

ISSN 0104-1347

## Análise de risco climático para a cultura de girassol, em algumas localidades de São Paulo e do Paraná, usando os modelos DSSAT/OILCROP-SUN e FAO<sup>1</sup>

Analysis of sunflower climatic risk in São Paulo and Paraná State regions, Brazil, using the DSSAT/OILCROP-SUN and FAO models

Glauco de Souza Rolim<sup>2</sup>, Paulo Cesar Sentelhas<sup>3</sup> e Maria Regina Gonçalves Ungaro<sup>4</sup>

**Resumo** - Determinou-se o risco climático para a cultura do girassol nos Estados de São Paulo e do Paraná. Para esta determinação foram comparadas as Quebras Relativas de Produtividades simuladas por dois modelos, sendo um complexo, pertencente ao sistema DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), denominado OILCROP-SUN e outro, mais simples, preconizado pela FAO (Produtividade Potencial - Método da zona Agroecológica e Produtividade Real). Os cálculos realizados pelos modelos foram feitos na escala diária e a determinação da Quebra Relativa de Produtividade feita a cada 10 dias ao longo de no mínimo 24 anos. Determinaram-se as médias mensais para efeitos de comparação entre os modelos e para a escolha das melhores datas de semeadura para minimizar o risco climático da cultura. Os dados diários utilizados foram temperatura média, máxima e mínima, insolação e precipitação pluviométrica e características físico-químicas dos solos das localidades. Os resultados demonstraram que o risco climático é minimizado para semeaduras entre 01/10 e 20/01 para os municípios de Piracicaba, Ribeirão Preto e Manduri, no Estado de São Paulo. No município de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, a Quebra Relativa Média de Produtividade fica entre 25% a 35% durante o ano, não evidenciando um período mais propício para a implantação da cultura. E em Paranavaí, PR, a Quebra relativa de Produtividade fica entre 35% e 45% durante o ano, existindo um aumento para 45% a 55% entre 01/05 e 20/07. Os resultados mostraram, também, que o modelo FAO não foi diferente do modelo DSSAT/OILCROP-SUN na determinação do risco climático para a cultura do girassol.

**Palavras-chave:** risco climático, girassol, modelagem, DSSAT/OILCROP-SUN, FAO.

**Abstract** - This work was developed aiming to determine the sunflower climatic risk for São Paulo and Paraná States. Determinations were taken to compare the relative loss yield simulated by two models, one of them complex, part of the DSSAT system, called OILCROP-SUN and other, simpler, developed by FAO (Potential Yield- agroecological zone method and real yield). The model calculations were made in daily bases and the relative loss yield determination were accomplished each 10 days during 24 years at least. Later on, it was calculated the monthly average for the comparison between the model estimates and the best sowing period choice, seeking for the crop climatic risk minimization. The daily data utilized were the average, maximum and minimum temperature, sunshine hours, rainfall and soil physical / chemical characteristics. The results indicated that the climatic risk are minimized for sowing between October, 1<sup>st</sup> and January, 20<sup>th</sup> in Piracicaba, Ribeirão Preto and Manduri cities, in São Paulo State. The relative loss yield are between 25% and 35% during the year in Ponta Grossa, in Paraná State, not evidencing a best sowing period. The relative loss yield in Paranavaí was between 35% and 45% during the year, with a increase for 45% to 55% between may, 1<sup>st</sup> and July, 20<sup>th</sup>. The present work demonstrated that the FAO model was similar DSSAT/OILCROP-SUN model in the determination of the sunflower climatic risk.

**Key words:** climatic risk, sunflower, modeling, DSSAT/OILCROP-SUN, FAO.

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor junto à ESALQ/USP.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Depto. de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP, E-mail: [gsrolim@hotmail.com](mailto:gsrolim@hotmail.com)

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr., Depto de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP, e-mail: [pcsentel@carpa.ciaagri.usp.br](mailto:pcsentel@carpa.ciaagri.usp.br)

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr., Centro de Plantas Graníferas, IAC, 13020-902, Campinas, SP, E-mail: [ungaro@cec.iac.br](mailto:ungaro@cec.iac.br)

## Introdução

Grande parte do território brasileiro é considerado apto climaticamente para o cultivo do girassol (UNGARO, 1986). Na prática, considera-se que quando as condições são boas para o milho, também o são para o girassol.

Atualmente, mais de 90% da produção mundial de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) destina-se à produção industrial de óleo comestível, entretanto, existe também a utilização tradicional dessa cultura, no consumo *in natura* de seus frutos (aquênios) por humanos e aves (CÂMARA, 1998).

Na década de 80, os Estados com maior área cultivada foram São Paulo e Paraná, em especial este último, onde o girassol foi semeado em sucessão à soja (REYES et al., 1985). Atualmente, apesar da Região Centro-Oeste ser considerada como a mais promissora para o desenvolvimento da cultura, ela está retornando ao Estado de São Paulo como uma alternativa para a rotação com a cultura de cana-de-açúcar (CÂMARA, 1997).

A duração do ciclo da cultura do girassol e sua produtividade são afetadas principalmente pela temperatura do ar, radiação solar, precipitação, fotoperíodo (GOYNE et al., 1978; SENTELHAS et al., 1994) e quantidade de nitrogênio no solo (VILLALOBOS et al., 1996). Particularmente, a temperatura do ar e o estresse hídrico são considerados como os de maior influência (RAWSON & HIDMARCH, 1982). Na ausência de estresse hídrico, a radiação e a temperatura do ar tornam-se os elementos de restrição à produtividade (MONTEITH, 1990; CHAPMAN et al., 1993).

A sustentabilidade da produção agrícola, ou seja, a sua capacidade de conservar-se no mercado, preservar o ambiente e ter bons retornos financeiros, é freqüentemente ameaçada por fatores de risco. Dentre os fatores de risco na agricultura, destaca-se o climático, que pode ser decorrente de variações na disponibilidade hídrica, de eventos climáticos extremos ou inadequados, além de sua influência indireta no ataque de pragas e doenças. Desse modo, estudos tornam-se necessários para trazer respostas ou técnicas apropriadas para a minimização desses riscos.

A utilização de modelos de simulação de culturas são importantes pois integram de uma forma consistente, o conhecimento de várias disciplinas como agrometeorologia, fisiologia vegetal e ciência do solo, entre outras, possibilitando simulações

acuradas da dinâmica do crescimento de culturas e de sistemas agrícolas (JAME & CUTFORTH, 1996).

O uso de modelos de simulação de culturas na pesquisa tem aumentado substancialmente o que é decorrente da melhoria de técnicas de modelagem e da maior capacidade dos computadores na realização de cálculos (HANKS & RITCHIE, 1991; PENNING DE VRIES et al. 1991).

Apesar disso, a modelagem está ainda em um estágio inicial de desenvolvimento, uma vez que muitos modelos simulam apenas os principais fatores que afetam as culturas, como por exemplo, clima, água, disponibilidade de nitrogênio no solo e carbono para a fotossíntese. Avanços na modelagem poderão incluir novos componentes como os efeitos do preparo do solo, pragas, doenças, ervas daninhas, salinidade do solo e excesso ou déficit de água (JAME & CUTFORTH, 1996).

MONTEITH (1981) constatou que não existe melhoria na previsão de produtividade com o aumento da complexidade dos modelos, independentemente do seu tipo. Devido a isto, alertou que as pesquisas deveriam fazer esforços para condensar seus modelos removendo componentes que contribuam somente com 'ruídos', ou seja, aqueles que não trazem melhorias significativas nas previsões numéricas nos resultados finais (MONTEITH, 1996).

