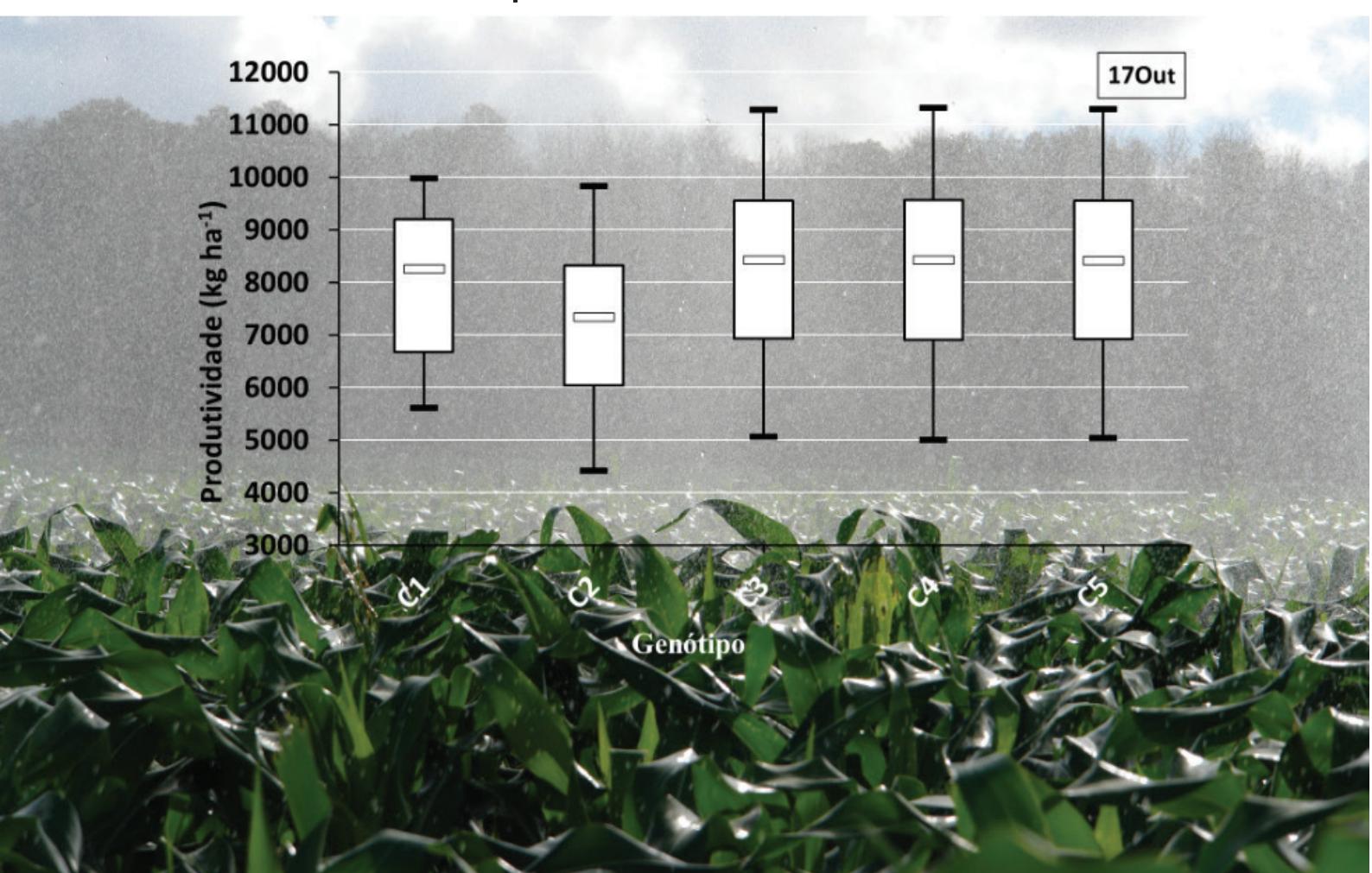


Protocolo para coleta e análise de dados experimentais para calibração e avaliação do modelo CSM-CERES-Maize para a cultura do milho



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

**DOCUMENTOS 253**

**Protocolo para coleta e análise de dados experimentais  
para calibração e avaliação do modelo CSM-  
CERES-Maize para a cultura do milho**

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade  
Isabel Regina Prazeres de Souza  
Tales Antônio Amaral

**Esta publicação está disponível no endereço:**  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

**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  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Maria Marta Pastina*

Secretário-Executivo  
*Elena Charlotte Landau*

Membros  
*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes*

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações  
*Mônica Aparecida de Castro*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Mônica Aparecida de Castro*

Foto da capa  
*Clenio Araujo e Camilo de Lelis T. de Andrade*

**1ª edição**  
*Publicação digital(2020)*

**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

Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de.

Protocolo para coleta e análise de dados experimentais para calibração e  
avaliação do modelo CSM-CERES-Maize para a cultura do milho / Camilo de Lelis  
Teixeira de Andrade, Isabel Regina Prazeres de Souza, Tales Antônio Amaral. --  
Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

27 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 253).

1. Zea mays. 2. Modelo de simulação. 3. Produtividade. I. Souza, Isabel Re-  
gina Prazeres de. II. Amaral, Tales Antônio. III. Título. IV. Série.

CDD 633.15 (21. ed.)

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

© Embrapa, 2020

## **Autores**

### **Camilo de Lelis Teixeira de Andrade**

Eng. Agrícola, PhD em Engenharia de Irrigação, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

### **Isabel Regina Prazeres de Souza**

Eng. Agron., PhD em Ciências das Plantas, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo.

### **Tales Antônio Amaral**

Biólogo, DSc em Agronomia, pós-doutorando em Modelagem de Sistemas Agrícolas na Embrapa Milho e Sorgo.

## Apresentação

A agricultura brasileira rapidamente se engaja na era digital. As informações necessitam circular de forma segura e com rapidez para que decisões sejam tomadas em bases bem fundamentadas e no tempo certo. A modelagem e a simulação são parte desse processo que, a cada dia está mais presente na agricultura, tanto de forma direta, quanto de forma imperceptível aos olhos dos usuários finais. Um exemplo é o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), no qual um grande esforço de modelagem é realizado para gerar, ao final, recomendações de períodos de semeadura, para diferentes níveis de risco, para dezenas de culturas, em todo o Brasil. Todavia, antes de sua aplicação prática, modelos necessitam ser parametrizados e avaliados. Para tal, dados experimentais devem ser coletados seguindo critérios preestabelecidos. Neste contexto, a publicação em questão descreve em detalhes todos os procedimentos para a coleta de dados de qualidade para a parametrização e avaliação de um modelo baseado em processo que se presta a simular o crescimento, o desenvolvimento e produtividade da cultura do milho.

