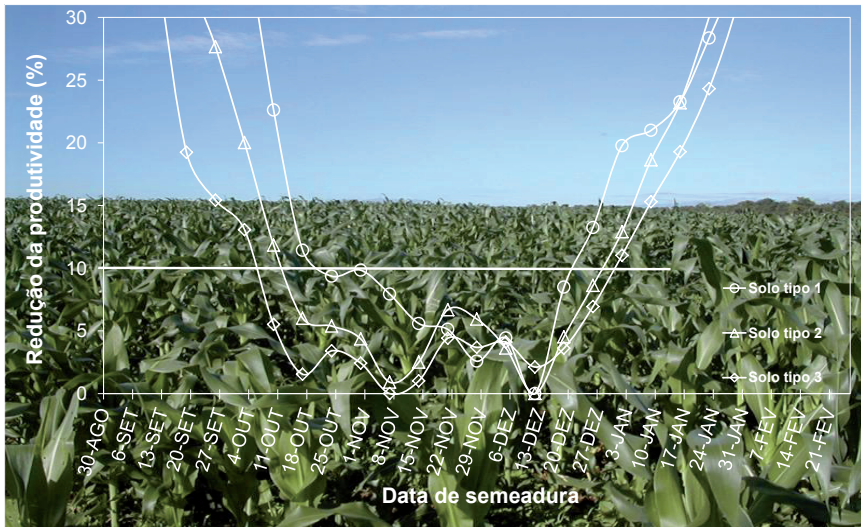


## Uma Metodologia Alternativa para o Zoneamento de Risco Climático da Cultura do Milho



ISSN 1679-0154  
Novembro, 2013

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 87**

## **Uma Metodologia Alternativa para o Zoneamento de Risco Climático da Cultura do Milho**

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade  
Jéssica de Sousa Paixão  
Antônio José Steidle Neto  
Tales Antônio Amaral  
Fernando Martins Pimenta  
Axel Garcia y Garcia  
Fabio Ricardo Marin  
Denise Freitas Silva

Embrapa Milho e Sorgo  
Sete Lagoas, MG  
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45  
Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
Fone: (31) 3027-1100  
Fax: (31) 3027-1188  
Home page: [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)  
E-mail: [cnpms.sac@embrapa.br](mailto:cnpms.sac@embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Sidney Netto Parentoni  
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau  
Membros: Dagma Dionísia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro,  
Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda  
de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros.

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros  
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro  
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa  
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa  
Foto(s) da capa: Denise Freitas Silva

**1ª edição**

1ª impressão (2013): on line

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Milho e Sorgo**

---

Uma metodologia alternativa para o zoneamento de risco climático  
da cultura do milho / Camilo de Lelis Teixeira de Andrade ... [et  
al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2013.  
42 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa  
Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 87).

1. Modelo de simulação. 2. Semeadura. 3. *Zea mays*. I.  
Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de. II. Série.

CDD 511.8 (21. ed.)

---

© Embrapa 2013

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	8
<b>Material e Métodos</b> .....	11
<b>Resultados e Discussão</b> .....	21
<b>Conclusões</b> .....	36
<b>Agradecimentos</b> .....	36
<b>Referências</b> .....	37

# Uma Metodologia Alternativa para o Zoneamento de Risco Climático da Cultura do Milho

---

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*<sup>1</sup>

*Jéssica de Sousa Paixão*<sup>2</sup>

*Antônio José Steidle Neto*<sup>3</sup>

*Tales Antônio Amara*<sup>4</sup>

*Fernando Martins Pimenta*<sup>5</sup>

*Axel Garcia y Garcia*<sup>6</sup>

*Fabio Ricardo Marin*<sup>7</sup>

*Denise Freitas Silva*<sup>8</sup>

## Resumo

Produzir milho sob condições de sequeiro é uma prática comum no Brasil. Neste sistema, de produção as culturas são fortemente afetadas pela inerente variabilidade climática anual e interanual, especialmente pelos veranicos, que afetam a produtividade. Uma das estratégias mais simples, com praticamente nenhum custo, para mitigar este problema é a determinação de uma janela de semeadura, que minimize os efeitos negativos da variabilidade climática na agricultura de sequeiro. Os objetivos deste estudo foram: a) usar os resultados de produtividade de milho simulada com um modelo baseado em processos, para estabelecer janelas

---

<sup>1</sup>Pesquisador, PhD Eng. de Irrigação/Modelagem, Embrapa Milho e Sorgo, camilo.andrade@embrapa.br

<sup>2</sup>Graduanda Eng. Biossistemas, UFSJ, Bolsista de Iniciação Científica Embrapa, jessicaufsj@hotmail.com

<sup>3</sup>Professor Doutor, Agrometeorologia, UFSJ, antonio@ufsj.edu.br

<sup>4</sup>Doutorando, UFPEL, tales\_aamaral@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Graduando Eng. de Agrimensura e Cartográfica UFV, fernandomartinspimenta@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Professor Assistente, Universidade de Wyoming, axel.garcia@uwyo.edu

<sup>7</sup> Professor Doutor, USP/ESALQ, Dep.Eng.de Biossistemas, fabio.r.marin@gmail.com

<sup>8</sup> Professor Assistente, Eng. Agrícola, DSc Recursos Hídricos e Ambientais, UNIFEMM, denise.silva@unifemm.edu.br

de semeadura e b) comparar os resultados obtidos com a atual metodologia empregada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Utilizou-se o modelo CSM-CERES-Maize, do Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT), para simular cenários de épocas de semeadura semanais, sob condições de sequeiro, para municípios do Estado de Minas Gerais. Para cada época de semeadura, determinou-se a quebra de rendimento, comparando o rendimento médio da época de semeadura atual com o maior rendimento médio obtido a partir de todas as datas de semeadura. Assim, cada data de semeadura foi associada a um risco de perda de rendimento. As janelas de semeadura obtidas a partir das simulações foram ligeiramente diferentes daquelas propostas pelo Mapa. O uso de modelos baseados em processos para simular o rendimento das culturas permite a integração de muitos fatores não considerados na atual metodologia de zoneamento agrícola utilizada pelo Mapa. A abordagem proposta tem vantagens sobre a metodologia do Ministério da Agricultura, entre as quais a possibilidade de determinar o rendimento médio esperado e a sua amplitude.

**Palavras-chave:** risco climático, janela de semeadura, modelagem, DSSAT, *Zea mays* L.

# **An Alternative Approach to the Actual Brazilian Maize Crop Zoning**

---

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade<sup>1</sup>*

*Jéssica de Sousa Paixão<sup>2</sup>*

*Antônio José Steidle Neto<sup>3</sup>*

*Tales Antônio Amara<sup>4</sup>*

*Fernando Martins Pimenta<sup>5</sup>*

*Axel Garcia y Garcia<sup>6</sup>*

*Fabio Ricardo Marin<sup>7</sup>*

*Denise Freitas Silva<sup>8</sup>*

## **Abstract**

Maize produced under rainfed conditions is a common practice in Brazil. Crops under this production system are highly affected by the inherent annual and intra-seasonal weather variability, especially dry spells, that affect productivity. One of the simplest strategies with virtually no cost to mitigate this problem is the determination of a sowing window that minimizes the negative effects of weather variability on rainfed agriculture. The objectives of this study were to: a) use the results of maize yield simulated with a process-based model to establish sowing windows and, b) compare the results obtained with the current methodology employed by the Brazilian Ministry of Agriculture (Mapa). The CSM-CERES-Maize model of the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) was used to simulate scenarios of weekly sowing dates, under rainfed conditions, for selected counties of Minas Gerais State, Brazil. For each sowing date it was determined the yield break by comparing the average yield of the current sowing date with the highest average yield obtained from all sowing dates.