Existe um grande número de exemplos em que modelos altamente detalhados ou reducionistas tiveram um desempenho inferior aos modelos simples na previsão de produtividade. Por exemplo, na cultura do algodão, um modelo de balanço hídrico simples foi superior aos modelos COTTAM e GOSSYM (ASARE et al., 1992). Uma equação empírica teve melhor desempenho que o modelo CERES na previsão da produtividade potencial do trigo no México (BELL & FISCHER, 1994). O modelo SOYGRO foi inferior à uma simples média ponderada na previsão de produtividade de soja (COLSON et al., 1995).

Devido ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo a determinação das melhores datas de semeadura para minimizar o risco climático para a cultura do girassol nos municípios de Piracicaba, Ribeirão Preto e Manduri no Estado de São Paulo e Ponta Grossa e Paranavaí no Estado do Paraná. Para esta determinação foram utilizados dois modelos, sendo um complexo, pertencente ao sistema DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), chamado OILCROP-SUN (VILLALOBOS

et al., 1996) e outro, mais simples, preconizado pela FAO (Produtividade Potencial - Método da zona Agroecológica e Produtividade Real (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

## Material e métodos

Utilizaram-se os dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação pluvial (mm), insolação (horas) e radiação solar global (estimada a partir da insolação com a equação de Angström-Prèscott, dado em MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>) coletados de postos agrometeorológicos de três localidades do Estado de São Paulo e duas do Estado do Paraná, (Tabela1).

Na Figura 1 são apresentadas as variações sazonais médias dos elementos meteorológicos utilizados no presente trabalho, indicando as diferenças entre os locais avaliados.

Foram utilizados também dados relativos aos diferentes solos de cada região como cor, albedo, curva-número, pH, % de fósforo, umidade no ponto de murcha permanente, capacidade de campo, saturação, condutividade hidráulica saturada, densidade global, % de carbono, % de argila, % de silte, % de areia e % de nitrogênio, em diferentes profundidades no perfil do solo (ROLIM, 2000), estimados pelo modelo OILCROP-SUN/DSSAT (Tabela 2).

### Modelo OILCROP-SUN

O modelo orientado a processos OILCROP-SUN, desenvolvido por VILLALOBOS et al. (1996), simula o efeito da temperatura, da radiação solar global e da disponibilidade de água no crescimento e no desenvolvimento de girassol. Para tanto, o modelo simula a biomassa e conteúdo de nitrogênio dos órgãos (raízes, caule, folhas e capítulo), o índice de área foliar e o balanço de água e de nitrogênio no solo em escala diária.

O modelo é compatível com o sistema DSSAT

(IBSNAT, 1989) e, portanto, os formatos de entrada de dados são aqueles especificados para este sistema: dados meteorológicos, características físico-químicas e conteúdos iniciais de água e de nitrogênio no solo.

Simplificadamente, o modelo calcula taxas potenciais, ou ótimas, dos processos que ocorrem na planta, que são depois penalizadas por variáveis escalares para quantificar os efeitos de fatores limitantes, como o estresse hídrico e de nitrogênio. A lei dos mínimos é aplicada para determinar o mais limitante dos fatores que controlam o crescimento da cultura e dos seus órgãos a cada dia.

A taxa de geração de nova biomassa da cultura no modelo pode ser limitada tanto pela temperatura do ar como pelos balanços hídrico e de nitrogênio. Ela pode ser limitada também pelo potencial de crescimento e disponibilidade de nova biomassa para cada órgão. Os efeitos da temperatura na taxa de geração de nova biomassa, como também nas taxas de aparecimento e expansão foliar e eficiência do uso da radiação solar são quantificados por curvas de respostas escalares, detalhadas por VILLALOBOS et al. (1996).

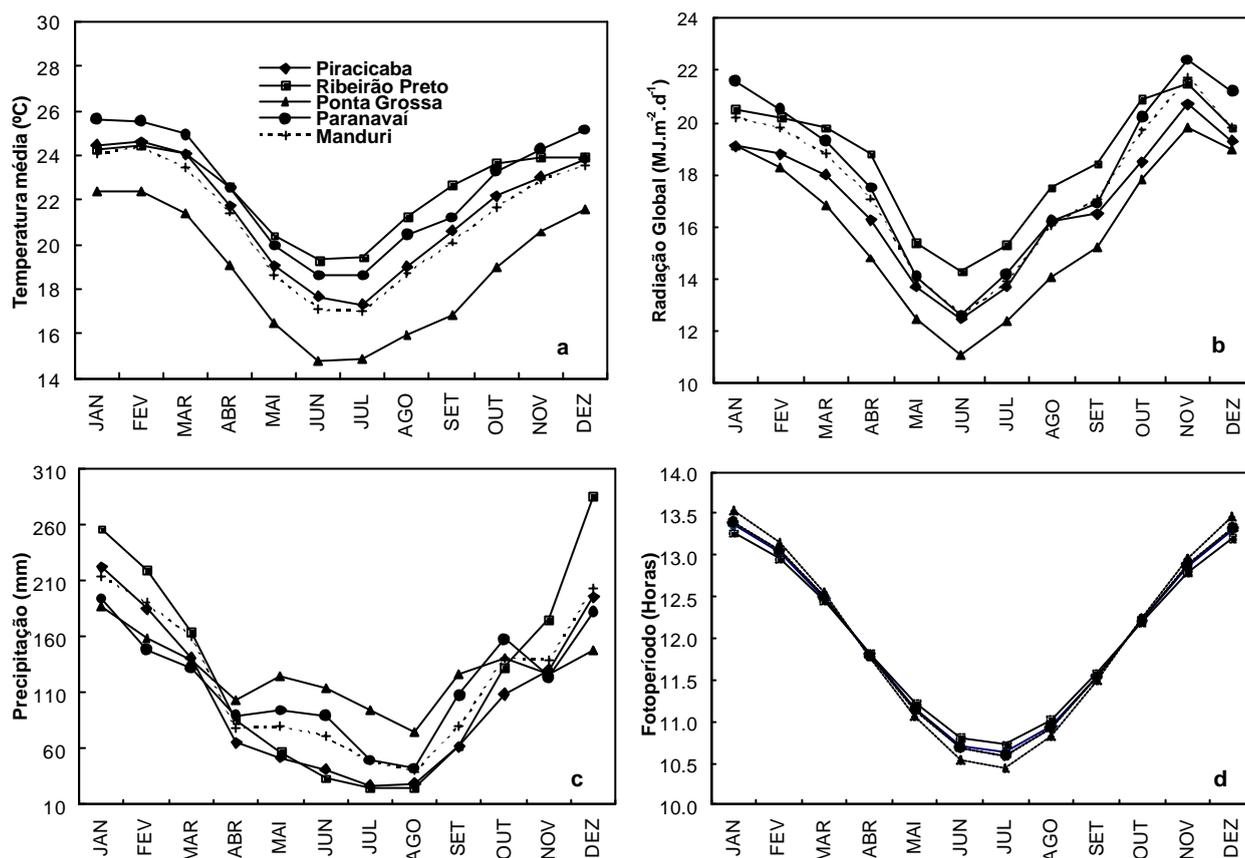
O sistema DSSAT calcula o balanço hídrico estimando a evapotranspiração potencial pelo método de PRIESTLEY & TAYLOR (1972) e a transpiração da planta, a evaporação do solo e os fluxos de água em um perfil unidimensional de solo dividido em várias camadas, conforme RITCHIE et al. (1990).

