USO DO MODELO CERES-MAIZE PARA IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS DESEJÁVEIS PARA MILHO "SAFRINHA" E DETERMINAÇÃO DE PRÁTICAS ADEQUADAS DE MANEJO EM CONDIÇÕES DE RISCO CLIMÁTICO

CECILIA TOJO SOLER
Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. **MARCOS VINICIUS FOLEGATTI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Abril - 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Soler, Cecilia Tojo
Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis para milho "safrinha" e determinação de práticas adequadas de manejo em condições de risco climático / Cecilia Tojo Soler. - - Piracicaba, 2000.
86 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Condições de risco 2. Deficiência hídrica 3. Época de semeadura 4. Milho 5. Mudança climática 6. Prática cultural 7. Safrinha I. Título

CDD 633.15

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais e irmãos

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela oportunidade de aperfeiçoamento, pela concessão de bolsa de estudos e pelos ensinamentos recebidos.

Ao Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti pela orientação do presente trabalho, pelo incentivo e pelo apoio durante o curso.

Ao pesquisador do IAPAR, Dr. Rogério Teixeira de Faria, pela valiosa e permanente colaboração prestada e pelos imprescindíveis ensinamentos proferidos na realização deste trabalho.

Ao Instituto Agronômico (IAC) pelo fornecimento de informações meteorológicas.

Ao Prof. Dr. Paulo Sentelhas, pelo valioso aporte para a realização do presente trabalho.

Aos colegas Eng.os Jacqueline Leite Meireles, Edson Bastos, Fátima Rezende, Fabiano Chaves e Jorge Moretti pelas valiosas críticas, informações, sugestões e amizade.

Aos colegas do curso de Irrigação e Drenagem, pelo constante apoio nestes dois anos de estudo.

A minha colega de república e amiga Eng. Cristina Miranda de Alencar pela compreensão nos dois anos de convivência .

Ao Eng. Axel Garcia pelo apoio, amizade e compreensão em todos os momentos.

SUMÁRIO

Página

SUMÁRIO ..... **IV**

LISTA DE FIGURAS ..... **VIII**

LISTA DE QUADROS ..... **XII**

LISTA DE TABELAS ..... **XIII**

RESUMO ..... **XV**

SUMMARY ..... **XVII**

1. INTRODUÇÃO **1**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **4**

2. 1. A CULTURA DE MILHO "SAFRINHA" 4

2. 2. A CULTIVAR DE MILHO "SAFRINHA" 5

2. 3. MODELAGEM NA AGRICULTURA 6

2. 4. SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO E TRANSFERÊNCIA DE AGROTECNOLOGIA 7

2. 5. GENERALIDADES DOS MODELOS CERES 8

2. 6. PARTICULARIDADES DO MODELO CERES-MAIZE 9

2. 7. APLICAÇÕES DO MODELO CERES-MAIZE 12

2. 8. MODELOS DE SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA A DETERMINAÇÃO DA MELHOR CULTIVAR 14

3. MATERIAL E MÉTODOS **16**

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DAS REGIÕES DE RIBEIRÃO PRETO E DE MANDURI 16

3. 1. 1. Temperatura do ar 16

3. 1. 2. Geadas 17

3. 1. 3. Radiação solar 18

Página

3. 1. 4. Precipitação pluviométrica 19
3. 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS 21
3. 2. 1. Região de Ribeirão Preto 21
3. 2. 2. Região de Manduri 21
3. 3. DESCRIÇÃO DO MODELO CERES-MAIZE 22
3. 3. 1. Fenologia 24
3. 3. 2. Produção de biomassa 24
3. 3. 3. Balanço hídrico 26
3. 3. 4. Balanço de nitrogênio 27
3. 4. DADOS REQUERIDOS PARA O USO DO MODELO CERES-MAIZE 27
3. 5. SIMULAÇÕES REALIZADAS COM O MODELO CERES-MAIZE 29
3. 5. 1. Análise de variáveis biofísicas 29
3. 5. 2. Análise econômica 30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
4. 1. SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DO DESENVOLVIMENTO DO MILHO "SAFRINHA" NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO 34
4. 1. 1. Simulação da fenologia 34
4. 1. 2. Simulação do rendimento sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 36
4. 1. 3. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 39
4. 1. 4. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 41
4. 1. 5. Simulação do rendimento sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 42
4. 1. 6. Análise freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 44
4. 1. 7. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 46
4. 1. 8. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento na região de Ribeirão Preto-SP 48

Página

4. 2. SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DO DESENVOLVIMENTO NA REGIÃO DE MANDURI, SP 49
4. 2. 1. Simulação da fenologia 49
4. 2. 2. Simulação do rendimento da cultura do milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 50
4. 2. 3. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 53
4. 2. 4. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes 55
4. 2. 5. Simulação do rendimento sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 56
4. 2. 6. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 58
4. 2. 7. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 60
4. 2. 8. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento na região de Manduri-SP 62
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS REGIÕES SOB ESTUDO 64
4. 3. 1. Simulação da fenologia 64
4. 3. 2. Simulação do rendimento em condições de sequeiro 65
4. 3. 3. Simulação do rendimento em condições irrigadas e com uso de fertilizantes 66
4. 3. 4. Comparação das simulações dos componentes do balanço hídrico 66
4. 3. 5. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento - comparação entre as duas regiões 67
4. 3. 6. Efeito do comprimento do sistema radicular no rendimento do milho "safrinha" nas duas regiões estudadas 67
4. 4. ANÁLISE ECONÔMICA 68
4. 4. 1. Análise econômica da condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto 68

Página

4. 4. 2. Análise econômica da condição sob irrigação e com uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto 70
4. 4. 3. Análise econômica da condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Manduri 72
4. 4. 4. Análise econômica da condição sob irrigação e com uso de fertilizantes para a região de Manduri 74
4. 4. 5. Análise econômica: comparação entre as duas regiões sob estudo.. 76
5. CONCLUSÕES **77**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **79**

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Temperaturas médias máximas e mínimas do ar mensais das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC). 17
2. Número de dias por ano com temperatura mínima do ar menor ou igual a 2°C ocorridos nas regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC). 18
3. Média de radiação solar diária das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC). 18
4. Média da precipitação pluviométrica das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC). 19
5. Extrato do balanço hídrico normal (1961-1990) para a região de Ribeirão Preto, SP, para um solo com capacidade de armazenamento igual a 100 mm. Fonte: Sentelhas et al., 1999. 20
6. Extrato do balanço hídrico normal (1961-1990) para a região de Manduri, SP, para um solo com capacidade de armazenamento igual a 100 mm. Fonte: Sentelhas et al., 1999. 20
7. Fluxograma do modelo Ceres-Maize. 23
8. Rendimento simulado da cultura do milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, de acordo com genótipo e época de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP. 38
9. Desvio padrão do rendimento da cultura de milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, de acordo com genótipo e época de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP. 38

Página

10. Rendimentos simulados para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência. 40
11. Precipitação ocorrida (A), escoamento superficial (B), evapotranspiração real (C) e drenagem (D) simulados durante o período semeadura - colheita nos diferentes ciclos dos genótipos, nas diferentes épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 41
12. Rendimento simulado sob irrigação e com uso de fertilizantes para a cultura de milho "safrinha", de acordo com o genótipo e a época de semeadura, para a região de Ribeirão Preto, SP. 44
13. Desvio padrão do rendimento simulado sob irrigação e com uso de fertilizantes para a cultura de milho "safrinha", de acordo com o genótipo e a época de semeadura, para a região de Ribeirão Preto, SP. 44
14. Rendimentos simulados para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência. 45
15. Precipitação ocorrida (A), quantidade de água irrigada (B), total de água de precipitação e irrigação (C), evapotranspiração real (D), escoamento superficial (E) e drenagem (F) simulados durante o período semeadura - colheita nos diferentes ciclos dos genótipos, nas diferentes épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes. 47
16. Número de irrigações simuladas na cultura de milho "safrinha" para a região de Ribeirão Preto, SP. 48
17. Incremento médio do rendimento simulado de todos os genótipos devido aos efeitos da água, do fertilizante e de ambos na região de Ribeirão Preto-SP. 49
18. Rendimento simulado da cultura de milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP. 52

Página

19. Desvio padrão do rendimento simulado para a cultura do milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP. 52
20. Rendimentos simulados para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência. 54
21. Precipitação ocorrida (A), escoamento superficial (B), drenagem (C), e evapotranspiração (D) simulados durante o ciclo da cultura para as diferentes cultivares nas diferentes épocas de semeadura, na região de Manduri-SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 55
22. Rendimentos médios simulados da cultura de milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob irrigação e fertilização para a região de Manduri, SP. 57
23. Desvio padrão do rendimento simulado do milho "safrinha" para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de irrigação e fertilização para a região de Manduri, SP. 58
24. Rendimentos simulados para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência. 59
25. Precipitação ocorrida (A), escoamento superficial (B), drenagem (C), e evapotranspiração (D) simulados durante o ciclo da cultura para as diferentes cultivares nas diferentes épocas de semeadura, na região de Manduri-SP sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes. 61
26. Número de irrigações simuladas pelo modelo CERES-Maize na região de Manduri, SP. 62
27. Incremento médio do rendimento simulado de todos os genótipos devido aos efeitos da água, do fertilizante e de ambos na região de Manduri - SP. 63
28. Fator de estresse médio de todos os genótipos para diferentes tratamentos: fertilizado, irrigado, e irrigado e fertilizado. 64
29. Rendimento simulado nas regiões de Ribeirão Preto (A) e de Manduri (B) para sistema radicular normal e profundo. 67

Página

30. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 70

31. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes. 72

32. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 74

33. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes. 76

LISTA DE QUADROS

Página

1. Descrição das fases fenológicas para a cultura de milho usadas no modelo CERES-Maize. 10
2. Parâmetros genéticos, de manejo da cultura, de solo, de análise econômica e elementos climáticos necessários para a simulação, utilizando o modelo CERES-Maize. 28

LISTA DE TABELAS

Página

1. Atributos físico-químicos do solo Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura muito argilosa da região de Ribeirão Preto, SP. 21
2. Atributos físico-químicos do solo Latossolo Roxo distrófico, A moderado, da região de Manduri, SP. 22
3. Valores dos coeficientes genéticos utilizados nas simulações. 30
4. Informações necessárias para o preenchimento do arquivo para análise econômica. 31
5. Número de dias da emergência à floração para os nove genótipos nas seis épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP. 34
6. Número de dias da emergência à maturidade fisiológica simulados para os nove genótipos nas seis épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP. 36
7. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) para os diferentes ciclos da cultura de milho "safrinha" simulados na condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto, SP 37
8. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) para os diferentes ciclos da cultura de milho "safrinha" simulados na condição irrigada e fertilizada para a região de Ribeirão Preto, SP. 43
9. Duração do sub-período emergência à floração simulada para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes genótipos nas 6 épocas de semeaduras, para a região de Manduri, SP. 50

Página

10. Duração do sub-período emergência à maturidade fisiológica simulada para a cultura de milho "safrinha", para os diferentes genótipos nas 6 épocas de semeaduras, para a região de Manduri, SP 50
11. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) simulados para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes ciclos dos genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP 51
12. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) simulados para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes ciclos dos genótipos, nas 6 épocas de semeadura sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para a região de Manduri, SP. 57
13. Renda líquida e desvio padrão ($R\$.ha^{-1}$) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 69
14. Renda líquida e desvio padrão ($R\$.ha^{-1}$) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes. 71
15. Renda líquida e desvio padrão ($R\$.ha^{-1}$) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura, para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 73
16. Tratamentos dominantes segundo a análise "mean gini dominance" segundo a época de semeadura para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes. 73
17. Renda líquida e desvio padrão ($R\$.ha^{-1}$) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura, para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 75
18. Tratamentos dominantes segundo a análise "mean gini dominance" segundo a época de semeadura para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes 75

USO DO MODELO CERES-MAIZE PARA IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS DESEJÁVEIS PARA MILHO "SAFRINHA" E DETERMINAÇÃO DE PRÁTICAS ADEQUADAS DE MANEJO EM CONDIÇÕES DE RISCO CLIMÁTICO.

Autora: CECILIA TOJO SOLER
Orientador: Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

RESUMO

O crescimento e desenvolvimento do milho "safrinha" foram simulados com o modelo CERES-Maize, sob condições de sequeiro e de irrigação em duas regiões do Estado de São Paulo, Ribeirão Preto e Manduri, com objetivo de se conhecer as características genéticas desejáveis das cultivares e as épocas de semeadura que proporcionem melhor performance da cultura durante o período da entressafra. Além dos coeficientes genéticos, utilizaram-se como parâmetros de entrada do modelo, as características de solo, práticas de manejo usuais da cultura e dados climatológicos históricos disponíveis para cada região (1964 a 1995). A fim de se avaliar o efeito de diferentes características agronômicas e fisiológicas da cultura possíveis de melhoramento genético, alteraram-se os coeficientes genéticos considerando-se diferentes condições de manejo e a variabilidade climática da região de estudo. Efetuou-se uma análise econômica visando identificar os melhores cultivares e as melhores épocas de semeadura sob condições de sequeiro e irrigação.

Com o uso de irrigação e fertilizantes, nas duas regiões o modelo simulou rendimentos mais elevados e maiores evapotranspirações durante o ciclo da cultura para os genótipos de ciclo longo e com maior número de grãos por espiga.

Sob condições de sequeiro, na região de Ribeirão Preto, a cultivar que determinou o maior rendimento foi caracterizada por possuir ciclo curto e elevado número de grãos por espiga. No entanto, na região de Manduri, as melhores cultivares foram caracterizadas por possuir ciclos médio e longo e elevado número de grãos por espiga.

Nas duas regiões, tanto sob condições de sequeiro como sob irrigação, os maiores rendimentos foram simulados para a primeira época de semeadura (15 de janeiro). Constatou-se que à medida em que se atrasou a semeadura, os rendimentos decresceram.

A análise econômica realizada evidenciou que tanto para as culturas de sequeiro como sob irrigação, a região de Manduri apresentou as melhores condições para a cultura de milho "safrinha".

IDENTIFICATION OF THE BEST GENETIC TRAITS AND AGRONOMIC PRACTICES FOR CORN OUT OF SEASON UNDER CLIMATIC RISK CONDITIONS USING THE CERES-Maize MODEL

Author: CECILIA TOJO SOLER
Adviser: Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

SUMMARY

The growth and development of corn sowed at the end of the Summer and at the beginning of the Autumn, were simulated with the CERES-Maize model under irrigation and rainfed conditions in Ribeirão Preto and Manduri, São Paulo State. The objective was to identify the genetic traits and sowing dates of corn cultivars sowed at the end of the Summer and at the beginning of Autumn, which result in the best crop performance.

The model inputs were the genetics coefficients, soil traits, common crop management practice and climatic historical records of each region (1964-1995).

The genetic coefficients were variable, for evaluation of different agronomical and physiological traits possible of breeding, in the stability and productivity of the culture. Different management practice were considered.

Economic analyses were done to identify the best genotypes and the best sowing dates under rainfed and irrigated conditions.

A different behaviour was found between the studied cultivars, thus, specifics genotypes were needed for different production systems. When irrigation and fertilizers are used, in both regions, the model simulated highest yield and high water

consumption during the crop development for the long cycle types and high number of grains per spike.

Under rainfed conditions, at Ribeirão Preto region, the cultivar which resulted in the highest yield was characterised for short cycle and high number of grains per spike. However, at Manduri region, the best cultivars were characterized for long and middle cycle and high number of grains per spike.

In both regions, under irrigation and rainfed conditions, highest yields were simulated at the 1st sowing date (15 January). When sowing date was delayed, the simulated yields decreased.

Under irrigation or rainfed conditions, the economic analyses showed that at Manduri region the highest economic return was simulated for the corn sowed at the end of Summer and beginning of Autumn.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a cultura do milho tem sido considerada uma das principais alternativas para ocupação do solo no outono-inverno, cujo sistema de cultivo é denominado de milho "safrinha". A área cultivada com milho "safrinha" no Estado de São Paulo aumentou de 284 mil ha em 1992 para 379 mil ha em 1998, resultando em um aumento da produção de 660 t para 1.100 t (IEA, 1993, 1997; Tsunechiro, 1998). As regiões do estado mais importantes devido à área cultivada e à produtividade são as do Vale do Paranapanema e de Ribeirão Preto.

