

ISSN 0104-1347

## Riscos de decréscimo na produtividade de trigo devido a elementos climáticos, em diferentes épocas, na região dos Campos Gerais, Paraná

Risk of wheat yield decrease due climatic variables, according to planting dates, in the region of Campos Gerais, Paraná, Brazil

Rogério Teixeira de Faria<sup>1</sup>; Eduardo Yasuji Chibana<sup>2</sup> e Jonas Galdino<sup>3</sup>

**Resumo** - Na região dos Campos Gerais, Paraná, devido aos riscos climáticos, a semeadura de trigo, em época adequada, é vital para obtenção de produtividades elevadas e estáveis. No presente trabalho, os riscos de adoção de diferentes épocas de semeadura de trigo na região foram quantificados por simulação, utilizando-se o modelo de balanço hídrico SIMBA acoplado a uma função de produção. Dados de solos, clima e da cultura foram utilizados no modelo para estimar a produtividade de uma variedade de trigo de ciclo médio em 20 localidades que tinham dados meteorológicos históricos, considerando sete épocas de semeadura a partir de 15 de abril até 15 de julho, em intervalos de 15 dias, durante 15 anos. Os resultados das simulações, apresentados em mapas e em gráficos, considerando diferentes níveis de probabilidade, indicaram uma forte influência da geada na queda de produtividade da cultura, principalmente na parte sul da região, enquanto que o estresse hídrico apresentou influência moderada no decréscimo de produtividade, principalmente na parte norte. O risco de decréscimo da produtividade devido à deficiência hídrica e geadas pode ser minimizado com semeaduras a partir de 1º de junho nas áreas ao norte dos Campos Gerais e a partir de 15 de junho nas áreas do centro e sul. No entanto, a possibilidade de chuva na colheita aumenta com o atraso da semeadura.

**Palavras-chave:** Simulação, balanço hídrico, zoneamento agrícola

**Abstract** - In the region of Campos Gerais, Paraná, Brazil, sowing wheat in appropriate periods is crucial for achieving high and stable yields. The risks for adoption of different planting dates for wheat in the region were assessed by simulation using the water budget model SIMBA, couple with a production function. Soil, climate and crop data were use in the model to estimate crop yield of a median cycle cultivar for 20 sites with existing meteorological records, assuming 7 planting dates from April 15 to July 15, in 15 day intervals, during 15 years. The results of the simulations, which were represented by by maps and graphs considering expected probabilities, showed a strong influence of frost in yield decrease, mostly for the southern part of the region, while water stress had a mild influence, mainly for the northern part. Ultimately, the simulations indicate that risk of yield decrease due to frost and water stress can be mitigated by sowing after June 1 in the areas of the north and after June 15 in the areas of the center and south of Campos Gerais. However, sowing late increases possibilities for rain during the harvesting period.

**Key words:** Simulation, water balance, crop zoning

### Introdução

O aumento da produtividade e conseqüentes implicações de ordem ambiental decorrentes da exploração agrícola dependem fundamentalmente do uso racional e integrado dos recursos de solo, clima

e práticas de cultivo. A quantificação do risco de sucesso de determinada prática de manejo de cultura possibilita a definição das melhores estratégias a serem adotadas para minimização dos efeitos dos fatores desfavoráveis.

<sup>1</sup>PhD, Pesquisador III, Área de Engenharia Agrícola do IAPAR, Cx Postal 486, 86001-970 – Londrina – PR, rtfaria@pr.gov.br

<sup>2</sup>Eng. de Computação, Bolsista PNP&D/ Café/IAPAR

<sup>3</sup>Processamento de Dados, IAPAR

Considerando as características dinâmicas dos vários processos envolvidos no sistema de produção agrícola, a avaliação de estratégias de manejo via experimentação tradicional é cara e demorada, pois demanda repetições em escalas temporal e espacial. Na maioria das vezes, há dificuldade (ou mesmo a impossibilidade) de síntese dos resultados obtidos em condições tão variáveis.

Os modelos de simulação do sistema solo-planta-atmosfera constituem um método adequado para estudos que envolvem aplicações sob condições de grande variabilidade ambiental, pois permitem determinar os riscos envolvidos na produção agrícola em função dos principais componentes de produção. Possibilitam a repetição de diferentes condições de manejo em vários anos e locais, usando-se dados climáticos históricos ou sintéticos (HARRISON *et al.*, 1989). Os resultados, representados em forma de funções de probabilidade, ao invés de simples médias, permitem mensurar a variabilidade do desempenho das diferentes técnicas adotadas, possibilitando a definição de estratégias mais adequadas para a obtenção de produtividades máximas e estáveis, com menor custo de produção e impacto ambiental. A interpretação e a aplicação da informação pode ser facilitada pela representação espacial dos resultados das simulações em mapas com escala regional. Assim, o uso de modelos pode proporcionar valiosa contribuição, a um baixo custo, para o entendimento dos processos condicionantes da produtividade e para melhorar as recomendações de práticas de manejo de solo e culturas em diferentes áreas.

Modelos matemáticos com diferentes graus de complexidade vêm sendo amplamente utilizados em vários países para definição de melhores práticas de irrigação e drenagem, determinação de riscos de déficit hídrico, respostas de culturas à suplementação hídrica e nutricional, definição de sistemas de rotação de culturas em áreas irrigadas e quantificação de impactos ambientais (PENNING DE VRIES *et al.*, 1982; JONES *et al.*, 1998). Esses modelos foram amplamente testados em condições de clima tropical e temperado e são prontamente aplicáveis como diagnóstico e solução de problemas da produção agrícola. No Brasil, o desenvolvimento e aplicação de modelos de simulação vêm se tornando cada vez mais frequentes na solução de problemas agronômicos, hidrológicos e agrometeorológicos (FARIA *et al.*, 1997; FARIA & FOLEGATTI, 1999; CARDOSO, 2001; SOLER *et al.*, 2001; CARAMORI &

FARIA, 2002; BASTOS *et al.* 2002; HEINEMANN, *et al.* 2002, STONE *et al.*, 2002).

A calibração é a principal dificuldade desses modelos, pois requer dados experimentais confiáveis durante longo período para se representar as condições típicas da área de aplicação. Considerando a grande dificuldade de obtenção desses dados, o uso de modelos simples, denominados de funções de produção, que consideram os efeitos da chuva, evapotranspiração e características de solos constituem boa alternativa para simular adequadamente a resposta de produção em condições de interesse. As funções de produção podem ser facilmente calibradas com dados locais de fácil obtenção, tais como os valores observados de produtividade e as respectivas informações de datas de semeadura ao longo dos anos, além das condições climáticas e de solo locais.

FARIA & MADRAMOOTOO (1997) calibraram diferentes funções de produção para a cultura do trigo no estado do Paraná e concluíram que esse método é apropriado para estudos de determinação de riscos de deficiência hídrica e resposta de irrigação na região do estudo. Os autores desenvolveram e validaram também um modelo de balanço hídrico (FARIA & MADRAMOOTOO, 1997), posteriormente denominado de SIMBA, que é utilizado no Sistema de Monitoramento Agroclimático do Paraná (CARAMORI & FARIA, 2002).