A variável usada para estimar o grau de estresse hídrico da cultura em um dia, é a razão entre a taxa potencial de absorção de água e a demanda pela transpiração. A taxa potencial de absorção de água depende da distribuição da água que pode ser extraída do solo, da profundidade e da densidade do sistema radicular (SR).

Outro fator importante que decresce as taxas potenciais nos processos da planta é o balanço de nitrogênio. O balanço de nitrogênio usado no sistema

**Tabela 1** Localidades utilizadas nas simulações dos modelos OILCROP-SUN e FAO e respectivas coordenadas geográficas.

| Local              | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Nº de anos | Fonte     |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|------------|-----------|
| Piracicaba, SP     | 22,71        | 47,63         | 490          | 1929-1998  | ESALQ/USP |
| Ribeirão Preto, SP | 21,18        | 47,80         | 521          | 1965-1998  | IAC       |
| Manduri, SP        | 23,17        | 49,33         | 589          | 1963-1998  | IAC       |
| Ponta Grossa, PR   | 25,22        | 50,01         | 880          | 1966-1998  | IAPAR     |
| Paranavaí, PR      | 23,08        | 52,43         | 480          | 1974-1998  | IAPAR     |



**Figura 1.** Temperatura média do ar (a), radiação solar global média (b), precipitação (c) e fotoperíodo médio (d) mensais para as localidades de Piracicaba, Ribeirão Preto e Manduri, no Estado de São Paulo, e de Ponta Grossa e Paranavaí, no Estado do Paraná.

DSSAT, detalhado por GODWIN & JONES (1991), leva em consideração os processos de movimento do nitrato e uréia no perfil, transformações de nitrogênio no solo (nitrificação da amônia, mineralização da matéria orgânica, desnitrificação, hidrólise da uréia e imobilização), efeitos da aplicação de fertilizantes, concentração e absorção de nitrogênio pelas plantas e pelos grãos.

O modelo considera três subperíodos no desenvolvimento da cultura: semeadura à emergência, emergência à primeira antese e primeira antese à maturidade fisiológica. No segundo e terceiro subperíodo, foram consideradas subdivisões que representam estádios importantes no desenvolvimento da cultura (Tabela 3).

O modelo OILCROP-SUN utiliza os coeficientes genéticos P1 (duração da fase juvenil, em graus-dia), P2 (atraso no desenvolvimento da cultura devido à um fotoperíodo menor que 15 horas, em

dia.hora<sup>-1</sup>) e P5 (duração da antese até a maturidade fisiológica, em graus-dia), cujos valores foram 265, 0,3 e 780 para o cultivar IAC-Anhandy, 235, 1 e 560, para o cultivar Contisol-621, e 260, 1 e 560 para o cultivar VNIIMK, determinados por ROLIM (2000). Outros coeficientes foram: número máximo de grãos por cabeça (G2, medido em plantas com condições ótimas de crescimento) igual a 2800; taxa de crescimento potencial da amêndoa (G3, mg.dia<sup>-1</sup>) igual a 1,7; e conteúdo máximo de óleo na amêndoa (O1, %) igual a 65, para os três cultivares (UNGARO, 1986; VILLALOBOS et al., 1994).

Para a execução do modelo DSSAT/OILCROP-SUN estipulou-se condições iniciais que foram comuns em todas as datas de semeadura. Primeiramente, o espaçamento entre linhas foi de 50 cm, com uma densidade populacional de 10 plantas.m<sup>2</sup>. Para os cálculos da produtividade potencial foram estipuladas irrigações automáticas sempre que a umidade do perfil do solo chegasse a 50% da capacidade

**Tabela 2.** Características físico-químicas dos solos das localidades do Estado de São Paulo e do Paraná utilizados pelo sistema DSSAT.