Thus, each sowing date was associated with a risk of yield loss. The use of simulated yield break data to establish sowing windows produced consistent results. The sowing windows obtained from the simulations were slightly different from those proposed by Mapa. The use of process-based models to simulate crop yield allows for the integration of many factors not considered in the current crop zoning approach used by Mapa. The proposed approach has advantages over the Mapa methodology in that it includes the possibility of determining the expected average yield and its amplitude.

**Key-words.** *climate risk, sowing window, modeling, DSSAT, Zea mays L.*

## Introdução

Produzido em quase todos os continentes, o milho tem sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas da sua utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho e o Estado de Minas Gerais, ocupa o terceiro lugar em produção no país (AGRIANUAL, 2013). Entretanto, o rendimento médio de grãos de milho no Brasil é baixo e apresenta grande variação entre as regiões. Nota-se, também, uma grande disparidade na produtividade desta cultura entre as diversas regiões de Minas Gerais, variando de 6.299 kg ha<sup>-1</sup> no Triângulo Mineiro a apenas 1.898 kg ha<sup>-1</sup> no Norte de Minas (IBGE, 2010). Possíveis causas desta baixa produtividade estão relacionadas com o baixo nível da tecnologia empregada pelos agricultores, a implantação da cultura fora da época adequada, o estresse hídrico no período recomendado de cultivo e o uso de cultivares com baixa adaptação às regiões (CRUZ et al., 2009; FORSTHOFER, 2004). A atividade



agrícola do Estado de Minas Gerais baseia-se principalmente no plantio de sequeiro. A precipitação pluviométrica do estado está relacionada ao relevo e à posição geográfica, variando entre 650 mm na região Norte, a 2.100 mm, na região Sul/Sudoeste. É de se esperar, portanto, que o principal fator afetando as produtividades de milho no estado seja o regime de chuvas. A manifestação do potencial de produção de grãos das culturas depende de fatores genéticos e de condições ambientais, como clima, solo e manejo (BUGBEE; SALISBURY, 1988; EVANS; FISCHER, 1999). Entre todos os fatores climáticos, precipitação, temperatura e radiação solar são os mais importantes, pois afetam diretamente a produção de matéria seca e de grãos (SANS; GUIMARÃES, 2006; BRACHTVOGEL et al., 2009). Nas diferentes regiões, a disponibilidade hídrica é um dos principais fatores considerados na definição dos períodos preferenciais de cultivo para obtenção das melhores produtividades (WAGNER et al., 2013).

Uma estratégia para minimizar o risco de perdas na produtividade, devido às condições climáticas, é a semeadura na época adequada. O sucesso de tal abordagem está fortemente relacionado com a capacidade de planejamento do agricultor, que depende de vários elementos, dentre eles os riscos climáticos a que está sujeito (SANS; GUIMARÃES, 2006). Com o intuito de abordar estas questões, foi estabelecido o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, ZRC, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Trata-se de um instrumento de política agrícola e de gestão de riscos na agricultura, elaborado anualmente com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos e permitir que cada município identifique a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares (BRASIL, 2013). Entretanto, o ZRC do Mapa é elaborado com base no balanço de água no solo, não levando

em consideração a dinâmica de crescimento das culturas e suas interações com o solo e com o clima. Modelos de simulação, que se baseiam em princípios agrometeorológicos, que simulam as fases de desenvolvimento, maturação, a disponibilidade de umidade no solo e os efeitos do estresse hídrico no rendimento, constituem-se em ferramentas interessantes para auxiliar no estabelecimento de períodos de semeadura das culturas. São dinâmicos e descrevem mudanças diárias nas variáveis da cultura, considerando os principais processos morfofisiológicos que nela ocorrem (DALLACORT et al., 2006). Estas ferramentas são extremamente úteis e necessárias, quando os efeitos nas culturas dependem de interações complexas com o solo, com o clima e com outras decisões relacionadas ao próprio manejo do agroecossistema (JONES et al., 2006). O Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) (HOOGENBOOM et al., 2013) é um sistema integrado de apoio à decisão que permite avaliar diversas opções de manejo cultural (TSUJI et al., 1994). O modelo de simulação de sistemas (CSM), incluído no DSSAT v4.5 (JONES et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2013), é dinâmico, orientado a processo e simula o crescimento, desenvolvimento e rendimento para 27 culturas diferentes. O CSM-CERES-Maize é um modelo do sistema DSSAT que simula o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho, desde a semeadura até a maturidade, em um intervalo de tempo diário. As simulações são baseadas em processos fisiológicos que descrevem a resposta da cultura ao solo e às condições atmosféricas. O DSSAT permite a análise da dinâmica de água e de nutrientes no solo e a avaliação do efeito das práticas de manejo sobre a rentabilidade das explorações. Vários estudos têm demonstrado a aplicabilidade do DSSAT como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões de manejo da cultura. Em um estudo realizado por Singh e Srinivas (2007), na Índia, objetivou-se a determinação das melhores datas

de plantio do milho irrigado e de sequeiro em um sistema de sucessão com grão de bico. Soler et al. (2007) avaliaram o efeito de diferentes épocas de semeadura para cultivares de milho, de diferentes ciclos de crescimento, sob condições de sequeiro e irrigadas para os municípios de Manduri e Piracicaba, SP.

O objetivo deste estudo foi utilizar resultados de simulações para determinar as melhores janelas de semeadura para a produção de milho e comparar esses resultados com a atual metodologia empregada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

## **Material e Métodos**

O modelo CSM-CERES-Maize do pacote DSSAT, versão 4.5.1.013 (HOOGENBOOM et al., 2013) foi usado para simular a produtividade do milho em condições de sequeiro. As simulações foram realizadas, semanalmente, de 1 de agosto a 24 de julho, em 49 dos 853 municípios do Estado de Minas Gerais (Tabela 1). Os municípios foram selecionados com base na disponibilidade de dados meteorológicos históricos. Dados diários foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1961 a 2010, totalizando 49 anos. A ferramenta *Weatherman* do sistema DSSAT foi utilizada para analisar a consistência dos dados, para preencher falhas na temperatura do ar e na precipitação em períodos curtos (<7 dias) e para estimar a radiação solar a partir de dados de insolação. Os coeficientes genéticos do híbrido simples BRS 1030 (Tabela 2) foram previamente ajustados utilizando-se dados observados obtidos em ensaios de campo, conduzidos em condições sem estresses bióticos ou abióticos (SANTANA et al., 2010).