A cultura do trigo é de grande importância para utilização das áreas dos Campos Gerais, PR, que é considerada uma das regiões mais tecnificadas do país. Devido aos riscos climáticos, a semeadura do trigo em época adequada é vital para obtenção de produtividades elevadas e estáveis, bem como para compatibilizar o sistema de rotação de culturas, adequando-se o ciclo de crescimento desse cereal com os cultivos de verão.

A regionalização para épocas de semeadura de trigo no estado do Paraná foi baseada em critérios relacionados às exigências térmicas e hídricas da cultura, usando-se médias de dados climáticos históricos, complementadas por informações de experimentação de campo e julgamento subjetivo da equipe técnica envolvida no trabalho (CARAMORI *et al.*, 2002). Embora úteis para identificar e comparar áreas com problemas climáticos, os resultados desse tipo de trabalho, por serem qualitativos, não permitem

quantificar os riscos de adoção das diferentes épocas de semeadura para então subsidiar a tomada de decisão pelos agricultores.

Neste estudo, utilizou-se o modelo de balanço hídrico SIMBA, acoplado a uma função de produção, para quantificar os riscos de adoção de diferentes épocas de semeadura de trigo na região dos Campos Gerais, PR, visando subsidiar tomadas de decisão de manejo da cultura.

## Material e métodos

Desenvolveu-se uma interface em linguagem Delphi para facilitar a organização das simulações, entrada de dados e apresentação dos resultados. Essa interface possibilitou cadastrar as simulações, especificando-se o cultivo, a época de semeadura e o número de anos a serem simulados, além de se definir o solo e a estação meteorológica do local. Os dados dos cultivos, de solos e de clima foram previamente armazenados em um banco de dados do sistema, que era acessado para se obter os dados necessários em cada simulação cadastrada. Esses dados eram armazenados em arquivos temporários do tipo ASCII, com formatos específicos, conforme requeridos pelos módulos do balanço hídrico e da função de produção, programados em linguagem Fortran. Após o processamento, os resultados eram organizados em arquivos, também do tipo ASCII, para serem apresentados em tabelas e gráficos ou exportados para aplicativos de mapeamento. Os mapas foram elaborados pela interpolação dos resultados das simulações usando-se o programa Surfer<sup>TM</sup> e apresentados em uma figura do CorelDraw<sup>TM</sup>.

O balanço hídrico foi calculado pelo modelo SIMBA (FARIA & MADRAMOOTOO, 1996), que estima componentes do balanço hídrico de uma superfície vegetada em solo estratificado, utilizando dados diários de precipitação e evapotranspiração potencial, além de coeficientes que descrevem o crescimento de culturas (índice de área foliar e profundidade de raízes) e características de solos (curvas de retenção e condutividade hidráulica insaturada). Nesse modelo, a infiltração e redistribuição de água no solo são governadas pela equação de Darcy e a evapotranspiração real é dada pela soma de três termos: evaporação pela superfície do solo, transpiração e evaporação da precipitação interceptada no dossel vegetal. Estes termos dependem da demanda climática, disponibilidade de água no solo e características

de extração de água e estrutura da planta. Além da separação da evapotranspiração em seus componentes, o modelo calcula também fluxos, potencial matricial e umidade do solo em diferentes profundidades do perfil, escoamento e acúmulo de água na superfície.

A função de produção foi acoplada ao modelo de balanço hídrico para se calcular a produtividade de trigo, representada por um valor relativo, dado pela razão entre a produtividade potencial e a produtividade real, em que a produtividade real é decrescida da potencial devido às condições de estresses hídrico e térmico. A produtividade relativa (PR) varia de 0 a 1 e é descrita pela seguinte equação modificada de FARIA & MADRAMOOTOO (1997):

$$PR = (1 - 0.0575 SDI) f(T \text{ min}) \quad (1)$$

em que,  $f(T_{\text{min}})$  representa o estresse térmico devido ao efeito da geada, assumindo-se valor igual a zero ou 1 quando a temperatura mínima do ar for menor ou maior que 1°C, respectivamente, durante período de espigamento e final de grão leitoso.

O termo SDI da Equação 1 representa um índice de estresse hídrico, conforme o método descrito por HILER & CLARK (1971). O valor de SDI é acumulado diariamente, desde a emergência ( $i=1$ ) até a maturação fisiológica ( $i=N$ ), somando-se o resultado do produto entre um coeficiente de sensibilidade da cultura ao estresse hídrico (CS) e o valor calculado do grau de intensidade do estresse hídrico (SD), conforme a seguinte relação:

$$SDI = \sum_{i=1}^N CS_i SD_i \quad (2)$$

A sensibilidade da cultura ao estresse hídrico varia durante o desenvolvimento do cultivo, sendo caracterizada por valores de CS determinados previamente em experimentos de campo e usados no modelo como dados de entrada. A intensidade do estresse hídrico é dada pela seguinte relação:

$$SD = 1 - \frac{T}{TP} \quad (3)$$

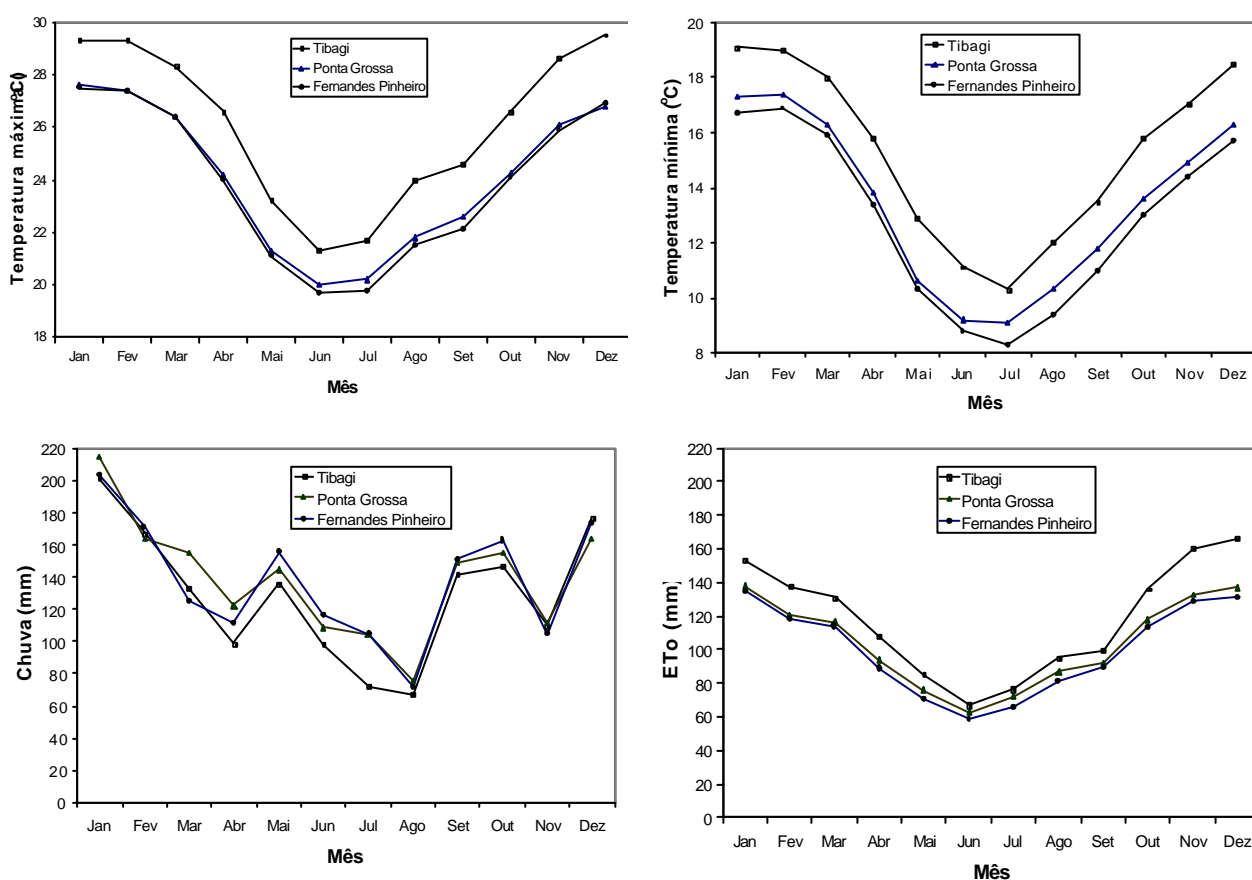
na qual T e TP são, respectivamente, transpiração real e potencial calculadas diariamente pelo modelo SIMBA.

A região dos Campos Gerais apresenta clima subtropical úmido, com médias mensais de temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial conforme apresentado na Figura 1, para três localidades típicas da região, cujas localizações são fornecidas na Figura 2. A temperatura média decresce no sentido norte-sul, com menores valores em junho e julho. De sul para norte, ocorre aumento nos valores de evapotranspiração, que é sempre menor que a precipitação em todos os meses, exceto em agosto, quando ocorre ligeiro déficit, principalmente na faixa norte, onde os valores de chuva são ligeiramente mais baixos que nas áreas a sul da região.

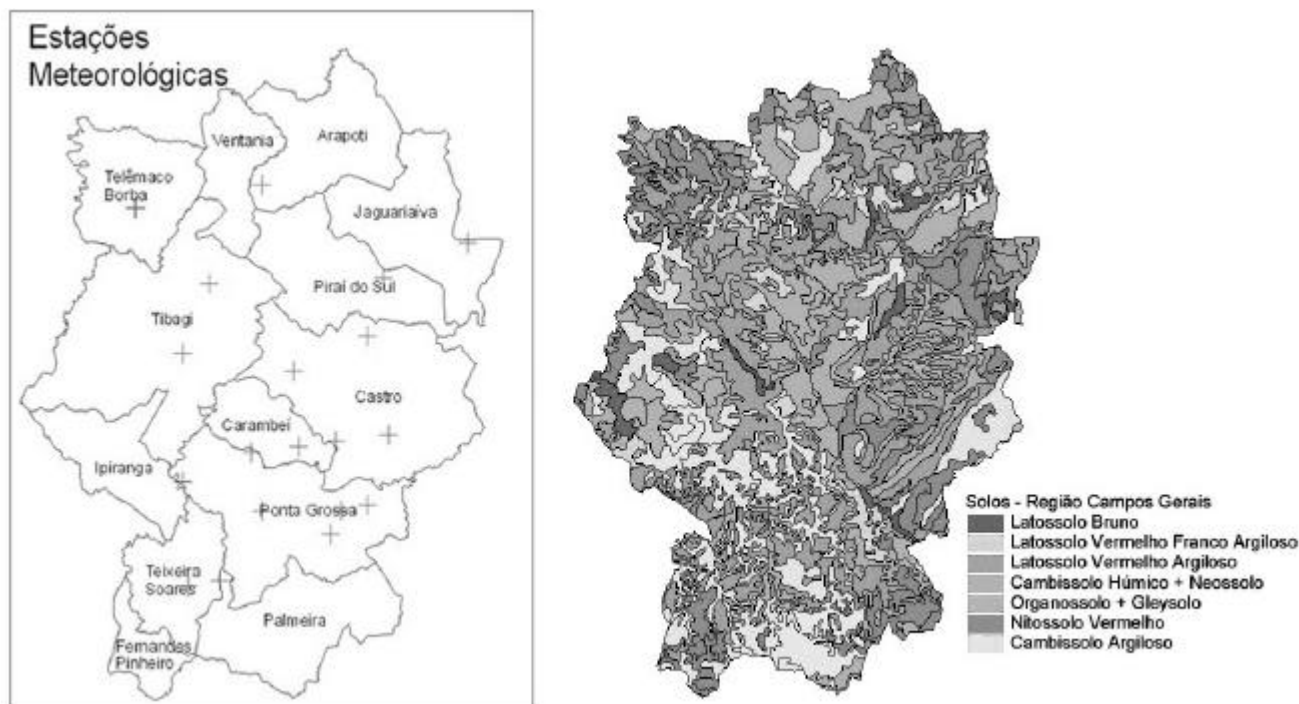
Os solos da região dos Campos Gerais, em geral, apresentam alta retenção de água devido à elevada concentração de matéria orgânica. A distribuição dos solos da região é apresentada na Figura 2 e foi obtida do mapa de levantamento de solos do estado do Paraná, na escala de 1:600.000 (EMBRAPA, 1984), agrupando-se os grandes grupos de solos em sete classes, de acordo com a capacidade de uso e as características físico-hídricas.

Os dados climáticos utilizados no estudo foram obtidos de 17 postos pluviométricos da SUDERSHA e 3 estações meteorológicas do IAPAR, distribuídas espacialmente de acordo com o mapa apresentado na Figura 2. Para completar os dados meteorológicos nas áreas de abrangências dos postos da SUDERSHA, utilizaram-se dados de temperatura e horas de insolação das estações do IAPAR mais próxima. Após a consistência dos dados históricos, calculou-se a evapotranspiração potencial pelo método de Ritchie-priestley & Taylor (RITCHIE, 1985) para utilização no modelo SIMBA, bem como com os valores de temperatura e precipitação.

Para as classes de solos definidas na Figura 2, foram amostrados perfis típicos para se determinar, em laboratório, as características de retenção de água (Tabela 1) e condutividade hidráulica saturada do solo. As curvas de retenção de água foram ajustadas à equação de van Genuchten (VAN GENUCHTEN & NIELSEN, 1985), cujos coeficientes, com os valores de condutividade hidráulica



**Figura 1.** Médias mensais de temperatura máxima, mínima, precipitação e evapotranspiração de referência (ETo) para três localidades dos Campos Gerais, PR, durante 1985-1999.