|              |         |        |        |                           |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|---------|--------|--------|---------------------------|---|------|---|-------|-------|------|------|------|------|------|------|--|
| *ESPI 000001 | SCS     | CL     | 100    |                           | TERRA ROXA ESTRUTURADA                  |      | eutrófico a textura argilosa/muito argilosa |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SITE       | COUNTRY | LAT    | LONG   | SCS FAMILY                |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| Piracicaba   | BRASIL  | 22.71  | -47.63 | EUTRODUX                  |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SCOM       | SALB    | SLU1   | SLDR   | SLRO                      | SLNF                                    | SLPF | SMHB  | SMPX  | SMKE  |      |      |      |      |      |      |  |
| R            | 0.13    | 9.0    | 0.24   | 78                        | 1.00                                    | 1.00 | IB001                                       | IB001 | IB001 |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SLB        | SLMH    | SLLL   | SDUL   | SSAT                      | SRGF                                    | SSKS | SBDM  | SLOC  | SLCL  | SLSI | SCLF | SLNI | SLHW | SLHB | SCEC |  |
| 27           | 0.277   | 0.394  | 0.612  | 1                         | -99                                     | 1.34 | 1.28  | -99   | -99   | 0    | -99  | -99  | -99  | -99  | -99  |  |
| 45           | 0.24    | 0.339  | 0.589  | 0.75                      | -99                                     | 1.19 | 1.28  | -99   | -99   | 0    | -99  | -99  | -99  | -99  | -99  |  |
| 68           | 0.263   | 0.363  | 0.617  | 0.5                       | -99                                     | 1.13 | 0.8   | -99   | -99   | 0    | -99  | -99  | -99  | -99  | -99  |  |
| 80           | 0.243   | 0.393  | 0.543  | 0.2                       | -99                                     | 1.23 | 0.6   | -99   | -99   | 0    | -99  | -99  | -99  | -99  | -99  |  |
| 100          | 0.417   | 0.417  | 0.762  | 0.15                      | -99                                     | 1.21 | 0.3   | -99   | -99   | 0    | -99  | -99  | -99  | -99  | -99  |  |
| *RP00910001  | SCS     | CL     | 120    |                           | LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO               |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SITE       | COUNTRY | LAT    | LONG   | SCS FAMILY                |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| RIBPRETO     | BRASIL  | -21.18 | -47.8  | TYPIC HAPHORTHOX          |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SCOM       | SALB    | SLU1   | SLDR   | SLRO                      | SLNF                                    | SLPF | SMHB  | SMPX  | SMKE  |      |      |      |      |      |      |  |
| YR           | 0.14    | 6.8    | 0.6    | 76                        | 1.00                                    | 1.00 | IB001                                       | IB001 | IB001 |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SLB        | SLMH    | SLLL   | SDUL   | SSAT                      | SRGF                                    | SSKS | SBDM  | SLOC  | SLCL  | SLSI | SCLF | SLNI | SLHW | SLHB | SCEC |  |
| 30 AP        | 0.347   | 0.459  | 0.474  | 1                         | 2                                       | 1.2  | 1.76  | 70    | 9     | 0    | -99  | 4.8  | 4.8  | 20   |      |  |
| 60 B1        | 0.32    | 0.433  | 0.448  | 0.75                      | 2                                       | 1.15 | 1.17  | 64    | 10    | 0    | -99  | 5.2  | 5.2  | 10   |      |  |
| 90 B1        | 0.334   | 0.446  | 0.461  | 0.5                       | 2                                       | 1    | 0.94  | 67    | 9     | 0    | -99  | 5.2  | 5.2  | 10   |      |  |
| 120 B2       | 0.347   | 0.458  | 0.473  | 0.2                       | 2                                       | 1.02 | 0.94  | 70    | 7     | 0    | -99  | 5.5  | 5.5  | 10   |      |  |
| *ESMA950001  | SCS     | CL     | 200    |                           | LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO               |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SITE       | COUNTRY | LAT    | LONG   | SCS FAMILY                |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| MANDURI      | BRASIL  | -23.17 | -49.33 | LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SCOM       | SALB    | SLU1   | SLDR   | SLRO                      | SLNF                                    | SLPF | SMHB  | SMPX  | SMKE  |      |      |      |      |      |      |  |
| YR           | 0.14    | 7.4    | 0.6    | 87                        | 1.00                                    | 1.00 | IB001                                       | IB001 | IB001 |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SLB        | SLMH    | SLLL   | SDUL   | SSAT                      | SRGF                                    | SSKS | SBDM  | SLOC  | SLCL  | SLSI | SCLF | SLNI | SLHW | SLHB | SCEC |  |
| 17 AP        | 0.302   | 0.427  | 0.442  | 1                         | 2                                       | 1.27 | 1.4   | 60    | 33    | 0    | 0.12 | 5.4  | 5.3  | 20   |      |  |
| 39 BA        | 0.373   | 0.491  | 0.506  | 0.75                      | 2                                       | 1.04 | 1.74  | 76    | 18    | 0    | -99  | 6.2  | 4.8  | 10   |      |  |
| 76 B1        | 0.36    | 0.479  | 0.494  | 0.5                       | 2                                       | 1    | 0.98  | 73    | 21    | 0    | -99  | 5.4  | 4.9  | 10   |      |  |
| 133 B2       | 0.365   | 0.483  | 0.498  | 0.2                       | 2                                       | 0.96 | 0.67  | 74    | 20    | 0    | -99  | 5.1  | 4.6  | 10   |      |  |
| 200 B3       | 0.36    | 0.479  | 0.494  | 0.2                       | 2                                       | 0.97 | 0.52  | 73    | 21    | 0    | 0.08 | 4.8  | 4.4  | 10   |      |  |
| *GR00870001  | SCS     | CL     | 100    |                           | LATOSSOLO VERMELHO ESCURO               |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SITE       | COUNTRY | LAT    | LONG   | SCS FAMILY                |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| PT GROSSA    | BRASIL  | -25.22 | -50.01 |                           |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SCOM       | SALB    | SLU1   | SLDR   | SLRO                      | SLNF                                    | SLPF | SMHB  | SMPX  | SMKE  |      |      |      |      |      |      |  |
| R            | 0.14    | 6.8    | 0.6    | 76                        | 1.00                                    | 1.00 | IB001                                       | IB001 | IB001 |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SLB        | SLMH    | SLLL   | SDUL   | SSAT                      | SRGF                                    | SSKS | SBDM  | SLOC  | SLCL  | SLSI | SCLF | SLNI | SLHW | SLHB | SCEC |  |
| 10           | 1       | 0.24   | 0.351  | 0.43                      | 1                                       | 1.9  | 0.99  | 2.75  | 70    | 16   | 0    | 0.7  | 4.6  | -99  | -99  |  |
| 25           | 2       | 0.291  | 0.381  | 0.43                      | 0.75                                    | 1.9  | 0.97  | 2.91  | 71    | 16   | 0    | 0.7  | 4.6  | -99  | -99  |  |
| 55           | 3       | 0.283  | 0.36   | 0.43                      | 0.5                                     | 1.9  | 0.98  | 1.32  | 73    | 16   | 0    | 0.3  | 4.3  | -99  | -99  |  |
| 85           | 4       | 0.271  | 0.362  | 0.43                      | 0.2                                     | 1.9  | 0.97  | 1.3   | 71    | 15   | 0    | 0.3  | 4.3  | -99  | -99  |  |
| 115          | 5       | 0.271  | 0.362  | 0.53                      | 0.1                                     | 1.9  | 0.98  | 1.3   | 75    | 16   | 0    | 0.3  | 4.4  | -99  | -99  |  |
| 145          | 6       | 0.275  | 0.362  | 0.43                      | 0                                       | 1.9  | 0.98  | 1     | 71    | 15   | 0    | 0    | 4.3  | -99  | -99  |  |
| *GR00870002  | SCS     | SACL   | 145    |                           | LATOSSOLO VERMELHO ESCURO TEXTURA MEDIA |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SITE       | COUNTRY | LAT    | LONG   | SCS FAMILY                |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| PARANAVAI    | BRASIL  | -23.08 | -52.43 | EUTRODUX                  |   |      |   |       |       |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SCOM       | SALB    | SLU1   | SLDR   | SLRO                      | SLNF                                    | SLPF | SMHB  | SMPX  | SMKE  |      |      |      |      |      |      |  |
| YR           | 0.14    | 6.7    | 0.8    | 76                        | 1.00                                    | 1.00 | IB001                                       | IB001 | IB001 |      |      |      |      |      |      |  |
| @ SLB        | SLMH    | SLLL   | SDUL   | SSAT                      | SRGF                                    | SSKS | SBDM  | SLOC  | SLCL  | SLSI | SCLF | SLNI | SLHW | SLHB | SCEC |  |
| 10           | 1       | 0.029  | 0.12   | 0.2                       | 1                                       | 1.9  | 1.66  | 0.82  | 9     | 2    | 0    | 0.7  | 5.2  | -99  | -99  |  |
| 25           | 2       | 0.097  | 0.199  | 0.25                      | 0.75                                    | 1.9  | 1.43  | 0.76  | 12    | 1    | 0    | 0.7  | 5.3  | -99  | -99  |  |
| 55           | 3       | 0.069  | 0.151  | 0.23                      | 0.5                                     | 1.9  | 1.49  | 0.48  | 17    | 1    | 0    | 0.3  | 5.5  | -99  | -99  |  |
| 85           | 4       | 0.031  | 0.102  | 0.209                     | 0.2                                     | 1.9  | 1.43  | 0.23  | 17    | 1    | 0    | 0.3  | 5.4  | -99  | -99  |  |
| 115          | 5       | 0.03   | 0.104  | 0.205                     | 0.1                                     | 1.9  | 1.43  | 0.25  | 19    | 1    | 0    | 0.3  | 5.1  | -99  | -99  |  |
| 145          | 6       | 0.03   | 0.104  | 0.205                     | 0                                       | 1.9  | 1.43  | 0.24  | 19    | 1    | 0    | 0    | 4.3  | -99  | -99  |  |

| LEGENDA |  | SMHB | código do pH (determinado pelo método de buffer)                    | SSKS | condutividade hidráulica saturada (cm.hora <sup>-1</sup> ) |
|---------|--|------|---|------|--|
| SCOM    | cor do solo  | SMPX | código de determinação de P   | SBDM | densidade global (g.cm <sup>-3</sup> )                     |
| SALB    | albedo   | SMKE | código do método de determinação de P                               | SLOC | carbono orgânico (%)                                       |
| SLU1    | limite de evaporação (mm.dia <sup>-1</sup> )       | SLB  | profundidade da camada  | SLCL | argila (%)   |
| SLDR    | taxa de drenagem do perfil (mm.dia <sup>-1</sup> ) | SLMH | nome da camada  | SLSI | silte (%)  |
| SLRO    | curva-número (soil conservation service)           | SLLL | limite inferior de umidade (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )     | SCLF | areia (%)  |
| SLNF    | fator de mineralização (0-1)                       | SDUL | umidade na capacidade de campo (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ) | SLNI | nitrogênio (%)   |
| SLPF    | fator de fotossíntese (0-1)                        | SSAT | umidade de saturação (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )           | SLHW | pH em água   |
|         |  | SRGF | fator de crescimento do sistema radicular (0-1)                     | SLHB | pH buffer  |

de campo. Já no caso dos cálculos da produtividade real, o fornecimento de água foi somente pela chuva, condicionado, portanto, pelas condições climáticas da região, sendo também considerado que, na semeadura o solo teria a quantidade ideal de nitrogênio para a cultura, o mesmo ocorrendo durante o seu crescimento.

