e feijão: elementos de manejo em agricultura irrigada.

Fertirrigação: algumas considerações. Piracicaba: ESALQ: [s.n.], 1991. p. 156–167.

FARIA JÚNIOR, C. A.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. DE; SANTI, A.; FENNER, W.; NEVES, S. M. A. DA S.; BARBIERI, J. D.; RAMOS, H. DA C.; VILLELA, T. G. Agroclimatic zoning of crambe and bean for the Bacia do Alto Paraguai - MT, Brazil. **Geografia**, v. 40, n. Especial, p. 85–98, 2015.

FENNER, W.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. DE; FARIA JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, M. A. C. DE; BARIVIERA, G. Dual crop coefficient of common bean in Tangará da Serra , Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 455–460, 2016.

FLUMIGNAN, D. L.; DE FARIA, R. T.; PRETE, C. E. C. Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 5, p. 791–800, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.002>>.

FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. DE; LENA, B. P. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 80–90, 2012.

FREITAS, P. S. L.; GAVA, R. A.; FARIA, R. T.; REZENDE, R.; VIEIRA, P. V. D. Soil evaporation under diferente straw mulch fractions. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, p.1793-1800, 2014.

GAVA, R.; FREITAS, P. S. L. DE; FARIA, R. T. DE; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A. Soil water evaporation under densities of coverage with vegetable residue. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 89–98, 2013.

LEONELLO, L. A. F.; CAZETTA, D. A.; FILHO, D. F. Características agronômicas e qualidade comerciais de cultivares de milho pipoca em alta população. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 215–220, 2009.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 548–553, 2011.

- MENDONÇA, J. C.; DE SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-295, maio/ago. 2003.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. DE; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A. L.; GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (K_c) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471–475, 2007.
- OLIVEIRA, G. M. DE; LEITÃO, M. M. V. B. R.; BISPO, R. D. C. Coeficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação Productivity and crop coefficient of onion under different irrigation levels. n. 74, p. 969–974, 2013.
- PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “ safrinha ” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 262–271, 2009.
- SANTOS, F. X. DOS; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; MOURA, R. F. DE. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 115–124, 2008.
- SANTOS, W. DE O.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. DE; MOURA, M. S. B. DE; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 559-572, 2014.
- SOUZA, L. S. B. DE; MOURA, M. S. B. DE; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. DA. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exculsivos e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151–160, 2015.
- SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; DA SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; DE CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 15–22, 2011.
- SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de

pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 142–149, 2012.

SUYKER, A. E.; VERMA, S. B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3-4, p. 443–452, 2009.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. DOS S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 687–695, 2012.

CAPÍTULO 3

Zoneamento agrícola da cultura do milho pipoca para o estado de Mato Grosso

Zoneamento agrícola da cultura do milho pipoca para o estado de Mato Grosso

RESUMO

O Estado de Mato Grosso é o maior produtor nacional de milho pipoca, entretanto ainda muito carente de pesquisas envolvendo a mesma. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento agroclimático de risco da cultura do milho pipoca em segunda safra para o Estado de Mato Grosso, por meio do uso da ferramenta SIG e da geoestatística. O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, campus universitário de Tangará da Serra. Foram utilizados dados meteorológicos de 36 estações meteorológicas distribuídas no Estado de Mato Grosso e Estados circunvizinhos, os dados foram tabulados no software CLIMA, e os valores de ISNA foram calculados utilizando-se uma planilha em ambiente EXCELTM. A interpolação dos valores de ISNA foram feitas por meio da Krigagem ordinária. Utilizou-se as classes de aptidão para a culturas do milho pipoca: a) Apta ($ISNA \geq 0,55$); b) Restrita ($0,45 < ISNA < 0,55$) e c) Inapta ($\leq 0,45$). Os mapas de zoneamento foram gerados pelo Software ArcGISTM for Desktop versão 10.0. O modelo interpolador que apresentou melhor ajuste aos dados foi o modelo esférico, comumente utilizado para dados meteorológicos. A semeadura de milho pipoca foi considerada apta em todo o Estado no período compreendido entre o primeiro e quarto decêndio (1 de janeiro a 10 de fevereiro), e inapta após o nono decêndio excluindo áreas irrigadas.

Palavras-chave: ISNA, Krigagem, Geoestatística

Agricultural zoning of popcorn corn for the state of Mato Grosso

ABSTRACT

The state of Mato Grosso is the largest national producer of popcorn, though still very lacking in research involving the same. Therefore, the objective of this study was the agro-climatic zoning of maize risk popcorn second crop for the state of Mato Grosso, through the use of the GIS tool and geostatistics. This work was carried out on the premises of the State University of Mato Grosso - UNEMAT, campus of Tangara da Serra. meteorological data from 36 meteorological stations in the state of Mato Grosso and neighboring states were used, the data were tabulated in CLIMATE software, and ISNA values were calculated using a spreadsheet in Excel™ environment. Interpolation of ISNA values were made by ordinary kriging. We used the fitness classes for the popcorn crop: a) Apta ($ISNA \geq 0.55$); b) Restricted ($0.45 < ISNA < 0.55$) and c) inapt (≤ 0.45). zoning maps were generated by ArcGISTM Software for Desktop version 10.0. The interpolating model presented the best fit to the data was the spherical model, commonly used for meteorological data. Sowing of popcorn was deemed fit throughout the state in the period between the first and fourth ten-day period (January 1 to February 10), and unfit after the ninth ten days excluding irrigated areas.

Keywords: ISNA, Kriging, Geostatistics

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Mato Grosso é o terceiro maior Estado brasileiro em extensão, localizado na região Centro-Oeste, possui uma área de 903.357,91 km², limita-se ao norte com os Estados do Amazonas e Pará; ao sul com o Estado de Mato Grosso do Sul; a leste com os Estados de Tocantins e Goiás; e a oeste com o Estado de Rondônia e a Bolívia, composto por 141 municípios e 25 microrregiões (SEPLAN - MT, 2011).

O Estado é o único brasileiro que apresenta em sua diversidade a presença de três grandes biomas: Pantanal, cerrado e Amazônia, possuindo cadeias produtivas em todos (JÚNIOR; BAMPI, 2014). Em contraste com tamanha diversidade está a forte presença da atividade agrícola e pecuária.

A região Centro-oeste e Sul do Brasil são consideradas como o celeiro do país, regiões estas onde está localizada a maior produção de grãos (MEDEIROS, 2010). O estado de Mato Grosso destaca-se entre os estados da região Centro-oeste, produzindo 5,2% do Arroz, 15,2% do feijão, 21,6% do milho e 31,4% da soja do Brasil na safra 2013/14 (MAPA, 2014).

A grande importância social e econômica do setor agrícola, exige cada vez mais soluções tecnológicas que visam a otimização da produção de alimentos e a redução dos custos de produção, devido as culturas agrícolas serem altamente dependentes das condições ambientais. A geoestatística, os GIS's (Geographic Coordinates System) também conhecidos como SIGs (sistema de informação geográfica) e têm sido amplamente utilizados por pesquisadores (MALUF et al., 2001) (WREGE et al., 2005) (SILVA; AMARAL, 2007) (OLIVEIRA; MORAES; NETO, 2010) (BARBIERI et al., 2016), com intuito de determinar melhores épocas para semeadura por meio do zoneamento das mais diversas culturas agrícolas.

Geoestatística é uma subárea da estatística que estuda as variáveis regionalizadas, como distribuição de dados meteorológicos até a variabilidade de minérios e petróleo. Trabalhos pioneiros foram publicados pelos professores Georges Matheron e Daniel G. Krige, os quais foram responsáveis pela criação da geoestatística a partir dos anos de 1960. A partir desta data, o aprimoramento e as aplicações cresceram exponencialmente, em que a geoestatística passou a ser aplicada por pesquisadores do mundo inteiro (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A técnica da geoestatística tem sido utilizada por diversos pesquisadores, com o intuito de espacializar dados meteorológicos ou relacionados ao zoneamento de risco climático, em que o modelo interpolador Krigagem tem se destacado entre os demais, para dados desta natureza, dentre os quais podemos citar (ÁVILA; MELLO; VIOLA, 2009), (VIOLA et al., 2010).

O Zoneamento Agrícola pode ser considerado uma ferramenta da política agrícola e gestão de riscos na agricultura. Estudos nesta temática são elaborados objetivando minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos, permitindo a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, para condições edafoclimáticas locais. O zoneamento agroclimático foi proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA em 1996, para aplicações na concessão de crédito rural e ferramenta de políticas públicas (MAPA, 2013).

O cultivo do milho pipoca é diretamente influenciado pelas condições edafoclimáticas, tendo como uma das principais causas de redução na produtividade a ocorrência de deficiência hídrica. Sans et al. (2001) consideram a fase crítica do milho, quanto a deficiência hídrica, o período compreendido entre o pendoamento e a maturação dos grãos. Desta forma, o cultivo em segunda safra do milho pode ser prejudicado por possíveis ocorrências de déficit hídrico, em função do regime pluviométrico característico das regiões de cerrado, em que o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a abril e o seco de maio a setembro (DALLACORT et al., 2011).

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo realizar o zoneamento agroclimático de risco da cultura do milho pipoca em segunda safra para o Estado de Mato Grosso, por meio do uso da ferramenta SIG e da geoestatística.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de Agrometeorologia Horticultura e Pesquisa, vinculado ao Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agroambientais – CPEDA, pertencente à Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus Universitário de Tangará da Serra, Estado de Mato Grosso.

Utilizou-se dados decendiais de precipitação pluvial e de temperatura (máxima, média e mínima) de um total de 36 estações meteorológicas localizadas no Estado de Mato Grosso e adjacências. Os dados meteorológicos foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET).

Para análise, verificação de consistência e preenchimento de falhas, os dados foram inseridos no Software CLIMA (FARIA et al., 2003). A localização das estações está apresentada na Figura 1.