O cultivo de milho "safrinha" é de alto risco, principalmente devido aos elementos do clima. Nas regiões Norte e Sudoeste do Estado de São Paulo, o clima é caracterizado por concentração da precipitação entre os meses de outubro e fevereiro e precipitação insuficiente e variável no período entre março e setembro. Além da deficiência hídrica, é comum a ocorrência de condições sub-ótimas de temperatura no período de cultivo do milho "safrinha", limitando a produtividade da cultura. Esporadicamente, ocorrem geadas que causam perda completa da produção.

Usualmente, a semeadura do milho "safrinha" é realizada logo após a desocupação da área com a colheita da cultura de verão, visandose beneficiar da precipitação que ocorre no final de fevereiro e março. Porém, a semeadura pode ser atrasada caso as condições de umidade do solo sejam inadequadas para o estabelecimento da cultura ou tenha havido atraso da semeadura da cultura de verão no ano anterior. Por falta de tradição, o agricultor conhece muito pouco os efeitos das condições ambientais, predominantes durante o período de cultivo, sobre a cultura de milho "safrinha". Isso, associado à alta variabilidade da precipitação e dos outros elementos do clima, torna incerto o nível de produtividade a ser obtido.

Caracterizado pela sua aversão ao risco, o agricultor utiliza um mínimo de insumos para diminuir os custos de produção. Conseqüentemente, o rendimento e a receita líquida são baixos.

Baixos rendimentos e elevado risco da produção podem ser também atribuídos à utilização de cultivares não adaptadas às condições ambientais predominantes durante o cultivo do milho "safrinha", uma vez que o material genético disponível, geralmente, é oriundo de seleção para o período tradicional de cultivo (Quiessi et al., 1999). Usualmente, os melhoristas recomendam cultivares baseados em experimentos conduzidos em vários locais e anos, considerando as características agronômicas da cultivar, bem como a sua produtividade e estabilidade de produção, resultante da interação genótipo-ambiente. Esses experimentos apresentam elevado custo e requerem longo tempo, que são incompatíveis tanto com relação aos recursos atualmente disponíveis na pesquisa pública e privada como com relação à urgência do agricultor em otimizar seu sistema de produção.

Para racionalizar as atividades do melhoramento genético há necessidade de se estabelecer o melhor tipo de milho para as condições de crescimento durante o período de cultivo não tradicional. Encontrar o melhor tipo envolve três aspectos importantes: caracterizar o ambiente onde o cultivo se desenvolverá, definir um modelo com características morfológicas e fisiológicas conhecidas que influenciam o crescimento nesse ambiente e combinar essas características numa planta (Mock & Pearce, 1975).

Os modelos de simulação do crescimento de culturas constituem o método mais adequado para pesquisas dessa natureza. Simulações para a identificação de práticas de manejo da cultura (época de semeadura, espaçamento, adubação, etc) podem ser realizadas com baixo custo, utilizando-se série histórica de dados climatológicos conforme o estudo de Muchow et al. (1991). Nessas simulações, diferentes características agronômicas e fisiológicas possíveis de melhoramento genético podem ser utilizadas como entrada (inputs) para verificar seu efeito na estabilidade e aumento de produtividade sob condições de manejo e variabilidade climática da região de estudo. Esse método requer um modelo de simulação adequado, conhecimento específico das características genéticas da cultivar e os dados para implementação do modelo ("inputs").

O presente trabalho tem como objetivos: a) identificar a melhor duração dos ciclos da emergência à floração e da emergência à maturidade fisiológica para a otimização da performance da cultura do milho "safrinha" nas regiões Sudoeste e

Norte no Estado de São Paulo; b) determinar as melhores práticas de manejo para a cultura, principalmente referentes às épocas de semeadura, levando em conta os riscos de geada e de estiagem para os diferentes períodos críticos do cultivo; c) estimar a rentabilidade média do cultivo de milho "safrinha" em condições de sequeiro e em condições irrigadas para as referidas regiões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1. A cultura de milho "safrinha"

O milho "safrinha" é caracterizado pela semeadura em torno do mês de fevereiro, após a colheita de uma cultura de safra, visando o aproveitamento das chuvas remanescentes, antes do período da seca (Esteves et al., 1994).

A cultura do milho "safrinha" ocupa posição destacada entre as atividades realizadas em sucessão aos cultivos de primavera-verão no Estado de São Paulo. A região de Assis, no Vale do Paranapanema, concentra a maior área plantada, com 40,2% do total na safra 1997/1998, seguida pelas regiões de Orlândia (com 21,5%) e Barretos (com10,6%) na Alta Mogiana (Tsunechiro, 1999).

O cultivo de milho na época da "safrinha" atinge um menor potencial de produtividade, o ciclo da cultura geralmente é maior, e os riscos aumentam em virtude das menores precipitações e temperaturas mais baixas (Cantarella, 1999).

Na região do Vale do Paranapanema no Estado de São Paulo, os rendimentos médios do milho "safrinha" obtidos entre os anos 1992 e 1998, foram de 2.224 $kg.ha^{-1}$, com um coeficiente de variação de 42,11%. No entanto, na safra normal os rendimentos médios foram maiores (3410 $kg.ha^{-1}$) e o coeficiente de variação menor (16,3%) (Tsunechiro, 1999).

Segundo Landers, (1994) a cultura de milho "safrinha" apresenta as seguintes vantagens: a) aproveitamento racional de máquinas, equipamentos e mão de obra; b) maior proteção do solo devido à sua cobertura vegetal em maior período do ano; c) antecipação de receitas, com a obtenção de preços mais compensadores; d) sucessão de culturas dentro do mesmo período agrícola; e) melhoramento das condições bio-físico-químicas do solo; f) melhor controle de plantas invasoras para a cultura

subseqüente e, no decorrer do tempo, diminuição gradativa de infestação na área cultivada. Além disso, o cultivo de apenas uma safra durante o ano agrícola contribui para elevação dos custos de produção, uma vez que toda infra-estrutura fica ociosa no período de entressafra (Oliveira et al., 1994).

A cultura de milho "safrinha" é caracterizada por Landers (1994) como uma cultura com risco crescente à medida que se avança na época de semeadura; uma estratégia de produção de baixo custo, com baixo uso de herbicidas; emprego de cultivares tolerântes à seca e precoces, especialmente após fevereiro.

2. 2. A cultivar de milho "safrinha"

Em vista de sua grande variabilidade genética e dos intensos trabalhos em melhoramento vegetal, o milho é uma cultura que apresenta uma das maiores dinâmicas em estudos para obtenção de novas variedades, linhagens e mesmo híbridos. Segundo Brunini (1997), esses estudos permitiram a substituição das variedades e híbridos de porte alto e ciclo longo por híbridos e variedades de porte baixo e de ciclo até superprecoce, considerando-se principalmente o período desde a germinação até o florescimento masculino.

Trabalhos realizados por Oliveira et al. (1994), na região sudeste do Estado de Mato Grosso do Sul, demostraram que o cultivo de milho pode ser promissor realizando-se a semeadura antes do final de fevereiro. Deve-se utilizar preferencialmente cultivares de ciclo curto e resistente às principais doenças.

Em ensaios conduzidos em vários locais no Vale do Paranapanema SP, Duarte et al. (1994), verificaram que as cultivares mais adaptadas e estáveis em todos os locais foram as de ciclo médio e precoce. Brunini (1997) também recomenda semear cultivares de ciclo curto para diminuir a chance de incidência de geadas nas fases críticas (florescimento e formação de espigas) nas regiões Sudoeste e Vale do Paranapanema.

Durães et al. (1994), em experimentos realizados no Brasil Central, concluem que as condições ambientais de cultivo de "safrinha" são subótimas para o desenvolvimento do milho, principalmente para as cultivares com precocidade acentuada. Para o cultivo de milho "safrinha" recomendam genótipos que tenham

larga capacidade de dreno e que acumulem rapidamente matéria seca em seus órgãos, continuando ainda a acumular, paralelamente ao enchimento de grãos, matéria seca total.

Segundo Brito (1995) e Brito et al. (1996), os híbridos que apresentam longo período de enchimento de grãos e acúmulo uniforme de matéria seca nesse período, proporcionam melhor rendimento na entressafra.

A melhor maneira de desenvolver ou explorar a cultura do milho seria pela escolha de variedades/híbridos que apresentassem tolerância/resistência às adversidades climáticas, como seca, baixas temperaturas, ou mesmo às condições de estresse ambiental como pragas e doenças (Brunini, 1997).

Sartori (1997) afirma que na escolha da cultivar de milho "safrinha" há que considerar outras características como: sistema radicular, altura da planta e espiga, adaptação e rusticidade, tolerância às doenças e pragas, tolerância ao acamamento e quebramento, prolificidade, empalhamento, pedúnculo flexível, número de grãos por fileira, tipo, cor e peso do grão, ciclo, tolerância à seca e ao calor, sanidade, potencial de produtividade, número de plantas por área ou estande, aspecto uniforme da cultivar, excelente resposta à adubação, tipo e tamanho de semente.

2. 3. Modelagem na agricultura

Tradicionalmente, as funções de produção usadas para recomendações agrícolas têm sido baseadas em análises de correlação e regressão. O uso desse tipo de análise tem auxiliado no conhecimento qualitativo das variáveis e suas interações envolvidas nos sistemas das culturas e também contribuído com o progresso da ciência da agricultura. No entanto, a informação qualitativa obtida nesse tipo de análise é específica para determinados ambientes, havendo usualmente pouca consideração dos processos físicos e fisiológicos envolvidos (Jame & Curtforth, 1996).

Por outro lado, existe outro enfoque chamado modelagem. Assim, um modelo de simulação é um conjunto de equações matemáticas que descrevem um sistema físico, que no caso de estudos agronômicos trata-se do sistema solo-planta-atmosfera. Um modelo de crescimento simula o crescimento e desenvolvimento das culturas no

mundo real, predizendo o crescimento de seus componentes como folhas, raízes, colmos e grãos. Além de estimar a quantidade de biomassa final ou o rendimento, os modelos também fornecem informações dos principais processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento da planta (Jame & Cutforth,1996).

A simulação computadorizada oferece a possibilidade de economizar tempo, esforço e quantidade dos recursos necessários para a tomada de decisões relacionadas ao manejo no setor agrícola. Para tanto, é necessário uma grande infra-estrutura para apoio à coleta de dados, elaboração de programas de computação, bem como realizar os ensaios de validação necessários para a elaboração e utilização de agrosimuladores confiáveis. Dado que durante os últimos 30 anos tem-se realizado um grande esforço para criar tal infra-estrutura nos principais centros de pesquisa agrícola dos países desenvolvidos, é factível agora aproveitar as metodologias de simulação, ainda que os recursos disponíveis em uma determinada localidade sejam modestos. Existem modelos de simulação para diversas culturas de importância econômica e sua adaptação para uma localidade específica requer um microcomputador e resultados experimentais do crescimento de cultivos durante um período limitado para calibrar os modelos ao ambiente correspondente (Salvador, 1993).

Existem três níveis de uso dos modelos de simulação de cultivos como ferramenta potencialmente útil na tomada de decisões: em pesquisas, em tecnologia de manejo de cultivos e em políticas de planejamento agrícola (Boote et al., 1996). Segundo Salvador (1993), os países em vias do desenvolvimento, nos quais é muito importante incrementar a capacidade de produção agrícola em forma sustentável, poderiam ser os maiores beneficiários desta tecnologia.

2. 4. Sistema de Suporte a Decisão e Transferência de Agrotecnologia

Nos últimos anos tem-se gerado vários tipos de modelos de simulação para uso em agricultura com diferentes níveis de complexidade. Pela sua importância destacam-se os modelos do IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer), projeto internacional com sede na Universidade do Havaí,

criado para desenvolver um sistema para suporte à decisão e transferência de tecnologia agropecuária. Esse sistema nomeado DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) consta de grande base de dados, modelos de simulação de produção de cultivos como trigo, cevada, milho, arroz, girassol, sorgo, soja, feijão, amendoim e batata, além de ferramentas de análises biofísicas e econômicas (Baethgen, 1995).

Os modelos de simulação do sistema DSSAT estão baseados no enfoque de sistemas, isto é, tratam de compreender as interações dos componentes do sistema sob estudo. No caso particular dos modelos de simulação de culturas, consiste em: a) simular as interações do genótipo com o ambiente e com o manejo e b) predizer o funcionamento de um sistema de produção em resposta aos fatores que influenciam, como o clima e práticas de manejo (Uehara & Tsuji, 1993).

Além da estimativa do rendimento, o conjunto de programas do sistema DSSAT permite avaliar o uso do recursos naturais e estimar o risco associado com diferentes práticas de manejo. Através de uma interface prática, o sistema possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados das culturas, de solos e de clima b) recuperar, analisar e apresentar dados, c) calibrar e validar modelos de diferentes culturas e d) testar diferentes práticas de manejo num dado local (Jones, 1993).

Logo que o usuário está seguro de que o modelo simula o crescimento e desenvolvimento de uma cultura numa localidade, análises mais complexas da performance do cultivo podem ser conduzidas para diferentes tipos de solo, cultivares, épocas de semeadura, população de plantas e estratégias de irrigação e adubação, com a finalidade de encontrar práticas que sejam mais favoráveis e que envolvam um menor nível de risco (Jones et al., 1996; Jame & Curtforth, 1996).

2. 5. Generalidades dos modelos Ceres

Os modelos CERES do programa DSSAT simulam o crescimento diário de gramíneas incluindo o milho. Esses modelos baseiam-se em quatro tipos de variáveis de entrada: solo, clima, manejo do cultivo e genótipos (Boullon, et al., 1996). Os dados diários de clima requeridos são temperatura máxima e mínima, radiação solar e chuva.

O crescimento é simulado por esses modelos considerando-se os seguintes processos:

- Desenvolvimento fenológico, que é especialmente afetado pelo genótipo, temperatura e fotoperíodo.
- Desenvolvimento morfológico: crescimento de folhas, colmos e raízes.
- Acúmulo e partição de fotoassimilados.
- Balanço da água no solo, que simula evaporação, transpiração, escoamento superficial, percolação e infiltração em condições de sequeiro e irrigação.
- Transformações do nitrogênio no solo associadas com a mineralização-imobilização, hidrólise da uréia, nitrificação, denitrificação, volatilização do amônio, consumo de N pelo cultivo e perdas do N associado com o escoamento superficial e a percolação (Jones et al., 1996).

2. 6. Particularidades do modelo CERES-Maize

Em comparação a modelos anteriores, o modelo CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986), é um dos mais detalhados para predizer estádios fenológicos e número de folhas. São considerados a sensibilidade ao fotoperíodo e os efeitos da alta temperatura no número final de folhas. Além disso, três componentes do desenvolvimento vegetativo, iniciação de folhas, aparecimento de primórdios foliares e iniciação da floração masculina podem ser testados independentemente (Kiniry, 1991).

Os pontos fortes do modelo constam de rotinas para a simulação dos balanço de água e nitrogênio no solo, e suas bases fisiológicas para as taxas de desenvolvimento e partição de assimilados. A maior inovação deste modelo é o conceito de coeficiente genético, o qual significa que uma característica comum a todas as variedades de milho pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações (Salvador, 1993). Esses coeficientes são os seguintes (Hoogenboom et al., 1994):

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

- P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas.
- P3: duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estígma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C).
- G2: número máximo de grãos por espiga.
- G3: taxa de enchimento do grão em mg/dia sob condições ótimas de crescimento.

O uso de características específicas para cada cultivar geralmente melhora a performance do modelo permitindo analisar a adaptação de uma variedade a diversos ambientes (Jame & Curtforth, 1996). Por outro lado, a ocorrência das diferentes fases fenológicas descritas no modelo representam intervalos de crescimento da planta delimitados por diferentes eventos fisiológicos. O sistema de numeração das fases é circular como se descreve no Quadro 1. (Kiniry, 1991).

Quadro 1. Descrição das fases fenológicas para a cultura de milho usadas no modelo CERES-Maize.