### Modelo FAO

Foi utilizado, também, no presente estudo o programa BHCULT (ROLIM et al., 1998) versão 6.2, que faz o cálculo da produtividade potencial e real. O programa também calcula o balanço hídrico para a cultura desejada, segundo método de

**Tabela 3.** Subperíodos e subdivisões usados no modelo OILCROP-SUN.

| Subperíodo                               | Código | Subdivisões                     |                                  |
|--|--------|---------------------------------|----------------------------------|
|  |        | Início                          | Fim                              |
| Semeadura - Emergência                   | A      | Semeadura                       | Emergência                       |
| Emergência - Primeira antese             | B      | Emergência                      | Fim da fase juvenil              |
|  | C      | Fim da fase juvenil             | Iniciação floral                 |
|  | D      | Iniciação floral                | Fim da iniciação floral          |
|  | E      | Fim da iniciação floral         | Primeira antese                  |
| Primeira antese - Maturidade fisiológica | F      | Primeira antese                 | Início do preenchimento de grãos |
|  | G      | Início do preenchimento do grão | Início da deposição de óleo      |
|  | H      | Início da deposição de óleo     | Maturidade fisiológica           |

THORNTHWAITE & MATHER (1955) modificado por BARBIERI *et al.* (1997), que possibilita a variação da capacidade de água disponível (CAD) para se levar em consideração o crescimento do sistema radicular da cultura. O método de evapotranspiração potencial utilizado foi o de THORNTHWAITE (1948).

Os dados iniciais da cultura de girassol utilizados foram diferenciados para cada subperíodo (Tabela 4) e utilizados em todas as simulações.

No programa BHCULT, o índice térmico determina a duração do ciclo total da cultura como também a duração de cada subperíodo (Tabela 4). Para o ciclo total o somatório de graus-dia utilizado para o cultivar IAC-Anhandy foi igual a 1738°C dia, para o Contisol-621 igual a 1715°C dia e para o VNIIMK igual a 1850°C dia, com temperaturas-base iguais a 4,7°C; 4,1°C; 3,7°C, respectivamente (SENTELHAS *et al.*, 1994).

Os valores diários do fator de resposta da cultura (kc), para cada cultivar, são estimados, no programa, em função do somatório de graus-dia (GD) com uma função polinomial do tipo:

$$kc = a + b \cdot \sum GD + c \cdot \sum GD^2 + d \cdot \sum GD^3 + e \cdot \sum GD^4 \quad (1)$$

em que os valores dos coeficientes a, b, c, d, e, resultantes do ajuste, são apresentados na Tabela 5.

#### *Produtividade Potencial (Método da Zona Agroecológica) (PP)*

O método da Zona Agroecológica, para calcular a produtividade potencial (PP) da cultura, foi desenvolvido para servir como estimativa em base continental. Contudo, o modelo também pode ser aplicado em localidades específicas.

Nesse modelo pressupõe-se que as necessidades hídricas, de fertilidade e fitossanitárias da cultura estejam sendo plenamente satisfeitas. A produtividade, então, é condicionada pela radiação solar e pela temperatura do ar.

A produtividade potencial da cultura ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de matéria seca), é dada pelo somatório da produtividade potencial de cada subperíodo (p). Esta por sua vez, é dada pela taxa de fotossíntese bruta ( $F_b$ ,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}$ ), corrigida por fatores adimensionais relativos ao índice de área foliar (IAF) específico para a cultura ( $C_{IAF}$ ), ao processo de respiração ( $C_R$ ), à parte colhida da planta ( $C_C$ ), multiplicado pelo número de dias correspondentes do subperíodo considerado (ND):

$$PP = \sum_{p=1}^n (F_b \cdot C_{IAF} \cdot C_R \cdot C_C \cdot ND) \quad (2)$$

Uma descrição detalhada do modelo pode ser encontrado em DE WIT (1965) e BARBIERI & TUON (1992).

**Tabela 4.** Dados iniciais da cultura do girassol para uso no modelo FAO [fator de resposta da cultura (kc); capacidade de água disponível (CAD em mm); coeficiente de sensibilidade à seca (ky); índice de área foliar máxima do subperíodo (IAF<sub>máx</sub>)].

| Subperíodo                 | kc   | CAD | ky  | IAF max |
|----------------------------|------|-----|-----|---------|
| Emergência                 | 0,30 | 20  | 0,0 | 0,5     |
| Desenvolvimento vegetativo | 0,70 | 60  | 0,3 | 2,0     |
| Florescimento              | 1,05 | 80  | 0,5 | 3,0     |
| Frutificação               | 0,70 | 80  | 1,0 | 2,5     |
| Maturação                  | 0,35 | 80  | 0,8 | 1,0     |

**Tabela 5.** Coeficientes da estimativa do fator de resposta da cultura (kc) em função da soma de graus-dia (equação 1) para os cultivares IAC-Anhandy, Contisol-621 e VNIIMK, utilizados no programa BHCULT (ROLIM et al., 1998).

|              | a                   | b                   | c                    | d                        | e                       |
|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| IAC-Anhandy  | $1,803 \times 10^2$ | $2,714 \times 10^3$ | $-1,296 \times 10^6$ | $-7,427 \times 10^{-10}$ | $3,782 \times 10^{-13}$ |
| Contisol-621 | $9,720 \times 10^2$ | $3,370 \times 10^3$ | $-2,445 \times 10^6$ | $-6,495 \times 10^{-11}$ | $2,531 \times 10^{-13}$ |
| VNIIMK       | $-1,00 \times 10^2$ | $2,383 \times 10^3$ | $-9,998 \times 10^7$ | $-5,413 \times 10^{-10}$ | $2,41 \times 10^{-13}$  |

### Produtividade Real (PR)

A relação entre a produtividade de uma cultura e o suprimento de água, pode ser entendida da seguinte forma: quando as necessidades hídricas da cultura são atendidas plenamente, a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) é igual a evapotranspiração de cultura (ET<sub>c</sub>), não ocorrendo perdas na produtividade. Todavia, quando o suprimento de água é insuficiente, tem-se que ET<sub>r</sub> < ET<sub>c</sub>, ocasionando uma perda na produtividade, proporcional à este déficit no suprimento hídrico (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

A resposta de produtividade da cultura em relação ao suprimento de água é quantificada pelo fator de resposta da cultura (ky), o qual varia de acordo com os subperíodos (Tabela 4), e que relaciona a quebra relativa de produtividade (1-PR/PP) com o déficit de evapotranspiração relativa (1-ET<sub>r</sub>/ET<sub>c</sub>) da seguinte forma:

$$\left(1 - \frac{PR}{PP}\right) = ky \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (3)$$

resultando que a produtividade real final (PR) é dada pelo modelo multiplicativo descrito abaixo:

$$PR = \prod_{i=1}^5 \left[1 - ky_i \cdot \left(1 - \frac{ET_{r_i}}{ET_{c_i}}\right)\right] \cdot PP \quad (4)$$

sendo que i corresponde aos subperíodos considerados na Tabela 4.