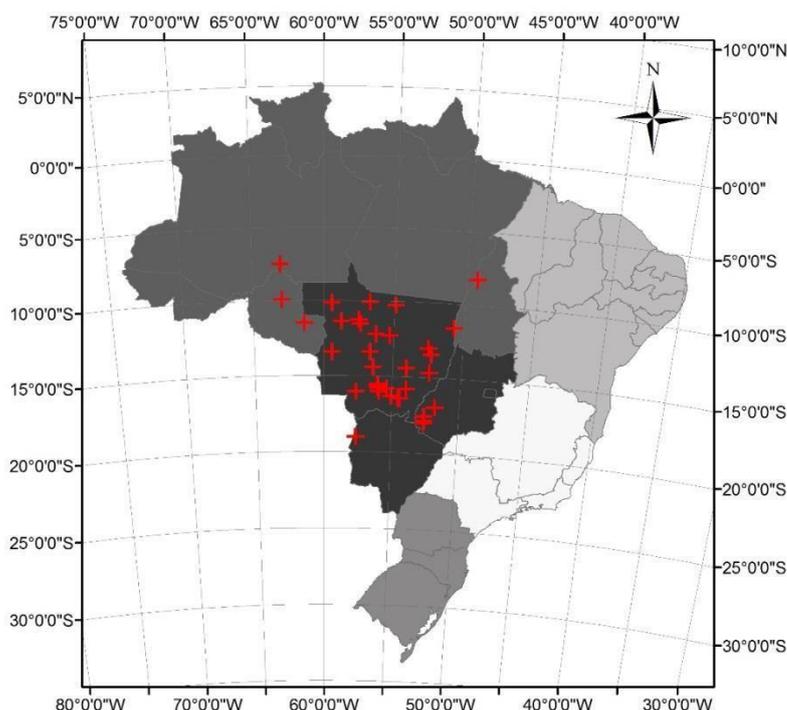


Figura 1. Localização das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa

Os mapas de zoneamento agroclimático foram gerados a partir da espacialização dos valores de Índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), que variam na grandeza de zero a um. Os valores de ISNA foram obtidos por meio da relação entre a evapotranspiração real da cultura e a potencial de referência, utilizando-se uma planilha em ambiente EXCEL™, desenvolvida por (ROLIN; SENTELHAS; BARBIERI, 1998), sendo os mesmos comparados

com o estágio crítico da cultura (do pendoamento até a maturação). Utilizou-se as classes de aptidão para a culturas do milho: a) Apta ($ISNA \geq 0,55$); b) Restrita ($0,45 < ISNA < 0,55$) e c) Inapta ($\leq 0,45$) (SANS et al., 2001).

Os valores de ISNA foram calculados de forma decencial para o período compreendido entre o 4º e o 10º decêndio do ano, considerando como épocas de semeadura em segunda safra de 01 de fevereiro a 10 de abril para as CAD do solo (20, 40 e 60 mm) segundo a classificação adaptada de (SANS et al., 2001) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos solos de Mato Grosso quanto a capacidade de água disponível (CAD)

Grupo	Classe de solo
Baixa	Solos Aluviais, Areias Quartzosas, Areias Quartzosas Hidromórficas, Plintossolo, Solos Litólicos, Solos Concrecionários Câmbicos, Solos Concrecionários Latossálicos, Solos Concrecionários Podzólicos.
Média	Brunizem Avermelhado e Planossolo.
Alta	Cambissolo, Glei Pouco Húmico, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico, Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico, Podzólico Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada.

Fonte: (SANS et al., 2001)

A classificação dos solos para o Estado foi extraída do zoneamento ecológico econômico do estado de Mato Grosso feito pela SEPLAN em escala (Figura 2). Solos com CAD de 20 mm representam 25,1% da área do Estado, com 22.676.825,94 ha, a CAD de 40 mm é representada por 1.889.225,72 ha, 2,09% do Estado, e os 72,28% restantes, 65.296.068,30 ha, possuem CAD de 60 mm (Figura 2).

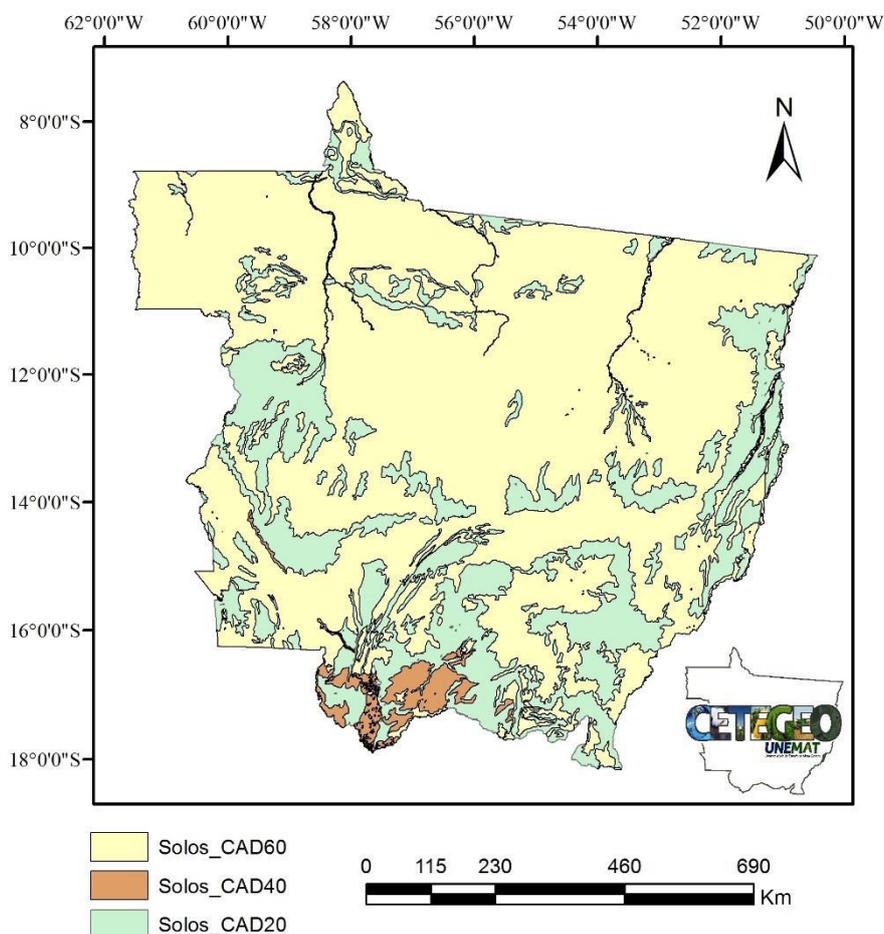


Figura 2. Solos do Estado de Mato Grosso agrupados pela capacidade de água disponível, conforme a classificação proposta por Sans et al. (2001)

Após a tabulação e verificação dos dados, foram ajustados manualmente semivariogramas, levando-se em consideração o melhor ajuste com base nos seguintes parâmetros: ‘C0’ (efeito pepita), ‘C0 + C1’ (patamar), ‘a’ (alcance) e Grau de Dependência Espacial (GDE), que é obtido pela razão entre o efeito pepita e o patamar ($C1 / C0 + C1$).

O GDE ou ADE (Avaliador de Dependência Espacial) é interpretado da seguinte forma: $ADE < 20\%$ = muito baixa dependência espacial da variável (MB); $20\% < ADE < 40\%$ = baixa dependência (BA); $40\% < ADE < 60\%$ = média dependência (ME); $60\% < ADE < 80\%$ = alta dependência (AL) e $80\% < ADE < 100\%$ = muito alta dependência (MA) (DALCHIAVON et al., 2012).

Em seguida, os dados referentes aos parâmetros dos semivariogramas foram inseridos no Software ArcGIS™ for Desktop versão 10.0 desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), para proceder a interpolação por meio da Krigagem ordinária, que

é o método mais utilizado para este tipo de estudo. Após a interpolação geraram-se os mapas de zoneamento de classes de risco para semeadura de milho pipoca no Estado de Mato Grosso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ISNA estão apresentados abaixo, juntamente com o desvio padrão, para os 7 decêndios de semeadura nas três CAD de solo consideradas para o Estado de Mato Grosso (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos valores ISNA e Desvio Padrão (DP) para as CAD de 20, 40 e 60 mm, do decêndio 4° ao 10° para o Estado de Mato Grosso.

Decêndio	ISNA 20 mm		ISNA 40 mm		ISNA 60 mm	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
4°	0,78	0,14	0,83	0,13	0,86	0,11
5°	0,68	0,15	0,73	0,14	0,77	0,13
6°	0,54	0,14	0,60	0,14	0,66	0,12
7°	0,41	0,13	0,49	0,15	0,55	0,13
8°	0,30	0,12	0,37	0,14	0,44	0,13
9°	0,22	0,11	0,28	0,12	0,35	0,12
10°	0,17	0,09	0,22	0,11	0,27	0,12

Os valores de ISNA apresentam uma relação direta com o comportamento pluviométrico do Estado, em que no período que as chuvas são escassas os valores de ISNA são mais próximos de 0 e no período chuvoso mais próximos de 1. Durante o período estudado é possível observar que os valores de ISNA são decrescentes com o decorrer das épocas de semeadura. O mesmo comportamento é observado nos índices de precipitação para o Estado de Mato Grosso, que segundo (DALLACORT et al., 2011) começa a decrescer no 6° decêndio do ano, tendo como período caracterizado como seco os meses de junho, julho e agosto.

Para o decêndio 4° e 10° os valores de ISNA não apresentaram variabilidade dentro das classes de aptidão atribuídas, sendo assim, não necessária a realização dos procedimentos precedentes à krigagem. Para os demais decêndios, o ajuste dos semivariogramas foram realizados, bem como os erros quadráticos médios – RMSE e GDE (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes e modelos dos semivariogramas ajustados para as CAD de 20, 40 e 60 mm e para as diferentes épocas de semeadura para o Estado de Mato Grosso

CAD	Decêndio	Pepita (C_0)	Patamar (C_0+C)	Alcance (km)	RMSE	GDE (%)
20	5°	0,0066	0,0252	630,0	0,134	73,1
	6°	0,0046	0,0182	544,0	0,129	74,7
	7°	0,0044	0,023	924,0	0,125	80,9
	8°	0,0012	0,021	1068,0	0,104	94,6
	9°	0,0008	0,0162	1120,0	0,086	95,3
40	5°	0,0066	0,0182	473,0	0,126	63,7
	6°	0,0044	0,0244	854,4	0,131	82,0
	7°	0,003	0,0273	756,5	0,144	89,0
	8°	0,004	0,0226	840,0	0,136	82,3
	9°	0,0008	0,0218	882,0	0,117	96,3
60	5°	0,004	0,0017	561,0	0,112	76,5
	6°	0,0028	0,0176	684,0	0,122	84,1
	7°	0,0026	0,181	825,0	0,122	98,6
	8°	0,0026	0,0214	828,0	0,126	87,9
	9°	0,0014	0,0204	803,0	0,115	93,1

Segundo a classificação de Dalchiavon et al. (2012), na CAD de 20 mm os decêndios 5° e 6° apresentaram alta dependência espacial, e do 7° ao 9° decêndio houve dependência espacial muito alta. Já para as CAD de 40 e 60 mm, do decêndio 6° ao 9° houve dependência espacial muito alta, enquanto que o decêndio 5° apresentou alta dependência.