**Figura 2.** Distribuição das estações meteorológicas e de solos na região dos Campos Gerais, PR.

saturada, foram utilizados como dados de entrada no modelo SIMBA.

Finalmente, os coeficientes de sensibilidade da cultura utilizados para parametrizar a função de produção descrita pela Equação 2 foram obtidos de FRIZZONE & OLITTA (1990) e representados em função do valor percentual do ciclo de cultivo (Figura 3).

Para cada estação meteorológica, foram avaliadas sete estratégias de manejo da cultura de trigo, correspondentes às épocas de semeadura a partir de 15 de abril até 15 de julho, em intervalos de 15 dias, durante 15 anos (1985-99). Assumiu-se uma variedade de ciclo médio (140 dias) e não foi considerado o efeito de deficiência hídrica na fase de semeadura-emergência, iniciando-se cada ciclo de cultivo simulado com o perfil de solo com 80% da capacidade máxima de retenção de água.

Além dos efeitos de estresse hídrico e térmico, considerou-se também a possibilidade de chuva na colheita como sendo uma limitação em cada estratégia, por diminuir a qualidade do produto. Considerou-se a ocorrência de danos por chuva na colheita quando se acumularam 75 mm de chuva no período de maturação fisiológica e colheita, correspondentes ao período aproximado de 10 dias do final do ciclo.

## Resultados e discussão

A precipitação média acumulada durante os 15 ciclos de cultivo simulados variou de 250 a 650 mm, em função das épocas de semeadura e localização geográfica (Figura 4), sendo mais elevada nas três épocas mais tardias por incluir os meses da primavera, que são mais chuvosos do que os de inverno (Figura 1). Em geral, a faixa norte apresentou menor precipitação durante os ciclos simulados que a faixa sul, principalmente nas quatro épocas de semeadura mais precoces, devida à tendência do inverno ser mais seco nas áreas do norte. Os ciclos de cultivo com menor precipitação foram os semeados durante o mês de maio, com totais variando entre 250 e 350 mm no setor norte e entre 350 e 450 mm no setor sul (Figura 3).

Os valores médios do índice diário de estresse hídrico (SDI), totalizado durante os ciclos de cultivo, simulados ao longo da série de dados climáticos históricos (1985-99), são resultados da interação entre a disponibilidade de precipitação, a demanda evaporativa da atmosfera (evapotranspiração potencial) e a capacidade de retenção de água no solo para suprir a demanda hídrica durante os períodos críticos do cultivo (Figura 5). Ao contrário das médias de precipitação, os valores do índice mostram menor

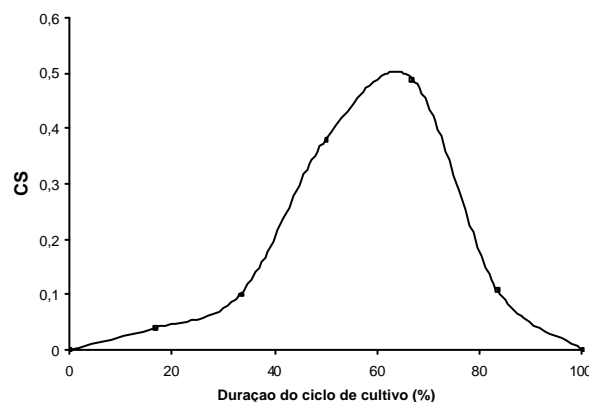
**Tabela 1** Características de retenção de água ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) em perfis típicos dos agrupamentos de solos definidos para a região dos Campos Gerais-PR

Tipo de Solo/camada (cm)	Saturação	Capacidade de campo <sup>1</sup>	Ponto de murcha permanente <sup>2</sup>
Latossolo Bruno			
0-40	0,650	0,471	0,350
40-85	0,680	0,529	0,334
85+	0,720	0,405	0,336
Latossolo Vermelho franco argiloso			
0-30	0,710	0,513	0,293
30-70	0,607	0,471	0,293
70+	0,492	0,388	0,257
Latossolo Vermelho argiloso			
0-10	0,700	0,543	0,320
10-40	0,700	0,546	0,310
40+	0,730	0,552	0,327
Cambissolo Húmico + Neossolo			
0-10	0,800	0,382	0,195
10+	0,620	0,494	0,327
Organossolo +Gleysolo			
0-10	0,840	0,383	0,195
10-20	0,840	0,636	0,510
40-70	0,890	0,859	0,549
70+	0,850	0,812	0,695
Neossolo Vermelho			
0-10	0,600	0,488	0,366
10-40	0,590	0,517	0,335
40-100	0,620	0,494	0,327
Cambissolo argiloso			
0-20	0,680	0,554	0,451
20-40	0,670	0,512	0,380
40+	0,670	0,596	0,480

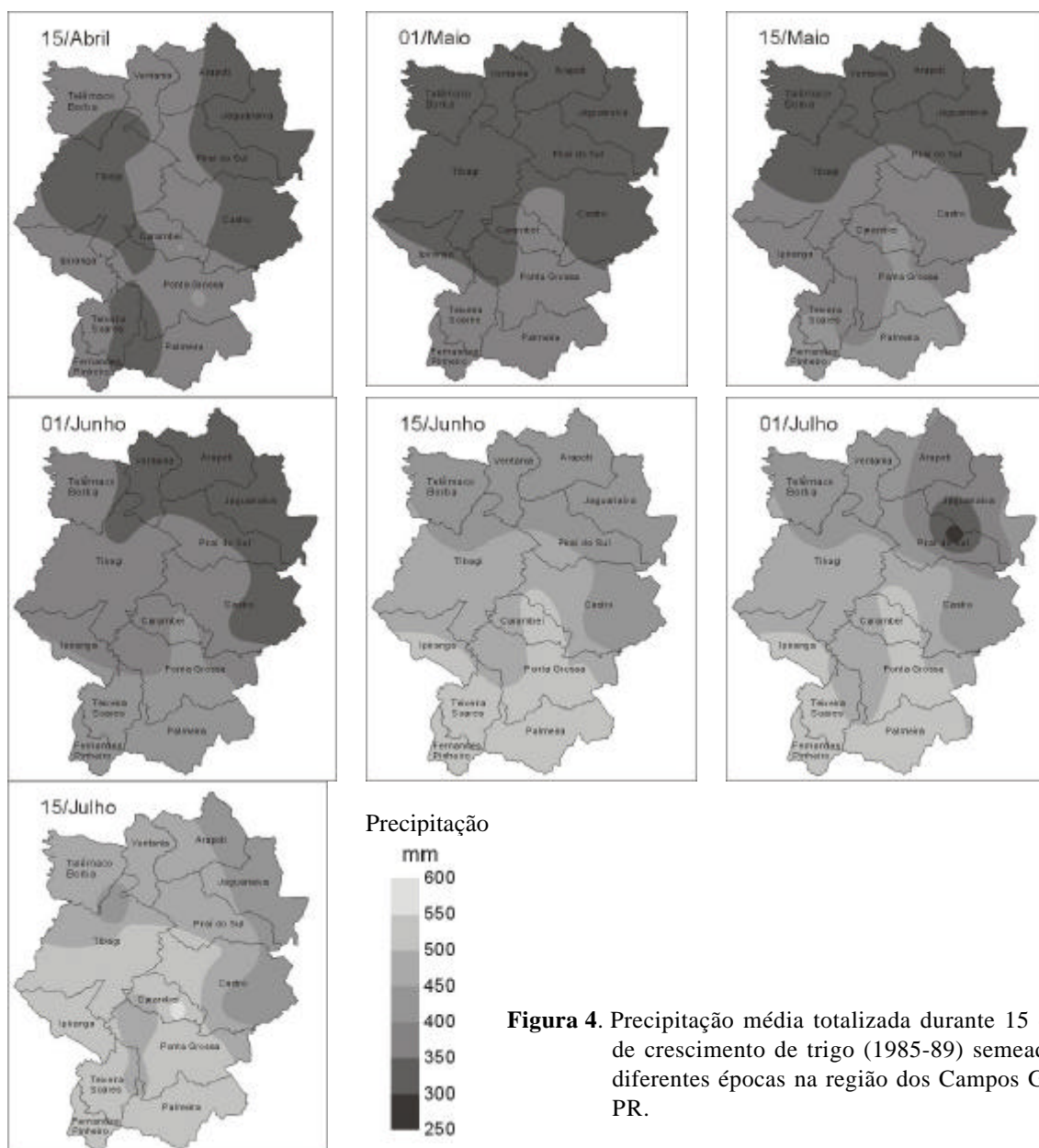
<sup>1</sup>tensão = 10 kPa, <sup>2</sup> tensão = 1500 kPa.