*Frederico Ozanan Machado Durães*  
Chefe-geral

## Sumário

Introdução .....	08
Considerações gerais da experimentação para modelagem .....	08
Caracterização do clima .....	10
Caracterização do solo.....	10
Cultivares.....	11
População de plantas e espaçamento entre fileiras.....	11
Adubação e outros tratos culturais.....	12
Irrigação.....	12
Monitoramento da umidade do solo .....	13
Colheita .....	13
Dados mínimos para parametrização do modelo CSM-CERES-Maize .....	13
Dados de clima .....	13
Perfil do solo .....	15
Dados de irrigação .....	16
Dados iniciais .....	16
Plantio .....	17
Emergência .....	17
Desbaste .....	18
Contagem do número de folhas .....	18
Florescimentos masculino e feminino .....	19
Maturidade fisiológica .....	21
Colheita .....	22
Monitoramento da umidade do solo .....	23

Monitoramento da fitomassa seca e área foliar .....	23
Croqui de uma parcela típica em ensaio com irrigação por aspersão .....	25
Considerações finais .....	26
Referências .....	27

## Introdução

A modelagem é uma ferramenta que tem sido aplicada em diversos estudos que vão da resposta das culturas às mudanças climáticas (Grossi et al., 2015) ao manejo, incluindo épocas de semeadura, uso ou não de irrigação, doses de fertilizantes nitrogenados, passando pelo melhoramento genético de plantas e pelo manejo de dejetos animais (Andrade et al., 2012). Um modelo baseado em processos biofísicos foi empregado para determinar a aptidão e o período de semeadura de milho de sequeiro no estado de Minas Gerais (Paixão et al., 2016), demonstrando que este tipo de ferramenta seria útil no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Há vários modelos baseados em processos biofísicos disponíveis, entre os quais o DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (Jones et al., 2003). O DSSAT é uma suíte de modelos que contempla dezenas de culturas anuais, entre as quais o milho, cujo modelo é o CSM-CERES-Maize. Todo modelo, mesmo os baseados em processos, necessitam de parametrização ou calibração dos parâmetros e também a avaliação antes da sua aplicação como ferramenta de decisão ou em estudos de causa e efeito. Portanto, este documento irá descrever detalhadamente um protocolo de coleta de dados experimentais na cultura do milho em condições de campo cuja finalidade é a parametrização e a avaliação do modelo CSM-CERES-Maize.

## Condições gerais da experimentação para modelagem

O CSM-CERES-Maize é um dos modelos da suíte de modelos DSSAT que simula o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho para diferentes tipos de solo, condições climáticas e de manejo cultural. O modelo pode ser também parametrizado para cultivares com diferentes características fenológicas e de produtividade. A obtenção de dados para a este procedimento é, portanto, uma etapa essencial e será descrita em detalhes a seguir.

Para calibração de modelos é importante que os ensaios sejam conduzidos em condições que permitam que a cultivar expresse seu máximo potencial genético, no ambiente selecionado para seu plantio. Portanto, os ensaios para obtenção de dados para parametrização do modelo devem ser conduzidos sem estresse hídrico por seca ou excesso de umidade no solo, isto é, sob condições irrigadas (Figura 1) ou durante o período em que ocorram chuvas em quantidade e regularidade desejáveis, sem encharcamento, todavia. Além disso, o solo deve estar corretamente corrigido nos aspectos químicos e físicos, e a cultura deve ser conduzida sob as práticas culturais adequadas de controle de doenças, insetos e plantas daninhas.

Como a parametrização requer que as cultivares expressem seu máximo potencial genético, recomenda-se o uso da irrigação e também a semeadura em época mais apropriada para esta finalidade. Em Minas Gerais, simulações preliminares envolvendo 19 municípios indicaram que meados de fevereiro é o melhor período para semeadura do milho visando obter produtividades elevadas (Melo et al., 2016).



Fotos: Arnaldo Macedo Pontes

**Figura 1.** Ensaios com a cultura do milho sendo irrigada (direita) e apresentando excelente condição de manejo (esquerda).

Na região onde a experimentação for ser implantada, o sistema de cultivo deve proporcionar a maior produtividade possível para a cultura do milho (Figura 2). Sempre que possível, deve-se utilizar o plantio direto.



Foto: Francimara Roberto da Silva

**Figura 2.** Cultura com excelente aspecto em razão do manejo adequado (esquerda) e cultura com problemas de controle de plantas daninhas que podem afetar a produtividade (direita).

O modelo CSM-CERES-Maize permite diferentes combinações de manejo cultural, dependendo do que se pretende avaliar. Portanto, sugere-se que, nos ensaios para obtenção de dados para parametrização, tratamentos com delineamentos estatísticos sejam planejados, por exemplo, com e sem o uso de irrigação, diferentes arranjos de populações e espaçamentos, diferentes níveis de adubação nitrogenada. Dessa forma os dados podem ser analisados estatisticamente para posterior publicação.

## Caracterização do clima

Os ensaios para parametrização devem ser instalados, quando possível, próximos a uma estação meteorológica (Figura 3) que registre dados diários de elementos do clima (insolação ou radiação solar, temperaturas mínima e máxima, precipitação, velocidade do vento e umidade relativa). Para a parametrização do modelo são necessários os dados climáticos registrados durante o ciclo da cultura. Entretanto, para simulações envolvendo o uso de série histórica de dados diários, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) sugere um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (World Meteorological Organization, 1989). Entretanto, por causa das limitações para a obtenção de séries longas de dados diários, o atual Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) utiliza séries com os 15 anos mais recentes. O novo Zoneamento, ZARCPro, que deverá utilizar como ferramenta de simulação o modelo CSM-CERES-Maize, também demandará séries históricas com dados diários contendo pelo menos 15 anos.



Fotos: Sandra Maria Brito

Figura 3. Estação meteorológica automática na Embrapa Milho e Sorgo

## Caracterização do solo

A área de instalação do ensaio dever ter o solo caracterizado quanto aos atributos de fertilidade e físico-hídricos. A quantificação dos atributos de fertilidade é necessária para realização das devidas correções do solo, permitindo o adequado desenvolvimento da cultivar e contribuindo para que ela expresse seu potencial genético. Atributos físico-hídricos são essenciais para que o modelo simule o balanço de água e nitrogênio no solo. A amostragem para estes parâmetros deve ser a mais detalhada possível, em termos de camadas do perfil do solo. A profundidade de amostragem dever ser maior ou igual à profundidade máxima esperada do sistema radicular da cultura no local. Para milho, deve-se amostrar, pelo menos, até 1 m de profundidade (Figura 4).

## Cultivares

O modelo deve ser calibrado para cultivares de milho de diferentes ciclos: superprecoce, precoce, semiprecoce e normal. Isto se faz necessário, pois afeta os parâmetros do modelo que regulam o desenvolvimento fenológico das cultivares, como florescimento e maturidade fenológica, que em última instância definem os períodos de semeadura.



Foto: Tales Antônio Amaral.