Os valores de RMSE para todos os conjuntos de dados oscilaram entre 0,086 e 0,144, valores estes considerados dentro do ideal para proceder a interpolação dos dados por meio da Krigagem, (XAVIER; CECÍLIO; LIMA, 2010) verificaram que quanto menor for o valor do RMSE melhor se dará o ajuste ao modelo interpolador, assim possibilitando a interpolação por meio da Krigagem. Segundo (ASSAD et al., 2003), os métodos geoestatísticos podem ser considerados como alternativa aos modelos inferenciais determinísticos na espacialização do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), sendo a krigagem uma das formas mais utilizadas.

O modelo Esférico teve melhor ajuste aos dados, em que o alcance dos semivariogramas ficaram entre 544 e 1120 km. Nas figuras 3, 4 e 5, observa-se os semivariogramas ajustados para as CAD 20, 40 e 60 mm, respectivamente.

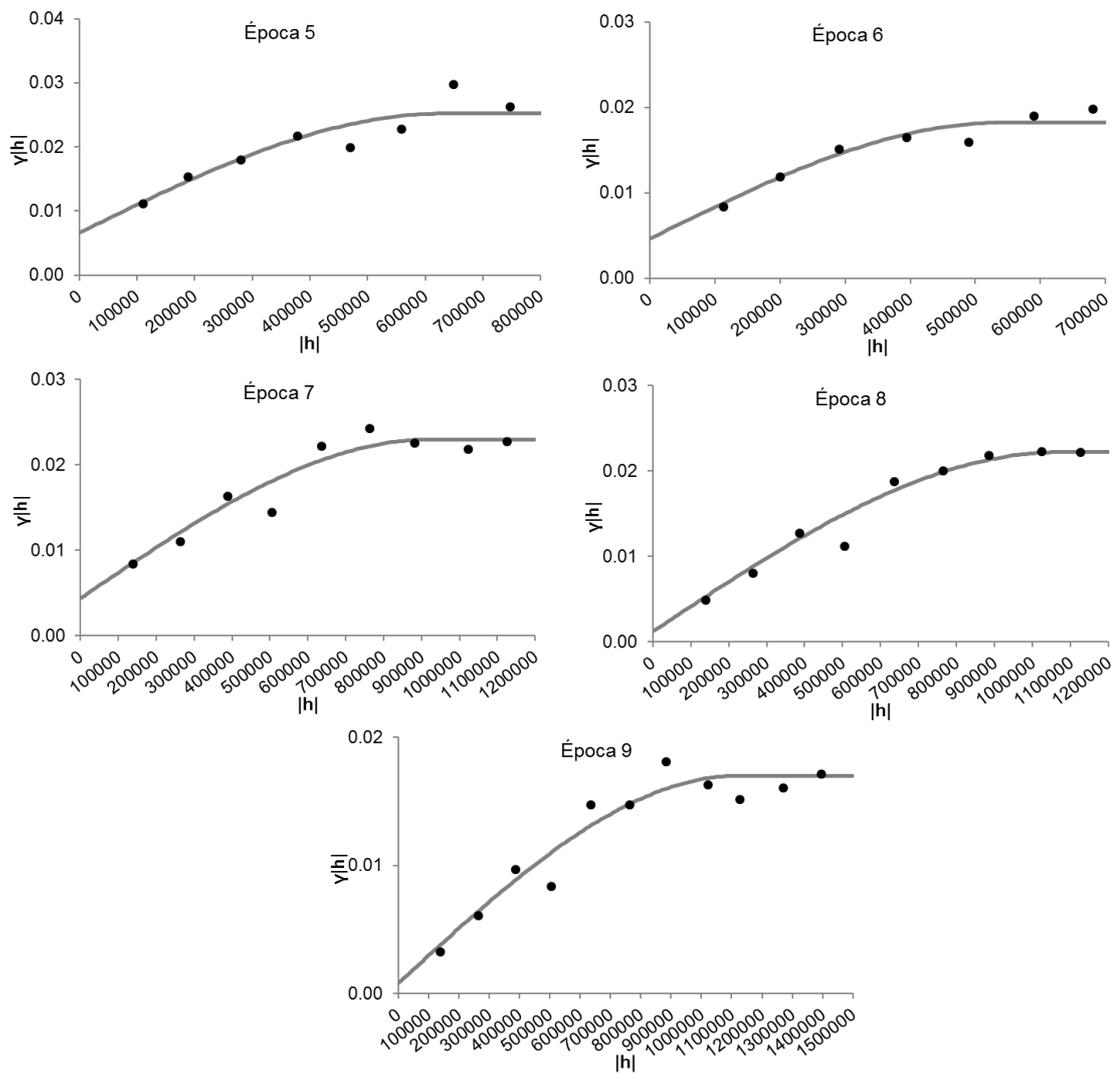


Figura 3. Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 20 mm

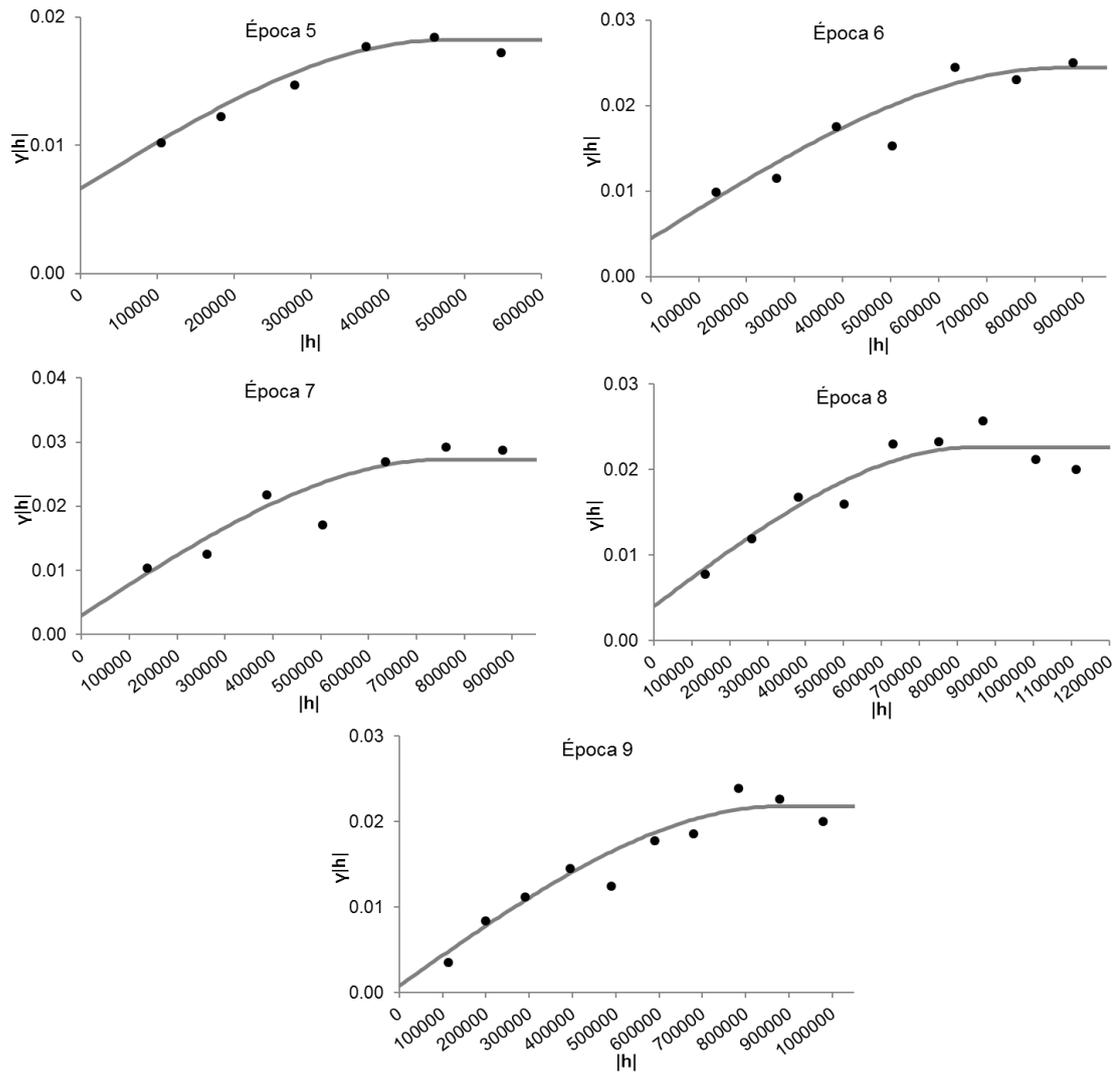


Figura 4. Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 40 mm

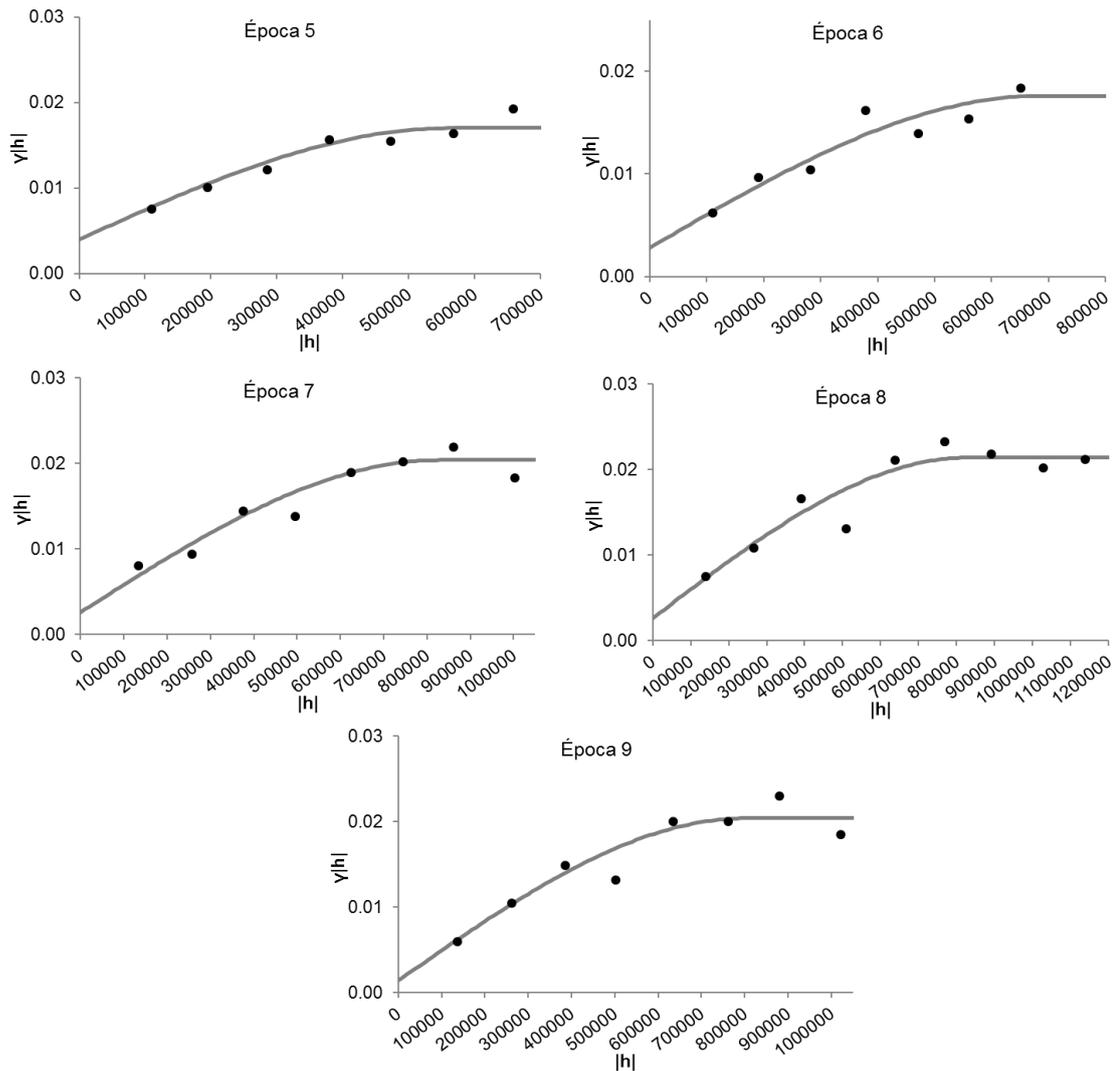


Figura 5. Semivariogramas ajustados para os valores de ISNA para as diferentes épocas de semeadura na CAD 60 mm

Na Figura 6, estão os mapas de zoneamento da cultura do milho pipoca para o Estado de Mato Grosso considerando as CAD classificadas anteriormente (Tabela 1), sendo que para a época de semeadura no 4º decêndio (01/02 – 09/02), todo o Estado mostra-se apto, enquanto que para o 10º decêndio (01/04 – 09/04), todo o Estado tem a semeadura do milho pipoca classificada como inapta.

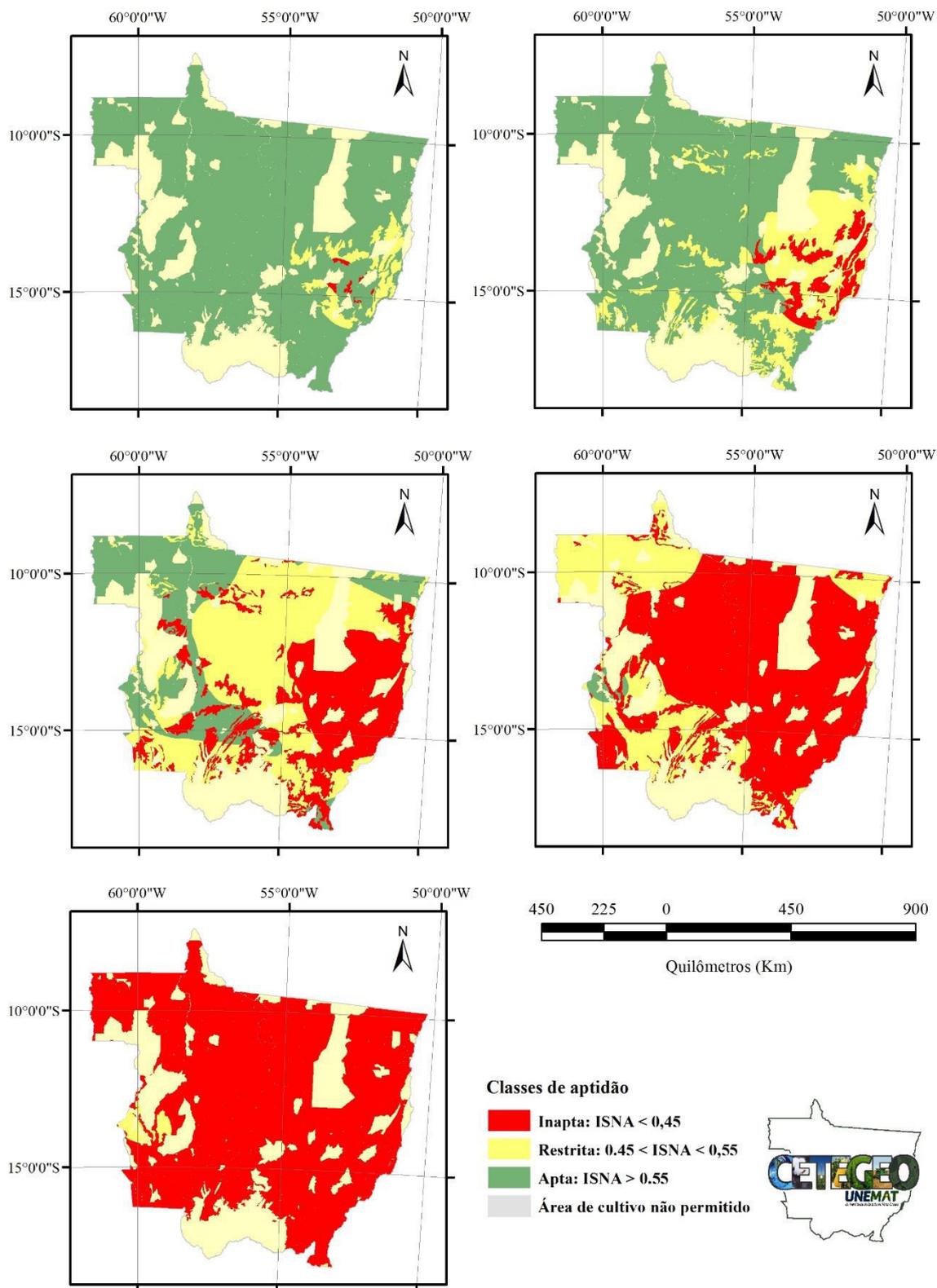


Figura 6. Mapas do zoneamento de ISNA para diferentes épocas de semeadura, considerando as CAD de 20, 40 e 60 mm, para o Estado de Mato Grosso

A semeadura do milho pipoca no 5º decêndio foi classificada como apta na grande maioria do Estado, com exceção de algumas áreas do Leste mato-grossense, mais precisamente na região do baixo Araguaia, tendo a semeadura na mesma classificada como restrita. Isso ocorre devido à predominância de solos com baixa CAD (Tabela 4). Segundo (SANS et al., 2001) quanto mais se atrasa a semeadura das culturas agrícolas em segunda safra maior é o risco climático, principalmente em solos com baixa CAD.

Tabela 4. Áreas inaptas, restritas e aptas em km² para o Estado de Mato Grosso, considerando as CADs de 20, 40 e 60 mm

Decêndio	Área km ²					
	Inapto		Restrito		Apto	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
5º	2852,68	0,4	35043,87	5,0	657028,36	94,6
6º	43197,24	6,2	146686,80	21,1	505040,86	72,7
7º	218928,91	31,5	295121,43	42,5	180874,55	26,0
8º	510535,85	73,5	177339,44	25,5	7049,61	1,0
9º	683774,57	98,4	11150,33	1,6	0	0

Para o 5º 6º, 7º e 8º decêndios, todas as classes de aptidão foram encontradas no Estado, sendo que, para o 5º decêndio houve uma área maior apta ao cultivo. O oposto foi observado para o 8º decêndio. Para e o 7º decêndio houve um equilíbrio entre as classes de aptidão sendo que 31,5% da área é classificada como inapta, 42,5% restrita e 26,0% apta (Tabela 4).