Fase nº.	**Descrição da fase**
7	Pré-semeadura
8	Semeadura à germinação
9	Germinação à emergência das plântulas
1	Emergência das plântulas ao final da etapa juvenil
2	Final da etapa juvenil à iniciação floração masculina (fase sensível ao fotoperíodo)
3	Iniciação da floração masculina à emergência do estígma na espiga
4	Emergência do estígma na espiga ao começo do enchimento do grão
5	Período do enchimento do grão
6	Final do período efetivo de enchimento do grão ao ponto de maturidade fisiológica (ponto preto)

As principais condições de contorno do modelo referentes à fenologia do milho são descritas a seguir, de acordo com Kiniry (1991):

- A temperatura base, isto é, a temperatura sob a qual o crescimento é limitado, é de 8°C para todas as fases, exceto para a fase de germinação à emergência que é de 10°C.
- Quando a disponibilidade de água no solo não é limitante, a duração da fase semeadura-emergência requer um dia até a germinação e logo uma soma térmica de 45°C.dia (base 10) para a emergência da planta com uma profundidade de semeadura de 5 cm.
- A velocidade do desenvolvimento de várias fases incrementa-se linearmente desde a temperatura base até 34°C, depois decresce linearmente até zero quando a temperatura aumenta de 34 a 44°C. De forma semelhante, assume-se que a taxa de iniciação de folhas e aparecimento de ápices foliares muda linearmente entre as duas faixas de temperatura.
- A soma térmica necessária para a iniciação de cada primórdio foliar é de 21°C.dia e para a o aparecimento de cada ápice foliar é de 38,9°C.dia.
- Durante a fase juvenil, tanto a taxa de iniciação de primórdios como a duração dessa fase é dependente da temperatura.
- Uma vez que a soma térmica do coeficiente genético P1 tem sido alcançada, o desenvolvimento do ápice é independente da temperatura e começa a etapa sensível ao fotoperíodo. Todos os genótipos iniciam a floração masculina 4 dias depois do começo dessa fase em fotoperíodos iguais ou menores que 12,5 horas. Para fotoperíodos maiores, o retardamento produzido na data de floração masculina é calculado com o coeficiente genético P2 (sensibilidade ao fotoperíodo) e o número de horas de sol (fotoperíodo).
- A duração da fase sensível ao fotoperíodo é estritamente dependente do fotoperíodo. No entanto, a iniciação de primórdios de folhas é ainda dependente da temperatura. Nessa fase as altas temperaturas aumentarão a velocidade de iniciação de folhas, porém, isso não ocorre para a taxa de desenvolvimento de folhas no ápice, resultando num maior número total de folhas e num retardamento da emergência da espiga.
- A data de floração masculina é calculada pela soma térmica e pelo efeito do fotoperíodo. Nesse momento acaba a iniciação de primórdios foliares.

- O número total de folhas surge do número de primórdios foliares iniciados entre a emergência e a iniciação da floração masculina.
- A data de emergência da espiga é a mesma do final do crescimento de folhas e fica determinada pelo número total de folhas e a velocidade de aparição de ápices foliares.
- Três fases entre a emergência da espiga e o ponto de maturidade fisiológica são simuladas: a) fase inicial nomeada "lag" (170°C.dia); b) fase de crescimento linear que finaliza quando 95% dos graus-dia necessários tenham sido acumulados; c) fase final que requer o restante 5% dos graus-dia (Quadro 1.). De acordo com dados experimentais de campo, a soma térmica de P3 varia de 665 até 940°C.dia (base 8°C).

2. 7. Aplicações do modelo CERES-Maize

Na Venezuela, foi demostrada a capacidade do modelo CERES-Maize para reproduzir em forma precisa as flutuações do conteúdo de água no solo durante o crescimento da cultura e a possibilidade do modelo detectar a presença de estresse hídrico durante o desenvolvimento do mesmo (Comerma et al., 1985).

Duchon (1986) utilizou o modelo CERES-Maize para desenvolver um esquema operacional de previsão de safra do milho nos 14 estados que compõem o "cinturão do milho" dos Estados Unidos. A técnica consiste em usar dados climatológicos diários do ano em questão (temperatura do ar e precipitação) para representarem o tempo meteorológico futuro. Esses dados vão sendo substituídos por dados meteorológicos reais, de acordo com o desenvolvimento da cultura. Os resultados mostraram que a variância associada à previsão é relativamente constante até o florescimento, diminuindo até próximo de zero com o avanço do ciclo. No ponto de maturidade fisiológica da cultura do milho, o governo tem uma estimativa satisfatória da safra, antes mesmo de iniciar a colheita, podendo a partir disso tomar decisões quanto ao transporte, armazenamento, política de preços e exportação do produto.

No Brasil o modelo foi testado por Liu et al. (1989), utilizando dados meteorológicos, de solo e da cultura de milho híbrido DINA 10, coletados no Centro

Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA-CNPMS), localizado em Sete Lagoas, MG. Com base nesses dados, foi feita uma comparação entre rendimento observado e o simulado para um período de cinco anos (1983-1987). Os parâmetros genéticos da cultura obtidos em 1983 (ano da calibração) foram usados para simular os dados dos próximos quatro anos (1984, 1985, 1986 e 1987). Os resultados mostraram que as datas simuladas e observadas, da emergência até o final do estádio juvenil, apresentaram uma diferença média de três dias enquanto as datas do florescimento até o ponto de maturidade fisiológica tiveram uma diferença média de menos de um dia. O estudo mostrou que o modelo gerou estimativas úteis de rendimento do milho para um local específico, tendo os autores sugerido a aplicação desse modelo para a estimativa de rendimento em outros locais do Brasil.

Costa (1992) realizou estimativas de safra utilizando o modelo CERES-Maize na região de Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo. O modelo simulou bem o rendimento em anos normais, porém tendeu a superestimar a safra nos anos com períodos excessivamente chuvosos.

Bowen et al. (1993) testaram o modelo CERES-Maize utilizando dados de experimentos conduzidos na EMBRAPA/CPAC no Distrito Federal, Brasil. A rotina de nitrogênio desse modelo foi avaliada com relação à simulação da disponibilidade de N após a incorporação de adubos verdes. O submodelo simulou moderadamente bem a liberação de N, porém, ficou evidenciada a necessidade de se realizar outros trabalhos visando determinar a importância da retenção de nitrato no subsolo e de como essa retenção pode ser descrita no modelo.

Lima (1995) avaliou o modelo CERES-Maize através da calibração, validação e análise de sensibilidade dos principais parâmetros envolvidos, com dados observados em experimentos de campo em Piracicaba, Estado de São Paulo. As simulações realizadas evidenciaram que o crescimento, desenvolvimento da planta e o rendimento de grãos foram estimados satisfatoriamente.

O modelo CERES-Maize foi usado por Thornton et al. (1995) para simular o crescimento e o rendimento do milho no período 1989-1992 em Malawi, (Sudeste da África). A avaliação do modelo revelou sua capacidade em simular o rendimento com uma razoável precisão em uma ampla faixa de condições ambientais. Após a avaliação, os autores utilizaram o modelo para definir épocas de semeadura para os

diferentes locais onde os experimentos de campo foram conduzidos, identificar populações ótimas, manejo adequado da fertilização nitrogenada e avaliar economicamente o uso de fertilizante e o risco climático na produção do milho. Nesse estudo utilizou-se o acoplamento do modelo com Sistema de Informação Geográfica (GIS) para realizar análises regionais e apresentação das informações.

Na região da Pampa da República Argentina, os resultados do uso do modelo CERES-Maize indicaram que em 88% dos casos, (combinação de 14 anos e 14 locais) seria possível estimar os rendimentos a nível regional com um erro de 10% (Boullon et al., 1996).

2. 8. Modelos de simulação como ferramenta para a determinação da melhor cultivar

A facilidade dos modelos de simulação para predizer o crescimento e desenvolvimento a partir de determinadas condições de solo, clima, práticas de manejo e características das cultivares, fazem deles uma ferramenta atrativa para o melhoramento de plantas (White, 1998).

Para racionalizar as atividades do melhoramento genético há necessidade de se estabelecer qual é a melhor cultivar para as condições de crescimento durante o período de cultivo. Encontrar o tipo ideal envolve três pontos fundamentais: caracterizar o ambiente onde o cultivo irá se desenvolver; definir um modelo com características morfológicas e fisiológicas conhecidas que influenciam o crescimento nesse ambiente; e combinar essas características numa planta (Mock & Pearce, 1975).

Os modelos de simulação oferecem a oportunidade de quantificar as diferentes características de uma cultivar em diversos locais com ambientes climaticamente variáveis. São uma valiosa ferramenta para resolver os conflitos associados com diferentes tipos de plantas. No entanto, o sucesso depende de se trabalhar com um adequado modelo de simulação, do conhecimento dos caracteres e de seu modo de operação na cultivar (Muchow & Carberry, 1991).

O melhoramento de plantas em ambientes com limitada oferta de água pode ser feito através da adequação da fenologia de uma cultivar com a oferta de água

esperada, melhorando o rendimento potencial para aproveitar os períodos favoráveis, ou incorporando caracteres que melhorem a tolerância à seca para diminuir o risco (Muchow & Carberry, 1991).

Esses autores, avaliaram em uma região semi-árida da Austrália, diferentes cultivares de milho, em relação ao rendimento e risco mediante modelos de simulação, utilizando dados de uma série histórica de dados de clima. Os resultados indicaram que as cultivares precoces tenderam a possuir maiores rendimentos e maior estabilidade em anos de baixos rendimentos. O aumento no potencial de rendimento foi vantajoso tanto em termos de risco como em produtividade. A resposta do rendimento frente a modificações nas características das cultivares variou muito entre os anos, esse fato destaca o limitado valor de selecionar as melhores plantas usando a metodologia convencional com experimentos conduzidos em poucas estações em ambientes climaticamente variáveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do clima das regiões de Ribeirão Preto e de Manduri

As regiões estudadas no presente trabalho foram as de Ribeirão Preto (21º 11' latitude sul; 47º 48' longitude oeste e altitude de 621 m) e Manduri (23º 10' latitude sul; 49º 20' longitude oeste e altitude de 589 m) no Norte e Sudoeste do Estado de São Paulo, respectivamente.

Com o intuito de facilitar a compreensão da relação entre a cultura e o ambiente, particularmente um melhor entendimento dos processos de crescimento e desenvolvimento do milho "safrinha", apresentasse uma breve descrição do clima das regiões sob estudo.

3. 1. 1. Temperatura do ar

Na Figura 1, apresenta-se a média para um período de 30 anos de temperaturas máximas e mínimas registradas nas regiões sob estudo. A região de Ribeirão Preto apresenta temperaturas médias máximas e mínimas mensais mais elevadas do que a região de Manduri. As temperaturas mínimas ocorrem no mês de julho para ambas regiões, atingindo 12,1 e 9,7 °C, respectivamente.

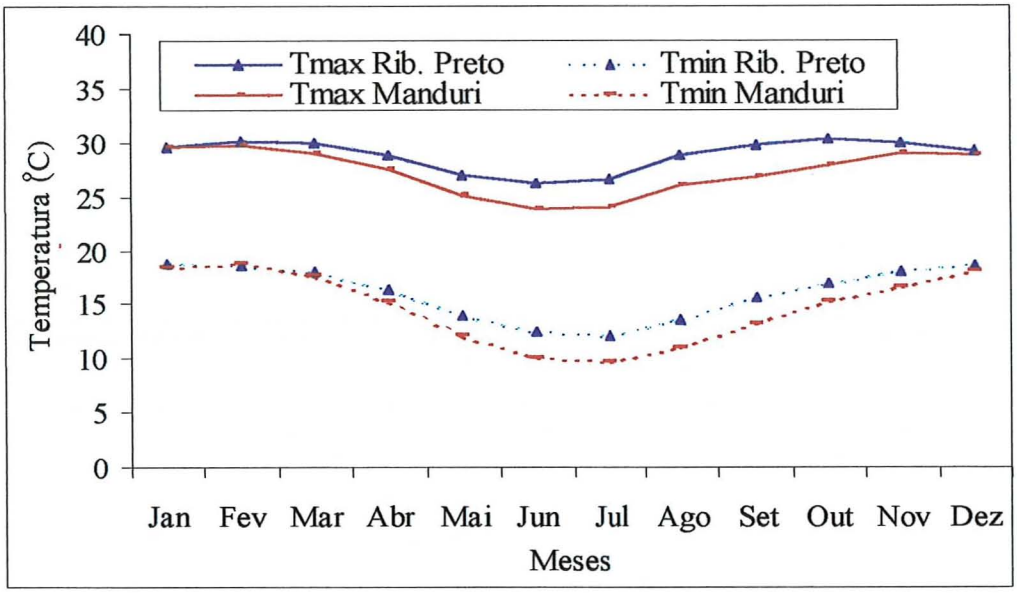


Figura 1. Temperaturas médias máximas e mínimas do ar mensais das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

3. 1. 2. Geadas

Sob o aspecto físico, geada é o processo de congelamento do orvalho depositado sobre uma determinada superfície exposta à perda de calor (Mota, 1986). Porém, geada do ponto de vista agronômico, é quando ocorre morte da planta ou de parte dela, o que geralmente é evidenciado quando as temperaturas são menores do que 0°C. Na Figura 2, pode-se observar a freqüência de dias com temperatura mínima do ar menor a 2°C ocorridos por ano na série histórica de 30 anos, para as regiões de Manduri e Ribeirão Preto, SP. O número de dias com temperatura mínima do ar menor a 2°C é notoriamente maior na região de Manduri.

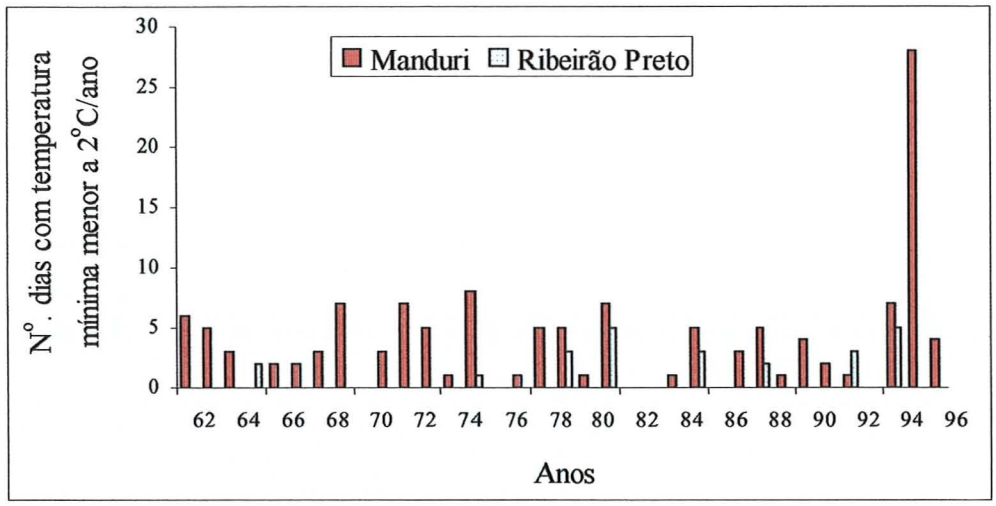


Figura 2. Número de dias por ano com temperatura mínima do ar menor ou igual a 2°C ocorridos nas regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

3. 1. 3. Radiação solar

Na Figura 3, observa-se que durante o período da safrinha (outono - inverno), a radiação solar é maior na região de Ribeirão Preto. Esse aspecto é importante para o crescimento e desenvolvimento da cultura pois a radiação incidente relaciona-se com a atividade fotossintética da cultura.