### Quebra Relativa de Produtividade (Q)

A Quebra Relativa de produtividade (Q) é, então, definida como:

$$Q (\%) = \left(1 - \frac{PR}{PP}\right) \cdot 100 \quad (5)$$

### Comparação dos modelos

As simulações em escala diária pelos dois modelos foram comparadas efetuando-se médias das Q em

relação às datas de semeadura decendiais e para uma análise mais detalhada, foram elaboradas, também, frequências relativas em relação aos valores de Q para cada cultivar e para cada localidade. Além disso, com dados dos três cultivares, para cada localidade, os dois modelos foram comparados por regressão linear simples e pelo teste de WILLMOTT (1981), além do teste F de significância a 0,05.

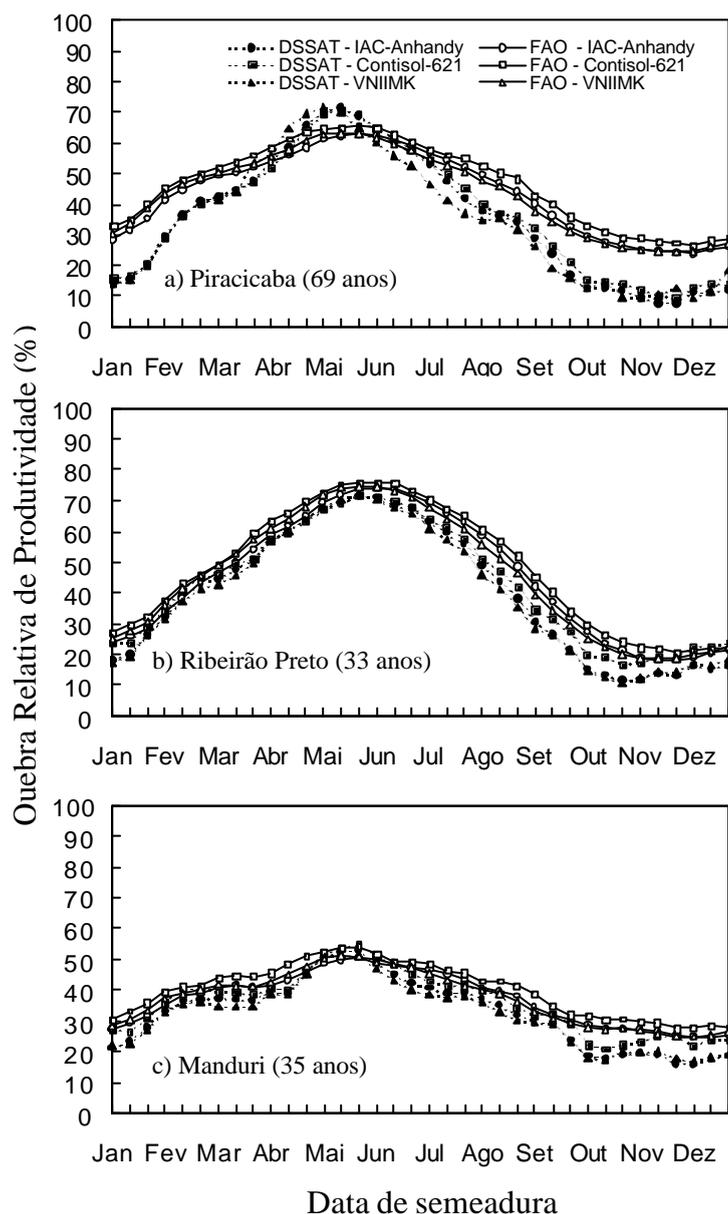
### Resultados e discussão

Como pode ser observado na Figura 2, as variações da Quebra Relativa de Produtividade média (Q) simuladas nas diferentes datas de semeadura pelos modelos DSSAT/OILCROP-SUN e FAO, não foram diferentes nos municípios do Estado de São Paulo avaliados, indicando que as melhores épocas de semeaduras ficam entre outubro e fim de janeiro, para todos os cultivares.

Nessas datas de semeadura o modelo FAO obteve por volta de 25% de Q em todos os locais, enquanto que o DSSAT/OILCROP-SUN apresentou entre 5 e 15%, 10 e 20% e 15 e 25% para os municípios de Piracicaba, Ribeirão Preto e Manduri, respectivamente.

As épocas de maiores Q foram entre maio e fim de junho, chegando a 60% em Piracicaba, 50% em Manduri e 75% em Ribeirão Preto, simuladas pelos dois modelos. Entretanto, vale lembrar que as Q maiores que 50% preconizadas pelo modelo FAO não são exatas porque o fator de resposta da cultura à seca (ky), perde sua precisão a partir de 50%. Entretanto, apesar desta limitação, o modelo obteve resultados muito semelhantes ao DSSAT/OILCROP-SUN, que não apresenta tal limitação.

Esses resultados estão de acordo com experimentos realizados pela EMBRAPA (1983) e por CAMPBELL & ATHAYDE (1988) que mostram que semeaduras no Estado de São Paulo, posteriores ao fim de fevereiro sofrem redução de produtividade devido ao déficit hídrico que atingem a cultura nos subperíodos de florescimento e frutificação.



**Figura 2** Quebra Relativa de Produtividade média nas diferentes datas de semeadura para os cultivares IAC Anhandy, Contisol-621 e VNIIMK simulada pelos modelos FAO e DSSAT, em Piracicaba (a), Ribeirão Preto (b) e Manduri (c), no Estado de São Paulo.

Já nos municípios do Estado do Paraná (Figura 3) observa-se, que as variações das Q não foram diferentes entre os modelos FAO e DSSAT/OILCROP-SUN nas diferentes datas de semeadura para todos os cultivares.

Em Ponta Grossa, devido à ocorrência de excedente hídrico durante praticamente todos os meses do ano, as Q médias simuladas pelos dois modelos

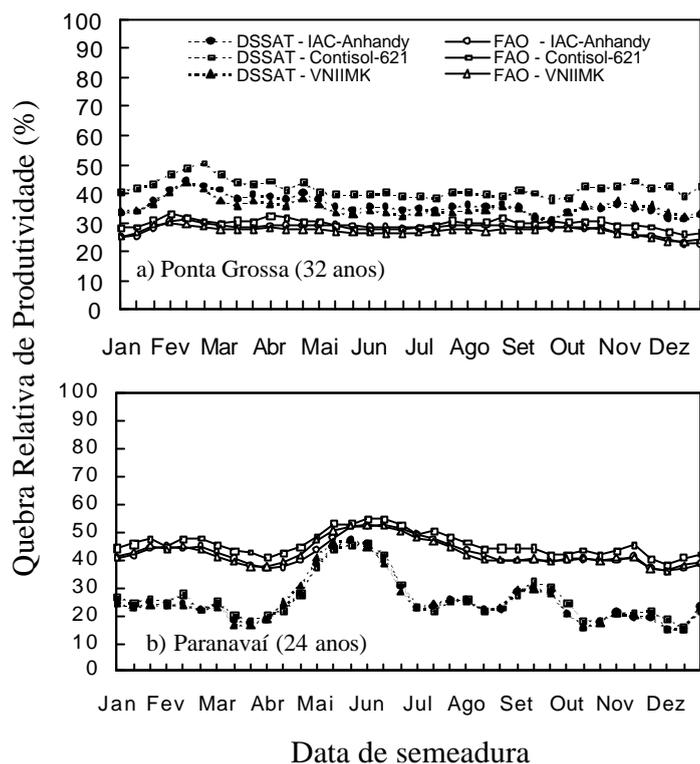
foram relativamente constantes, não evidenciando uma melhor época de semeadura. As Q médias simuladas pelo modelo FAO ficaram por volta de 30%, e para o modelo DSSAT/OILCROP-SUN entre 30% e 40%, para todos os cultivares.