Os índices pluviométricos e o tipo de solo influenciam diretamente na disponibilidade hídrica, resultando na variabilidade dos valores de ISNA. Desta forma, nos primeiros decêndios do ano (1º, 2º, 3º e 4º), para o Estado de Mato Grosso, os valores de ISNA foram superiores a 0,55, tornando o Estado apto ao cultivo de milho pipoca, neste período. Com o decorrer dos decêndios estes valores foram reduzindo concomitantemente com os índices pluviométricos, até o limite do 10º decêndio, em que todo o Estado foi classificada como inapta ao cultivo de milho pipoca, quando os valores de ISNA foram inferiores a 0,45.

4. CONCLUSÕES

A semeadura do milho pipoca foi considerada apta em todo o Estado de Mato Grosso no período compreendido entre o primeiro e quarto decêndio (01 de janeiro a 10 de fevereiro).

A semeadura do milho pipoca entre o 5º e 9º decêndios pode ser realizada em algumas áreas do Estado de Mato Grosso, sendo dependentes principalmente do regime hídrico.

O milho pipoca não deve ser semeado após o dia 31 de março no Estado de Mato Grosso, sendo excluídos os sistemas irrigados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D.; DE MACEDO, M. A.; JÚNIOR, J. Z.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 161–171, 2003.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais Probable minimum precipitation mapping for the Southern Minas Gerais , Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 35, p. 906–915, 2009.
- BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; FARIA JÚNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L. DE; ARAÚJO, D. V. DE. Classificação de risco climático para o cultivo do amendoim no Estado de Mato Grosso. **Espacios**, v. 37, n. 8, p. 25, 2016.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. DE P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 3, p. 453–461, 2012.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra , médio norte do Estado de Mato Grosso , Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193–200, 2011.
- FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H.; CHIBANA, E. Y.; BRITO, L. R. S.; NAKAMURA, A. K.; FERREIRA, A. R. CLIMA – Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. **Revista Engenharia Agrícola**, n. 23, p. 372–387, 2003.
- JÚNIOR, U. J. R.; BAMPI, A. C. Análise do uso dos recursos hídricos com base no relatório GRI (global reporting initiative) pelas corporações do agronegócio na Amazônia Meridional mato grossense. **NATIVA - Revista de ciências sociais do norte de Mato Grosso**, v. 1, n. 2, p. 1–17, 2014.
- MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R. DA; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.; PIRES, J. L. F. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 460–467, 2001.