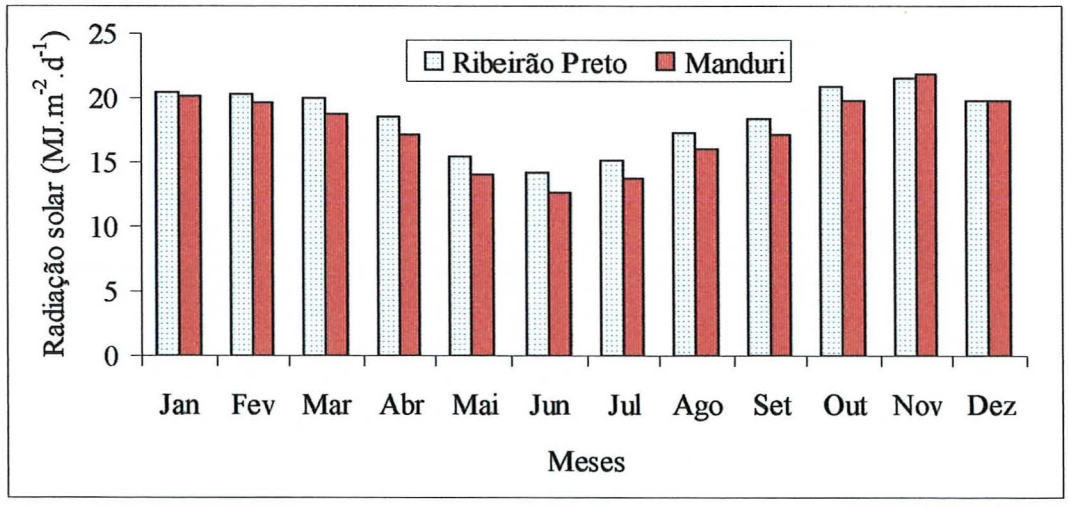


Figura 3. Média de radiação solar diária das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

3. 1. 4. Precipitação pluviométrica

Em relação à precipitação verifica-se que nos meses de maio a outubro na região de Manduri ocorre maior precipitação média do que na região de Ribeirão Preto (Figura 4). Tal fato determina melhores condições hídricas para a região de Manduri no período no qual o milho "safrinha" encontra-se no campo, especialmente nos estádios críticos à falta de água, que corresponde às fases de florescimento e inicio de enchimento dos grãos.

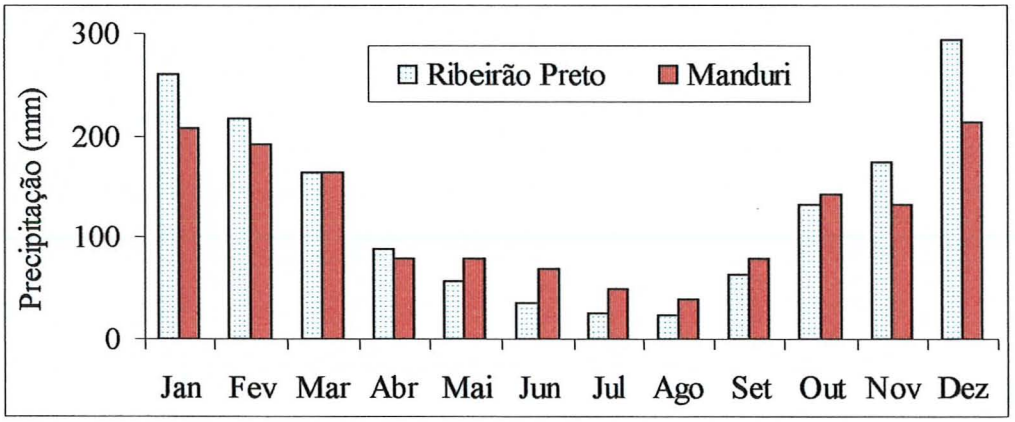


Figura 4. Média da precipitação pluviométrica das regiões de Manduri e de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Comparando-se o balanço hídrico normal para as duas regiões, (Figuras 5 e 6) verifica-se que na região de Ribeirão Preto ocorre deficiência hídrica maior do que na região de Manduri.

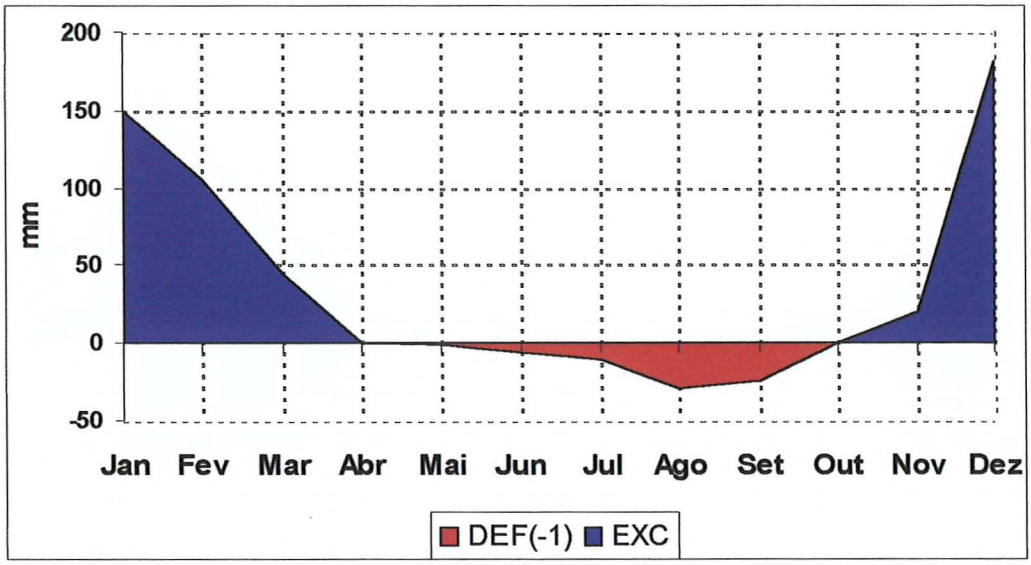


Figura 5. Extrato do balanço hídrico normal (1961-1990) para a região de Ribeirão Preto, SP, para um solo com capacidade de armazenamento igual a 100 mm. Fonte: Sentelhas et al., 1999.

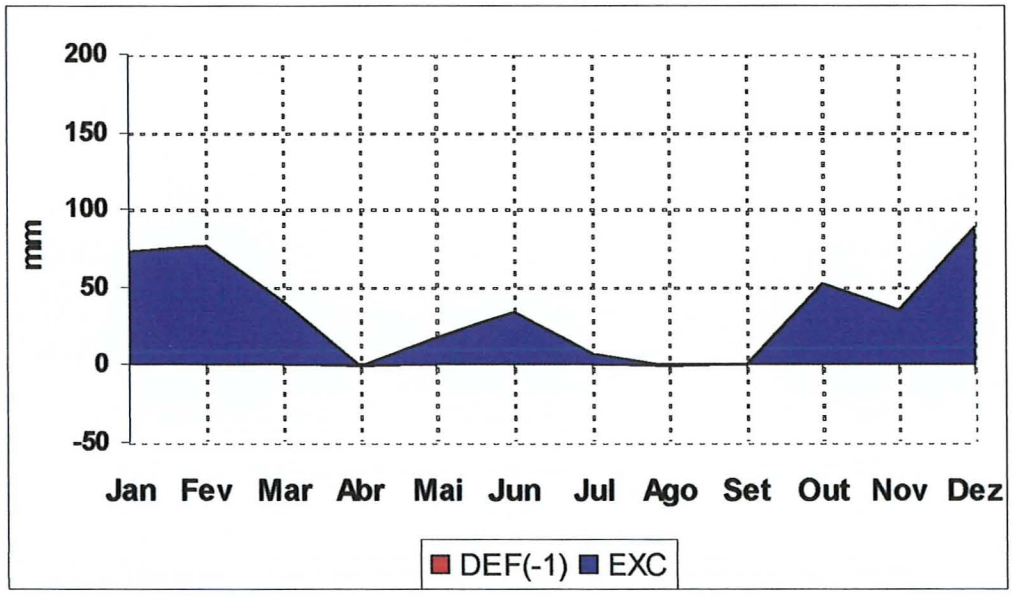


Figura 6. Extrato do balanço hídrico normal (1961-1990) para a região de Manduri, SP, para um solo com capacidade de armazenamento igual a 100 mm. Fonte: Sentelhas et al., 1999.

Pode-se dizer que o clima de ambas as regiões apresenta algumas diferenças, esperando-se, portanto, variação no crescimento e desenvolvimento do milho "safrinha" em cada uma delas.

3. 2. Caracterização dos solos

3. 2. 1. Região de Ribeirão Preto

O milho "safrinha" é cultivado na região de Ribeirão Preto principalmente em solos do tipo Latossolo Roxo. Os principais atributos físico-químicos requeridos pelo modelo CERES-Maize são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físico-químicos do solo Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura muito argilosa da região de Ribeirão Preto, SP.

Profundidade da camada (cm)	**Granulometria (%)**			**Densidade Global**	**Matéria orgânica**	**pH (KCl)**
	Argila	Silte	Areia	(g/cm^3)	(%)	
0-30	70	9	21	1,20	3,0	4,8
30-60	64	10	26	1,15	2,0	5,2
60-90	67	9	24	1,00	1,6	5,2
90-120	70	7	23	1,02	1,6	5,5

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas [1] citado por Saad (1991).

O solo, de acordo com Jones e Kiniry (1986) pertence ao grupo B, cuja descrição refere-se ao escoamento potencial moderadamente baixo, contemplando solos arenosos menos profundos que os do grupo A e que perdem a permeabilidade mais lentamente. O grupo apresenta em geral infiltração acima da média após ser umedecido.

3. 2. 2. Região de Manduri

Na região de Manduri, o milho é semeado em solos de tipo Latossolo Roxo com horizonte A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo plano. Na Tabela 2 são apresentados os principais atributos físico-químicos requeridos pelo modelo CERES-Maize.

---

[1] Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1987.

Tabela 2. Atributos físico-químicos do solo Latossolo Roxo distrófico, A moderado, da região de Manduri, SP.

Profundidade. da camada (cm)	**Granulometria (%)**			**Densidade global**	**Matéria orgânica**	**pH KCl**
	Argila	Limo	Areia	(g/cm^3)	(%)	
0-17	60	33	7	1,27	2,4	5,3
17-39	76	18	6	1,04	2.9	4,8
39-76	73	21	6	1,00	1,7	4,9
76-133	74	20	6	0,96	1,1	4,6
133-200	73	21	6	0,97	0,9	4,4

Fonte: Bognola (1995).

De acordo com Jones e Kiniry (1986) Esse solo pertence ao grupo C, cuja descrição refere-se ao escoamento potencial moderadamente alto. O grupo tem infiltração abaixo da média após pre-saturação (Jones e Kiniry, 1986).

3. 3. Descrição do modelo CERES-Maize

O modelo CERES-Maize (Jones e Kiniry, 1986) simula o crescimento e desenvolvimento da cultura de milho, assim como o balanço de água no solo e o balanço de nitrogênio ao longo do ciclo da cultura. Os processos levados em conta no modelo são: 1) balanço de carbono; 2) desenvolvimento fenológico; 3) crescimento de folhas, caule e raízes; 4) acúmulo e partição de biomassa; 5) balanço de água no solo; 6) transformação e movimento do nitrogênio no solo, sua assimilação pela planta e partição entre as partes da planta.

Para um dado conjunto de dados fornecidos por um experimento, o modelo seleciona as entradas especificadas, inicializa as variáveis de rotina e realiza os cálculos diários desde o dia escolhido como início da simulação até o dia escolhido para o seu final.

Na Figura 7, é apresentado o fluxograma do modelo CERES-Maize.

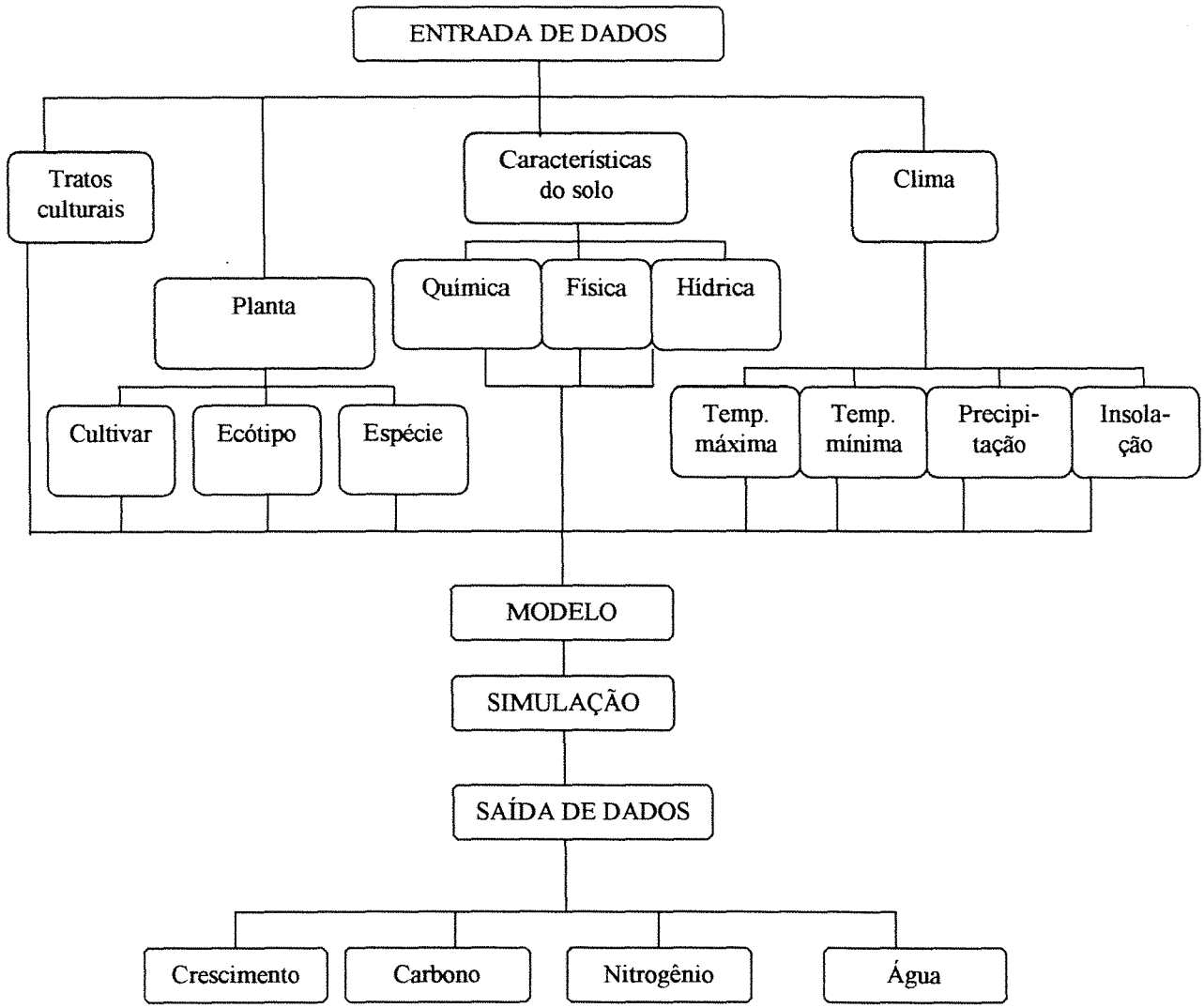


Figura 7. Fluxograma do modelo Ceres-Maize.

3. 3. 1. Fenologia

O principal fator ambiental que afeta o desenvolvimento do milho é a temperatura. O uso de unidades térmicas ou tempo térmico na predição de datas de ocorrência dos estádios de crescimento da cultura de milho, é um conceito universalmente aplicado. O tempo térmico (t_d) calcula-se conforme a equação 1 (Ritchie et al., 1998):

$$t_d = \sum_{i=1}^{n} (\overline{Ta} - Tb) \qquad (1)$$

em que: Ta é a temperatura média do ar (°C); Tb é a temperatura base na qual o crescimento cessa (para milho considera-se 8°C) e n é o número de dias de observações de temperaturas usadas no somatório.

3. 3. 2. Produção de biomassa

Para a estimativa da biomassa total produzida (B_T) considera-se a taxa de crescimento médio (g) e a duração do crescimento (d) conforme a equação 2 (Ritchie et al., 1998):

$$B_T = g.d \qquad (2)$$

O rendimento econômico da cultura corresponde à fração da B_T que é fracionada para o grão. Essa fração pode ir desde zero para cultivos com severo estresse nos estágios críticos até mais de 0,5 para cultivos que crescem em condições ótimas. Assim, o rendimento é determinado pela partição da biomassa, a qual considera os efeitos do crescimento e desenvolvimento. Esses dois processos são considerados separadamente para poder determinar de que forma diferentes quantidades de água e nutrientes alteram cada processo. Por exemplo, a expansão das células durante o crescimento vegetativo é mais sensível à deficiência hídrica que outros processos (Ritchie et al., 1998).