**Figura 4.** Trincheira para amostragem do perfil do solo.

## População de plantas e espaçamento entre fileiras

Nos protocolos iniciais do DSSAT era indicada a utilização de uma baixa densidade de plantas de milho por hectare, como forma de evitar a competição entre plantas. Entretanto, em ensaios realizados na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, optou-se por usar a densidade de plantas e espaçamento entre fileiras para a cultivar, região e época de plantio recomendados pelo desenvolvedor da cultivar por ser mais realista em relação aos sistemas de produção correntes. Há uma tendência atual de se utilizar populações cada vez mais elevadas como uma estratégia de aumentar a produtividade. Importante utilizar maior número de sementes no plantio e realizar posterior desbaste de plântulas no experimento para que se tenha a população ideal e uniforme na parcela por ocasião da colheita (Figura 5).



Foto: Tales Antônio do Amaral.

**Figura 5.** Plantio manual de ensaio de milho com detalhe da colocação de duas sementes por posição no sulco de plantio, para posterior desbaste.

## Adubação e outros tratos culturais

A adubação dever ser prescrita com base em análise da fertilidade do solo e levando-se em consideração o potencial de produtividade da cultivar. Deve-se considerar sempre que a lavoura está sendo avaliada para a obtenção de dados para parametrização de modelos, portanto, não deve ser submetida a quaisquer estresses bióticos ou abióticos.

A maioria dos modelos simula a dinâmica de matéria orgânica e nitrogênio. Por isso, as informações de adubação devem ser anotadas e incluídas no arquivo de manejo. Anotar todos os tratos culturais utilizados, tais como, controle de plantas daninhas, pragas, doenças, adubações foliares, entre outras. Sempre que possível, especialmente no sistema de plantio direto, deve ser realizada uma amostragem da palhada existente na superfície do solo para determinação de matéria seca por unidade de área e concentrações de nitrogênio e de carbono. Se possível, determinar fósforo e potássio para acumular dados para melhoria dos modelos.

## Irrigação

Os ensaios para obtenção de dados para parametrização de modelos devem, sempre que possível, ser irrigados para evitar que a cultura sofra estresse hídrico. Quando da utilização da irrigação, as lâminas aplicadas devem ser medidas (Figura 6). Usar uma ferramenta informatizada, tipo IrrigaFácil (Albuquerque; Andrade, 2001), para manejar as irrigações.



**Figura 6.** Coletor de irrigação (esquerda) e baterias de coletores de irrigação (direita)

## Monitoração da umidade do solo

Um dos principais módulos dos modelos de processos é o que calcula diariamente o balanço de água no solo. A disponibilidade de água do solo para as plantas se desenvolverem, crescerem, acumularem fitomassa e produzirem grãos, no caso do milho, é definida no módulo de balanço hídrico que se utiliza dos atributos de retenção de água do solo e das entradas e saídas de água do sistema. Portanto, é fundamental aferir se o balanço de água no solo está sendo calculado corretamente. Uma das formas de se fazer isso é comparando dados de umidade do solo medidos com os simulados pelo modelo.

## Colheita

Para modelagem mais simples sem considerar rotação e sucessão de culturas, o fim do ciclo de uma cultura é a maturidade fisiológica. Portanto, atingida esta fase, o ensaio pode ser colhido. É crucial que a data da maturidade fisiológica seja anotada. Detalhar bem a colheita, processando separadamente os diversos componentes das plantas, como colmo + pendão, folhas, espigas, paliha, sabugo e grãos. Estando os grãos ainda úmidos durante a colheita, deve-se aguardar que eles atinjam a umidade adequada para evitar problemas durante a trilhagem das espigas das parcelas ou no uso e armazenamento.

## Dados mínimos para parametrização do modelo CSM-CERES-Maize

### Dados de Clima

Deve-se obter os dados diários de uma estação meteorológica local ou bem próxima. Se a estação estiver a mais de 3-5 km do ensaio, instalar um pluviômetro ou pluviógrafo para registrar os dados de chuva no local. Eliminar dados espúrios e completar os dados faltantes. Alguns modelos dispõem de ferramentas, como o WeatherMan, que servem para completar falhas de até sete dias

(Figura 7). Falhas maiores devem ser completadas com outras fontes de dados, como de estações próximas com a altitude similar, interpolações entre estações próximas, levando-se em consideração a altitude e obtenção de dados estimados como os do banco de dados do Nasa-Power (Stackhouse, 2011). Em geral, as falhas são completadas com dados de diferentes fontes. O maior desafio é em relação aos dados de chuva, cuja predição é difícil. Para este elemento climático, deve-se procurar completar falhas com dados da Agência Nacional de Águas (ANA), que dispõe de uma rede pluviométrica extensa (<https://www.ana.gov.br/monitoramento>). Antes de criar o arquivo de clima, plotar os dados e verificar se ainda existem dados espúrios ou ausência de dados. Bons dados de clima são cruciais para a calibração e validação dos modelos e, posteriormente, uso para estudos e tomada de decisão.