estresse hídrico nas três primeiras épocas de semeadura que nos cultivos semeados a partir de 1 de junho, sendo maior na faixa norte do que na faixa sul. Maior expressão do SDI foi evidenciado nas semeaduras de 15 de junho e 1 de julho, principalmente nos municípios do centro norte da região, ocorrendo valores médios de 3 a 5. Esses resultados decorrem da coincidência, em agosto e início de setembro, do período de menor precipitação com o de evapotranspiração potencial mais elevada, resultando em deficiência hídrica durante os períodos mais críticos dos cultivos semeados em meados de junho início de julho.

As épocas mais tardias apresentam menor risco de geada durante o período sensível da cultura do trigo, em comparação com as épocas de semeadura mais precoces (Figura 6). Assim, para os cultivos semeados a partir de 15 de junho em Tibagi, não ocor-



**Figura 3.** Variação do coeficiente de sensibilidade da cultura do trigo (CS) descrito pela Equação 2 durante o ciclo de cultivo (modificado de FRIZZONE & OLITTA, 1990).

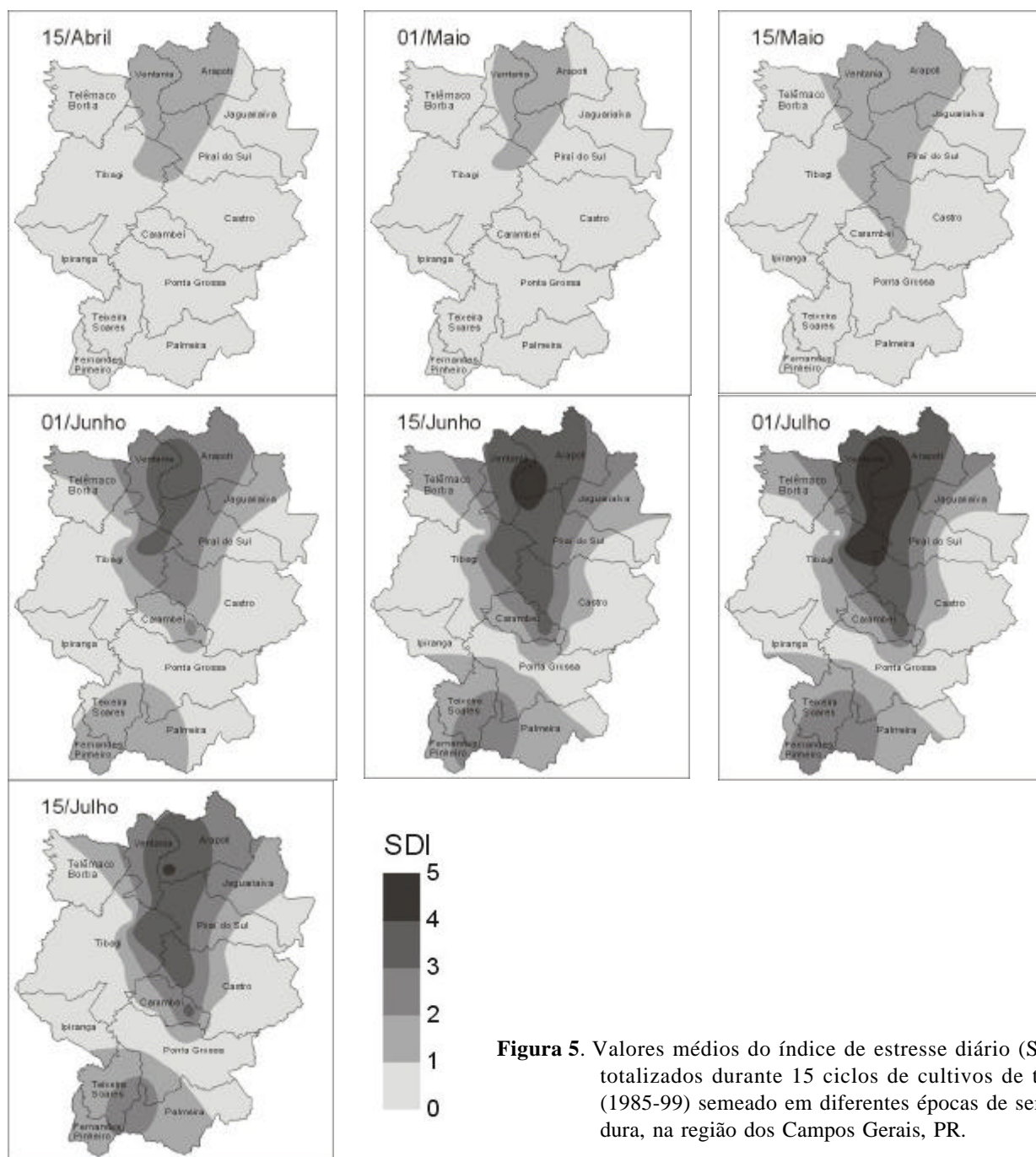


**Figura 4.** Precipitação média totalizada durante 15 ciclos de crescimento de trigo (1985-89) semeado em diferentes épocas na região dos Campos Gerais, PR.

reú geadas durante o período de espigamento-final de grão leitoso em nenhum dos 15 anos simulados. Para as outras épocas, constatou-se o risco de, pelo menos, um evento a cada 15 anos para a semeadura em 15 de junho, um evento a cada 3 anos para a semeadura em 1 de maio e um evento a cada 4 anos para as semeaduras em 15 de abril e 15 de maio.