No crescimento, o acúmulo de biomassa está relacionado com a absorção de radiação fotossintéticamente ativa (PAR). Assim, o crescimento depende da

quantidade de PAR recebida e da quantidade de superfície foliar disponível para sua absorção. Sendo assim, a produção potencial de biomassa (PCARB) é calculada pela equação 3.

$$PCARB = RUE.IPAR \tag{3}$$

em que RUE é a eficiência de uso da radiação que para milho considera-se 5g MJ^{-1}; IPAR é a fração da PAR interceptada pelas plantas, que é obtida pela equação 4:

$$IPAR = PAR.\left(1 - e^{(-K.IAF)}\right) \tag{4}$$

sendo: K o coeficiente de extinção (que no caso de milho é 0,65); e IAF o índice de área foliar (m^2/m^2).

Porém, a produção de biomassa pode ser menor que a PCARB por causa de temperaturas não ótimas ou deficiências de água ou nitrogênio.

O efeito da temperatura é estimado através de um fator de redução (PRFT) calculado segundo a equação 5:

$$PRFT = 1 - T_c.(Tday - T_o)^2 \tag{5}$$

em que: Tc é uma constante empírica de ajuste; To é a temperatura ótima para a fotossíntese, que para milho é 26°C; Tday é calculada pela equação 6:

$$Tday = 0{,}75.T\,max + 0{,}25.T\,min \tag{6}$$

sendo: Tmax a temperatura máxima diária (°C); e Tmin a temperatura mínima diária (°C).

Os submodelos de balanço de água e nitrogênio no solo estimam valores diários da disponibilidade e demanda de água e nitrogênio respectivamente, os quais são usados para influenciar a taxa do crescimento e desenvolvimento (Jones et al.,

1996). A equação para calcular a produção de biomassa (CARBO) baseia-se na lei do fator limitante para reduzir o PCARB conforme a equação 7 (Ritchie et al., 1998).

$$CARBO = PCARB.\min(PRFT, SWDF1, NDEF1, 1) \quad (7)$$

em que: SWDF1 é o valor usado para diminuir o PCARB devido a déficit hídrico; NDEF1 é o valor usado para diminuir o PCARB devido a déficit de nitrogênio, sendo que "min" indica que o mínimo valor da lista que está entre parênteses será usado.

A partição de fotoassimilados nos diversos componentes da planta se baseia no crescimento dos órgãos e na quantidade diária de crescimento produzido (Jones et al., 1996).

3. 3. 3. Balanço hídrico

O modelo CERES-Maize possui uma subrotina para estimar o balanço de água no solo diariamente. Suas duas funções principais são calcular a redistribuição de água devido à irrigação, precipitação e drenagem, e calcular a evapotranspiração potencial, a evaporação do solo e a transpiração da planta.

A água preenche o perfil, camada por camada, até que seja atingido o conteúdo de água correspondente à capacidade de campo naquelas camadas e o excesso é contabilizado como drenagem profunda ou escoamento superficial.

A drenagem é controlada pela camada de solo que drena mais lento. A mesma ocorre quando o conteúdo de água está entre saturação e capacidade de campo (Ritchie, 1998). A infiltração da água de chuva ou da irrigação e o escoamento superficial são estimados pelo método do número da curva de escoamento superficial (Jones e Kiniry, 1986). Segundo Ritchie et al. (1990) esse método descreve quatro grupos hidrológicos de solo, devendo-se escolher o valor mais apropriado para representar o número da curva de escoamento do solo estudado.

A evapotranspiração potencial, no modelo CERES-Maize é estimada pela equação de Priestley-Taylor, a qual necessita apenas de dados de temperatura máxima e mínima diária e saldo de radiação.

A evapotranspiração potencial e a disponibilidade de água governam a extração de água através evaporação da camada superior do solo (0-5cm) e da transpiração na zona radicular.

A transpiração é proporcional à energia interceptada pelo dossel da cultura e a evaporação do solo depende da quantidade de energia que atinge a superfície do solo (Klocke et al., 1996). Elas são afetadas pelo índice de área foliar, albedo do solo e teor de água no solo. Em condições de baixo teor de água no solo, a absorção de água pelas raízes é reduzida, e consequentemente, a transpiração. O estresse hídrico determina uma redução da fotossíntese e do crescimento em expansão e um aumento da partição da biomassa para as raízes (Faria et al., 1997).

3. 3. 4. Balanço de nitrogênio

O balanço de nitrogênio do modelo CERES-Maize estima as absorções de NO_{-3} e NH_{+4}, as quais dependem de sua concentração no solo, da disponibilidade de água e da densidade de raízes em cada camada do solo. A demanda diária de N pela cultura é calculada a partir do acúmulo de matéria seca em cada órgão da planta multiplicada pela concentração máxima de N encontrada nos tecidos do milho.

3. 4. Dados requeridos para o uso do modelo CERES-Maize

No Quadro 2, é apresentado um resumo dos elementos climáticos e parâmetros genéticos, de solo, de manejo da cultura e de análise econômica para executar o modelo CERES-Maize.

Quadro 2. Parâmetros genéticos, de manejo da cultura, de solo, de análise econômica e elementos climáticos necessários para a simulação, utilizando o modelo CERES-Maize.

Manejo	
1	Cultivar
2	Dados da área de plantio
3	Dados de análise do solo
4	Dados sobre o plantio
5	Irrigação
6	Fertilizantes
7	Informação sobre a incorporação de resíduos e rotação de culturas
Parâmetros do solo	
1	Albedo do solo
2	Coeficiente de taxa de drenagem no perfil do solo
3	Número da curva de escoamento superficial
4	Espessura da camada do solo (cm)
5	Umidade à saturação e inicial ($cm^3.cm^{-3}$)
6	Fator de ponderação da distribuição radicular
7	Densidade global ($g.cm^{-3}$)e textura do solo
Clima	
1	Insolação (horas)
2	Precipitação diária ($mm.d^{-1}$)
3	Temperaturas máxima e mínima diárias (°C)
Análise econômica	
1	Preço do produto colhido: grão ($R\$.t^{-1}$)
2	Custo base de produção ($R\$.ha^{-1}$)
3	Custo do fertilizante N ($R\$.kg^{-1}$)
4	Custo por aplicação do fertilizante N (R$)
5	Custo da irrigação ($R\$.mm^{-1}$)
6	Custo por aplicação da irrigação ($R\$.há^{-1}$)
7	Custo da semente ($R\$.kg^{-1}$)
Parâmetros genéticos	
1	Soma térmica: desde emergência das plântulas até o final do estádio juvenil (P1)
2	Coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (P2)
3	Soma térmica: desde o florescimento até o ponto de maturidade fisiológica (P3)
4	Número potencial de semente por planta (G2)
5	Taxa potencial de crescimento de semente ($mg.semente^{-1}.d^{-1}$) (G3)

As saídas do modelo incluem variáveis da cultura e do solo, com intervalo selecionado pelo usuário, assim como um resumo sazonal de cultura, água, solo e fatores de manejo. O resumo sazonal inclui rendimento, peso seco, evapotranspiração potencial acumulada, irrigação acumulada e número de irrigações aplicadas.

3. 5. Simulações realizadas com o modelo CERES-Maize

3. 5. 1. Análise de variáveis biofísicas

Realizaram-se simulações utilizando-se o modelo CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986), que está inserido no sistema DSSAT, Decision Support System for Agrotechnology Transfer, versão 3.5 (Hoogenboom, 1998).

Foram realizadas simulações, de longo período, do crescimento de milho "safrinha" para as regiões Norte e Sudoeste do Estado de São Paulo, representadas pelas localidades de Ribeirão Preto e de Manduri, respectivamente. O modelo foi alimentado com dados de uma série climatológica histórica (1964-1995), incluindo valores diários de precipitação, temperaturas máxima e mínima e horas de insolação. Estes dados foram obtidos nos postos meteorológicos das estações experimentais do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) nessas localidades. Também foram criados arquivos com as características do solo de cada região (Tabela 1 e 2).

Dois experimentos foram simulados para cada região, considerando-se a cultura de milho irrigada e não irrigada. Utilizaram-se seis datas de semeadura para as duas regiões (15 de janeiro, 1º de fevereiro, 15 de fevereiro, 1º de março, 15 de março e 1º de abril).

Visando identificar as características genéticas que determinam maior rendimento, foram avaliados diferentes valores dos seguintes coeficientes genéticos considerados pelo modelo: duração do estádio vegetativo, desde a emergência até o final do estádio juvenil (P1); duração do estádio reprodutivo, do florescimento à maturidade fisiológica (P3), ambos em soma térmica ($°C.dia^{-1}$), e número potencial de grãos por planta (G2). Para o coeficiente genético G3, relativo à taxa de crescimento de grãos, adotou-se o valor utilizado por Lima (1995) para um híbrido de ciclo médio, 6,5 mg. $grãos^{-1}.dia^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Valores dos coeficientes genéticos utilizados nas simulações.

Genótipo	**P1** (graus - dia)	**P3** (graus - dia)	**G2** (grãos/planta)	**G3** (mg. grãos^{-1}.dia^{-1})
1	200	600	400	6,5
2	200	600	600	6,5
3	200	600	800	6,5
4	300	750	400	6,5
5	300	750	600	6,5
6	300	750	800	6,5
7	400	950	400	6,5
8	400	950	600	6,5
9	400	950	800	6,5

Nas simulações, foram consideradas práticas de manejo comumente usadas pelos agricultores de milho "safrinha". Dessa forma, foram simuladas densidade de 50.000 plantas.ha^{-1}, espaçamento entre fileiras de 70 cm e profundidade de semeadura de 8 cm.

No experimento irrigado, consideraram-se irrigações de 10 mm aplicadas por aspersão quando o nível de água disponível no solo atingia 60%. Também, foram assumidas aplicações de 10 kg.ha^{-1} de N, 25 kg.ha^{-1} de P_2O_5 e 20 kg.ha^{-1} de K_2O na semeadura, seguidas de 40 kg.ha^{-1} de N em cobertura aos 30 dias após a semeadura.

Realizou-se a análise das simulações mediante o estudo de médias, desvios padrão, freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados.

Foram realizadas simulações dos mencionados experimentos, visando a quantificação dos efeitos do fertilizante e da irrigação no rendimento, assim como o efeito do comprimento do sistema radicular.

3. 5. 2. Análise econômica

Na análise econômica utilizou-se como critério de decisão a receita líquida, a qual é obtida pela diferença entre o custo total (Ct) e o valor da cultura, dado pela seguinte equação:

$$RL = P.Y - Ct \quad (8)$$

em que: RL = receita líquida, em $R\$.ha^{-1}$; P = preço do produto, em $R\$.kg^{-1}$; Y = rendimento simulado, $kg.ha^{-1}$.

Utilizaram-se os mesmos experimentos simulados para estimar a receita líquida na série de anos considerada para ambas localidades.

As informações necessárias para o funcionamento da rotina de análise econômica é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Informações necessárias para o preenchimento do arquivo para análise econômica.

Custo o preço	**Valor utilizado**
Preço do produto colhido ($R\$.t^{-1}$)	145 (*)
Custo base de produção ($R\$.ha^{-1}$)	293,5 (**)
Custo do fertilizante nitrogênio ($R\$.kg^{-1}$)	0,45 (***)
Custo por aplicação do fertilizante nitrogênio (R$)	6,8 (****)
Custo da irrigação ($R\$.mm^{-1}$)	0,5 (*****)
Custo por irrigação aplicada ($R\$.ha^{-1}$)	(desprezível)
Custo da semente ($R\$.kg^{-1}$)	1,9 (****)

(*) Média de preços nas safras 94 a 99 (Agrianual, 2000); (**) Custo estimado, Tsunechiro (1998); (***) Preços agrícolas junho 1999; (****) Agrianual 99; (*****) Faveta, 1998 e Frizone com pes).

Para a estimativa de custos, o custo total foi dividido em custos fixos (independentes da irrigação) e custos relacionados a irrigação (Faria et al., 1997). A função de custo total foi dada pela seguinte equação:

$$Ct = Cf + Cit \quad (9)$$

em que: Ct = custo total por unidade de área, em $R\$.ha^{-1}$; Cf = custo fixo e independente da irrigação por unidade de área, em $R\$.ha^{-1}$; Cit = custo relacionado à irrigação por unidade de área, em $R\$.ha^{-1}$. No presente trabalho considerou-se Cit= 75 $R\$.ha^{-1}$, conforme dados obtidos por Favetta (1998) no Estado de São Paulo.

Custo fixo é definido como os custos de investimento associados a produção da cultura (sementes, mão de obra, etc.). O custo relacionado a irrigação pode ser

dividido em custo do capital investido no equipamento de irrigação (depreciação, juros, etc.) e preço do volume de água aplicado durante o período de crescimento da cultura. A função de custo relacionado a irrigação foi dada pela seguinte equação:

$$Cit = Coi + Cic.I \qquad (10)$$

em que: Coi = custo do capital relacionado ao investimento no equipamento de irrigação por unidade de área, em $R\$.ha^{-1}$; Cic = custo operacional da irrigação por unidade de área (para o método de pivô central considera-se desprezível), em $R\$.ha^{-1}$; I = lâmina total aplicada na estação de crescimento da cultura, em $mm.ha^{-1}$.

O preço do milho foi considerado variando de acordo com uma distribuição estocástica triangular com valores variando 10% do valor médio conforme a variação dos preços recebidos pelos agricultores do Vale do Paranapanema reportada por Tsunechiro (1998).

A análise foi efetuada mediante a combinação das distribuições simuladas do rendimento, estimado para cada ano no período de 30 anos, com o uso de uma distribuição especifica de preço do milho. Portanto, tiveram-se duas variáveis estocásticas, o rendimento (Y) e o preço do produto (P).

Na análise, os valores de rendimento para cada simulação foram combinados algebricamente com o inverso de uma função de probabilidade acumulativa (FPA), que descreve o preço dos produtos, utilizando 5 eqüidistantes porcentagens da FPA (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Segundo, Thornton & Hoogenboom (1994), o inverso de uma função de probabilidade acumulativa (FPA) é uma expressão algébrica por meio da qual o valor de uma variável randômica associada a um valor de probabilidade acumulativa pode ser calculado. Assim, cada valor do rendimento simulado foi multiplicado por cada um dos cinco preços do produto (obtidos através das cinco eqüidistantes porcentagens). Dessa forma obteve-se um vetor com 150 elementos. Finalmente, uma interpolação linear desse vetor estima a distribuição da variável randômica "Preço x Rendimento" com o mesmo número de elementos que o número de simulações, sendo, nesse caso, trinta anos.

A FPA para uma receita líquida por hectare foi obtida através da subtração do custo total (Ct) da receita bruta obtida pela FPA do "Preço x Rendimento". Essas relações são descritas pela equação 11.

$$RL = \langle P \rangle . \langle Y \rangle - Ct \qquad (11)$$

em que < > indica valor esperado.

O critério de decisão foi selecionar a solução que apresentasse o maior valor esperado de renda líquida, com a menor probabilidade de risco, em um período de trinta anos de simulação. Para isso, utilizou-se a estratégia de análise "mean gini dominance", descrita de acordo com Thornton e Hoogenboom (1994), em que a estratégia A domina B se:

$$E(A) \geq E(B) \qquad \text{e} \qquad E(A) - \Gamma(A) \geq E(B) - \Gamma(B)$$

em que E(A) e E(B) são as médias de renda líquida dos tratamentos A e B; $\Gamma(A)$ e $\Gamma(B)$ são os coeficientes gini de A e B. Os coeficientes gini correspondem à metade da diferença absoluta esperada, ou seja é uma medida de dispersão de uma distribuição de probabilidade, obtida pela média das diferenças absolutas de pares de valores selecionados ao acaso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. 1. Simulação do crescimento e do desenvolvimento do milho "safrinha" na região de Ribeirão Preto

4. 1. 1. Simulação da fenologia

Na Tabela 5 observa-se que os períodos entre a emergência e a floração foram mais longos para as épocas de semeadura mais tardias. Isso foi atribuído ao maior tempo para acumular o número de °C.d. requerido para o coeficiente genético P1 (soma térmica desde a emergência até o final da etapa vegetativa) em cada grupo de cultivares, devido ao decréscimo de temperatura à medida que se avança à partir do final do verão aos meses de outono.