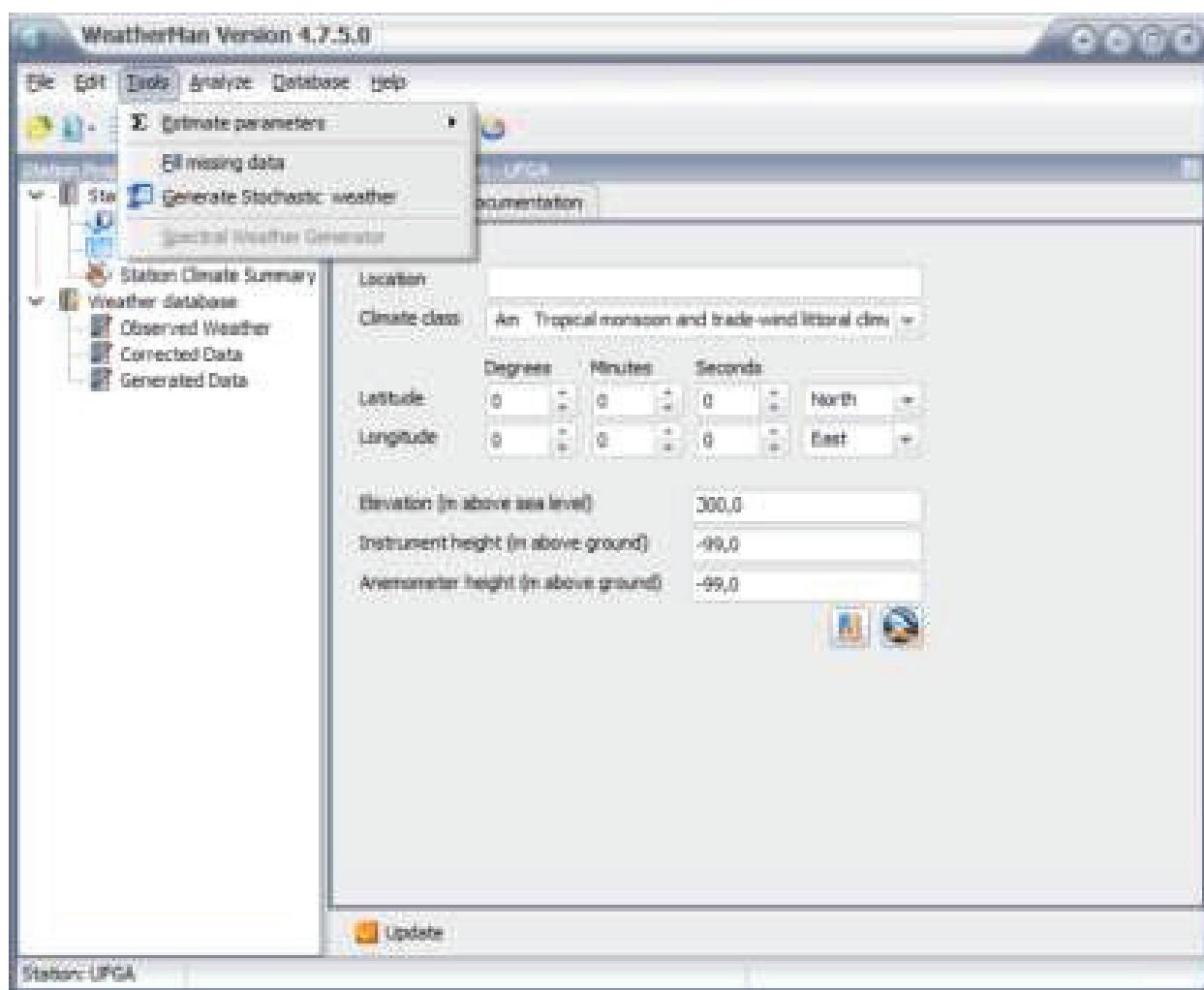


Figura 7. Interface do módulo de dados de clima do modelo DSSAT.

## **Perfil do Solo**

Deve ser realizada amostragem do solo deformado e indeformado de camadas do perfil do solo. Em uma amostragem realizada em diferentes municípios do estado de Minas Gerais, foi utilizada a divisão de camadas: 0-5; 5-20; 20-40; 40-70 e 70-100 cm. Nas condições da área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, num Oxisolo vermelho, foram consideradas as camadas 0-5; 5-10; 10-30; 30-50; 50-70; 70-90 e 90-110 cm, que detalham melhor o perfil do solo e favorecem as simulações de água e nitrogênio no solo. Propriedades do solo a serem determinadas a partir de amostras deformadas: textura, densidade das partículas, carbono orgânico e nitrogênio total (importante, pois o milho é responsável ao nitrogênio). Atributos que devem ser determinados utilizando amostras não deformadas (Figura 8): densidade do solo, limite superior de água extraível/capacidade de campo (retenção a -33 kPa, -10 kPa ou outra dependendo do tipo de solo; nos solos arenosos pode até ser -3 kPa ou -5 kPa); limite inferior de água extraível/ponto de murcha permanente (retenção a -1500 kPa) e condutividade hidráulica do solo saturado (não deixar o modelo estimar pois se baseia em alguma função de pedotransferência de solo de clima temperado). A porosidade total ou umidade do solo saturado pode ser estimada com densidade de partículas e densidade do solo. O fator de raiz deve ser ajustado com base na experiência que se tem com relação à distribuição de raízes no perfil do solo do local do ensaio; o valor varia de 0 a 1, sendo que 1 indica presença de boa quantidade de raízes ativas, e 0, ausência de raízes ativas. Um outro parâmetro importante é o fator de adsorção de nitrato que varia de 0 a 1, sendo que 0 indica ausência de adsorção. Em solos tropicais, as camadas subsuperficiais têm o balanço de cargas positivo e, por esta razão, adsorvem o nitrato que tende a lixivar para fora da zona das raízes. Deve-se ajustar os valores do fator de adsorção de nitrato para acima de 0 até que o valor simulado do total de nitrogênio lixiviado durante o ciclo do milho fique em torno de 20 kg ha<sup>-1</sup>.



Fotos: Francimara Roberto da Silva

*EBSL0243	Embrapa M45 C	110	LVE-Med 9Lis CC/PMP Campo Camilo													
#SITE	COUNTRY	LAT	LONG SCS FAMILY													
SL	BRAZIL	-19.48	-44.17 Latossolo Vermelho Escuro Sete Lagoas MG Brazil													
# SOOM	SALB	SLUI	SLDR	SLRO	SLMF	SLPF	SMHB	SMPX	SMKE							
R	.14	12.8	.85	.60	1	1	IB001	IB001	IB001							
#	SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSRS	SBDM	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI	SLHN	SLHS	SSEC	SADC
5	-99	.284	.378	.560	.9	5.23	1.05	2.18	63	19	0	.12	5.7	-99	-99	0
10	-99	.270	.366	.577	1	9.77	1.02	2.1	63	22	0	.12	5.8	-99	-99	0
30	-99	.278	.374	.561	1	7.86	1.07	1.9	68	20	0	.1	5.7	-99	-99	0
50	-99	.268	.362	.599	.5	6.45	.96	1.65	71	19	0	.08	5.2	-99	-99	0
70	-99	.262	.353	.611	.1	23.02	.93	1.62	72	13	0	.06	5	-99	-99	.3
90	-99	.253	.340	.627	.01	37.19	.99	1.45	72	14	0	.06	5	-99	-99	.5
110	-99	.250	.329	.631	.005	37.3	.87	1.41	72	14	0	.05	5	-99	-99	.9

**Figura 8.** Coleta de amostras não deformada do solo (acima) e exemplo de um arquivo de solo tipo texto (abaixo).

### Dados de Irrigação

Antes do plantio, caso não tenha chovido, deve-se fazer uma irrigação para elevar a umidade no perfil do solo (0 - 50 cm) ao limite superior de água extraível (capacidade de campo). Para parametrização do modelo, não estimar lâminas de irrigação com base no tempo de irrigação e taxa de aplicação dos aspersores. Quando o ensaio for irrigado, instalar malha de coletores para medição das lâminas aplicadas em cada irrigação (Figura 6). Irrigar, sempre que possível, em horário sem vento. Planejar o sistema de irrigação de forma que haja pelo menos 70% de superposição dos jatos de água. Quando da utilização do sistema de gotejamento, empregar gotejadores autocompensantes e instalar um hidrômetro para medição do volume de água utilizado.

### Dados Iniciais

Amostragem da palhada da superfície do solo - Planilha disponível no link :  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>

Recomenda-se usar um gabarito de 1 m x 1 m ou 1 m x 0,5 m (Figura 9). Não coletar material em decomposição e nem solo. Determinar a matéria seca e as concentrações de nitrogênio (N) e carbono (C). Se possível, determinar as concentrações de fósforo e potássio (K), pois é importante que se tenha dados para avaliar estes componentes dos modelos. Repetir as amostragens de acordo

com o delineamento do ensaio e potássio (K), pois é importante que se tenha dados para avaliar estes componentes dos modelos. Repetir as amostragens de acordo com o delineamento do ensaio.