**Tabela 1.** Municípios do Estado de Minas Gerais incluídos nas simulações e suas respectivas coordenadas geográficas.

Regiões	Cidade	Coordenadas Geográficas		
		Latitude	Longitude	Altitude (m)
Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	Capinópolis	18,71 S	49,55 W	621
	Frutal	20,03 S	48,93 W	544
	Uberaba	19,73 S	47,95 W	737
	Ituiutaba	18,96 S	49,51 W	560
	Araxá	19,60 S	46,93 W	1024
	Patos de Minas	18,51 S	46,43 W	940
Norte	Monte Azul	15,08 S	42,75 W	604
	Juramento	16,78 S	43,71 W	650
	Espinosa	14,91 S	42,85 W	570
	Janaúba	15,78 S	43,30 W	516
	Januária	15,45 S	44,36 W	474
	Montes Claros	16,68 S	43,83 W	646
	Pirapora	17,35 S	44,91 W	505
	Salinas	16,16 S	42,30 W	471
Noroeste	João Pinheiro	17,70 S	46,16 W	760
	Formoso	14,93 S	46,25 W	840
	Arinos	15,90 S	46,05 W	519
	Paracatu	17,23 S	46,88 W	712
	Unai	16,36 S	46,55 W	460
Jequitinhonha	Carbonita	17,53 S	43,00 W	736
	Pedra Azul	16,00 S	41,28 W	649
	Araçuaí	16,83 S	42,05 W	289
	Diamantina	18,23 S	43,64 W	1296
	Itamarandiba	17,85 S	42,85 W	1097
Vale do Rio Doce	Caratinga	19,73 S	42,13 W	610
	Aimorés	19,49 S	41,07 W	83

**Cont. Tabela 1.**

Regiões	Cidade	Coordenadas Geográficas		
		Latitude	Longitude	Altitude (m)
Oeste	BambuÍ	20,03 S	46,00 W	661
	Oliveira	20,68 S	44,81 W	967
	Divinópolis	20,16 S	44,86 W	788
Sul/Sudoeste	Passa Quatro	22,38 S	44,96 W	920
	Maria da Fé	22,30 S	45,38 W	1276
	Machado	21,66 S	45,91 W	873
	Lambari	21,95 S	45,31 W	878
	Caldas	21,91 S	46,38 W	1150
	Lavras	21,75 S	45,00 W	919
	São Lourenço	22,10 S	45,01 W	953
Zona da Mata	Caparaó	20,51 S	41,90 W	843
	Juiz de Fora	21,76 S	43,35 W	940
	Viçosa	20,75 S	42,85 W	690
Central	Bom Despacho	19,71 S	45,36 W	695
	Pompéu	19,21 S	45,00 W	691
	Curvelo	18,75 S	44,45 W	672
Metropolitana de Belo Horizonte	Florestal	19,86 S	44,41 W	749
	Belo Horizonte	19,93 S	43,93 W	915
	Conceição do Mato Dentro	19,01 S	43,43 W	652
	Sete Lagoas	19,46 S	44,25 W	732
	Ibirité	20,01 S	44,05 W	815
	João Monlevade	19,83 S	43,11 W	860
Campos das Vertentes	Barbacena	21,25 S	43,76 W	1126

**Tabela 2.** Coeficientes genéticos para o híbrido simples BRS 1030.

P1 <sup>[a]</sup>	P2 <sup>[b]</sup>	P5 <sup>[c]</sup>	G2 <sup>[d]</sup>	G3 <sup>[e]</sup>	PHINT <sup>[f]</sup>
263,8	0,5	1034	648	5,14	44,22

<sup>[a]</sup> P1 = O tempo térmico da emergência das plântulas até o fim da fase juvenil (expresso em graus-dia acima da temperatura base de 8 °C), durante o qual a planta não é sensível a alterações no fotoperíodo.

<sup>[b]</sup> P2 = Extensão de tempo no qual o desenvolvimento (expresso em dia) é adiado para cada incremento de uma hora no fotoperíodo acima do maior fotoperíodo no qual o desenvolvimento ocorre a uma taxa máxima (que é considerado como sendo 12,5 horas).

<sup>[c]</sup> P5 = O tempo térmico do embonecamento até a maturidade fisiológica (expresso em graus-dia acima da temperatura base de 8 °C).

<sup>[d]</sup> G2 = O número máximo possível de grãos por planta.

<sup>[e]</sup> G3 = Taxa de enchimento de grãos durante a fase linear de enchimento de grão e sob condições ótimas (mg dia<sup>-1</sup>).

<sup>[f]</sup> PHINT = Intervalo de filocrono; intervalo de tempo térmico (graus-dia) entre sucessivas aparições da ponta da folha.

Devido à falta de informações específicas do solo dos municípios selecionados, utilizou-se a mesma metodologia empregada pelo Mapa (SANS et al., 2001). Pelo critério utilizado no ZRC do Mapa considera-se a cultura do milho com um sistema radicular com 0,50 m de profundidade e três tipos de solo fictícios, com características de baixa (20 mm), média (40 mm) e alta retenção de água (60 mm). Dados de perfis de solo existentes foram ajustados para se tornarem similares, em termos de retenção de água, aos três tipos de solo fictícios utilizados no ZRC do Mapa (Tabela 3).

As condições de manejo para o milho, adotadas nas simulações, foram obtidas do sistema de produção de milho disponível online (CRUZ, 2009). Considerou-se um

espaçamento de 0,9 metros entre fileiras, com população final de 68 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A adubação consistiu de 500 kg  $\text{ha}^{-1}$  da fórmula 8-28-16 + Zn, aplicados na sementeira, e 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  de nitrogênio, na forma de ureia mais 70 kg  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de cloreto de potássio, aplicados em cobertura aos 40 dias após sementeiras (DAS).

Empregou-se a ferramenta de análise sazonal do modelo, juntamente com os dados históricos diários de clima, para avaliar a produtividade de grãos de milho em um sistema de produção de sequeiro, no qual a cultura estava sujeita às eventuais instabilidades climáticas, como estresse hídrico, devido a veranico e às altas temperaturas. Adicionalmente, a rotina de balanço de água e de nutrientes do modelo foi desligada para permitir a simulação da produtividade potencial de milho em que a cultura é conduzida em condições totalmente sem estresse biótico e abiótico.

O modelo foi programado para realizar sementeiras semanais, iniciando em 1 de agosto e estendendo-se por 52 semanas até 24 de julho (Tabela 4). Desta forma, foram gerados, para cada município, tipo de solo e data de sementeira, 49 valores simulados de produtividade de grãos.

**Tabela 3.** Atributos dos três perfis de solo genéricos.

Solo tipo 1										
Profundidade	Ponto de murcha	Capacidade de campo	Saturação	Fator de crescimento de raiz	Condutividade hidráulica saturada	Densidade	Carbono orgânico	Argila	Areia	pH em água
(m)	( $m^3 m^{-3}$ )	( $m^3 m^{-3}$ )			( $m h^{-1}$ )	( $kg m^{-3}$ )	(%)	(%)		
0,05	0,050	0,075	0,438	1,0	0,682	1460	0,35	10	1	5,5
0,10	0,050	0,075	0,438	1,0	0,682	1460	0,35	10	1	5,5
0,20	0,060	0,085	0,416	1,0	0,601	1540	0,21	9	1	5,5
0,40	0,067	0,095	0,429	0,8	0,625	1480	0,15	11	1	5,5
0,60	0,067	0,110	0,439	0,5	0,327	1470	0,13	13	3	5,5
0,80	0,067	0,114	0,450	0,2	0,451	1430	0,16	15	1	5,5
1,00	0,067	0,125	0,441	0,0	0,436	1460	0,12	16	0	5,5
1,20	0,067	0,125	0,441	0,0	0,436	1460	0,12	16	0	5,5
1,50	0,067	0,125	0,441	0,0	0,436	1460	0,12	16	0	5,5
Solo tipo 2										
Profundidade	Ponto de murcha	Capacidade de campo	Saturação	Fator de crescimento de raiz	Condutividade hidráulica saturada	Densidade	Carbono orgânico	Argila	Areia	pH em água
0,05	0,290	0,340	0,568	1,0	0,0523	1050	2,18	63	19	5,7
0,10	0,280	0,340	0,577	1,0	0,0977	1020	2,10	63	22	5,8
0,20	0,280	0,350	0,569	1,0	0,0881	1040	2,00	66	21	5,8
0,40	0,280	0,340	0,580	0,8	0,0715	1010	1,79	70	17	5,5
0,60	0,270	0,335	0,605	0,5	0,1474	904	1,65	72	13	5,1
0,80	0,258	0,340	0,619	0,2	0,3011	910	1,53	72	14	5,0
1,00	0,252	0,335	0,629	0,0	0,3725	880	1,43	72	14	5,0
1,20	0,252	0,335	0,629	0,0	0,3725	880	1,43	72	14	5,0
1,50	0,252	0,335	0,629	0,0	0,3725	880	1,43	72	14	5,0



Cont. Tabela 3.