MAPA. **Projeções do agronegócio: Brasil 2013/2014 - 2023/24. Projeções de Longo Prazo.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/ministerio/gestao-estrategica/projecoes-do-agronegocio>>, 2013.

MAPA. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento Zoneamento Agrícola.** <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>, 2014.

MEDEIROS, K. M. Inserção capitalista do Brasil a partir da exploração econômica do cerrado. **Revista Facitec**, v. 4, n. 1, p. Art. 3, 2010.

OLIVEIRA, A. L. R. DE; MORAES, S. R. P. DE; NETO, A. G. G. Zoneamento edafoclimático da cultura da melancia. **Enciclopédia Biostera**, v. 6, n. 11, 2010.

ROLIN, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, n. 6, p. 133–137, 1998.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 564–570, 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL - SEPLAN. **Mato Grosso em números.** [S.l: s.n.], 2011.

SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. DO. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, p. 93–99, 2007.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. DE; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M. DE; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970–978, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000900009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

WREGGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R. C.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T. DE; FREITAS, P. S. L. DE; GONÇALVES, S. L. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base

na análise do risco de geadas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 113–122, 2005. Disponível em:

<[http://www2.esalq.usp.br/departamentos/lce/aulas/lce630/ED1_Geada\(2\).pdf](http://www2.esalq.usp.br/departamentos/lce/aulas/lce630/ED1_Geada(2).pdf)>.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. DE S. Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 01, n. 62, p. 67–76, 2010.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. [S.l: s.n.], 2013.

CAPÍTULO 4

Calibração dos coeficientes genéticos e simulação da produtividade do milho pipoca para a região de Tangará da Serra - MT

Calibração dos coeficientes genéticos e simulação da produtividade do milho pipoca para a região de Tangará da Serra – MT

RESUMO

Modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de plantas vem sendo utilizado para simular o comportamento de diversas culturas nas mais variadas condições edafoclimáticas e manejo. O Estado de Mato Grosso como o maior produtor de grãos nacionalmente ainda é carente de pesquisas que utilizam modelos de simulação, tornando oportunos estudos acerca do tema, tendo que esta pode ser considerada uma excelente ferramenta de planejamento. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi calibrar os coeficientes genéticos para a cultura do milho pipoca e simular a produtividade em função de diferentes épocas de semeadura. Para a coleta de dados e obtenção dos coeficientes genéticos foi conduzido um experimento área experimental do Laboratório de Agrometeorologia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, campus de Tangará da Serra. Localizado na latitude 14°39' S, longitude 57°25'53" W e com altitude de 440 metros. A semeadura do experimento foi realizada no dia 09/07/2014, o espaçamento utilizado foi de 0,45 m e população de 65000 plantas por ha. A cultivar utilizada foi o híbrido AP6002 da Yoki, recomendado para o Estado da Mato Grosso. O delineamento experimental foi em blocos casualizados composto por quatro tratamentos: tratamento 1 (irrigação 30% da ETo), tratamento 2 (irrigação 70% da ETo), tratamento 3 (irrigação 110% da ETo), tratamento 4 (irrigação 150% da ETo) e quatro repetições. A calibração dos coeficientes genéticos e simulação de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho pipoca foi realizada pelo modelo CERES-Maize incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.6). O banco de dados meteorológicos utilizado nas simulações foi fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, dados diários do município de Tangará da Serra dos anos compreendidos entre 2004-2015. As simulações para o milho pipoca foram realizadas para as seguintes datas de semeadura (01/02, 10/02, 20/02, 01/03, 10/03 e 20/03) sendo as produtividades médias simuladas pelo modelo foram 4928, 4116, 2868, 1554, 1074 e 985 Kg ha⁻¹ respectivamente. Podendo observar o decréscimo de produtividade com o atraso de semeadura.

Palavras-chave: Modelagem, clima, época de semeadura.

Calibration of genetic coefficients and simulation of the production of popcorn corn to the region of Tangará da Serra – MT

ABSTRACT

Simulation models of plant growth and development have been used to simulate the behavior of several crops in the most varied edaphoclimatic and management conditions. The state of Mato Grosso as the largest grain producer nationally is still lacking in research that uses simulation models, making timely studies about the subject, and this can be considered an excellent planning tool. Considering the above, the objective of this work was to calibrate the genetic coefficients for popcorn corn and to simulate the productivity in function of different sowing times. For data collection to obtain genetic coefficients, an experimental area experiment was conducted at the Agrometeorology Laboratory of the Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Campus Tangará da Serra. Located at latitude 14 ° 39 'S, longitude 57 ° 25'53 "W and with an altitude of 440 meters. Sowing of the experiment was performed on July 9, 2014, the spacing used was 0.45 m and population of 65000 plants per hectare. The cultivar used was the hybrid AP6002 from Yoki, recommended for the State of Mato Grosso. The experimental design was a randomized complete block design with four treatments: treatment 1 (irrigation 30% of ETo), treatment 2 (irrigation 70% of ETo), treatment 3 (irrigation 110% of ETo), treatment 4 (irrigation 150% of ETo) and four replicates. Calibration of the genetic coefficients and simulation of growth, development and productivity of the popcorn corn crop was performed by the CERES-Maize model included in the Support System for Agro-Technology Transfer (DSSAT v.4.6). The meteorological database used in the simulations was provided by the Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, daily data of the municipality of Tangará da Serra for the years 2004-2015. Simulations for corn popcorn were performed for the following sowing dates (01/02, 10/02, 02/02, 01/03, 10/03 and 20/03) and the average productivities simulated by the model were 4928, 4116, 2868, 1554, 1074 and 985 kg ha⁻¹ respectively. It can observe the decrease of productivity with the delay of sowing.

Keywords: Modeling, climate, sowing season .

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundial de milho, produziu aproximadamente 80 milhões de toneladas de milho na safra 2015/16, em que, o Estado de Mato Grosso apresentou a maior participação na produção nacional, sendo responsável por 25,4% do total produzido. Destacando principalmente a produção do grão em segunda safra que representou cerca de 98% do total produzido pelo Estado (CONAB, 2016).

A segunda safra é cultivada comercialmente em pelo menos dez estados brasileiros, destacando-se o Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Essa dimensão é igualmente proporcional aos desafios particulares de ambiente típico da safrinha, como risco de geadas, o déficit hídrico e a diminuição do fotoperíodo (BOLSON et al., 2016), quanto maior for o tempo entre a colheita da safra de verão e semeadura da segunda safra, maior serão os riscos de quebra na produção, seja pela redução dos índices pluviométricos ou até mesmo a ocorrência de geadas nas regiões mais ao sul do país.

Por ser considerada uma atividade de risco a semeadura em segunda safra, muitos produtores usam manejo de baixo custo, comprometendo a produtividade e a receita. Essa condição torna-se imprescindível para o planejamento adequado do cultivo, com menores riscos, minimização de custos e otimização de rendimentos. Para obtenção de resultados satisfatórios são necessárias informações adequadas de cultivares mais adaptadas, definição de épocas de semeaduras, adubação e irrigação para a obtenção de maiores produtividades e minimização dos riscos e prejuízos. Entretanto, o levantamento dessas informações requer tempo de ensaios e medições morosas e onerosas no campo, que necessitam ser repetidas durante vários anos, além do que, seus resultados que só poderão ser utilizados em longo prazo. Nesse sentido, os modelos de simulação tornam-se uma ferramenta indispensável para a obtenção de informações dessa natureza, em curto prazo e com baixo custo (CARDOSO, FARIA, FOLEGATTI, 2004).

Modelos simulação são ferramentas extremamente úteis quando o desenvolvimento da cultura depende de interações complexas com o solo, com o clima e com outras decisões relacionadas ao próprio manejo (ANDRADE et al, 2009). Um modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas visa buscar informações sobre as diversas relações entre a planta e o ambiente, buscando a maximização dos recursos naturais de cada região, ou de determinada condição de cultivo. Possibilitando assim, definir a melhor forma de manejo de uma cultura e

ainda funciona como uma ferramenta de planejamento das atividades agrícolas e da pesquisa científica (PEREIRA et al., 2010).

O Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) versão 4.6, é um exemplo dos modelos computacionais utilizados na simulação de desenvolvimento de culturas, capazes de simular o crescimento, o desenvolvimento e o balanço hídrico de diversas culturas, em função das características de solo, da planta e da atmosfera (HOOGENBOOM; WHITE; MESSINA, 2004).

O DSSAT surgiu com o intuito de tornar os vários modelos existentes compatíveis entre si e possui atualmente 28 modelos de simulação de cultura (HOOGENBOOM et al., 2012). Dentre estes, o modelo CERES-Maize simula as variáveis de desenvolvimento e produtividade do milho, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, tem por objetivo quantificar os efeitos isolados e interativos do genótipo, clima e atributos do solo no crescimento e produção de milho. O modelo é capaz de simular os principais processos fisiológicos da planta, dentre eles, a fotossíntese; a respiração; a acumulação e partição de fitomassa; a fenologia; o crescimento de folhas, caules e raízes; a extração de água do solo e evapotranspiração (HOOGENBOOM, 2000).

Para a aplicação dos modelos de crescimento de planta, antes deve-se avaliar sua precisão, sendo necessário calibrar os coeficientes e seus parâmetros. Para realizar essa operação é imprescindível a obtenção de dados reais de algumas das variáveis de saída do modelo. Os modelos foram desenvolvidos para estimar variáveis ligadas a produção de matéria seca, produtividade de grãos e outros. Variáveis como a estimativa do índice de área foliar também podem ser utilizadas para avaliá-los (JÉGO et al., 2012).

No Brasil, a variabilidade de condições climáticas e de solo, e a importância econômica da cultura do milho, faz do CERES-Maize uma ferramenta extremamente útil na estimativa da produção (PAGLIS, 2009). Diante do exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho foi calibrar os coeficientes genéticos para a cultura do milho pipoca e simular a produtividade em função de diferentes épocas de semeadura, correspondente a segunda safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Agrometeorologia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, campus de Tangará da Serra. Localizado na latitude 14°39' S, longitude 57°25'53" W e com altitude de 440 metros segundo dados do INMET. O solo da região foi classificado como Latossolo vermelho distroférrico, textura muito argilosa com 68,9% de argila e relevo suavemente ondulado.