**Amostragem de solo e de sensores para obtenção da umidade inicial - Planilha no link:** <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>



Fotos: Tales Antônio do Amaral.

**Figura 9.** Amostragem de palhada na superfície do solo (esquerda) e amostra de solo deformado para análise de fertilidade e umidade (direita)

Se a densidade do solo for conhecida, pode ser coletada amostra deformada. Instalar sensores para monitoramento da umidade do solo, se não for atrapalhar as operações de cultivo na área.

Estimar a quantidade de raiz que a cultura antecessora deixou no perfil do solo. Normalmente, especialistas e pesquisadores em sistema de produção contribuem com esta informação ou pode-se obtê-la na literatura. Esta informação não é crucial, mas ajuda na simulação das dinâmicas de C e N, que afetam a produtividade do milho.

### **Plantio**

Deve-se realizar o plantio de acordo com o sistema de produção recomendado para a região, levando-se em consideração a cultivar de milho utilizada. Para as condições de Sete Lagoas, Minas Gerais, recomenda-se um maior número de sementes por metro linear e posterior desbaste das plântulas, visando garantir na colheita entre 63 a 65 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A tendência é de se empregar espaçamento entre fileiras de 0,50 a 0,70 m. Realizar uma semeadura bem feita, manual ou com máquina, para que a densidade de plantio ou estande fique uniforme. Plantar fileiras adicionais para monitorar a emergência de plântulas, contagem de folhas e amostragem destrutiva se for o caso (ver croqui da parcela típica ao final do texto). Não se esquecer de incluir fileiras de bordaduras externas e também internas quando amostragem destrutiva for realizada em linhas adjacentes às selecionadas para colheita ou monitoração. Anotar a profundidade de deposição da semente e do adubo.

## Emergência

Marcar três fileiras de 1 m ou uma fileira de 3 m e contar o número de plântulas com 2 cm de comprimento acima do solo. Essa contagem deve ser realizada diariamente, até que o número de plântulas fique constante. Anotar a data em que a contagem ficou constante. Repetir os procedimentos de determinação da emergência de acordo com o delineamento do ensaio. Esse dado é desejável, mas não essencial (Figura 10, Anexo 3, disponível no link abaixo).

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>



Foto: Tales Antônio do Amaral.

**Figura 10.** Marcação para monitoração diária de emergência de plântulas de milho.

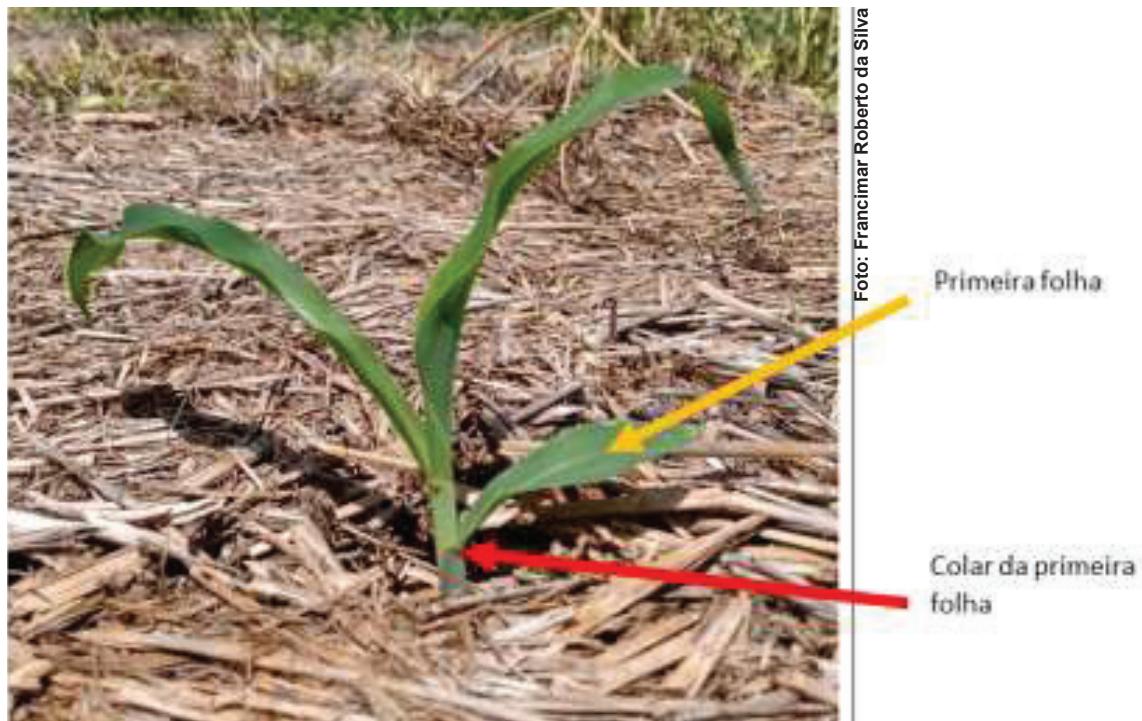
## Desbaste

Uma semana após a total emergência, realizar o desbaste das plântulas que estão em excesso. Fazer uma irrigação antes do desbaste, para facilitar a remoção da planta a ser desbastada e evitar danos às plântulas vizinhas remanescentes. Evitar, sempre que possível, a presença de mais de uma planta num mesmo local. Chegar terra ao coleto das plantas que sentirem o desbaste ou tombarem. Deixar o número de plantas  $\text{ha}^{-1}$  recomendado para a cultivar, época e local.

## Contagem do Número de Folhas

O modelo requer o número final de folhas da cultivar para ajustar o parâmetro PHINT que regula a emissão de folhas. Marcar duas fileiras com cinco plantas ou uma fileira com 10 plantas para monitoração do número de folhas e florescimento. Para essa contagem, marcar repetições conforme o delineamento (Anexo 4 - <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>). Não danificar as linhas de plantas que serão usadas para amostragem destrutiva e para a colheita. Duas ou três vezes por semana, contar as folhas que estiverem com a pontinha (*leaf tip*) emergindo

do cartucho e também as folhas com colar já formado (Figura 11). Marcar com uma etiqueta a sexta folha. Não se esquecer de contar a primeira folha que nasce, pois ela cai muito cedo.



**Figura 11.** Plântula de milho. Seta laranja indicando a primeira folha totalmente expandida e seta vermelha indicando o colar dessa mesma folha.

O modelo simula o número de folhas, incluindo aquelas que estão emergindo do cartucho ao longo do ciclo e não somente o número de folhas completamente expandidas, isto é, já com o colar visível.

Se não for possível contar o número de folhas semanalmente, marque a sexta e a décima folhas com etiquetas, para não perder a contagem final, a qual é atingida quando o milho lança a folha bandeira, que é a última folha antes da emissão do pendão. Anotar a data da emissão da folha bandeira (desejável no aprimoramento dos modelos, mas não essencial).