Solo tipo 3										
Profundidade	Ponto de murcha	Capacidade de campo	Saturação	Fator de crescimento de raiz	Condutividade hidráulica saturada	Densidade	Carbono orgânico	Argila	Areia	pH em água
0,05	0,265	0,370	0,465	1,0	0,790	1310	2,03	26	36	6,4
0,10	0,275	0,380	0,452	1,0	0,790	1350	2,03	26	36	6,4
0,20	0,285	0,385	0,445	1,0	0,790	1370	2,03	27	37	6,4
0,40	0,280	0,370	0,455	0,8	0,790	1340	2,03	27	37	6,4
0,60	0,275	0,360	0,451	0,5	0,790	1350	0,44	27	37	6,7
0,80	0,260	0,360	0,458	0,2	0,790	1330	0,44	29	36	6,7
1,00	0,260	0,360	0,446	0,0	0,790	1360	0,29	25	32	7,3
1,20	0,260	0,350	0,410	0,0	0,790	1470	0,15	20	28	7,9
1,50	0,260	0,350	0,403	0,0	0,790	1490	0,15	18	31	7,9

**Tabela 4.** Tratamentos simulados com as respectivas datas de semeadura.

Trat.	Data	Trat.	Data	Trat.	Data	Trat.	Data
1	01-Ago	14	31-Out	27	30-Jan	40	01-Mai
2	08-Ago	15	07-Nov	28	06-Fev	41	08-Mai
3	15-Ago	16	14-Nov	29	13-Fev	42	15-Mai
4	22-Ago	17	21-Nov	30	20-Fev	43	22-Mai
5	29-Ago	18	28-Nov	31	27-Fev	44	29-Mai
6	05-Set	19	05-Dez	32	06-Mar	45	05-Jun
7	12-Set	20	12-Dez	33	13-Mar	46	12-Jun
8	19-Set	21	19-Dez	34	20-Mar	47	19-Jun
9	26-Set	22	26-Dez	35	27-Mar	48	26-Jun
10	03-Out	23	02-Jan	36	03-Abr	49	03-Jul
11	10-Out	24	09-Jan	37	10-Abr	50	10-Jul
12	17-Out	25	16-Jan	38	17-Abr	51	17-Jul
13	24-Out	26	23-Jan	39	24-Abr	52	24-Jul

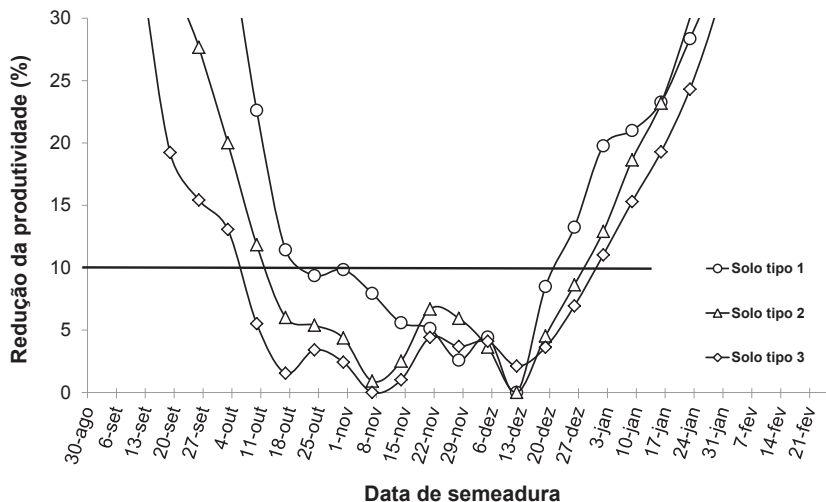
O maior valor médio de produtividade simulada foi identificado e quebras de produtividade foram estabelecidas de acordo com a equação (AMARAL et al., 2009):

$$Y_q = \left( 1 - \frac{Y_s}{Y_{\max}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $Y_q$  é a quebra da produtividade em porcentagem;  $Y_s$  é produtividade média da semana "S" em  $\text{kg ha}^{-1}$  e  $Y_{\max}$  é produtividade média máxima entre todas as semanas em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A análise da curva de quebra de produtividade permitiu que janelas de semeadura fossem estabelecidas para diferentes níveis de risco que o tomador de decisão estaria disposto a correr. No estudo em questão assumiu-se um nível de risco

de 10%, ou seja, o tomador de decisão toleraria quebras de no máximo 10% na sua produtividade (Figura 1).



**Figura 1.** Redução da produtividade de grãos de milho em relação ao valor médio máximo histórico, para diferentes datas de semeadura em regime de sequeiro, no município de Uberaba, Minas Gerais.

Neste exemplo, as janelas de semeadura seriam de 24 de outubro a 19 de dezembro, de 17 de outubro a 26 de dezembro e de 10 de outubro a 26 de dezembro, para os solos tipo 1, tipo 2 e tipo 3, respectivamente.

O critério utilizado para definir se um município é apto ou inapto para a produção de milho foi estabelecido com base na relação:

$$Y_g = \left(1 - \frac{Y_s}{Y_{pot}}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

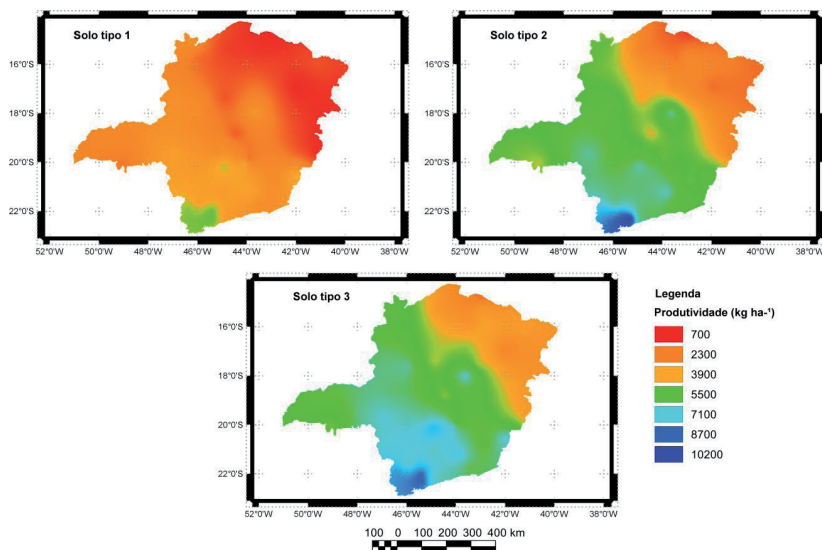
onde  $Y_g$  é a quebra da produtividade em relação a potencial;  $Y_s$  é a produtividade média de sequeiro, no período de semeadura, em  $\text{kg ha}^{-1}$  e  $Y_{pot}$  é a produtividade média potencial, no mesmo período, em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Assumiu-se como apto o município que apresentou uma quebra na produtividade média,  $Y_g$ , de no máximo 60%. Este procedimento foi realizado para os três tipos de solo, em todos os municípios estudados.