Na área central e ao sul dos Campos Gerais, o risco de geadas é mais elevado devido ao inverno mais rigoroso que na parte norte da região (Figura 6), principalmente para as semeaduras mais precoces. Os resultados revelam risco de danos por geada de 80% em Fernandes Pinheiro e de 53% em Ponta Grossa para a semeadura em 15 de abril e de 60% para ambas



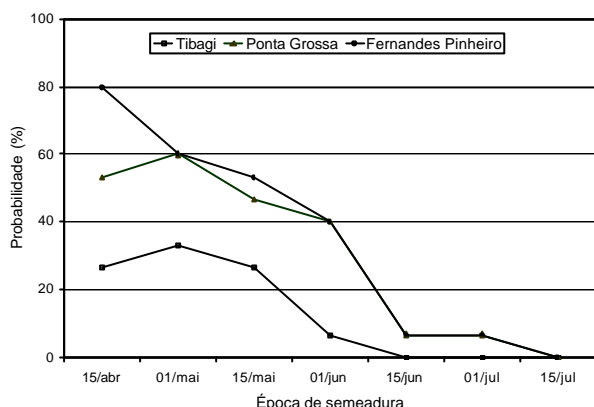


**Figura 5.** Valores médios do índice de estresse diário (SDI), totalizados durante 15 ciclos de cultivos de trigo (1985-99) semeados em diferentes épocas de semeadura, na região dos Campos Gerais, PR.

as localidades para a semeadura de 1 de maio. O risco ainda é alto para as semeaduras em 15 de maio (cerca de 50%) e 1 de junho (40%), mas decresce consideravelmente (6,7%) para os cultivos semeados a partir de 15 de junho, tornando-se nulo para a semeadura em 15 de julho. Esses resultados estão de acordo com os de GRODSKI *et al.* (1996), que calcularam riscos mais elevados e períodos mais longos de ocorrência de geadas para a Região Sul do Paraná, em comparação com a Região Norte do estado.

A produtividade relativa média simulada variou com as épocas de semeadura e locais dos Campos Gerais (Figura 7), em consequência da disponibilidade de precipitação durante o ciclo do trigo, da capacidade de retenção de água no solo e da frequência de geadas de cada uma das áreas simuladas. Em geral, as maiores médias foram estimadas para as semeaduras tardias, de 15 de junho a 15 de julho, principalmente devido ao menor risco de geadas durante os períodos críticos do ciclo de desenvolvimento do trigo.





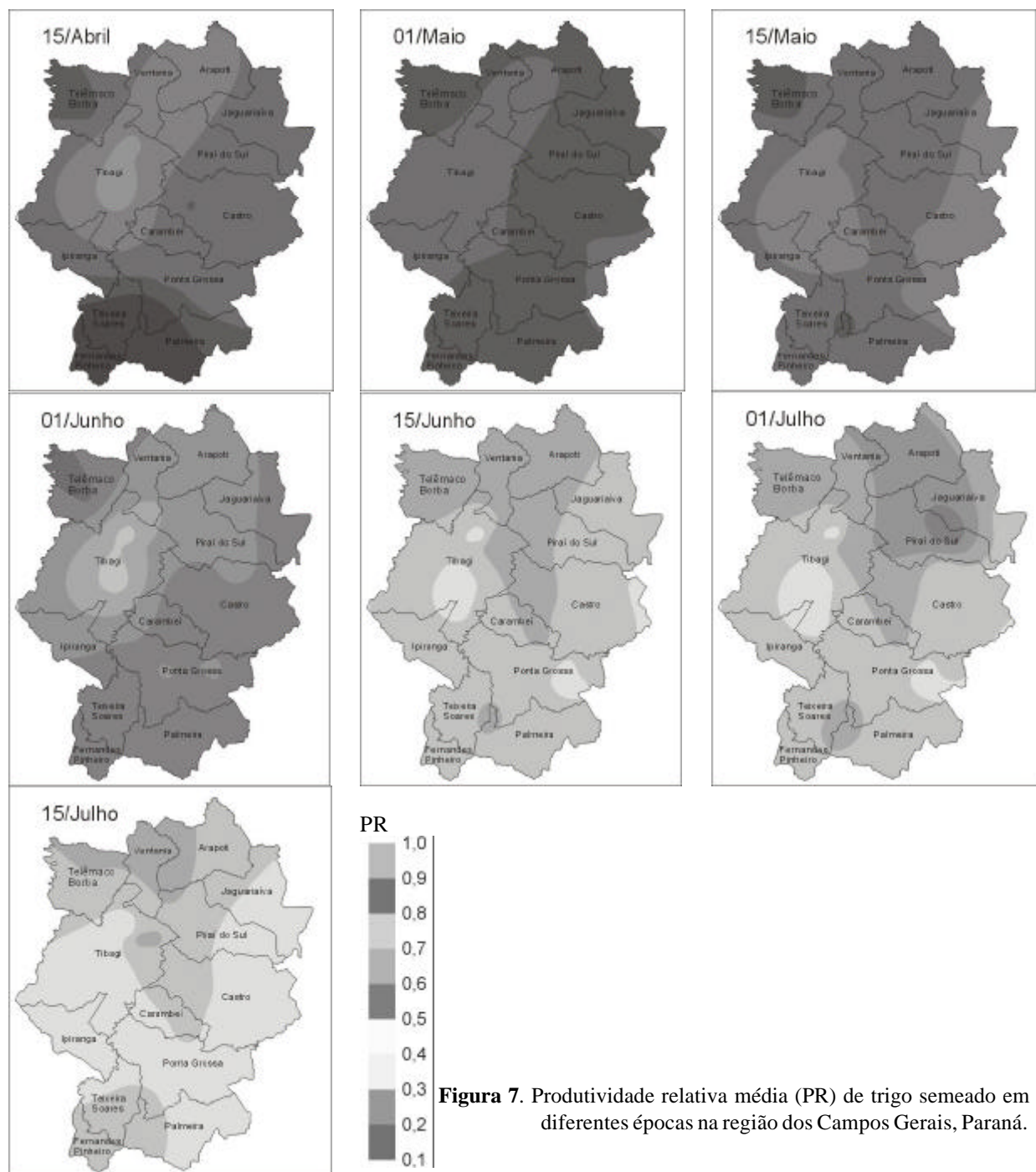
**Figura 6.** Probabilidade de ocorrência de geada durante o período espigamento-grão leitoso, de acordo com diferentes épocas de semeadura, em três localidades dos Campos Gerais, PR.