### **Florescimentos Masculino e Feminino**

Nas plantas marcadas para contagem de folhas, deve-se observar a emissão da boneca e do pendão. Fazer o acompanhamento diário ou, no máximo, a cada dois dias. Contar o número de plantas apresentando liberação de pólen no terço médio do pendão (Figura 12). Anotar a data em que 50% dessas plantas da fileira estiverem apresentando essa liberação de pólen (Anexo 5, inserido no link <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>).

Contar na fileira o número de plantas apresentando boneca com 2 cm de cabelo (estilo-estigma). Anotar a data em que 50% dessas plantas apresentaram essas bonecas com 2 cm de cabelo (Figura 13). A data do florescimento para o DSSAT é o embonecamento (*silking*). O estádio de embonecimento é iniciado quando os estilos-estigmas estão visíveis, para fora das espigas (Magalhães; Durães, 2006). A data do pendoamento não é essencial, entretanto, deve ser anotada para se calcular o intervalo entre o florescimento feminino e masculino (ASI, *anthesis to silking interval*). O ASI é importante para avaliar a tolerância da cultivar ao estresse hídrico.



Foto: Francimar Roberto da Silva

**Figura 12.** Florescimento masculino da planta de milho indicando o início da extrusão de anteras com liberação de pólen no terço superior do pendão.



Fotos: Francimar Roberto da Silva

**Figura 13.** Plantas de milho com bonecas apresentando 2 cm de cabelo.

## Maturidade Fisiológica

Nas mesmas plantas das fileiras marcadas para monitorar emissão de folhas e florescimento, avaliar a maturidade fisiológica.

(Anexo 6 - disponível no link: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>).

Quando a palha das espigas começar a secar, iniciar a monitoração da formação da camada preta do grão (*black layer*). Coletar uma espiga representativa, retirar a palha, quebrar ao meio e coletar 30 grãos desta parte central da espiga. Cuidadosamente, avaliar a formação da camada preta na base do grão, na inserção com a espiga (Figura 14). Na Embrapa Milho e Sorgo, para avaliação da maturidade fisiológica, enfileiram-se 30 grãos sobre uma folha de papel branco e se toma uma fotografia deles. Dessa forma, pode-se comparar uma amostragem com a outra e, posteriormente, definir a data em que 50% dos grãos apresentaram a camada preta. Em épocas quentes e secas, o processo de maturidade é atingido mais rapidamente. Nos períodos frios a maturidade fisiológica é delongada. Iniciar amostrando uma vez por semana, depois duas vezes por semana e, quando essa camada amostrada começar a ficar marrom, amostrar três vezes por semana.

Fotos: Francimara Roberto da Silva

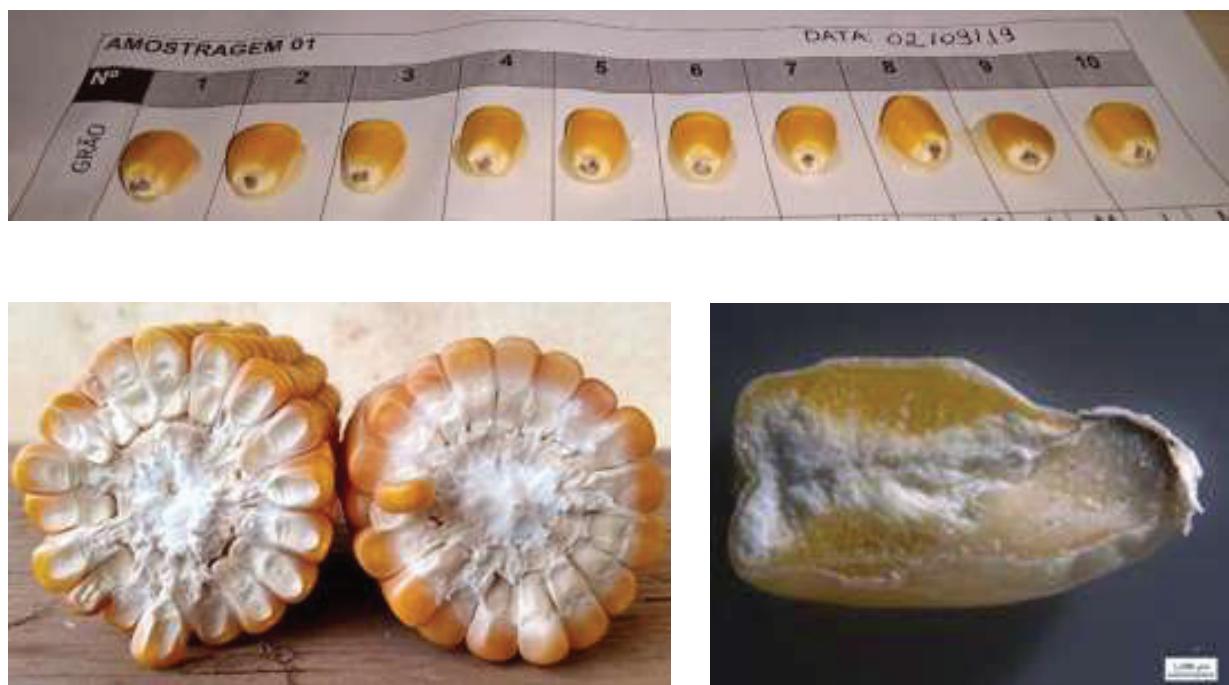


Foto: Isabel Regina Prazeres de Souza.

**Figura 14.** Amostragem de 10 grãos indicando a camada preta (acima), parte central da espiga de milho (abaixo à esquerda) e grão seccionado indicando a completa formação da camada preta na base do grão (abaixo à direita).

Remover os grãos da ponta e da base da espiga e descartar; debulhar o restante em uma lata de alumínio para determinar a umidade dos grãos a 105-110 °C. Fazer isso em todas as amostras e repetições.

### **Colheita**

A área útil da parcela para colheita deve ser de no mínimo 5 a 10 m<sup>2</sup>. Nessa área, contar o número total de espigas e de plantas sadias, quebradas, acamadas e dominadas. Separar pelo menos cinco plantas representativas, cortar rente ao solo, retirar as espigas e separar folhas de colmo e pendão. Pesar separadamente cada componente da biomassa da planta, anotando o peso fresco. Despalhar as espigas, pesar palha e espigas sem palha; debulhar e pesar grãos e sabugos. Picar as amostras de folha, colmo e pendão, e colocar em sacolas de papel para determinação da matéria seca a 65 °C. Fazer o mesmo com os sabugos e grãos. Exemplo de planilha é apresentado na Tabela 1.