Os rendimentos simulados para os 49 municípios e para os três tipos de solo foram interpolados usando um procedimento de krigagem. Os softwares gvSIG 1.11 (ACEVEDO, 2013) e Quantum GIS 1.9 (QUANTUM GIS, 2013) foram usados para criar os mapas de produtividade.

A análise da curva de redução da produtividade permitiu determinar a aptidão para a produção de milho e a criação de uma janela de semeadura para cada município selecionado, como demonstrado para Uberaba, MG (Figura 1). Os resultados foram comparados com as janelas de semeadura estabelecidas pelo ZRC do Mapa. Além disso, o rendimento médio do milho esperado foi determinado para cada tipo de solo. Resultados de produtividade para o solo tipo 2, o mais comum no Brasil, foram comparados com o rendimento estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para o período de 2003 a 2011.

## Resultados e Discussão

Os resultados mostraram uma grande variação de rendimento do milho em decorrência da diversidade climática existente no Estado de Minas Gerais, que apresenta desde regiões com clima úmido no Sul até regiões com clima semiárido no Norte e Nordeste (Figura 2).



**Figura 2.** Distribuição do rendimento médio de milho simulado para o Estado de Minas Gerais, considerando solos com diferentes capacidades de retenção de água.

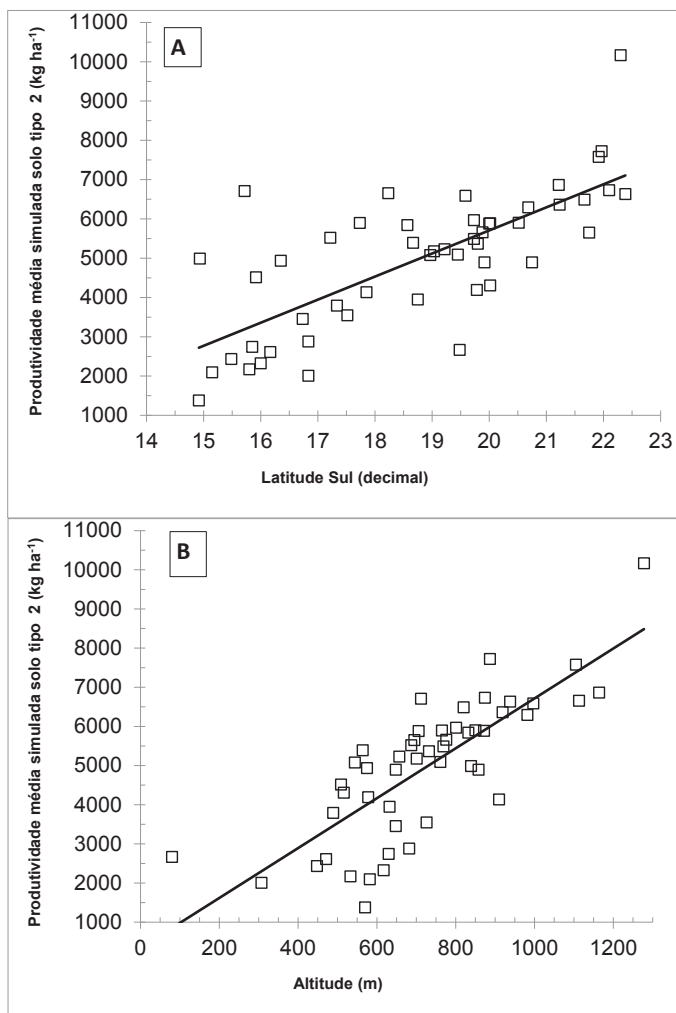
O rendimento médio do milho, para a janela de semeadura, variou de 750 kg ha<sup>-1</sup>, em Espinosa, a 10.523 kg ha<sup>-1</sup>, em Maria da Fé. Independentemente da capacidade de retenção de água do solo, as mesorregiões Norte, Jequitinhonha e Vale do Rio Doce, que são mais secas e com maiores temperaturas do ar, apresentaram as menores produtividades, enquanto a região

Sul, que é mais úmida e tem temperaturas mais amenas, apresentou as maiores. A área do estado com produtividades abaixo de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> torna-se consideravelmente maior nas mesorregiões Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce, especialmente quando o solo apresenta baixa capacidade de retenção de água (solo tipo 1). De outro lado, as maiores produtividades médias estão também associadas a solos com maior capacidade de retenção de água. Para solos com retenção de água média ou alta (solos tipo 2 e tipo 3), a amplitude na produtividade simulada foi maior em decorrência da melhor resposta da cultura à fertilização nitrogenada em anos com condições climáticas mais favoráveis (Figura 2). Esta variabilidade observada no cultivo de milho de sequeiro em Minas Gerais pode ser entendida como decorrente da interação entre a cultura, o solo e as condições climáticas. Segundo Beutler et al. (2001), a produtividade das culturas é resultante da interação de vários fatores, destacando-se os atributos do solo. Entretanto, Bergamaschi et al. (2004) indicam que a água é o principal fator condicionante das safras de milho nas regiões produtoras ao redor do mundo.

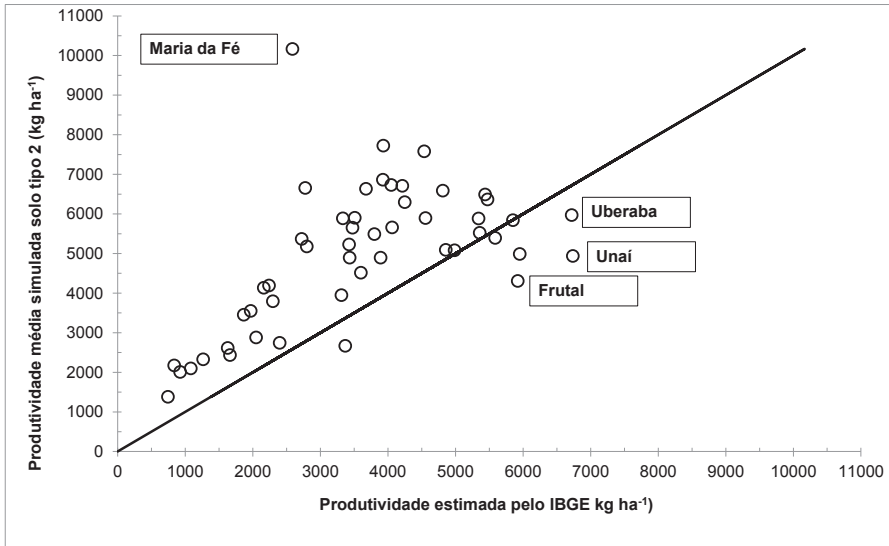
Observa-se uma estreita relação entre o rendimento médio simulado de milho e a altitude e latitude do município (Figura 3). Quanto maior a latitude sul e a altitude, maiores são as produtividades de milho de sequeiro simuladas, uma vez que, em Minas Gerais, a chuva e a temperatura estão relacionadas com estas condições geográficas (GUIMARÃES et al., 2010; SANTANA, 2004).

Quando se compara a produtividade média simulada do período de semeadura para o solo tipo 2 com a produtividade média estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística no período de 2003 a 2011, para os mesmos municípios, nota-se que existe uma diferença considerável nos valores (Figura 4).



**Figura 3.** Produtividade de milho em função da latitude sul (A) e da altitude (B), para o solo tipo 2.



**Figura 4.** Rendimento médio simulado para o solo tipo 2, em relação à produtividade média estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, para o período de 2003-2011.