O clima da região é o tropical úmido megatérmico (Aw) de acordo com Köppen. A temperatura média anual é de 24,4°C, com precipitação de 1830 mm ano e umidade relativa do ar média entre 70 e 80%. O município apresenta uma estação seca entre os meses de abril a setembro e uma chuvosa de outubro a março (DALLACORT et al., 2011).

Para a obtenção dos dados meteorológicos, utilizou-se de uma estação automática Campbell Scientific localizada na própria universidade. A estação possui um Data Logger CR1000 para armazenamento de dados, sensor CS 215 de temperatura (°C) e umidade relativa (%), sensor de pressão atmosférica (kPa) barômetro CS106 mede a variação de 500 a 1100 mb, sensor de radiação solar (MJ/m²) piranômetro CMP3, sensor de velocidade (m/s⁻¹) e direção do vento (graus) anemômetro 03002-R.M. Young Wind, pluviômetro CS 700 rain gauge, sensor de molhamento foliar 237-L Grade sensora de umidade. As informações são disponibilizadas pelo laboratório de Agrometeorologia.

A semeadura do experimento foi realizada no dia 09/07/2014, o espaçamento utilizado foi de 0,45 m e população de 65000 plantas por ha, as parcelas experimentais eram constituídas de seis linhas de 12 metros de comprimento, em que a área útil colhida foram duas linhas centrais com 10 metros de comprimento. A cultivar utilizada foi o híbrido AP6002 da Yoki, recomendado para o Estado da Mato Grosso. Foram realizadas a adubação de plantio com 400 Kg ha⁻¹ do formulado 5-25-15, e adubação de cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N na forma de Ureia.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados composto por quatro tratamentos: tratamento 1 (irrigação 30% da ETo), tratamento 2 (irrigação 70% da ETo), tratamento 3 (irrigação 110% da ETo), tratamento 4 (irrigação 150% da ETo) e quatro repetições. Os tratamentos foram irrigados igualmente até 30 dias após a semeadura, com 132 mm.

As irrigações foram realizadas por sistema de aspersão convencional, utilizando aspersores Fabrimar Eco A232 espaçados em 12 x 18 m com bocais 4,00 x 2,80 mm com

coeficiente de uniformidade de 82% e lâmina média de sete mm h⁻¹ operando sob pressão de 30 m.c.a..

As pragas, doenças e plantas daninhas foram controladas quando necessárias, por meio da aplicação de defensivos registrados para a cultura, bem como utilização de dosagens recomendadas pelo fabricante, haja visto que as aplicações foram mecanizadas, por meio de um pulverizador de três pontos.

Foram analisadas as seguintes variáveis para calibração:

- Dias decorridos entre o plantio e o florescimento: Quando 50% das plantas das parcelas estavam liberando pólen.

- Produtividade em (kg ha⁻¹): Ao final do experimento, de cada parcela foram colhidas as duas linhas centrais com um comprimento de 10 m.

- Massa de mil grãos em (g): Após a avaliação de produtividade, eram pesados mil grãos de cada parcela após a secagem em estufa (65°C);

- Grãos por espiga: Durante a avaliação de produtividade foram selecionadas aleatoriamente 10 espigas e contado os grãos presentes na mesma.

- Taxa de enchimento de grãos (g dia⁻¹): Durante o enchimento de grãos foram coletados 100 grãos por espiga na região central da mesma, os grãos foram secos em estufa de circulação de ar forçada até atingirem peso constante, foram realizadas oito avaliações, sendo que para cada avaliação foram selecionadas seis plantas aleatoriamente.

A calibração dos coeficientes genéticos e simulação de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho pipoca foi realizada pelo modelo CERES-Maize incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.6).

Foram calibrados os seguintes coeficientes genéticos:

– P1: representa a duração do período vegetativo, mediante a soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil (temperatura base de 8°C);

– P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, por meio dos dias de atraso na iniciação do florescimento da parte masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas;

– P5: duração da etapa reprodutiva, mediante a soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base de 8°C);

– G2: número máximo de grãos por planta;

– G3: taxa de enchimento do grão (mg dia⁻¹) sob condições ótimas de crescimento;

– PHINT: intervalo correspondente ao filocrono em tempo térmico (Graus-dia), entre a aparição de folhas subsequentes.

Para o ajuste dos coeficientes genéticos foram utilizados os dados obtidos no tratamento 3, e para a verificação dos mesmos utilizou-se os dados do tratamento 1, 2 e 4. Primeiramente, procurou-se ajustar os dados referentes ao desenvolvimento fenológico do milho como a data do florescimento e a maturidade fisiológica. Depois foram ajustados os coeficientes relativos à produtividade.

Durante o ciclo da cultura no tratamento 3 a temperatura média foi de 26,6 °C, com mínima média de 19,8 °C, máxima média de 33,3 °C, precipitação de 109 mm e irrigação de 508 mm (Figura 1).

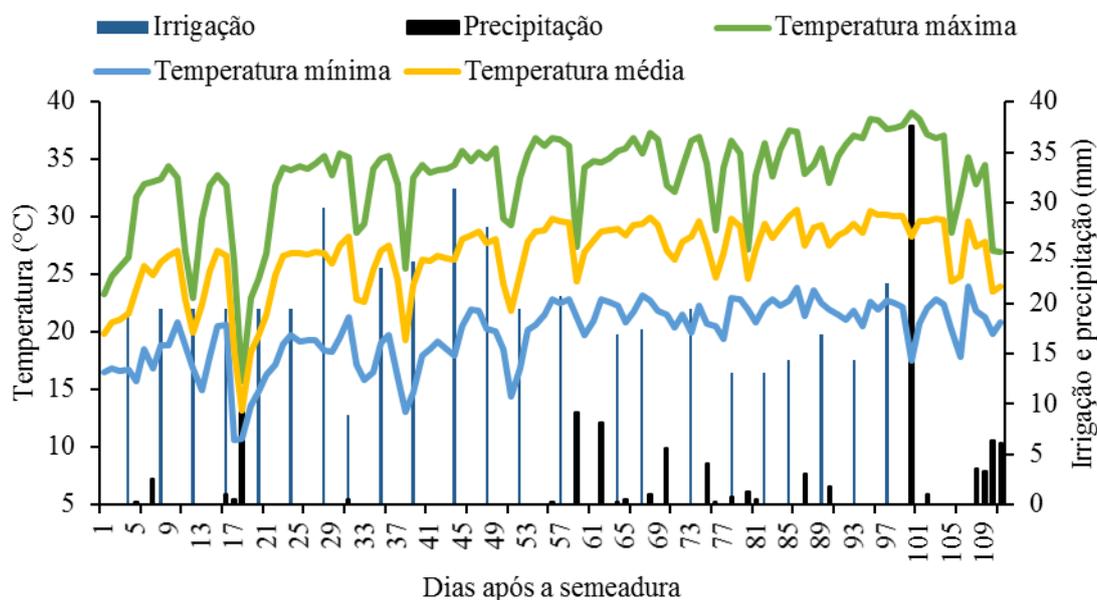


Figura 1. Temperaturas médias, mínimas e máximas, precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura no tratamento 3, utilizado para a calibração dos coeficientes genéticos.

No processo de calibração foram calculadas as porcentagens de desvios (PD) dos valores simulados em relação à média dos dados observados (Equação 1), os índices estatísticos eficiência de modelagem (EFM) (Equação 2) e o índice de concordância de Willmott (d) (Equação 3):

$$PD = \left(\frac{x - y}{x} \right) * 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$EFM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Equação 2})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que x é a média dos valores experimentais; y é o valor simulado pelos modelos CERES-Maize e \bar{x} é a média de x .

Segundo TEDESCHI (2006), o coeficiente EFM é um bom indicador do ajuste dos dados, podendo assumir valores que variam de um (1) a menos infinito (limite inferior teórico). Quando o ajuste dos dados é perfeito, o índice EFM resultante é igual a 1. Já o índice de concordância de Wilmott é empregado para avaliar a exatidão do modelo, podendo variar entre 0 (nenhuma concordância) e 1 (concordância perfeita).

Para a simulação de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho pipoca, foram utilizados os dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET de 2004 a 2015. As variáveis meteorológicas inseridas no software foram: temperatura máxima e mínima, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, originários da estação meteorológica automática de Tangará da Serra - MT.

Foram realizadas simulações em que o fator limitante ao crescimento e desenvolvimento da cultura foi a demanda hídrica, sendo que a mesma era suprida apenas pela precipitação durante seu ciclo, expressando diferentes respostas à variabilidade nos índices de precipitação durante e entre os anos simulados.

As simulações foram realizadas na sub rotina “seasonal” do sistema DSSAT v4.6, para os anos de 2004 a 2015, esta sub rotina permite a simulação durante os vários anos considerados na série de dados meteorológicos históricos, utilizando as mesmas condições iniciais de solo e de manejo da cultura sob condições as meteorológicas dos diferentes anos simulados.

Foram simuladas seis datas de plantio (01/02, 10/02, 20/02, 01/03, 10/03 e 20/03).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes genéticos foram obtidos com experimento realizado em Tangará da Serra – MT e semeadura realizada em 09/07/2014. Após a calibração dos coeficientes genéticos o modelo CERES-Maize prediz o crescimento e desenvolvimento do milho. Os coeficientes genéticos P1, P2 e P5 definem a fenologia da cultura, enquanto que os G2 e G3 estão relacionados com a definição do rendimento em grão. P1 representa o tempo térmico desde a emergência até o final da fase juvenil durante a qual a planta não apresenta resposta ao fotoperíodo (Tabela 1).

Tabela 1. Valores dos coeficientes genéticos calibrados pelo CERES-Maize, para o híbrido de milho pipoca AP 6002 semeado em Tangará da Serra – MT.

Coeficiente genético	Valor calibrado	Unidade de medida
P1	305,8	Graus-dia
P2	0,400	Graus-dia
P5	956,5	Graus-dia
G2	801,0	Adimensional
G4	6,33	mg por dia
PHINT	49,00	Graus-dia

P1: Tempo térmico da emergência até o final da fase juvenil (expresso em graus-dia acima da temperatura basal de 8°C) durante o qual a planta não apresenta resposta ao fotoperíodo; P2: Extensão do atraso no desenvolvimento (expresso em dias) por cada hora de incremento no fotoperíodo acima do qual o desenvolvimento procede à taxa máxima (o qual é considerado ser 12,5 horas); P5: Tempo térmico entre o florescimento feminino e a maturidade fisiológica (expresso em graus-dias acima da temperatura basal de 8°C); G2: Número máximo de grãos por planta; G3: Taxa de enchimento do grão durante a fase linear sob condições ótimas (mg dia⁻¹); PHINT: Intervalo correspondente ao filocron em tempo térmico (graus-dia) entre a aparição de folhas subsequentes (Hoogenboom et al., 1994).