Colher as demais plantas da parcela, separar folhas do colmo, pendão, espigas, sabugos e grãos e determinar o peso fresco de cada componente. Separar em latas de alumínio amostras de grãos para determinação da umidade a 105-110 °C. Separar também amostras de 1.000 grãos em saquinhos de papel para determinação do peso seco unitário. Com os dados de matéria seca dos componentes, os pesos frescos serão, posteriormente, corrigidos para a parcela toda e para um hectare.

**Tabela 1.** Exemplo de planilha para tabular dados de colheita de ensaios de modelagem.

Área Colheita m <sup>2</sup>	Repetição	Genótipo			
		1	2	3	4
		Média	Desv. Pad.	Erro	
Plantas Normais					
No Plantas Quebradas					
No Plantas Acamadas					
No Plantas Totais (Stand Final)					
População (plantas/m <sup>2</sup> )					
População (plantas/ha)					
Nº. Espigas com Grãos					
Nº. Espigas Doentes					
Nº. Espigas Sem Grãos					
Nº. Espigas Totais					
Espigas/m <sup>2</sup>					
Espigas/planta					
PF Grãos Parcela (Kg)					
Umidade Grãos R1					
Umidade Grãos R2					
Umidade Grãos R3					
Umidade Grãos Média (%)					
PF Colmo+pendão (Kg)					
PF Folhas (Kg)					
PF Espigas sem palha (Kg)					
PF Espigas com palha (Kg)					
PF Palha (Kg)					

**Continua**

**Tabela 1.** Exemplo de planilha para tabular dados de colheita de ensaios de modelagem.

Área Colheita m <sup>2</sup>	Repetição	Genótipo						
		1	2	3	4	Média	Desv. Pad.	Erro
PF Sabugo (Kg)								
Peso 1.000 sementes R1								
Peso 1.000 sementes R2								
Peso 1.000 sementes R3								
Peso 1.000 sementes Média (gramas)								
PS unitário Grãos (g/grão)								
Peso Unit Grãos (mg/grão)								
MS Grãos (%)								
MS Sabugo (%)								
MS Folhas (%)								
MS Colmo + P (%)								
MS Palha (%)								
Pseco Grãos (Kg/ha) (Umidade de Campo)								
Pseco Grãos (Kg/ha) (13%)								
Pseco Grãos (Kg MS/ha) (0%) (Umidade)								
Pseco Grabs (Kg MS/ha) (0%) (MS)								
Pseco Sabugo (Kg MS/ha)								
Pseco Folhas (Kg MS/ha)								
Pseco Colmo + Pendão (Kg MS/ha)								
Pseco Palha (Kg MS/ha)								
Pseco Espiga (G+S+P) (Kg MS/ha)								
Pseco Espiga (G+S+P) (Kg MS/ha) (13%)								
Pseco Total (Tops) (Kg Ms/ha)								
Pseco Total (Tops) (Kg Ms/ha) (13%)								
Pseco Palhada (Stalk) (Kg MS/ha)								
Grãos por Área (grãos/m <sup>2</sup> ) (13%)								
Grãos por Planta (grãos/pl)								
Grãos por Espiga (grãos/esp)								
Índice de Colheita								

### **Monitoração da Umidade do Solo**

Monitorar a umidade do solo empregando sensores ou mesmo amostragem gravimétrica. Amostrar o solo ou medir a umidade por camadas do perfil, de preferência no ponto central das camadas definidas para caracterização do perfil do solo. Para determinação da umidade, retirar amostras deformadas com trado ou instalar sensores, em diferentes profundidades, a 10 cm de uma planta representativa e que esteja em competição. Converter os dados para umidade em volume decimal ( $m^3 m^{-3}$ ), usando dados de densidade do solo para as mesmas profundidades. Se for pelo método gravimétrico, amostrar a cada 15 dias. Se for via sensores ou medidores manuais, aumentar a frequência de amostragem. Ver a planilha de anotação no link:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126467>

Os dados de umidade do solo são essenciais para a avaliação da capacidade do modelo em simular corretamente a dinâmica de água no solo. A correta simulação do balanço hídrico no solo é crucial para que as demais simulações de área foliar, fitomassa e produtividade estejam corretas.

## **Monitoração da Fitomassa Seca e Área Foliar**

Determinar a produtividade de fitomassa seca, a área foliar e o enchimento de grãos. Nas fileiras previstas para amostragem destrutiva, coletar cinco plantas que serão levadas à bancada. Desmembrar e limpar as folhas e passar no equipamento integrador de área foliar (Tabela 2). Picar colmo e folhas e colocar em sacolas de papel para determinação da matéria seca. Quando houver bonecas, picá-las e determinar a matéria seca separadamente. Quando houver grãos, despalhar a espiga e remover os grãos, sem deixar grãos no sabugo e sem tirar parte do sabugo junto com os grãos. Colocá-los em sacolinhas de papel para determinação da matéria seca. Determinar matéria seca também da palha e do sabugo. Todos os dados devem estar em massa seca por hectare (Tabela 3). A curva de enchimento de grãos auxilia na determinação do parâmetro relacionado com o peso unitário de grãos do modelo CSM-CERES-Maize. Essa curva refere-se à massa seca de grãos ou miligramas de grãos secos ao longo da fase de enchimento de grãos.