Esta diferença é chamada de “yield gap” e indica que a produtividade média está consideravelmente menor que o potencial de produção de milho de vários municípios. As maiores diferenças, ou “yield gaps”, são em municípios do sul do estado, como Maria da Fé, que apresentam condições climáticas favoráveis para a obtenção de altas produtividades de milho, mas por estarem em uma região montanhosa, dispõem de topografia inadequada para a expansão da produção do milho. Por outro lado, em alguns municípios, como Uberaba, Unai e Frutal, as produtividades médias simuladas estão abaixo dos valores médios estimados pelo IBGE, indicando que nestas regiões os produtores estão empregando mais tecnologia na produção de milho, entre as quais, o uso de cultivares com maior potencial genético que



o BRS 1030 e, possivelmente, a utilização de irrigação. Unaí é um caso atípico, pois os dados do IBGE para este município certamente refletem as produtividades das fazendas produtoras de milho situadas na chapada, cuja altitude média é de 300 metros acima de onde está instalada a estação climatológica. Esta diferença de altitude, e também no regime de chuvas em Unaí, tem um efeito considerável na distribuição e na produtividade de milho deste município. Segundo Landau et al. (2011), os municípios em que se observaram os maiores aumentos da produção e do rendimento médio de milho na primeira safra de 2010 concentram-se principalmente nas mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas, Oeste de Minas, Campo das Vertentes, leste da mesorregião do Triângulo Mineiro e Oeste da mesorregião Noroeste de Minas, o que de certa forma está alinhado com os resultados obtidos no presente estudo que apontam que estas regiões apresentam maior potencial para a produção de milho (Figura 2).

Observa-se uma grande variação no início e no comprimento do período de semeadura (Tabela 5), como consequência das interações da cultura com as condições edafoclimáticas dos municípios, capturadas pelo modelo de simulação. Os menores períodos de semeadura, de oito dias, foram simulados para municípios da região Norte e Jequitinhonha, que são regiões mais secas e com temperaturas mais altas. As maiores janelas de semeadura foram simuladas para as mesorregiões Sul, Sudoeste e Zona da Mata (Tabela 5). A capacidade de retenção de água do solo teve um papel importante na definição do início e comprimento do período de semeadura, especialmente em municípios com menor precipitação. Janelas de semeadura mais estreitas estão também associadas a menores produtividades (Figura 2 e Tabela 5). É possível que a época

de semeadura empregada pelos agricultores não seja a mais apropriada para cada local, contribuindo para produtividades inferiores ao esperado conforme estimativas realizadas pelo IBGE (Figura 4). A semeadura no período inadequado é uma das principais causas das baixas produtividades de milho no Brasil (FORSTHOFER, 2004).

A metodologia utilizada para definir a aptidão de certo município para a produção de milho de sequeiro se mostrou consistente (Tabela 5). A maior parte dos municípios inaptos está na região Norte e Jequitinhonha, que são regiões que apresentam menores volumes de precipitação e, em alguns casos, associados com altas temperaturas. Obviamente, quanto menor a capacidade de retenção de água do solo, maior o número de municípios inaptos para a produção de milho de sequeiro.

Quando se comparam a aptidão e o período de semeadura, determinados com a presente metodologia (Tabela 5), com o zoneamento de risco climático, ZRC, do Mapa (Tabela 6), observa-se que a atual metodologia proposta é mais rigorosa que o ZRC do Mapa. Pela metodologia proposta, três municípios (Espinosa, Janaúba e Pedra Azul) são inaptos para a produção de milho de sequeiro, independentemente do tipo de solo, diferindo do ZRC do Mapa. Se o solo apresentar baixa retenção de água (solo tipo 1), 34 dos 49 municípios são considerados inaptos para a produção de milho de sequeiro, contra nove municípios declarados inaptos pelo ZRC do Mapa. Quando se consideram solos com média capacidade de retenção de água (solo tipo 2), observa-se que nove municípios são considerados inaptos pela metodologia proposta, diferentemente do ZRC do Mapa, em que todos os municípios estudados são considerados aptos.

**Tabela 5.** Janela de semeadura e produtividade média de milho para municípios de Minas Gerais. Traço indica município inapto para a produção de milho.

Regiões	Municípios	Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3				
		Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )		
Triângulo	Capinópolis	-	-	2613	14-Nov	19-Dez	36	5391	17-Out	12-Dez	57	5859
	Frutal	-	-	2134	21-Nov	26-Dez	36	4307	7-Nov	26-Dez	50	4801
	Uberaba	24-Out	19-Dez	3083	17-Out	26-Dez	71	5968	10-Out	26-Dez	78	6363
Mineiro/Alto	Ituiutaba	-	-	2803	7-Nov	26-Dez	50	5080	24-Out	26-Dez	64	5836
	Paranaíba	10-Out	21-Nov	3648	17-Out	5-Dez	50	6588	10-Out	28-Nov	50	7006
Norte	Patos de Minas	-	-	2947	17-Out	19-Dez	64	5842	10-Out	19-Dez	71	6181
	Monte Azul	-	-	961	-	-	-	2096	24-Out	14-Nov	22	3266
	Juramento	-	-	2113	-	-	-	2881	17-Out	24-Out	8	4517
Norte	Espinosa	-	-	709	-	-	-	1379	-	-	-	2088
	Janaúba	-	-	1228	-	-	-	2171	-	-	-	3087
	Januária	-	-	1237	-	-	-	2435	24-Out	31-Out	8	3450
	Montes Claros	-	-	1867	-	-	-	3454	17-Out	31-Out	15	4174
	Pirapora	-	-	1619	24-Out	7-Nov	15	3793	17-Out	14-Nov	29	4304
	Salinas	-	-	1245	-	-	-	2613	17-Out	31-Out	15	3504

Cont. Tabela 5.

Regiões	Municípios	Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3							
		Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )					
Noroeste	João Pinheiro	-	-	2942	31-Out	21-Nov	22	24-Out	21-Nov	29	5896	24-Out	21-Nov	29	6522
	Formoso	-	-	3000	21-Nov	12-Dez	22	24-Out	19-Dez	57	4989	24-Out	19-Dez	57	5671
	Arinos	-	-	1992	24-Out	21-Nov	29	17-Out	14-Nov	29	4515	17-Out	14-Nov	29	5485
	Paracatu	-	-	2997	24-Out	28-Nov	36	17-Out	21-Nov	36	5521	17-Out	21-Nov	36	6221
	Unai	-	-	2501	17-Out	21-Nov	36	17-Out	14-Nov	29	4936	17-Out	14-Nov	29	5758
	Carbonita	-	-	2247	24-Out	31-Out	8	10-Out	31-Out	22	3548	10-Out	31-Out	22	4286
Jequitinhonha	Pedra Azul	-	-	1601	-	-	-	-	-	-	2326	-	-	-	3587
	Araçuaí	-	-	780	-	-	-	17-Out	7-Nov	22	2007	17-Out	7-Nov	22	2587
	Diamantina	-	-	3314	17-Out	14-Nov	29	10-Out	14-Nov	36	6655	10-Out	14-Nov	36	6966
Vale do Rio Doce	Itamarandiba	-	-	2163	10-Out	14-Nov	36	10-Out	14-Nov	36	4136	10-Out	14-Nov	36	4846
	Caratinga	-	-	2038	10-Out	21-Nov	43	10-Out	14-Nov	22	2668	17-Out	7-Nov	22	3564
Oeste	Aimorés	-	-	949	24-Out	14-Nov	22	10-Out	21-Nov	43	4191	3-Out	14-Nov	43	4858
	Bambuí	31-Out	5-Dez	3366	10-Out	28-Nov	50	24-Out	14-Nov	22	2668	17-Out	7-Nov	22	3564
	Oliveira	10-Out	31-Out	3733	10-Out	21-Nov	43	10-Out	28-Nov	50	5882	10-Out	28-Nov	50	6914
Divinópolis	Oliveira	17-Out	7-Nov	4283	10-Out	21-Nov	43	10-Out	21-Nov	43	6295	3-Out	21-Nov	50	6968
	Divinópolis	17-Out	7-Nov	4283	17-Out	21-Nov	36	17-Out	14-Nov	29	6709	17-Out	14-Nov	29	7702