Nas áreas da parte central e ao sul dos Campos Gerais, para as três épocas mais tardias, simulou-se aumento da produtividade à medida que se atrasou a semeadura, de 15 de junho para 1 ou 15 de julho (Figura 7). Esse efeito é devido, principalmente, ao fato de que o risco de geadas em agosto ainda é relativamente alto para os cultivos semeados em 15 de junho (19 a 20%) e menor para a semeadura em julho (6 a 7%), conforme apresentado na Figura 6. A geada é o fator mais limitante também nas épocas de semeadura mais precoces na parte central e sul da área de estudos, causando decréscimos de produção de 40 a 60%. No extremo sul da região, decréscimo de produção médio é de 70 a 80% para a semeadura de 15 de maio, por causa do risco elevado de geadas nas áreas próximas a Fernandes Pinheiro.

Na faixa norte da área de estudos, para todas as épocas de semeadura, foram simulados valores mais elevados na região de Tibagi e Telêmaco Borba, em comparação com os resultados de Arapoti, Jaguariaiva e Pirai do Sul (Figura 7), devido à maior precipitação durante o ciclo da cultura (Figura 4). Da mesma forma que os resultados obtidos para a porção central e sul, as épocas de semeadura a partir de 15 de junho também apresentaram as maiores produtividades, porém a geada teve menor influência na produtividade média nessas áreas, mas ainda causou perdas elevadas, principalmente para os cultivos semeados antes de 15 de junho. Maiores decréscimos de produtividade foram estimados para os cultivos semeados em 15 de maio, variando de 40 a 50% nas localidades à noroeste e de 50 a 60% nas localidades a nordeste.

A quantificação dos riscos de decréscimo de produção para as três localidades representativas dos Campos Gerais (Figura 8) confirma os resultados nos mapas da Figura 7. Para as semeaduras precoces, a comparação entre as localidades revelou risco crescente de decréscimo de produtividade com o aumento da latitude. Assim, para cultivos anteriores a 15 de maio podem ocorrer perdas de produção entre 70 e 90% em ¼ dos anos ( $p=25\%$ ) em Tibagi, 80 e 90% em Ponta Grossa e 90 e 100% em Fernandes Pinheiro. Para o mesmo período, são esperados cerca de 50% de decréscimos de produtividade na metade dos anos em Tibagi e aproximadamente 60% em Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro. Os resultados confirmam ainda que há menor risco climático para semeaduras após 1º de junho nas localidades do norte (Tibagi) e, após 15 de junho, nas do sul (Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro). Para essas épocas de semeadura, os resultados mostram maior estabilidade da produtividade para o setor sul da região do que nas áreas do norte. Desse modo, pode-se esperar decréscimos de até 68% ( $PR = 0,32$ ) em 10% dos anos para os cultivos semeados em 1 de junho, enquanto que as perdas são menores que 41% ( $PR=0,59$ ) em Ponta Grossa e 53% ( $PR=0,47$ ) em Fernandes Pinheiro para o mesmo nível de probabilidade. A maior variabilidade em Tibagi deve-se ao maior risco de deficiência hídrica durante os períodos críticos da cultura, conforme constatado pelos maiores valores de SDI obtidos para o setor norte da região, em comparação com os valores calculados para as áreas da parte sul (Figura 4).

Na consideração de outros fatores que condicionam a definição das épocas de semeadura para a cultura do trigo, as análises de risco de chuva na colheita mostraram tendência semelhante nas diferentes áreas da região dos Campos Gerais (Figura 9), uma vez que a distribuição estacional do regime de precipitação da região não difere consideravelmente, apesar das áreas ao norte apresentarem menor precipitação no inverno (Figura 1). Os resultados simulados revelam que os cultivos com semeadura em 15 de abril não sofreram danos por chuva na colheita em nenhum dos 15 anos considerados, uma vez que o total de chuva acumulado no final do ciclo foi menor que o valor estabelecido como critério. O baixo risco, nessa época de semeadura, deve-se ao fato da fase final do ciclo coincidir com a segunda quinzena de agosto, que é o período mais seco do ano na região. No entanto, o risco aumenta gradativamente à medida que se atrasa a semeadura, devido à coincidência