A taxa de enchimento do grão foi utilizada para calibrar o modelo CERES-MAIZE com o híbrido de milho pipoca AP 6002. Podemos observar que o modelo simulou a taxa de enchimento de modo satisfatório quando comparado aos valores observados a campo. O índice de concordância (d) foi de 0,97 caracterizando um bom ajuste dos valores de massa do grão medidos e estimados, o RMSE foi menor que 20 % indicando boa relação entre a simulação e o R² apresentando a relação dos valores medidos e estimados quanto as variações (Figura 2).

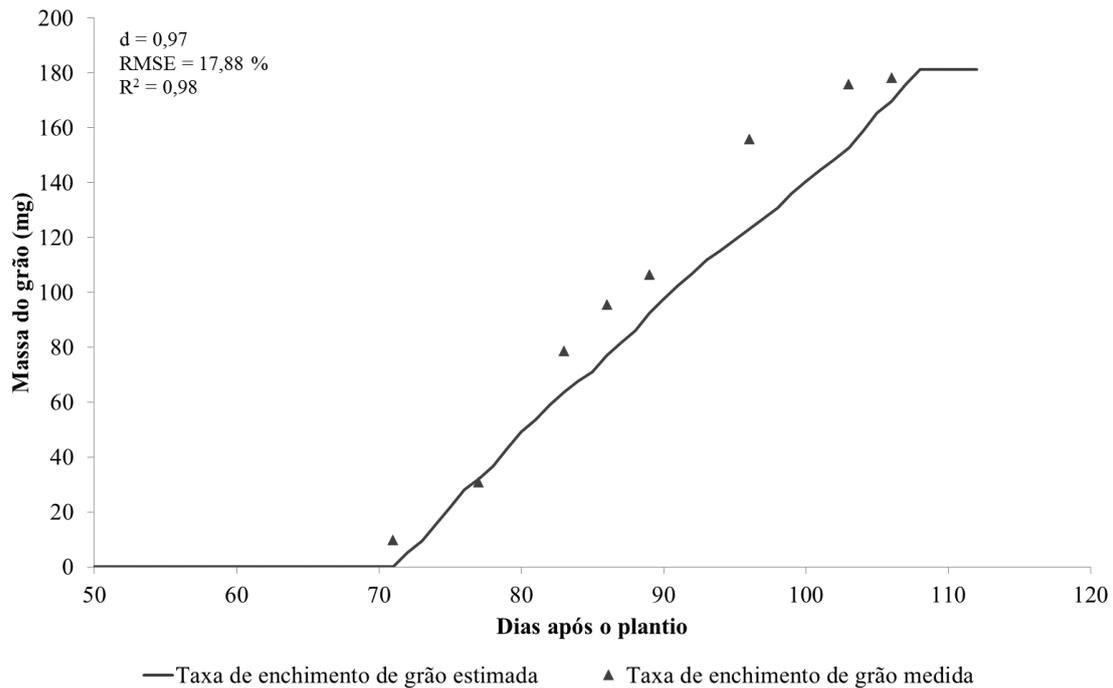


Figura 2. Taxa de enchimento dos grãos de milho pipoca híbrido AP 6002 medido e estimado em Tangará da Serra – MT.

Valores de índice de concordância, RMSE e R^2 , são frequentemente discutidos em trabalhos de calibração e simulação de épocas para culturas agrícolas, contudo alguns autores trazem afirmações sobre essas análises (SOLER et al., 2007; PEREIRA et al., 2010).

Dokoohaki et al. (2016), avaliando a eficiência do modelo CERES-MAIZE utilizaram como metodologia para avaliação o RMSE, índice de concordância, o R^2 , e a porcentagem de diferença, para determinar a relação entre os dados observados a campo e simulados pelo modelo.

Para apresentar a eficiência do modelo com relação a calibração foi realizado a porcentagem de desvio (PD) calculada, considerando-se a diferença entre os valores simulados e observados (para o rendimento e seus componentes), dividindo-se esse valor pelos valores observados e multiplicando-se por 100, para convertê-lo em porcentagem. Porcentagem de desvios negativos indicam sub-estimativa enquanto que porcentagem de desvios positivas indicam super-estimativa (Tabela 2).

Tabela 2. Valores observados e preditos das variáveis nos tratamentos com diferentes lâminas de água e porcentagem de desvio (PD), índice de concordância (d) e eficiência do modelo (EFM).

Tratamento	Variável	Valor observado	Valor predito	PD	d	EFM
1	Florescimento	66	64	-3,03	0,9913	0,9702
	Maturação	110	112	1,82		
	MMG (g)	120	136,7	13,92		
	Produtividade (kg ha ⁻¹)	2504	2145	-14,34		
2	Florescimento	63	64	1,59	0,9997	0,9998
	Maturação	111	112	0,90		
	MMG (g)	161	157,7	-2,05		
	Produtividade (kg ha ⁻¹)	5241	5270	0,55		
3	Florescimento	64	64	0	0,9997	0,9989
	Maturação	111	112	0,90		
	MMG (g)	164	181,3	10,55		
	Produtividade (kg ha ⁻¹)	5896	6060	2,78		
4	Florescimento	63	64	1,59	0,9998	0,9998
	Maturação	110	112	1,82		
	MMG (g)	165	181,3	9,88		
	Produtividade (kg ha ⁻¹)	5993	6060	1,12		

Datas de florescimento e maturidade fisiológica, componentes de rendimento e produtividade de grãos foram comparados utilizando-se o índice d de concordância, De acordo com o índice estatístico d, quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre as variáveis simuladas e observadas.

Pode-se observar que os valores medidos e preditos de dias até o florescimento feminino são muito semelhantes, com desvios percentuais (PD) variando de -3,03 a 1,59. O índice de concordância d foi elevado mantendo-se em 0,99 para todos os tratamentos e o EFM manteve-se próximo a 1 com valores de 0,99 para todos os tratamentos, dessa forma determinamos ótima eficiência do modelo CERES-Maize em simular a data de florescimento para o híbrido de milho pipoca AP 6002.

Perreira et al., (2010) utilizando o índice de concordância ‘d’ e a porcentagem de desvio ‘PD’ para avaliar o desempenho do modelo na simulação das datas de florescimento e maturidade fisiológica, e os componentes do rendimento e da produtividade de grãos de híbridos de milho, também obtiveram valores próximos a unidade para o índice de concordância, e valores considerados baixos para a porcentagem de desvio, demonstrando a eficiência do modelo CERES-Maize.

Na Tabela 3 podemos observar que o modelo CERES-MAIZE após devidamente calibrado responde as variações do clima quanto ao ciclo no decorrer das datas simuladas, analisando o florescimento observamos que semeaduras tardias aumentam o número de dias, já para a duração total do ciclo observamos que na data 01/02, houve maior duração do ciclo, não tendo uma relação direta com as épocas de semeadura.

Tabela 3. Valores do número de dias para emergência florescimento e duração do ciclo para o híbrido AP 6002, para datas de semeadura simulada, para a região de Tangará da Serra – MT.

Datas simuladas	01/02	10/02	20/02	01/03	10/03	20/03
Emergência	5,0	5,0	5,0	5,3	5,6	5,7
Dias até o florescimento	64,58	64,67	64,83	66,45	67,71	68,90
Duração do ciclo (dias)	119,08	116,58	115,67	108,64	114,71	116,40

Culturas de segunda safra como o milho pipoca são recomendadas semeaduras antecipadas e para isso deve-se considerar a cultura de primeira safra, porém estudos que visam determinar melhores épocas de semeadura são muito frequentes no estado de Mato Grosso, devido ao ciclo das chuvas que se inicia em outubro e termina em março (DALLACORT et al., 2011).

Perante as condições do clima para o município onde o experimento e a simulação foram conduzidos, observamos que quanto mais tarde é realizada a semeadura menor é a produtividade do milho pipoca, porém semeaduras realizadas em 01/02 e 10/02 apresentaram médias de produtividade acima de 4000 kg ha⁻¹, valor acima da média do Estado, em semeaduras tardias a partir de 01/03 as produtividades médias são menores que 2000 kg ha⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de produtividade simulada para datas de semeadura com desvio padrão e porcentagem de redução, para a região de Tangará da Serra – MT.

Data de semeadura	Produtividade média	Desvio Padrão Kg ha ⁻¹	Porcentagem de redução
01/02	4928,58	2445,59	0,00
10/02	4116,58	2672,61	-19,73
20/02	2868,50	2465,87	-71,82
01/03	1554,17	1992,03	-217,12
10/03	1074,50	1534,22	-358,69
20/03	985,08	1053,18	-400,32

Observamos que existe uma grande variabilidade na produtividade, podendo ser analisada no desvio padrão, com maiores valores para as datas 01/02, 10/02 e 20/02, e menores desvios para datas tardias, isso conseqüentemente é ocasionado pela baixa produtividade encontrada nessas datas e a diferença entre a produtividade mínima e máxima é pequena. A porcentagem de redução aumenta gradativamente em decorrer de datas mais tardias de semeadura.

Resultados similares têm sido verificados utilizando similar metodologia, quanto mais próximo do final da estação de crescimento e menor o número de dias com clima incerto (dados normais) a estimativa de rendimento é mais precisa com a variância, tendendo a se aproximar de zero (THORNTON et al., 1997).

A variação da produtividade em decorrer dos anos reflete na variabilidade das chuvas que diferencia em sua distribuição em relação as datas de semeadura e colheita, os valores de produtividade simulada para Tangará da Serra nas épocas são de 2004 a 2015 (Figura 3).