**Cont. Tabela 5.**

Regiões	Municípios	Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3				
		Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Passa Quatro	19-Set	26-Dez	99	10-Out	5-Dez	57	6633	26-Set	12-Dez	78	7051
	Maria da Fé	-	-	-	19-Set	28-Nov	71	10166	26-Set	28-Nov	64	8646
	Machado	17-Out	19-Dez	64	17-Out	19-Dez	64	6490	17-Out	19-Dez	64	6913
Sul/Sudoeste	Lambari	10-Out	28-Nov	50	17-Out	5-Dez	50	7723	10-Out	5-Dez	57	8547
	Caldas	14-Nov	26-Dez	43	7-Nov	26-Dez	50	7579	17-Out	Jan-2	78	7941
	Lavras	17-Out	19-Dez	64	10-Out	12-Dez	64	6362	10-Out	5-Dez	57	6878
	São Lourenço	3-Out	19-Dez	78	10-Out	19-Dez	71	6731	10-Out	19-Dez	71	7190
	Caparaó	10-Out	5-Dez	57	3-Out	28-Nov	57	5903	3-Out	7-Nov	36	7137
Zona da Mata	Juiz de Fora	3-Out	12-Dez	71	3-Out	9-Jan	100	5651	3-Out	16-Jan	107	6013
	Viçosa	-	-	-	10-Out	28-Nov	50	4894	3-Out	28-Nov	57	5542
	Bom Despacho	-	-	-	24-Out	14-Nov	22	5491	10-Out	7-Nov	29	6573
Central	Pompéu	-	-	-	24-Out	14-Nov	22	5229	10-Out	14-Nov	36	1245
	Curvelo	-	-	-	17-Out	21-Nov	36	3948	17-Out	21-Nov	36	4540

Cont. Tabela 5.

Regiões	Municípios	Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3				
		Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )	Janela de Semeadura	Nº de Dias	Produt. (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Florestal	-	-	3082	17-Out	28-Nov	43	5659	31-Out	26-Dez	57	6866
	Belo Horizonte	-	-	2127	17-Out	5-Dez	50	4895	10-Out	5-Dez	57	5203
	Conceição do Mato Dentro	-	-	2460	10-Out	28-Nov	50	5177	10-Out	21-Nov	43	5623
	Sete Lagoas	-	-	2426	10-Out	21-Nov	43	5091	3-Out	21-Nov	50	5626
	Ibirité	17-Out	31-Out	3576	10-Out	28-Nov	50	5889	10-Out	7-Nov	29	6779
	João Monlevade	-	-	2644	24-Out	14-Nov	22	5367	10-Out	14-Nov	36	5954
Campos das Vertentes	Barbacena	26-Set	12-Dez	78	3-Out	5-Dez	64	6864	3-Out	5-Dez	64	7294

Para o ZRC do Mapa (Tabela 6), o início do período de semeadura, em todos os municípios e para os três tipos de solo é 01 de outubro, enquanto pela metodologia proposta (Tabela 5) o início da semeadura varia de 19 de setembro, em Passa Quatro e Maria da Fé, a 21 de novembro, em Formoso. Adicionalmente, pela metodologia proposta, o comprimento do período de semeadura variou de apenas oito dias em Juramento, Januária e Carbonita, a 107 dias em Juiz de Fora, enquanto pelo ZRC do Mapa a duração prevista do período de semeadura é de 31, 20, 20 e 92 dias, respectivamente para Juramento, Januária, Carbonita e Juiz de Fora, respectivamente. De uma forma geral, para as regiões mais secas a metodologia proposta é mais rigorosa, estabelecendo períodos de semeadura mais curtos que o ZRC do Mapa.

A discrepância observada nos resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta e com o ZRC do Mapa é decorrente da utilização de abordagens diferentes para se determinarem a aptidão e a duração do período de semeadura. Enquanto o ZRC do Mapa se baseia no índice de satisfação das necessidades hídricas da cultura (SANS et al., 2001), determinado através de um balanço simples de água no solo, a metodologia proposta utiliza como critério quebras de produtividade da cultura, obtidas com o emprego de um modelo de simulação baseado em processo, capaz de avaliar a resposta da cultura a outros fatores, como temperatura do ar e radiação solar, e não somente o estresse hídrico. No modelo de simulação CSM-CERES-Maize, utilizado no presente estudo, crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura são simulados de forma determinística, resultando em predições exatas das variáveis de interesse, isto é, sem qualquer distribuição de probabilidade ou elementos aleatórios associados, conforme descreve Jones (1986).

**Tabela 6.** Período de semeadura e comprimento do período de semeadura da cultura do milho, em diferentes municípios do estado de Minas Gerais, estimados pelo zoneamento de risco climático do Mapa.

Regiões	Municípios	Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3		
		Período	Nº de dias	Período	Nº de dias	Período	Nº de dias	Período	Nº de dias	
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	Capinópolis	1-out	30-nov	61	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Frutal	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Uberaba	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Ituiutaba	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Araxá	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Patos de Minas	1-out	10-nov	41	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Monte Azul	-	-	-	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31
	Juramento	-	-	-	1-out	31-out	31	1-out	10-nov	41
	Espinosa	-	-	-	1-out	20-out	20	1-out	20-out	20
	Janaúba	-	-	-	1-out	31-out	31	1-out	10-nov	41
Norte	Januária	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	1-out	10-nov	41
	Montes Claros	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	1-out	10-nov	41
	Pirapora	-	-	-	1-out	31-out	31	1-out	10-nov	41
	Salinas	-	-	-	-	-	-	1-out	31-out	31
	João Pinheiro	11-out	20-out	10	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
Noroeste	Formoso	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	1-out	20-nov	51
	Arinós	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	1-out	20-dez	81
	Paracatu	1-out	30-nov	61	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92
	Unai	1-out	10-nov	41	1-out	30-nov	61	1-out	10-dez	71



**Cont. Tabela 6.**

Regiões	Municípios			Solo tipo 1			Solo tipo 2			Solo tipo 3		
				Período	Nº de dias		Período	Nº de dias		Período	Nº de dias	
Jequitinhonha	Carbonita			1-out	20	1-out	10-nov	41	1-out	20-nov	51	
	Pedra Azul			-	-	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	
	Araçuaí			-	-	1-out	20-out	20	1-out	31-out	31	
Vale do Rio Doce	Diamantina			1-out	31	1-out	20-nov	51	1-out	30-nov	61	
	Itamarandiba			1-out	20	1-out	10-nov	41	1-out	20-nov	51	
	Caratinga			1-out	20	1-out	10-nov	41	1-out	20-nov	51	
Oeste	Aimorés			-	-	1-out	31-out	31	1-out	31-out	31	
	Bambuí			1-out	61	1-out	30-nov	61	1-out	31-dez	92	
	Oliveira			1-out	61	1-out	30-nov	61	1-out	31-dez	92	
Sul/Sudoeste	Divinópolis			1-out	41	1-out	10-nov	41	1-out	31-dez	92	
	Passa Quatro			1-out	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	
	Maria da Fé			1-out	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	
Zona da Mata	Machado			1-out	81	1-out	20-dez	81	1-out	31-dez	92	
	Lambari			1-out	81	1-out	20-dez	81	1-out	31-dez	92	
	Caldas			1-out	92	1-out	31-dez	92	1-out	31-dez	92	
Zona da Mata	Lavras			1-out	81	1-out	20-dez	81	1-out	31-dez	92	
	São Lourenço			1-out	81	1-out	20-dez	81	1-out	31-dez	92	
	Caparaó			1-out	20	1-out	20-out	20	1-out	10-nov	41	
Zona da Mata	Juiz de Fora			1-out	51	1-out	20-nov	51	1-out	30-nov	61	
	Viçosa			1-out	41	1-out	10-nov	41	1-out	31-dez	92	