Em Paranavaí, também devido ao excedente hídrico durante quase todos os meses do ano, não houve variação significativa nos valores das Q médias. O modelo FAO apresentou Q médias iguais a 45% e o modelo DSSAT/OILCROP-SUN por volta de 20% a 30%. Como normalmente ocorre um pequeno déficit hídrico em agosto, há aumento de Q nas semeaduras entre maio e metade de junho, decorrente do efeito do estresse hídrico no subperíodo de formação do capítulo, chegando a valores entre 40% e 50% pelos dois modelos.

Esses resultados estão de acordo com PELLEGRINI (1985) que indicou que no Oeste do Paraná, as semeaduras deverão ser feitas até o final de fevereiro pois esta prática evita que os subperíodos do florescimento e da maturação, fiquem expostos às baixas temperaturas, com consequente perda de produtividade.

Os resultados da Tabela 6 indicam melhores relações entre os Modelos DSSAT/OILCROP-SUN e FAO para as localidades do Estado de São Paulo em comparação às do Paraná. Apesar disso, o teste F ao nível de 95% de confiança, com 1 e 106 graus de liberdade, foi significativo para todas as localidades, indicando que o modelo linear não deve ser rejeitado. Ou seja, apesar das diferenças nos valores de Q simulados, os modelos DSSAT e FAO não são diferentes para a avaliação do risco climático da cultura do girassol nessas localidades.

Em relação a todos os dados simulados e para os três cultivares, pode-se observar pelas Figuras 4 e 5, que o modelo DSSAT simulou mais Q até 10% do que o modelo FAO, indicando sua maior sensibilidade às pequenas mudanças no ambiente. Por outro lado, ocorreram muitas Q maiores que 51% simuladas pelo dois modelos, diretamente relacionadas à duração do período de estiagem em cada localidade.



**Figura 3.** Quebra Relativa de Produtividade média nas diferentes datas de semeadura para os cultivares IAC-Anhandy, Contisol-621 e VNIIMK simulada pelos modelos FAO e DSSAT, em Ponta Grossa (a) e Paranavaí (b), no Estado do Paraná.

Além disso, observa-se que no Estado de São Paulo os modelos FAO e DSSAT/OILCROP-SUN foram semelhantes por apresentarem relativamente as mesmas frequências de ocorrência de Q entre 11% e 50%.

Já no Estado do Paraná (Figura 5), essa aproximação não pode ser verificada pois em Ponta Grossa, devido às baixas temperaturas, o modelo FAO concentrou suas estimativas de Q entre 11% e 30%, enquanto que, o DSSAT/OILCROP-SUN chegou a atingir valores superiores a 51%. No município de Paranavaí, o modelo FAO apresentou maiores frequências de Q maiores que 51%, enquanto que, o DSSAT/OILCROP-SUN resultou em valores até 10%, para todos os cultivares.

### Conclusões

- O risco climático é minimizado entre 01/10 e 20/01 nos municípios de Piracicaba, Ribeirão Preto e Manduri, no Estado de São Paulo.

- Na localidade de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, a Quebra Relativa Média de Produtividade fica entre 25% e 35% durante o ano normal, não evidenciando um período mais propício para a implantação da cultura
- No município de Paranavaí, PR, a Quebra relativa de Produtividade fica entre 35% e 45% durante o ano, com um aumento para 45% a 55% entre 01/05 e 20/07.
- Os resultados do modelo FAO não são diferentes do modelo DSSAT/OILCROP-SUN na determinação do risco climático para a cultura do girassol, até mesmo quando ocorrem Quebras Relativas de Produtividades médias superiores a 50%.

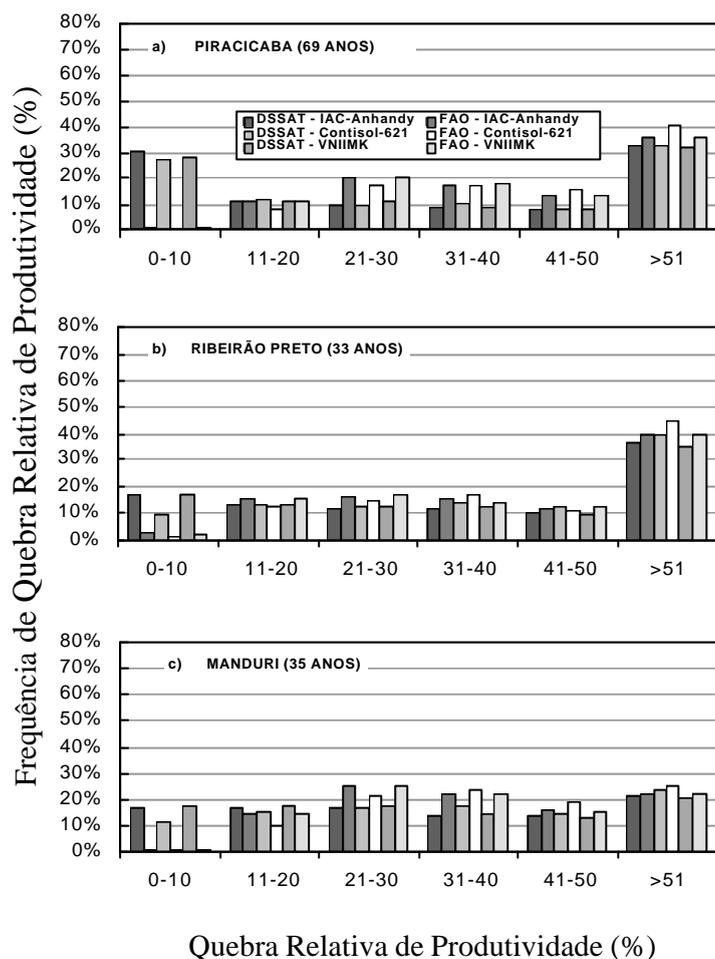
### Agradecimentos

Os autores agradecem a cessão dos dados pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. O primeiro autor também agradece a bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de

Pessoal de Nível Superior-CAPES para a realização do curso de mestrado.

### Referências bibliográficas

- ASARE, D.K., SAMMIS, T.W., ASSADIAN, H., FOWLER, J.F. Evaluating three cotton simulation models under different irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 22, p. 391-407, 1992.
- BARBIERI, V., TERUEL, D.A., SILVA, J.G. Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather modificado para estimativa de deficiência nas culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba : SBA/ ESALQ, 1997, p. 587-589.
- BARBIERI, V., TUON, R.L. **Metodologia para estimativa da produção potencial de algumas culturas**. Piracicaba : Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, 1992. 17 p. (Apostila).



**Figura 4.** Frequências Relativa da Quebra Relativa de Produtividade simulada pelo modelo FAO e DSSAT para todas as datas de semeadura analisadas, para os cultivares IAC-Anhandy, Contisol-621 e VNIIMK, nos municípios de Piracicaba (a), Ribeirão Preto (b) e Manduri (c), no Estado de São Paulo

BELL, M.A., FISCHER, R.A. Using yield prediction models to assess yield gains: A case study for wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 161-166, 1994.

CÂMARA, G.M.S. Potencial da cultura do girassol para ~~rotação com cana-de-açúcar~~. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 7., 1997, Campinas. **Resumos...** Campinas : Instituto Agrônomo, 1997, p. 1-4.