Tabela 5. Número de dias da emergência à floração para os nove genótipos nas seis épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP.

	Data de semeadura					
Genótipos	**15-Jan**	**1-Fev**	**15-Fev**	**1-Mar**	**15-Mar**	**1-Abr**
Ciclo curto 1, 2, 3	51	52	52	54	57	60
Ciclo médio 4, 5, 6	64	64	66	68	72	78
Ciclo longo 7, 8, 9	76	78	80	84	89	95

As semeaduras simuladas no mês de março tiveram em média um ciclo de 70 dias de emergência ao florescimento. Resultados similares foram obtidos por Duarte et al. (1999) em experimentos realizados no campo, no Norte do Estado de

São Paulo, em semeaduras no mês de março, onde foram verificados ciclos desde a emergência até o florescimento de 36 cultivares avaliados entre 60 e 68 dias.

Cabe destacar que a duração do sub-período emergência à floração não apresentou diferenças entre a condição irrigada e não irrigada. No entanto, o modelo simulou diferentes períodos de enchimento do grão para o milho irrigado e não irrigado. Assim, observa-se na Tabela 6 que na situação de sequeiro os sub-períodos da emergência até a maturidade fisiológica foram menores que na situação irrigada pois o enchimento dos grãos foi finalizado abruptamente devido ao lento enchimento dos mesmos. Esse fato foi mais pronunciado nos genótipos de ciclos mais longos, por ficar mais expostos às condições de estresse hídrico. Segundo Llanos (1984), o tempo que as espigas necessitam para a emergência dos estigmas é de aproximadamente dez dias, mas em condições de seca este período pode ser de até quatro semanas. Assim, a coincidência do momento da fecundação com altas temperaturas e escassez de água pode fazer que grande porcentagem de flores femininas não recebam pólen, consequentemente, muitas flores abortaram e existirá uma redução no rendimento.

Um fato a ressaltar é a diminuição do valor simulado do número de dias entre a emergência e a maturidade fisiológica para os genótipos de ciclo longo sob condições de sequeiro à medida que se atrasa a época de semeadura, devido, às condições ambientais adversas que determinaram a finalização abrupta do período de enchimento do grão.

A duração do período da emergência à maturidade fisiológica também aumentou à medida que se atrasou a época de semeadura (Tabela 6). Para os genótipos de ciclo longo, na semeadura de 1º de abril, sob condições de sequeiro foram simulados ciclos de 125 dias e 164 dias sob condições irrigadas.

Tabela 6. Número de dias da emergência à maturidade fisiológica simulados para os nove genótipos nas seis épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP.

		Data de semeadura					
Genótipos		**15-Jan**	**1-Fev**	**15-Fev**	**1-Mar**	**15-Mar**	**1-Abr**
Ciclo curto	Irrigado	90	93	97	102	107	111
1, 2, 3	Sequeiro	90	93	95	99	104	106
Ciclo médio	Irrigado	115	121	127	131	135	137
4, 5, 6	Sequeiro	114	112	110	111	114	117
Ciclo longo	Irrigado	148	155	159	161	162	164
7, 8, 9	Sequeiro	133	124	123	120	119	125

4. 1. 2. Simulação do rendimento sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

Os genótipos de ciclo curto foram os que tiveram os maiores rendimentos para a série de anos simulada e a menor variabilidade (Tabela 7). Entretanto, o oposto ocorreu para os genótipos de ciclo longo. Esses genótipos, ao ter maior ciclo, foram mais prejudicados pela deficiência hídrica e baixas temperaturas, portanto obtiveram menores rendimentos simulados e maior variabilidade.

Para o milho não irrigado, à medida que se atrasou a semeadura, o rendimento simulado pelo modelo diminuiu consideravelmente. Assim, o rendimento médio de todos os genótipos simulados na primeira época de semeadura (15-janeiro) foi de 3.474 $kg.ha^{-1}$, reduzindo-se 49 e 65% quando a semeadura foi realizada em 1º de março e 1º de abril, respectivamente. Isso foi atribuído aos efeitos da deficiência hídrica, menor disponibilidade de radiação solar e menor temperatura nos meses de outono, conforme visto na caracterização do clima apresentada. É conhecido o efeito da deficiência hídrica no rendimento das culturas. Nesse ponto, Eck (1986) reporta que períodos de duas a quatro semanas de deficiência de água na etapa de polinização provocaram uma redução no rendimento em grão de 23% a 46 %. As fases mais sensíveis a deficiência de água na cultura de milho, em ordem decrescente, são: floração, enchimento de grãos e desenvolvimento vegetativo.

Tabela 7. Rendimento médio e desvio padrão (kg.ha^{-1}) para os diferentes ciclos da cultura de milho "safrinha" simulados na condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto, SP.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de semeadura	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**
15/Jan	3.182	380	3.904	822	3.337	1.677	**3.474**	**960**
1/Fev	3.208	536	3.267	1.453	2.287	1.910	**2.921**	**1.299**
15/Fev	2.944	752	2.532	1.830	1.519	1.528	**2.332**	**1.370**
1/Mar	2.587	964	1.792	1.428	890	921	**1.756**	**1.104**
15/Mar	2.138	860	1.391	1.088	649	971	**1.393**	**973**
1/Abr	1.788	840	1.296	1.285	566	960	**1.217**	**1.028**
Média	**2.641**	**722**	**2.364**	**1.318**	**1.541**	**1.328**	**2.182**	**1.123**

Nas simulações sem irrigação, o genótipo 3 foi o que teve maior rendimento médio, 3.397 kg.ha^{-1} para todas as épocas de semeaduras (Figura 8). Esse genótipo é caracterizado por possuir ciclo curto, maior número de grãos por planta (800) e, conseqüentemente, elevado número de grãos/m^2.

O genótipo 6, de ciclo médio, também apresentou rendimento elevado, porém apenas na primeira e segunda épocas de semeadura (15 de janeiro e 1º de fevereiro), caindo drasticamente à medida em que a semeadura simulada foi mais tardia. Isso pode ser explicado porque as primeiras épocas de semeadura determinaram melhores condições hídricas, de temperatura e de radiação solar para esse genótipo. No entanto na medida que se atrasou a semeadura os ciclos simulados foram maiores e as condições ambientais foram mais adversas para a cultura.

O genótipo 7, por possuir ciclo longo e baixo número de grãos por planta (400), foi o que apresentou o pior desempenho na série de anos simulados (média de todas as épocas de semeadura de 1.105 kg.ha^{-1}).

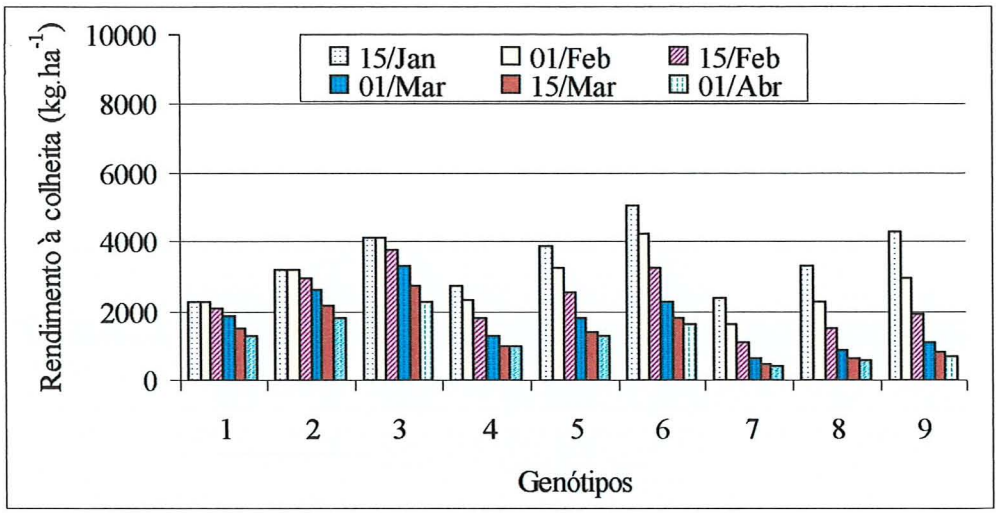


Figura 8. Rendimento simulado da cultura do milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, de acordo com genótipo e época de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP.

Pela Figura 9 pode-se observar que o genótipo 9 foi aquele que apresentou maior desvio padrão do rendimento (médio de 1.712 kg.ha^{-1}). Isso pode ser explicado pelas características do genótipo: o ciclo longo determinou que estivesse submetido às condições ambientais adversas e ao possuir elevado número de grãos/m^2, o rendimento simulado foi relativamente alto.

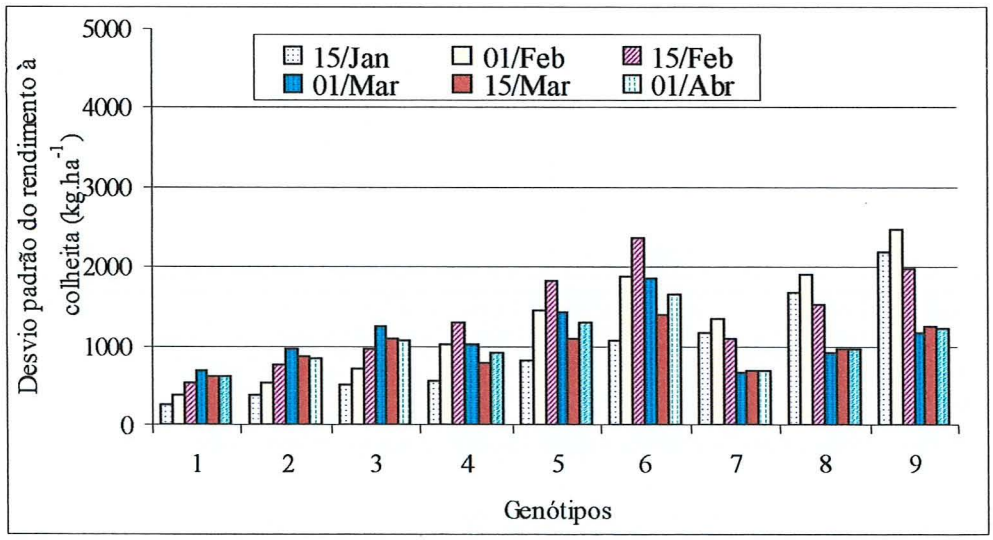


Figura 9. Desvio padrão do rendimento da cultura de milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, de acordo com genótipo e época de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP.

O genótipo 1 de ciclo curto e baixo número de grãos/m^2 foi o que apresentou menor desvio padrão (média de todas as épocas de 508 $kg.ha^{-1}$) (Figura 9).

4. 1. 3. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

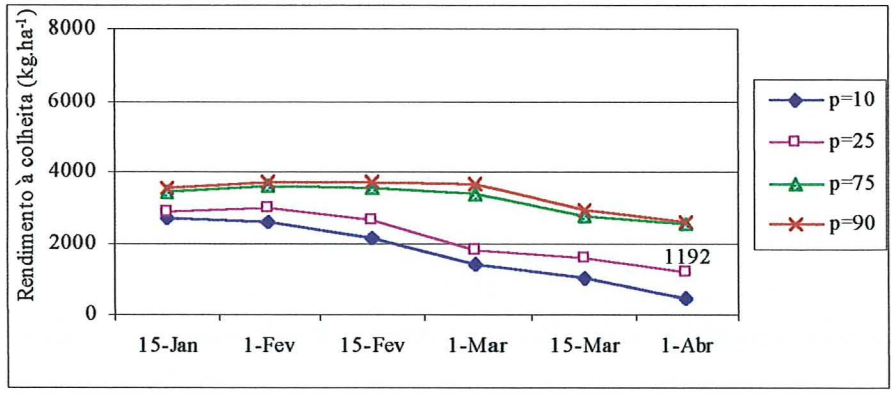
A análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições de sequeiro, confirma que os genótipos de ciclo curto foram mais estáveis nas diferentes épocas de semeadura. Assim, na semeadura de 1º de abril, em 25% dos anos, simularam-se rendimentos menores que 1.192 $kg.ha^{-1}$ (Figura 10).

Em relação as épocas de semeadura, nos genótipos de ciclo curto, verificou-se um incremento do risco em semeaduras após 1º de março.

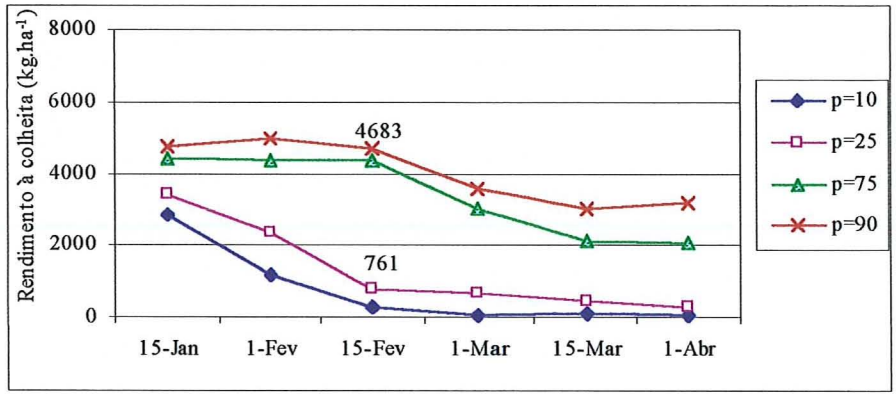
Os genótipos de ciclo médio também tiveram bom desempenho na primeira época de semeadura, podendo-se observar que a partir da semeadura do 15 de fevereiro, em 25% dos anos o rendimento foi menor de 761 $kg.ha^{-1}$.

Os genótipos de ciclo longo tiveram em 9 de cada dez anos (p=90) rendimentos menores a 5.562 $kg.ha^{-1}$ na primeira época de semeadura (15/janeiro), nas semeaduras mais tardias o rendimento simulado caiu notoriamente (Figura 10).

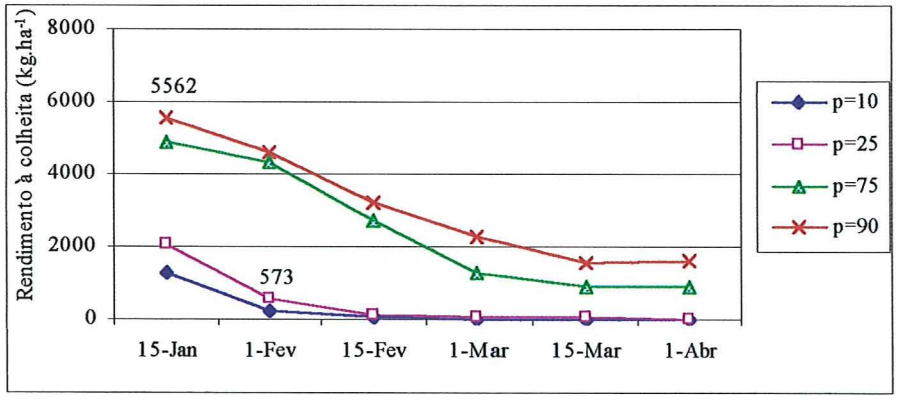
Para os genótipos de ciclo médio e longo, semeaduras após 1º de fevereiro apresentaram um alto risco.



(A) ciclos curtos



(B) ciclos médios



(C) ciclos longos

Figura 10. Rendimentos simulados para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência.

4. 1. 4. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

Na Figura 11, estão representados graficamente os resultados dos principais componentes do balanço hídrico simulado pelo modelo e a precipitação ocorrida durante o período semeadura - colheita nas diferentes datas de semeadura para as cultivares estudadas.