**Cont. Tabela 6.**

Regiões	Municípios	Solo tipo 1		Solo tipo 2		Solo tipo 3	
		Período	Nº de dias	Período	Nº de dias	Período	Nº de dias
Central	Bom Despacho	1-out	31	1-out	51	1-out	92
	Pompéu	1-out	31	1-out	51	1-out	92
	Curvelo	1-out	20	1-out	41	1-out	61
	Florestal	1-out	51	1-out	92	1-out	92
	Belo Horizonte	1-out	51	1-out	92	1-out	92
Metropolitana de Belo Horizonte	Conceição do Mato Dentro	1-out	41	1-out	61	1-out	92
	Sete Lagoas	1-out	31	1-out	51	1-out	61
	Ibirité	1-out	51	1-out	92	1-out	92
	João Monlevade	1-out	31	1-out	51	1-out	61
Campos das Vertentes	Barbacena	1-out	51	1-out	92	1-out	92

Uma das vantagens da metodologia proposta é a possibilidade de estimativa das produtividades médias esperadas para cada município, o que não está previsto no ZRC do Mapa. Por outro lado, o ZRC do Mapa leva também em consideração para determinar a aptidão de certo município a área de superfície dele, em que o índice de satisfação das necessidades hídricas é maior que 0,6, o que não foi considerado na metodologia proposta por não se dispor de dados em uma grade geográfica pequena o suficiente para diferenciar as condições edafoclimáticas dos municípios.

Para ambas as metodologias, as menores janelas de semeadura e os menores rendimentos são para as regiões Norte, Vale do Jequitinhonha e Vale do Rio Doce. Estes resultados refletem os baixos níveis de desenvolvimento econômico e social dessas regiões, cujas economias se baseiam principalmente na agricultura. O índice de desenvolvimento humano para as regiões Norte e Jequitinhonha estão na faixa de 0,568 a 0,707, em comparação com 0,744 a 0,841 no Triângulo e no Sul (SANTOS; PALES, 2012).

Com base neste estudo, é evidente que o atual zoneamento agrícola de risco climático, ZRC do Mapa, pode ser melhorado, através da utilização de modelos de simulação baseados em processos. No entanto, é necessária a calibração de coeficientes para novas cultivares e a caracterização do solo e do clima para outros municípios brasileiros. Através da utilização da metodologia proposta podem-se melhorar as políticas de transferência de tecnologia e de concessão de crédito para a produção de milho.

## Conclusões

O uso de um modelo de simulação, baseado em processos, permitiu não só o estabelecimento de janelas de semeadura, como também a quantificação da produtividade média esperada de milho para diversos municípios do Estado de Minas Gerais.

Os resultados indicam que existe um potencial para aumentar a produtividade de milho em condições de sequeiro no Estado de Minas Gerais.

A metodologia proposta é mais rigorosa que o atual zoneamento de risco climático do Mapa, em termos de classificar a aptidão dos municípios e determinar a duração do período de semeadura de milho nos diversos municípios de Minas Gerais.

O estudo evidenciou ainda a necessidade do conhecimento em uma grade geográfica menor das condições edafoclimáticas dos municípios do estado, de forma a permitir a aplicação generalizada da metodologia proposta.

## Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, pela cessão dos dados climatológicos históricos dos municípios de Minas Gerais. À Embrapa e à empresa Monsanto pela bolsa de iniciação científica vinculada ao projeto *Fenotipagem, avaliação de mecanismos de adaptação e associação genômica aplicadas ao desenvolvimento de recursos genéticos de cereais tolerantes à seca*.

## Referências

ACEVEDO, V. (Org.). **Portal gvSIG 1.11**. 2013. Disponível em: <<http://www.gvsig.org/web>>. Acesso em: 7 jun. 2013.

AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2013. 480 p.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, D. F.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 13 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 88).

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 21 maio 2013.

BUGBEE, B. G.; SALISBURY, F. B. Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. **Plant Physiology**, Washington, v. 88, p. 869-878, 1988.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURY, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo

vermelho distrófico típico relacionada com manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 129-136, 2001.

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

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; GOMES, P. H. A.; FERNANDES, J. S. C.; ALVERNAZ, W. M. **Avaliação de sistemas de produção de milho na região de Sete Lagoas, MG**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 123).

CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1).

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIAS, R. T.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, R. R. A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, out./dez. 2006.

EVANS, L. T.; FISCHER, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1544-1551, 1999.

FORSTHOFER, E. L. **Rendimento de grãos e desempenho econômico do milho em cinco níveis de manejo e três épocas**

**de semeadura.** 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. R.; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais.** Sete Lagoas: Embrapa milho e Sorgo, 2010. 88 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 30).

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, 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. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer:** version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2013. 1 CD-ROM.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 abr. 2013.

JONES, C. A. **Ceres-maize:** a simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A & M University, 1986. 194 p.

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

JONES, J. W.; MAKOWSKI, D.; WALLACH, D. Introduction to section II. In: WALLACH, D.; MAKOWSKI, D.; JONES, J. W.

**Working with dynamic crop models:** evaluation, analysis, parameterization and applications. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 251-256.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, L. S.; PENNA, L. B. **Varição da produção estadual de milho no Brasil entre 2000 e 2009.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 42 p. il. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/920747/1/bol39.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2013.

QUANTUM GIS: QGIS: a free and open source geographic information system. 2013. Disponível em: <<http://www.qgis.org>>. Acesso em: 7 jun. 2013.

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**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p.1-10, 2001.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 5 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 82).

SANTANA, M. O. **Análise espaço-temporal do regime de chuvas e seus efeitos no rendimento agrícola no estado de Minas Gerais.** 2004. 155 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTANA, C. B.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Parametrização do modelo Ceres-**



**Maize para cultivares de milho.** In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC JÚNIOR, 1., 2010, Sete Lagoas. [**Trabalhos apresentados**]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

SANTOS, G. R.; PALES, R. C. Desenvolvimento regional e desigualdades sociais entre as macrorregiões de planejamento de Minas Gerais. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 36., 2012, Montes Claros. 2012. Disponível em: [http://www.anpocs.org/portal/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=7905&Itemid=76](http://www.anpocs.org/portal/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=7905&Itemid=76)>. Acesso em: 21 maio 2013.

SINGH, P.; SRINIVAS, K. Crop simulation models as decision-making tools for managing agricultural droughts. In: RAMAKRISHNA, Y. S.; RAO, G. G. S. N.; SASTRY, P. S. N.; RAO, V. U. M. (Ed.). **Agricultural droughts: aspects of micrometeorology: a lecture notes of 4th SERC School.** Hyderabad: CRIDA, 2007.

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**, Amsterdam, v. 27, p. 165-177, 2007.

TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. **DSSAT version 3:** international benchmark sites network for agrotechnology transfer. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v. 1-3.

WAGNER, M. V.; SIDNEI, O.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. dos S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR,

**Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,**  
Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 170-179, 2013.



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