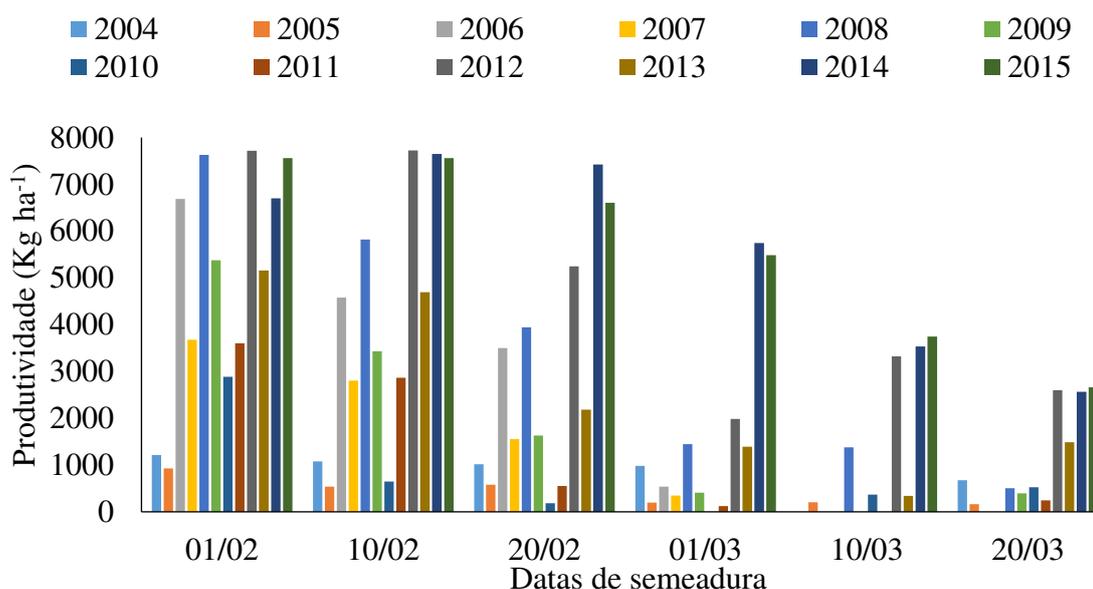


Figura 3. Valores de produtividade anual do milho pipoca híbrido AP 6002, obtidos a partir das datas simuladas em Tangará da Serra – MT.

Podemos observar que há uma redução na produtividade quando realizadas semeaduras tardias e em cada época ocorre grandes oscilações dos valores, ocasionados pela variabilidade do clima.

Os resultados da análise sazonal conduzida com o modelo CERES-Maize para condições de sequeiro evidenciam que para a primeira data de semeadura (decêndio 4) em 20%

dos anos o rendimento foi maior do que 7000 kg ha⁻¹, enquanto que em 50% dos anos o rendimento simulado foi maior do que 5000 kg ha⁻¹ (Figura 4).

A probabilidade de rendimento simulada pelo modelo apresenta maiores valores nos decêndios 4 e 5, onde são alcançadas produtividades acima de 3500 kg ha⁻¹, com 75 e 65 % de probabilidade respectivamente. Em épocas tardias (decêndios 7, 8 e 9), a probabilidade de ocorrer produtividades abaixo de 2000 kg ha⁻¹, é de 80 % (Figura 4).

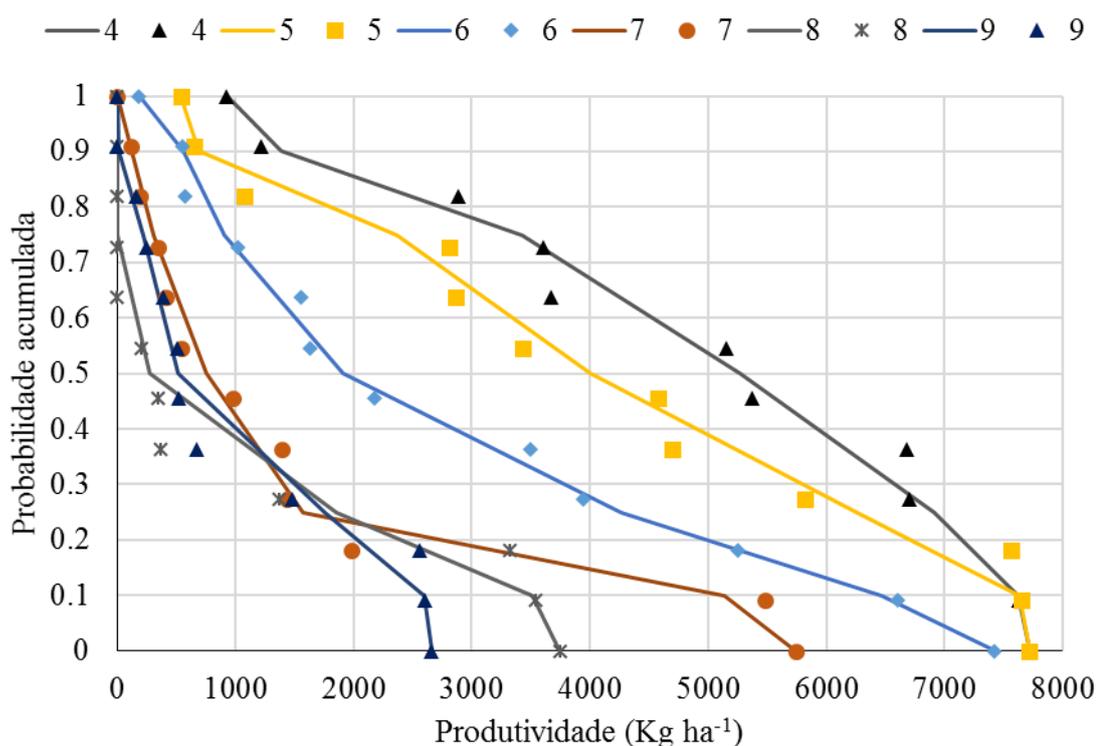


Figura 4. Probabilidade acumulada de produtividade para o híbrido de milho pipoca AP 6002 em Tangará da Serra – MT, para diferentes épocas de semeadura, decêndio 4 (01/02 -09/02), decêndio 5 (10/02 – 19/02), decêndio 6 (20/02 – 28/02), decêndio 7 (01/03 – 09/03), decêndio 8 (10/03 – 19/03) e decêndio 9 (20/03 – 31/03).

As épocas 7 e 8 apresentam 20 % de probabilidade de produtividade acima de 3500 kg ha⁻¹, o que é considerado inviável essa data devido ao alto risco de perda. No geral, quanto mais se atrasou a semeadura, menor foi o rendimento simulado para o quatro híbrido, resultados também observados por Soler et al. (2007), para a cultura do milho, porém com híbridos diferentes e em Piracicaba – SP.

Cardoso e Soccol (2008) realizando simulações com milho para as condições de Lajes-SC, observaram que a probabilidade da ocorrência de produtividades altas diminuiu com o atraso da semeadura. Em que, semeaduras realizadas após o sétimo decêndio podem ter suas

produtividades classificadas como nulas. O mesmo pode ser observado neste estudo, em que as semeaduras realizadas no 7º, 8º e 9º decêndio apresentam 75% de probabilidade de produzirem menos de 2000 Kg ha⁻¹.

Cardoso, Faria e Folegatti (2004) em simulações realizadas para a Região de Londrina-PR, observaram também que os riscos de frustrações de safras (rendimentos inferiores a 2.000 kg ha⁻¹) ocorreram apenas nas semeaduras a partir do primeiro decêndio de março e com probabilidades inferiores a 15%.

4. CONCLUSÕES

O modelo CERES-Maize foi eficiente ao simular a produtividade da cultura do milho pipoca sob diferentes condições de disponibilidade hídrica durante a calibração, em que foi simulado para diferentes lâminas de água aplicadas via irrigação, sendo capaz de simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade do milho pipoca para as condições do município de Tangará da Serra – MT.

Para simulações de semeadura no período dia 01 a 10 e de 11 a 20 de fevereiro a produtividade média foi de 4928, 4116 Kg ha⁻¹ respectivamente, produtividade superior à média estadual.

Os riscos no cultivo de milho pipoca em segunda safra aumentam com o atraso da semeadura, até o dia 20 de fevereiro a probabilidade de produzir mais que 3500 Kg ha⁻¹ é superior a 65%.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. de L.T. de; AMARAL, T.A.; BORGES JÚNIOR, J.C.F.; HEINEMANN, A.B.; GARCIA, A.G.; SOLER, C.M.T.; SILVA, D. de F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C.B. de; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. de. Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho. Embrapa Milho e Sorgo, **Documentos 91**, Sete Lagoas, 65 p., 2009.
- BOLSON, E.; SCAPIM, C. A.; CLOVIS, L. R.; AMARAL, A. T. DO; FREITAS, I. L. DE J. Capacidade combinatória de linhagens de milho avaliada por meio de testadores adaptados à safrinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 492–501, 2016.
- CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina - PR, utilizando o modelo CERES-Maize. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 291-300, Aug. 2004.
- CARDOSO, C. O.; SOCCOL, O. J. Corn performance with late sowing in Planalto Catarinense, Brazil, simulated with CERES-maize model. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 655–664, 2008.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento – Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. v. 7 - Safra 2015/16- N. 7 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-158, abril 2016.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L. De; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 193–200, 2011.
- DOKOOHAKI, H.; GHEYSAARI, M.; MOUSAVI, S. F.; ZAND-PARSA, S.; MIGUEZ, F. E.; ARCHONTOULIS, S. V.; HOOGENBOOM, G. Coupling and testing a new soil water module in DSSAT CERES-Maize model for maize production under semi-arid condition. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 90–99, 2016
- 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., WHITE, J.W., JONES, J.W., BOOTE, K.J. BEANGRO: A process-oriented dry bean model with a versatile user interface. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 1, p. 182-190, 1994.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.L.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; ROYCE, F.S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A.J.; TSUJI, G.Y.; KOO, J. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer** (DSSAT). Honolulu: University of Hawaii, 2012. 1 CDROM.

HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. W.; MESSINA, C. D. From genome to crop: Integration through simulation modeling. **Field Crops Research**, v. 90, n. 1, p. 145–163, 2004.

JÉGO, G.; PATTEY, E.; LIU, J. Using Leaf Area Index, retrieved from optical imagery, in the STICS crop model for predicting yield and biomass of field crops. **Field Crops Research**, v. 131, p. 63-74, 2012.

PAGLIS, C. M.; VON PINHO, R. G. Simulação de florescimento e da produção de milho através do modelo CERES: maize. **Ciência agrotecnológica**. Lavras, v. 33, n. 2, p. 509-513, Apr. 2009.

PEREIRA, A. M. DE A. R.; VON PINHO, R. G.; PAGLIS, C. M.; PEREIRA, J. L. DE A. R.; ALTOÉ, T. F. 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.

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.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, n. 89, p. 225 – 247, 2006.

THORNTON, P.K.; BOWEN, W. T.; RAVELO, A. C.; WILKENS, P. W.; FARMER, G.; BROCK, J.; BRINK, J. E. Estimating millet production for famine early warning: an application of crop simulation modeling using satellite and groundbased data in B