CÂMARA, G.M.S. **Introdução à cultura do girassol**. Piracicaba : Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, 1998. 10 p. (Apostila).

CAMPBELL, A.T., ATHAYDE, M.L.F. Efeito de datas de semeadura no comportamento de dois genótipos de girassol. I. Aspectos fenológicos e agrônômicos.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 371-378, 1988.

CHAPMAN, S.C., HAMMER, G.L., MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 725-735, 1993.

COLSON, J., WALLACH, D., BOUNIOLS, A. et al. Mean squared error of yield prediction by SOYGRO. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 397-402, 1995.

De Wit, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Pudoc : Wageningen. 1965. 57 p. (Agric. Res. n. 663).

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma : FAO. 1979. 212 p. (Irrigation and Drainage Papers n. 33).

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Indicações técnicas para o cultivo do girassol**. Londrina : Centro Nacional de Pesquisa de soja-EMBRAPA, 1983. (Documento 3).

GODWIN, D.C., JONES, C.A. Modeling nitrogen dynamics in soil-plant system. In: J. Hanks, J., Ritchie, J.T. (ed) **Modeling plant and soil systems** .. Madison, WI :ASA, CSSA, and SSSA, 1991. p. 287-320. (Agron. Monogr. 31).

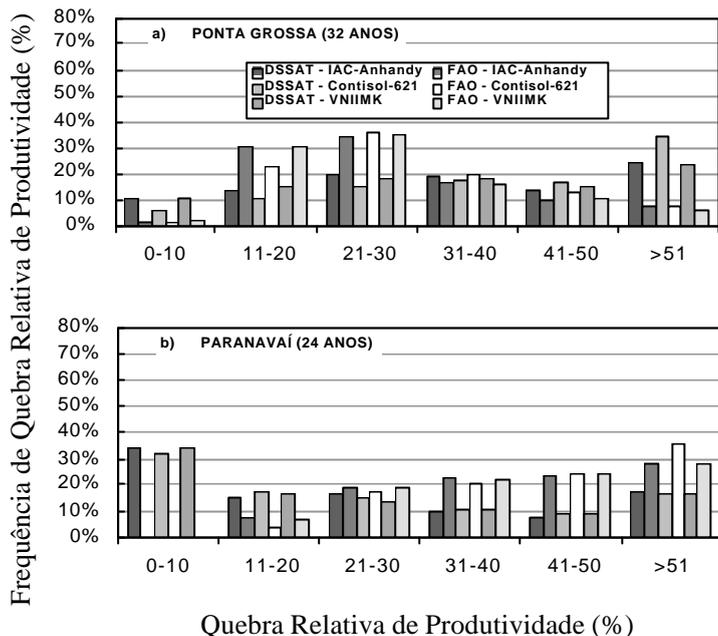
GOYNE, P.J., WOODRUFF, D.R., CHURCHETT, J.D. Environmental causes of yield variation in raingrown sunflower in Central Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 18, p. 129-134, 1978.

HANKS, J., RITCHIE, J.T. **Modeling plant and soil systems**. Madison, WI : ASA, CSSA, and SSSA, 1991. (Agron. Monogr. 31)

IBSNAT. **Decision support system for agrotechnology transfer V2.1 (DSSAT V2.1)**. Honolulu : Dep. Agron. Soil Sci., Coll. Trop. Agric. Human Resources, Univ. of Hawaii, 1989.

JAME, Y.W., CUTFORTH, W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.

MONTEITH, J.L. Conservative behaviour in the response of crops to water and light. In: Rabbinge, R. et al. (editor) **Theoretical production ecology: Reflections and prospects**. Pudoc : Wageningen, 1990. p. 3-16.



**Figura 5.** Frequências Relativa de Quebra Relativa de Produtividade simulada pelo modelo FAO e DSSAT para todas as datas de semeadura analisadas, para os cultivares IAC-Anhandy, Contisol-621 e VNIIMK, nos municípios de Ponta Grossa (a) e Paranavaí (b), no Estado do Paraná.

MONTEITH, J.L. Does light limit crop production? In: Johnson, C.B. (Editor), **Physiological Processes Limiting Plant Productivity**. Butterworths, London, p. 23-28, 1981.

MONTEITH, J.L. The quest for balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 695-697, 1996.

PELEGRINI, B. **Girassol uma planta solar que das américas conquistou o mundo**. São Paulo : Icone Editora, 1985. 117 p.

**Tabela 6.** Valores do coeficiente linear (a), angular (b), teste de WILLMOTT (1981) (d), coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o teste de significância (F) para dados de Quebra Relativa de Produtividade média de três cultivares de girassol para cada localidade.

| Local              | a      | b    | d    | R <sup>2</sup> | F    |
|--------------------|--------|------|------|----------------|------|
| Piracicaba, SP     | -29,96 | 1,47 | 0,89 | 0,96           | 2318 |
| Ribeirão Preto, SP | -5,93  | 1,00 | 0,97 | 0,98           | 4325 |
| Manduri, SP        | -12,30 | 1,20 | 0,92 | 0,95           | 2230 |
| Ponta Grossa, PR   | -3,08  | 1,45 | 0,29 | 0,48           | 97   |
| Parabavaí, PR      | -30,83 | 1,30 | 0,33 | 0,55           | 128  |

PENNING DE VRIES, P.K.T., KROPFF, M.J., **TENG, P.S. et al.** Systems simulation at IRRI., IRRI, Manila, Philippines : IRRI, 1991. (IRRI Res. Pap. Ser. 151).

PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameter. **Monthly Weather Research.**, Boston, v. 100, p. 81-92, 1972.

RAWSON, H.M., HINDMARSH, J.H. Effects of temperature on leaf expansion in sunflower. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 9, p. 209-219, 1982.

REYES, F.G.R., GARIBAY, C.B., UNGARO, M.R.G. et al. **Girassol, cultura e aspectos químicos, nutricionais, tecnológicos**. Campinas : Fundação Cargill., 1985. 86 p.

RITCHIE, J.T., GODWIN, D.C., SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: Proc. IBSNAT Symp.: Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Las Vegas, NV.p. 16-18 october 1989.Par I: **Symposium Proceedings**. Honolulu : Dep. of Agronomy and soil Science. College of Tropical Agric. and Human Resources Univ. of Hawaii, 1990.

ROLIM, G.S. **Ajuste e comparação de modelos de simulação da produtividade para a determinação do risco climático da cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*)**. Piracicaba : Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 125 p. (Dissertação Mestrado), ESALQ, 2000.

ROLIM, G.S., SENTELHAS, P C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SENTELHAS, P.C., NOGUEIRA, S.S.S., PEDRO JÚNIOR, M.J. et al.. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 43-49, 1994.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a regional classification of climatic. **Geographical Review**, Centerton, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, R.J. **The Water Balance**. Centerton : Laboratory of Climatology, v. 8, 1955, 104 p. (Publication in Climatology).

- UNGARO, M.R.G. Recomendações técnicas para o cultivo do girassol. **Correio Agrícola**, Piracicaba : CEPEA, fevereiro, 1981. p. 314- 319,.
- UNGARO, M.R.G. **Instruções para a cultura do Girassol**. Campinas : Instituto Agronômico de Campinas. 1986, 26 p., (Boletim Técnico n. 105).
- VILLALOBOS, F.J., HALL, A.J., RITCHIE, J.T. et al A development, growth, and yield model of the sunflower crop. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 403-415, 1996.
- VILLALOBOS, F.J., SADRAS, V.O., SORIANO, A. et al. Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 1-11, 1994.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