**Tabela 2.** Exemplo de planilha para anotações e cálculos do Índice de Área Foliar (IAF).

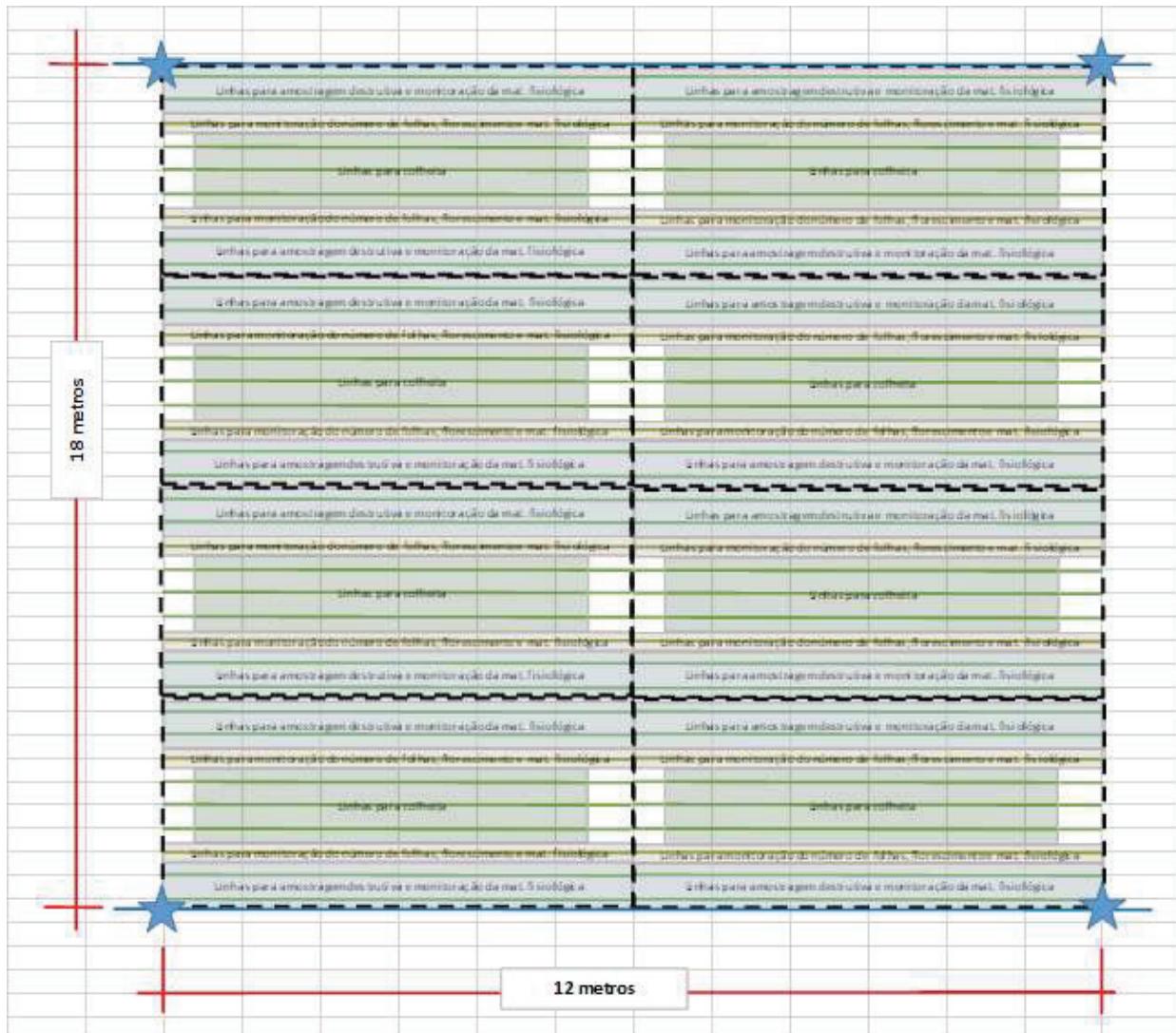
Data	Genótipo	Bloco	Área de Influência (cm <sup>2</sup> )	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	IAF
1		1			
2		1			
3		1			
4		1			

**Tabela 3.** Exemplo de planilha para anotações e cálculos do peso seco em kg ha<sup>-1</sup>, ao longo do ciclo da cultura.

Data	Genótipo	Bloco	Área de Influência (cm <sup>2</sup> )	Peso Fresco Folha (g)	Peso Seco Folha (g)	Peso Fresco Colmo (g)	Peso Seco Colmo (g)	MS Folha (%)	MS Colmo (%)	Peso Folha (kg ha <sup>-1</sup> )	Peso Colmo (kg ha <sup>-1</sup> )
1		1									
2		1									
3		1									
4		1									

### ***Croqui de uma Parcela Típica em Ensaio com Irrigação por Aspersão***

Um arranjo típico de parcelas experimentais mínimas para a obtenção de dados para modelagem, porém com poucas linhas para amostragem destrutiva de plantas, é apresentado na Figura 15. As estrelas representam aspersores espaçados de 18 m entre laterais e 12 m entre aspersores. Foi considerado um espaçamento de 0,50 m entre fileiras de milho. O arranjo pode ser adaptado para condições em que mais linhas de milho são necessárias para amostragem, visando a determinação de fitomassa seca e área foliar. No espaço de 18 m entre linhas laterais de irrigação, acomodam-se 36 fileiras de milho. Nessa disposição acomodam-se quatro parcelas de nove linhas ou três parcelas de 12 linhas. No espaço de 12 m cabem duas parcelas de 6 metros de comprimento para que se possa ter bordadura nas extremidades na época da colheita. Portanto entre quatro aspersores espaçados de 18 x 12 metros cabem oito parcelas de nove linhas por 6 metros ou seis parcelas de 12 linhas por 6 metros.



**Figura 15.** Croqui de parcelas arranjadas entre quatro aspersores espaçados de 12 por 18 metros, indicando as linhas para monitoração e colheita final da cultura do milho.

## Considerações Finais

O uso de modelagem e simulação, especialmente com o emprego de modelos baseados em processos biofísicos, tem se tornado cada vez mais corriqueiro. A aplicação no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) é uma, entre as várias aplicações possíveis deste tipo de ferramenta. Ao contrário do que se imagina, o uso da modelagem e simulação não dispensa a experimentação convencional conduzida em campo. Em muitos casos a modelagem indica apenas a direção que deve ser seguida pela pesquisa.

Antes de serem utilizados os modelos de simulação necessitam ser parametrizados ou terem seus coeficientes ajustados para que simulem de forma realista as condições de uma certa lavoura. A avaliação da capacidade preditiva dos modelos, empregando dados independentes daqueles usados na parametrização, também é uma etapa importante a ser cumprida. Portanto, há a necessidade de obtenção de dados padronizados, tanto para a parametrização quanto para a avaliação dos modelos. A padronização nos procedimentos é importante para que dados coletados por diferentes pessoas em diferentes locais possam ser compartilhados. Quanto maior o volume e

a qualidade dos dados obtidos, melhor será o processo de parametrização e avaliação dos modelos e mais segura se torna a utilização posterior da ferramenta.

## Agradecimentos

Expressamos nossos agradecimentos aos colegas Arnaldo Macedo Pontes, Clenio Araujo, Francimar Roberto da Silva, Isabel Regina Prazeres de Souza, Sandra Maria Brito e Tales Antônio Amaral pela cessão das fotos que ilustraram a publicação.

## Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; SILVA, D. F.; MARTINS, P. C. Simulated yield and net return of a maize crop fertilized with different sources and rates of nitrogen. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 254-267, 2012.

COMUNELLO, E. **Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul**. 2016. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

GROSSI, M. C.; JUSTINO, F.; RODRIGUES, R. de A.; ANDRADE, C. L. T. Sensitivity of the sorghum yield to individual changes in climate parameters: modelling based approach. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 341-349, 2015.

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.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76).

MELO, B. F. de; ANDRADE, C. de L. T. de; SILVA, P. P. G. da; MAGALHÃES, B. G.; TIGGES, C. H. P. Simulação da janela de semeadura para o milho irrigado no Estado de Minas Gerais. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq, 11., 2016, Sete Lagoas. [Trabalhos apresentados]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

PAIXÃO, J. de S.; ANDRADE, C. de L. T. de; SILVA, P. P. G. da; MAGALHÃES, B. G.; MELO, B. F. **Aptidão e potencial de produção de milho em municípios de Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 41 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 199).

STACKHOUSE, P. **Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)**. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 25 set. 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. [Washington, D. C.], 1989. 14 p. (WCDP, n. 10; WMO-TD, n. 341).

**Embrapa**  
*Milho e Sorgo*



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