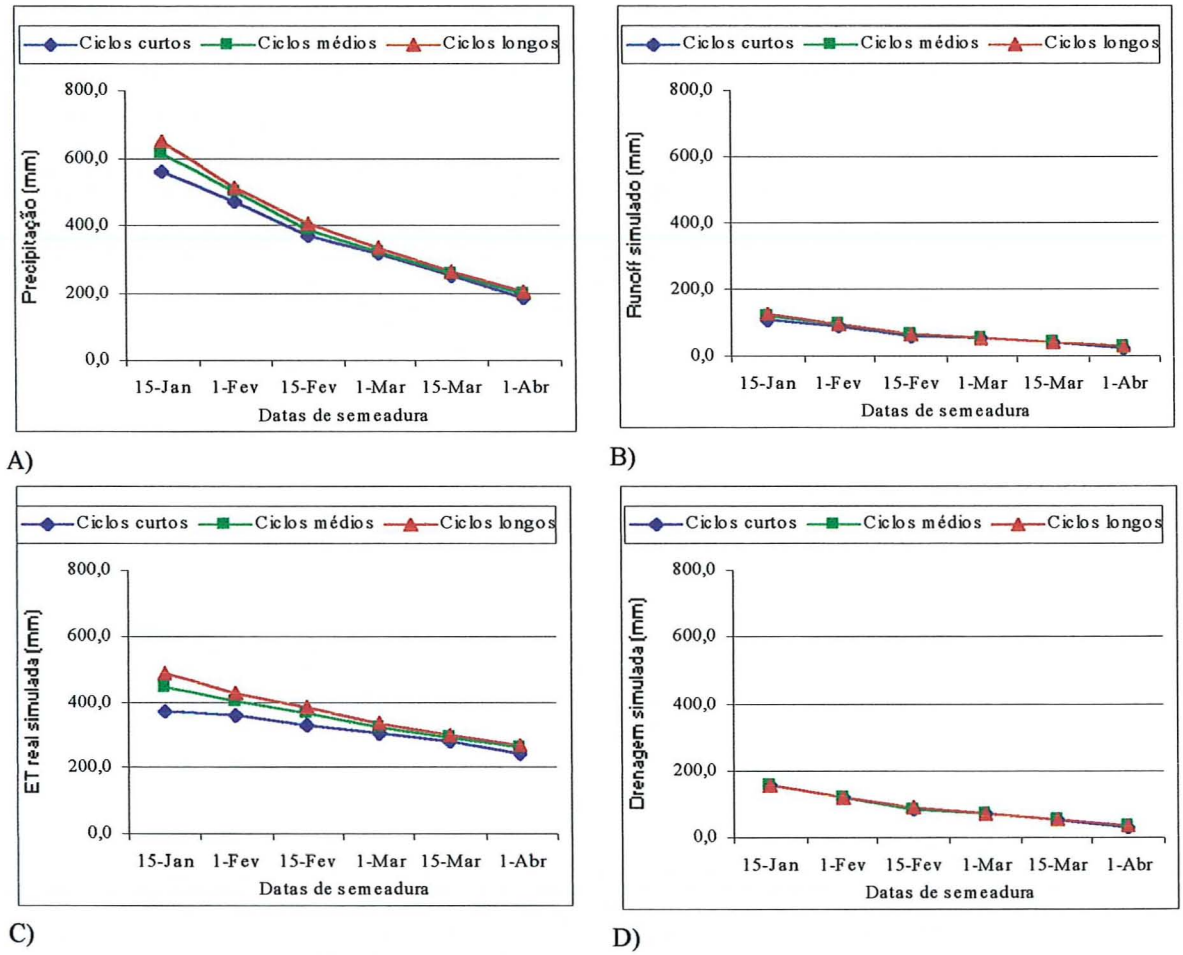


Figura 11. Precipitação ocorrida (A), escoamento superficial (B), evapotranspiração real (C) e drenagem (D) simulados durante o período semeadura - colheita nos diferentes ciclos dos genótipos, nas diferentes épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

A precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura teve um máximo de 652 mm para os genótipos de ciclo longo semeados em 15 de janeiro e um mínimo de 185 mm para as cultivares de ciclo curto semeados em 1º de abril. A mesma

tendência foi observada nos valores simulados de escoamento superficial ou runoff e a drenagem subsuperficial, ou seja atingiram o valor máximo na semeadura de 15 de janeiro e o menor em 15 de abril (Figura 11: A, B e D).

A quantidade de água usada no processo de evapotranspiração apresentou a mesma tendência da precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura (Figura 11 C). Assim a evapotranspiração real atingiu o máximo valor na semeadura do 15 de janeiro, nos genótipos de ciclo longo (490 mm) e o menor valor na semeadura de 1º de abril nos genótipos de ciclo curto (247 mm).

4. 1. 5. Simulação do rendimento sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

Em condições irrigadas as simulações efetuadas para todos os genótipos em todas as épocas de semeadura apresentaram um rendimento médio de 4.508 $kg.ha^{-1}$, sendo mais do que o dobro da condição de sequeiro (2.182 $kg.ha^{-1}$) (Tabelas 7 e 8); como também os menores desvios padrão.

Os genótipos de ciclo longo ao ficarem expostos às condições hídricas adequadas e por terem um maior período para acumular fotoassimilados, foram os que tiveram maior rendimento. Porém, ao ter elevado rendimento, e o mesmo estar influenciado também por outros elementos como por exemplo temperatura e radiação solar, apresentaram uma maior variabilidade, sendo portanto, de maior risco (Tabela 8).

Tabela 8. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) para os diferentes ciclos da cultura de milho "safrinha" simulados na condição irrigada e fertilizada para a região de Ribeirão Preto, SP.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de semeadura	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio Padrão**
15/Jan	3.380	346	5.261	581	6.346	835	**4.995**	**587**
1/Fev	3.605	385	5.327	557	6.257	761	**5.063**	**568**
15/Fev	3.624	362	5.112	569	5.424	1.060	**4.720**	**664**
1/Mar	3.576	337	4.584	820	5.000	1.132	**4.387**	**763**
15/Mar	3.174	554	4.059	977	4.850	1.519	**4.028**	**1.017**
1/Abr	2.786	657	3.881	1.191	4.894	1.686	**3.854**	**1.178**
Média	**3.357**	**440**	**4.704**	**783**	**5.462**	**1.165**	**4.508**	**796**

Nas simulações para o milho irrigado, os maiores rendimentos médios simulados ocorreram na primeira e segunda épocas de semeadura sendo, respectivamente, de 4.995 e 5.063 $kg.ha^{-1}$. Porém, foram observados menores rendimentos à medida em que se atrasou a semeadura, sendo que essa diminuição de rendimento correspondeu a 13,4% na semeadura realizada em 1º de março e 24% para a semeadura de 1º de abril. Tendo sido supridas as necessidades hídricas da cultura pela irrigação, os decréscimos simulados foram atribuídos ao menor crescimento da cultura causado pela ocorrência de condições climáticas sub-ótimas, principalmente as temperaturas mais baixas e a menor disponibilidade de radiação solar.

Na condição irrigada, em todas as épocas de semeadura, o maior rendimento foi obtido com o genótipo 9 (Figura 12), o qual se caracteriza por possuir ciclo longo e alto número de grãos por espiga (800). No entanto, esse genótipo foi o que apresentou maior variabilidade, o que pode ser visualizado na Figura 13 observando-se os desvios padrão do rendimento.

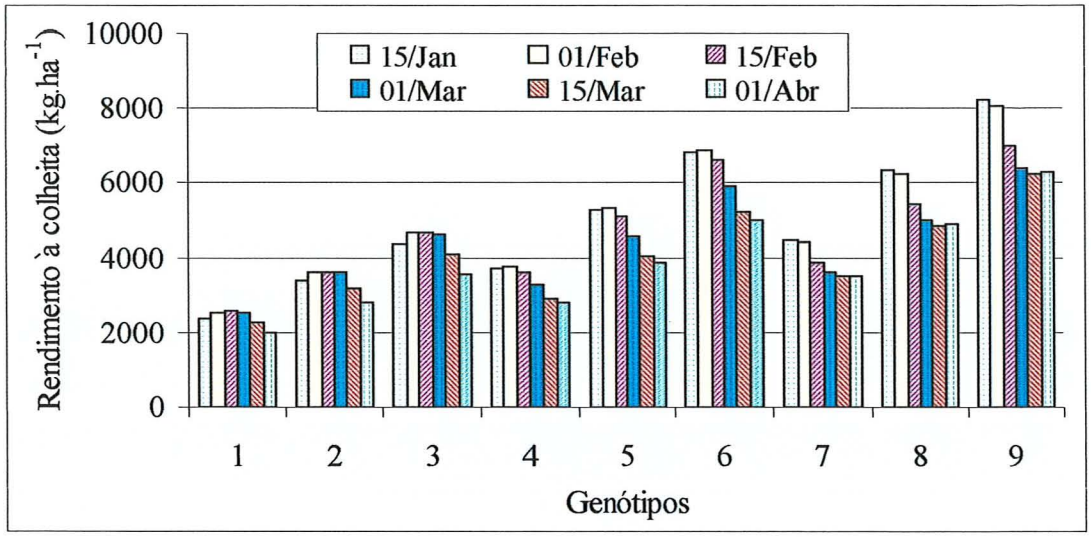


Figura 12. Rendimento simulado sob irrigação e com uso de fertilizantes para a cultura de milho "safrinha", de acordo com o genótipo e a época de semeadura, para a região de Ribeirão Preto, SP.

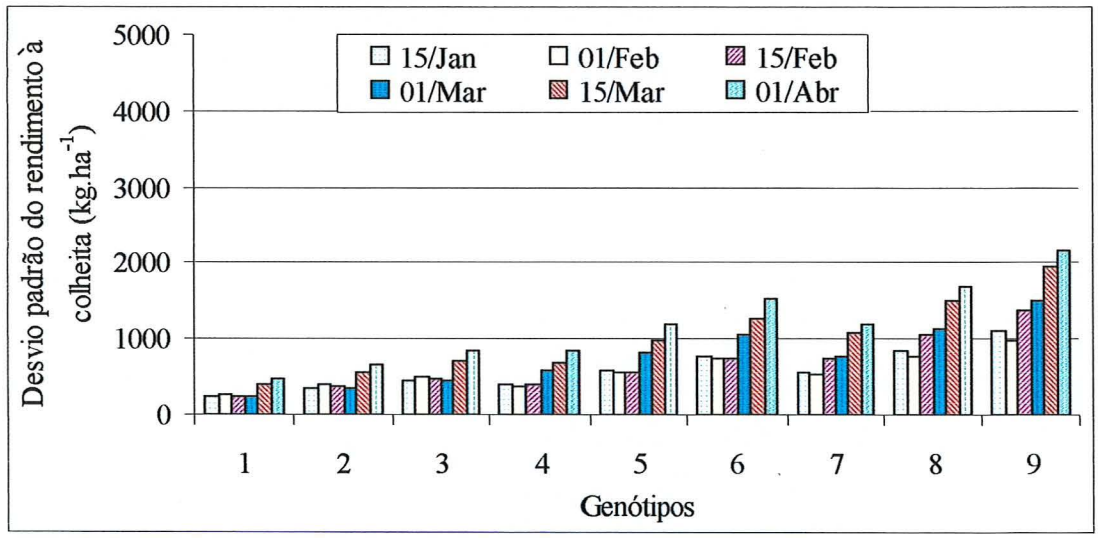
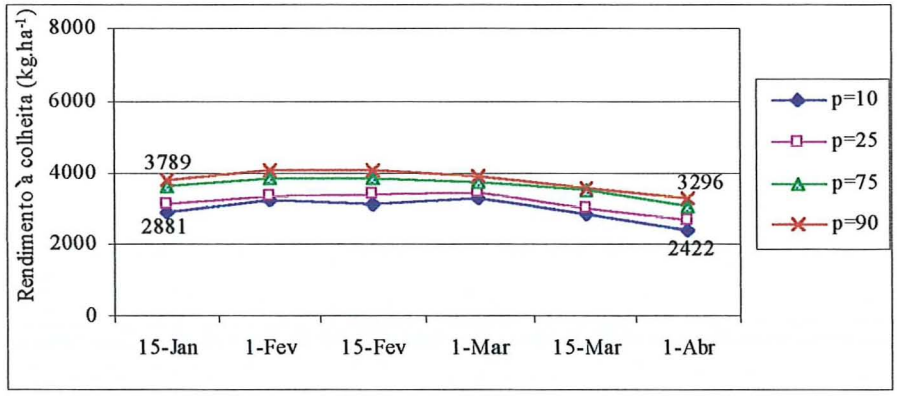


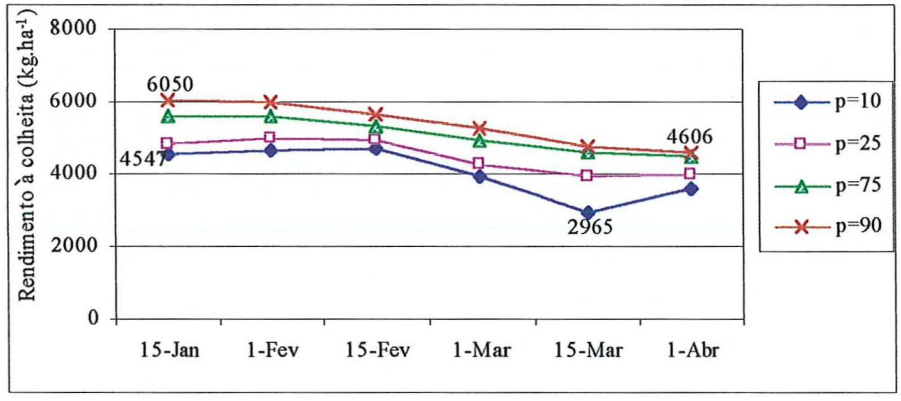
Figura 13. Desvio padrão do rendimento simulado sob irrigação e com uso de fertilizantes para a cultura de milho "safrinha", de acordo com o genótipo e a época de semeadura, para a região de Ribeirão Preto, SP.

4. 1. 6. Análise freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

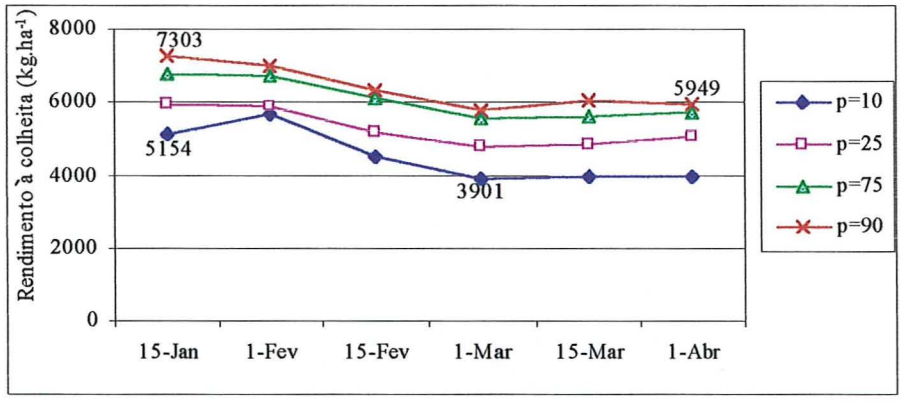
Na Figura 14, observa-se que sob condições irrigadas, os genótipos de ciclo longo tiveram maiores rendimentos simulados na série de anos simulados para todas as épocas de semeadura e para os diferentes níveis de probabilidade estudados.



(A) ciclos curtos



(B) ciclos médios



(C) ciclos longos

Datas de semeadura

Figura 14. Rendimentos simulados para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência.

4. 1. 7. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

Verificou-se menor quantidade de precipitação à medida que a semeadura foi atrasada, paralelamente, o modelo simulou maiores quantidades de água proveniente de irrigação, atingindo o máximo de 383 mm para os genótipos de ciclo longo semeados em 1º de abril. No entanto, a água total aplicada, ou seja, a água de chuva e irrigação diminuiu com o atraso da época de semeadura (Figura 15 A, B e C). A menor temperatura e a menor radiação solar registrada nos meses de outono, determinaram que a evapotranspiração real simulada tivesse leve tendência a diminuir com o atraso da época de semeadura para os três tipos de cultivares. Devido à maior duração do ciclo, os genótipos de ciclo longo tiveram maior evapotranspiração (Figura 15 D).

A menor chuva registrada durante o ciclo da cultura, nas últimas épocas de semeadura, determinou que a quantidade de água perdida por escoamento superficial e drenagem diminuísse nessas épocas (Figura 15 E e F).