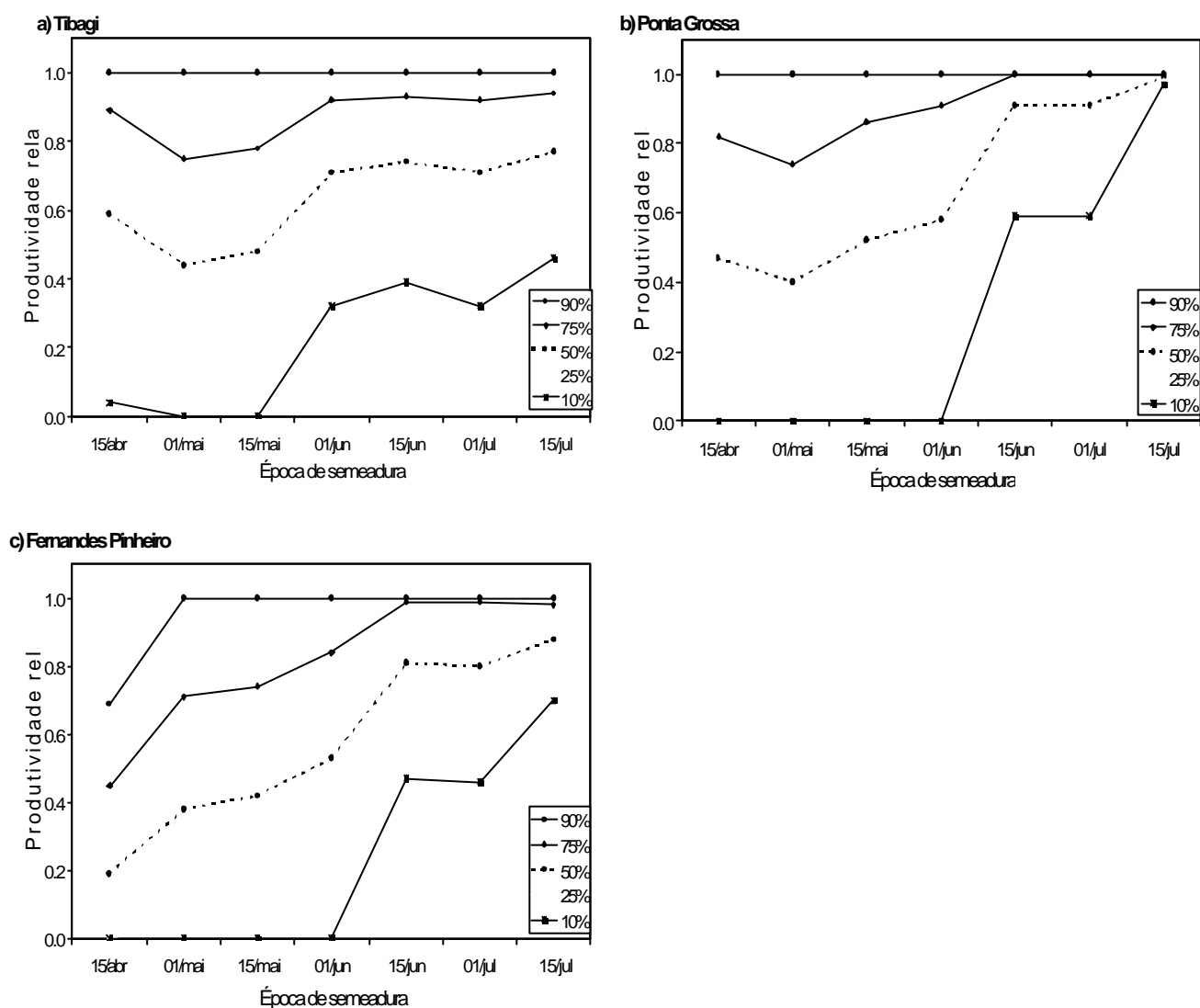


**Figura 7.** Produtividade relativa média (PR) de trigo semeado em diferentes épocas na região dos Campos Gerais, Paraná.

do período de colheita com períodos em que ocorre aumento da frequência e lâmina de precipitação (setembro a dezembro), atingindo valores máximos (35 a 40%) para os cultivos com semeadura no mês de junho e decrescendo ligeiramente (18 a 30%), nas semeaduras de julho (Figura 6b).

Esses resultados, bem como os valores produtividade simulados, demonstram a complexidade de se decidir por épocas de semeadura, visto que a

probabilidade de se obter produtividades mais elevadas e estáveis em semeaduras tardias confronta-se com o maior risco de chuva na colheita. Além desses, outros fatores devem ser considerados na definição da época de semeadura, tais como a ocorrência de doenças da espiga e também o fato de que, nos Campos Gerais, os agricultores preferem semear mais cedo com o intuito de liberar o terreno por ocasião do início da safra de verão, que ocorre a partir de outubro.



**Figura 8.** Produtividade média esperada de trigo para diferentes níveis de probabilidade, em função de épocas de semeadura simuladas para três localidades representativas dos Campos Gerais, Paraná, durante o período 1985-99.

## Conclusão

Os riscos de decréscimo de produtividade devido à deficiência hídrica e geadas podem ser minimizados com semeaduras a partir de 1 de junho nas áreas ao norte dos Campos Gerais e a partir de 15 de junho nas áreas do centro e sul. No entanto, os riscos de chuva na colheita aumentam com o atraso da semeadura.

## Referências bibliográficas

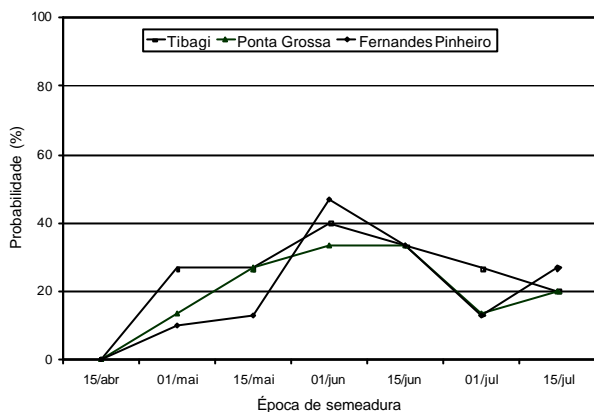
BASTOS, E. A. et al. Simulation of growth and development of irrigated cowpea in Piauí state by

CROPGRO model **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1381-1387, 2002

CARAMORI, P. H.; FARIA, R. T. de Sistema de Monitoramento Agrolimático para o Estado do Paraná. IAPAR. Disponível em: [www.pr.gov.br/iapar/sma](http://www.pr.gov.br/iapar/sma). Acessado em: 2002

CARAMORI, P.H. et al Zoneamento agrícola do Paraná – Trigo. IAPAR. Disponível em: [www.pr.gov.br/iapar/zonpr/Trigo.htm](http://www.pr.gov.br/iapar/zonpr/Trigo.htm). Acessado em: 2002

CARDOSO, C.O. **Análise de riscos climáticos e estratégias de irrigação para milho safrinha no Paraná, através de modelos de simulação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiza de Queiróz/ USP, 2001. 114p. Tese (doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP



**Figura 9.** Probabilidade de ocorrência de chuva na colheita, de acordo com diferentes épocas de semeadura, em três localidades dos Campos Gerais, PR.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná.** Curitiba: EMBRAPA/SUDESUL/IAPAR, 1984. 791 p. (Boletim de Pesquisa 27).

FARIA, R.T. de, MADRAMOOTOO, C.A. Simulation of soil moisture profiles for wheat in Brazil, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 31, n. , p. 35-49, 1996

FARIA, R.T. de; MADRAMOOTOO, C.A. Evaluation of crop-water production functions for wheat (*Triticum aestivum*) in Brazil Tropical Agriculture, **Trinidad** Porto Spain, v. 74, n. 1, p. 18-24, 1997

FARIA, R. T. de et al. Determination of a long-term irrigation strategy for drybeans in Parana State-Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 54, n. Especial, p. 155-164, 1997

FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V. Dimensionamento de sistemas de irrigação para feijão, usando-se simulação de longo período. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999. Florianópolis, **Anais...**, Florianópolis-SC: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. (CDROM).

FRIZZONE, J.A.; OLITTA, A.F.L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção de trigo. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 23-26, 1990

GRODZKI, L. et al. Risco de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

HARRISON, S.R.; THORNTON, P.K.; DENT, J.B. The role of simulation experiments. **Agrotechnology Transfer**, v. 9, n. 8, p. 10-11, 1989

HEINMANN, A.B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R.T. de Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the state of Parana Agricultural Water Management. **Holanda**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 177-196, 2002

HILER, E.A., CLARK, R.N. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yield. **Transactions of the ASAE**, v. 14, n. 4, p. 757-761, 1971

JONES, J.W. et al. (). Decision support system for agrotechnology transfer, DSSAT v3. In: Tsugi, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton P.K. (Eds.), **Understanding Options for Agricultural Production**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998. p 157-178

PENNING De VRIES, F.T.W., VAN LAAR, H.H. **Simulation of plant growth and crop production**. Pudoc, 1982. 308 p. (Simulation Monographs).

RITCHIE, J.T. A User Oriented Model of the Soil water Balance. In: Day, W.; and R,K, Atkin, R.K. (eds), **Wheat Growth and Modeling**. Londres: Plenum Press, 1985. 293-305p.

SOLER, C. T.; FOLEGATTI, M. V.; FARIA, R. T. de Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis e de práticas adequadas de manejo em milho safrinha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 339-346, 2001

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A., SILVA, J.G. da. Desempenho do modelo computacional SISDA 2.0 no manejo da irrigação do feijoeiro em condições de plantio direto e preparo convencional do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 304-311, 2002

VAN GENUCHTEN, M.; NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annals of Geophysics**, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985