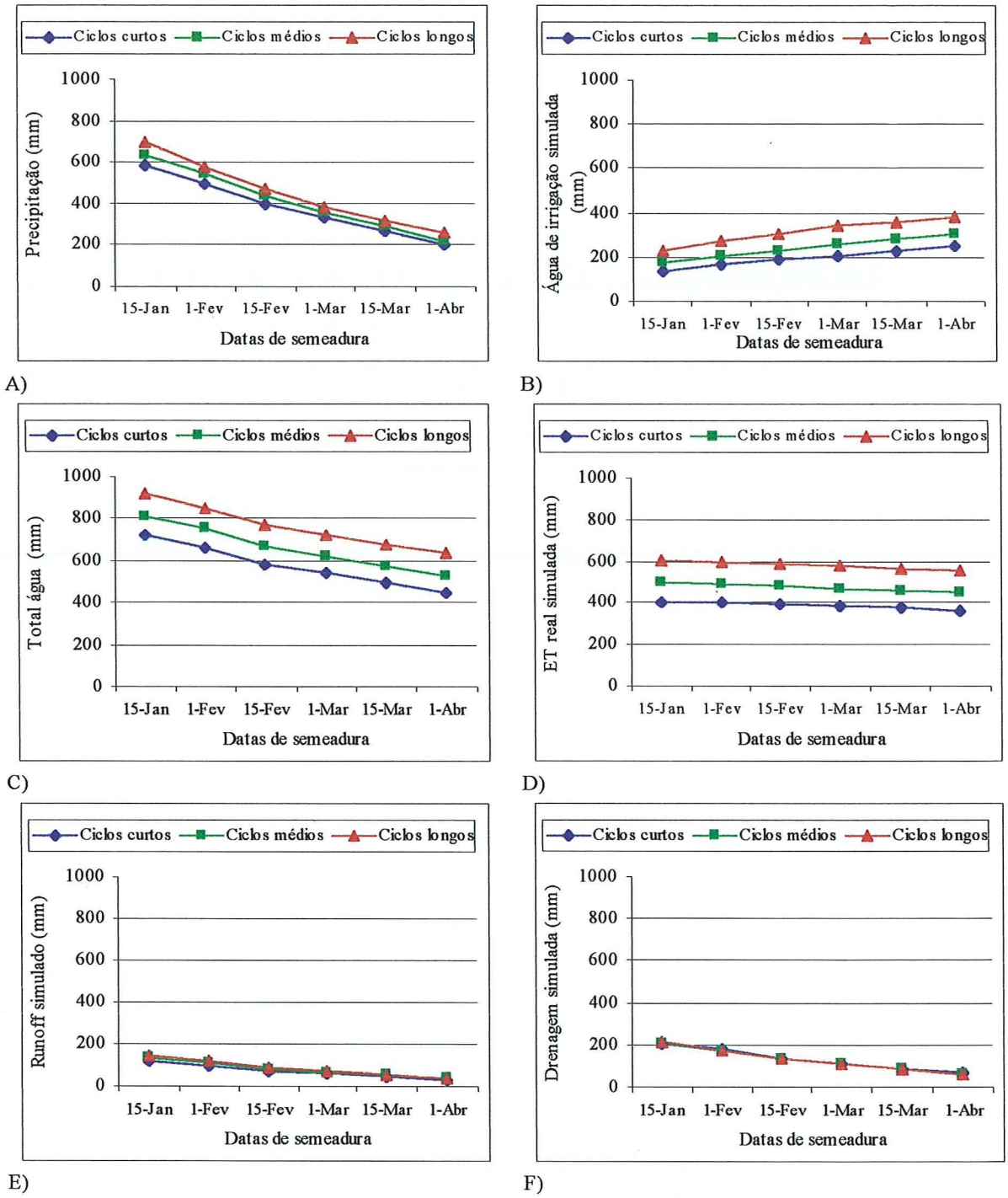


Figura 15. Precipitação ocorrida (A), quantidade de água irrigada (B), total de água de precipitação e irrigação (C), evapotranspiração real (D), escoamento superficial (E) e drenagem (F) simulados durante o período semeadura - colheita nos diferentes ciclos dos genótipos, nas diferentes épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

Na Figura 16 observa-se o número de irrigações simuladas pelo modelo CERES-Maize para a região de Ribeirão Preto, as mesmas variaram entre 7 e 20 aplicações de 10 mm cada uma. Verificou-se um maior número de irrigações quando a semeadura foi tardia e também quando se simularam genótipos de ciclo mais longo. Isso é explicado pela menor disponibilidade de água no solo à medida que se avança do verão para o outono, conforme visto na caracterização climática da região.

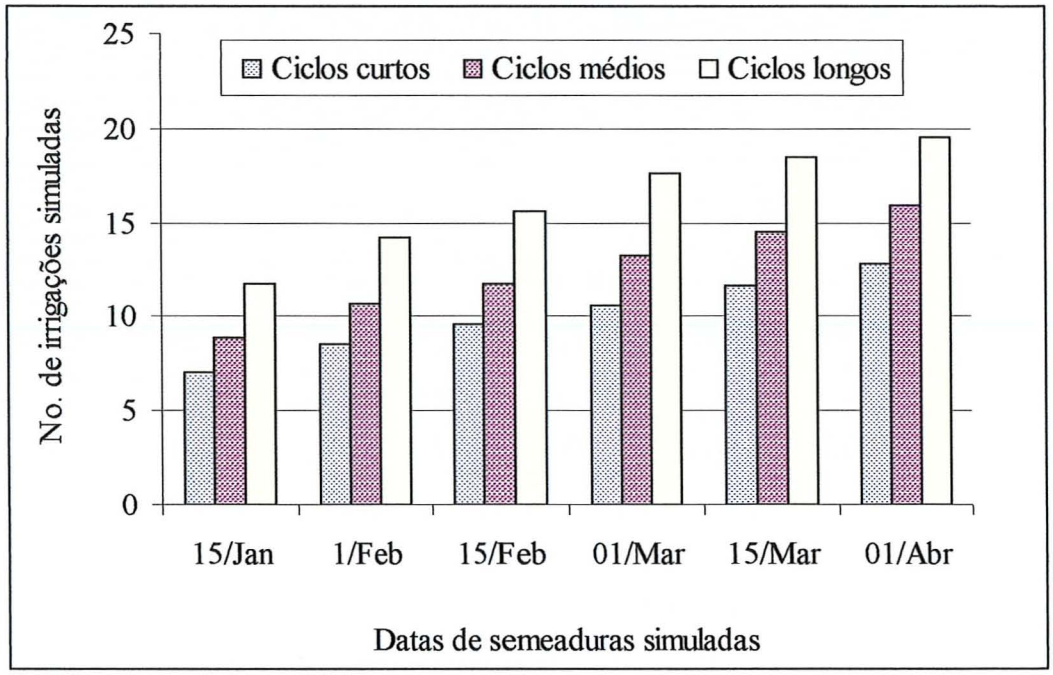


Figura 16. Número de irrigações simuladas na cultura de milho "safrinha" para a região de Ribeirão Preto, SP.

4. 1. 8. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento na região de Ribeirão Preto-SP.

Na Figura 17, observa-se o efeito da água de irrigação, do fertilizante e de ambas variáveis juntas no incremento do rendimento simulado respeito à situação de sequeiro e sem fertilizante para a região de Ribeirão Preto.

Nessa região, o efeito da irrigação no incremento do rendimento foi notoriamente maior do que o efeito do fertilizante, com exceção da primeira época de semeadura, conforme pode-se visualizar na Figura 17.

O incremento simulado no rendimento devido ao efeito da irrigação foi maior à medida que atrasou-se a semeadura, devido ao maior déficit hídrico que ocorre na média dos anos no período de outono inverno. Paralelamente, à medida que se atrasou a semeadura, o efeito do fertilizante no incremento do rendimento foi menor.

A água e o fertilizante juntos determinaram um maior incremento do rendimento que a simples soma deles por separado, o que indica o efeito de interação simulado entre ambas variáveis.

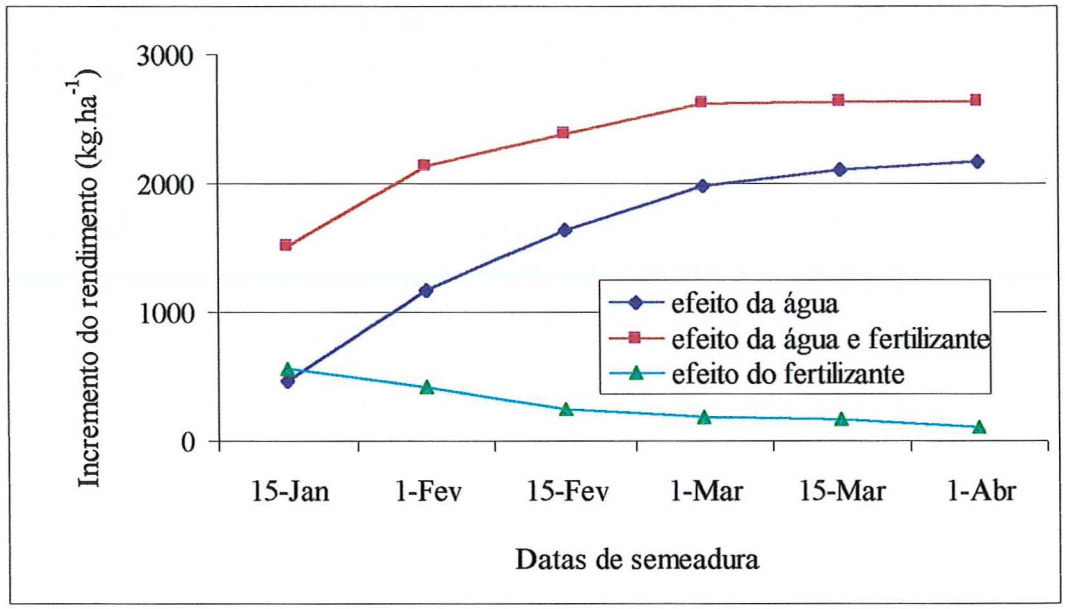


Figura 17. Incremento médio do rendimento simulado de todos os genótipos devido aos efeitos da água, do fertilizante e de ambos na região de Ribeirão Preto-SP.

4. 2. Simulação do crescimento e do desenvolvimento na região de Manduri, SP

4. 2. 1. Simulação da fenologia

A duração média do sub-período emergência à floração foi de 74 dias para todas as épocas e genótipos simulados. Valores similares aos simulados foram obtidos por Quiessi et al. (1999) em Assis-SP, onde os autores encontraram médias de 61, 68 e 78 dias de duração até a floração para semeaduras em janeiro, fevereiro e março, respectivamente.

A duração dos sub-períodos emergência à floração e emergência à maturidade fisiológica foram mais longos à medida em que a semeadura foi simulada mais tardia. Isso é devido ao fato do cultivo ficar mais exposto a menores temperaturas do ar e, conseqüentemente, o acúmulo de graus dias ser mais lento (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9. Duração do sub-período emergência à floração simulada para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes genótipos nas 6 épocas de semeaduras, para a região de Manduri, SP.

	Data de semeadura					
Genótipos	**15-Jan**	**1-Fev**	**15-Fev**	**1-Mar**	**15-Mar**	**1-Abr**
Ciclo curto 1, 2, 3	52	53	54	57	61	69
Ciclo médio 4, 5, 6	64	66	69	74	80	90
Ciclo longo 7, 8, 9	78	81	86	93	101	111

Tabela 10. Duração do sub-período emergência à maturidade fisiológica simulada para a cultura de milho "safrinha", para os diferentes genótipos nas 6 épocas de semeaduras, para a região de Manduri, SP.

	Data de semeadura					
Genótipos	**15-Jan**	**1-Fev**	**15-Fev**	**1-Mar**	**15-Mar**	**1-Abr**
Ciclo curto 1, 2, 3	93	98	104	109	113	116
Ciclo médio 4, 5, 6	121	130	134	135	136	139
Ciclo longo 7, 8, 9	156	158	157	159	159	164

Comparando-se os resultados obtidos com experimentos realizados em Assis-SP, sob condições de sequeiro, observa-se similaridade na duração do ciclo da cultura. Quiessi et al. (1999) reportam durações desse período de 123 dias, em média, para semeaduras realizadas nos meses de janeiro, fevereiro e março.

4. 2. 2. Simulação do rendimento da cultura do milho "safrinha" sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

O rendimento médio simulado dos 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura na condição de sequeiro foi de 3.083 $kg.ha^{-1}$. Os genótipos de ciclo médio e longo foram os que atingiram maiores rendimentos. Isso explica-se pelas adequadas condições

hídricas do solo na média dos anos na região o que possibilitou a esses genótipos aproveitar o maior ciclo para acumular mais quantidade de fotoassimilados o que traduziu-se em elevados rendimentos. À medida em que se atrasou a época de semeadura, o rendimento simulado foi menor e o desvio padrão foi maior (Tabela 11).

Tabela 11. Rendimento médio e desvio padrão ($kg.ha^{-1}$) simulados para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes ciclos dos genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de plantio	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-Mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**	**Rendi-mento**	**Desvio padrão**
15/Jan	3.217	466	4.435	723	5.429	1.384	**4.360**	**858**
1/Fev	3.272	481	4.386	949	4.266	1.776	**3.975**	**1.069**
15/Fev	3.195	634	3.665	1.379	3.274	2.102	**3.378**	**1.372**
1/Mar	2.589	932	2.876	1.681	2.513	2.008	**2.660**	**1.540**
15/Mar	2.110	1.248	2.191	1.673	2.332	2.247	**2.211**	**1.723**
1/Abr	1.525	1.191	1.922	1.834	2.302	2.467	**1.916**	**1.831**
Média	**2.651**	**825**	**3.246**	**1.373**	**3.353**	**1.997**	**3.083**	**1.399**

O genótipo 9 de ciclo longo e alto número de grãos por espiga foi o que apresentou maior rendimento médio (4.283 $kg.ha^{-1}$) nas 6 épocas de semeadura, atingindo 6.935 $kg.ha^{-1}$ na primeira época de semeadura (Figura 18). À medida que se atrasou a semeadura observou-se um decréscimo na produtividade associado a um incremento na variabilidade representada pelo desvio padrão (Figura 19). Assim, o rendimento simulado para o referido genótipo na semeadura de 1º de abril correspondeu a 43% do rendimento simulado na primeira época (15 de Janeiro).

O genótipo 1, e ciclo curto e baixo número de grãos por espiga, teve um menor período e acumulação de fotoassimilados, atingindo o menor valor de rendimento simulado (média de 1.913 $kg.ha^{-1}$) dos 9 genótipos avaliados.

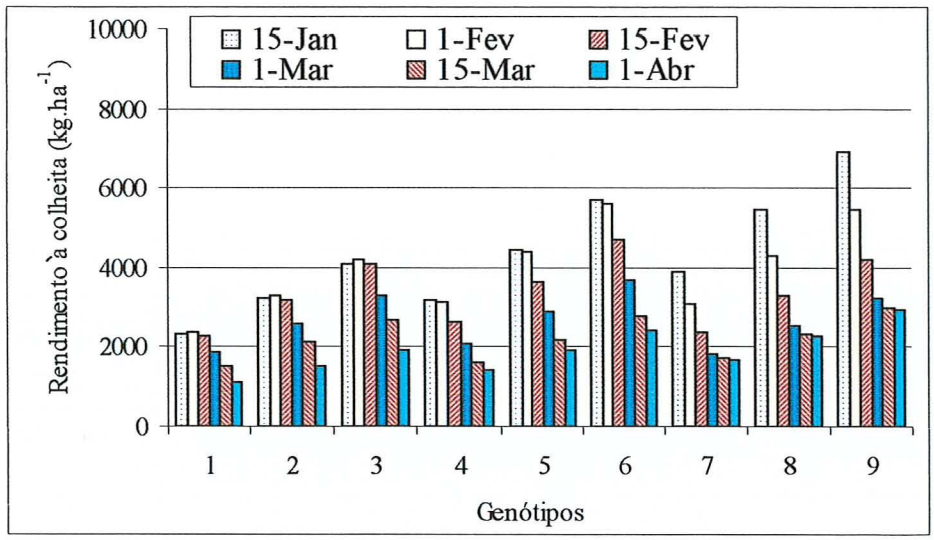


Figura 18. Rendimento simulado da cultura de milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP.

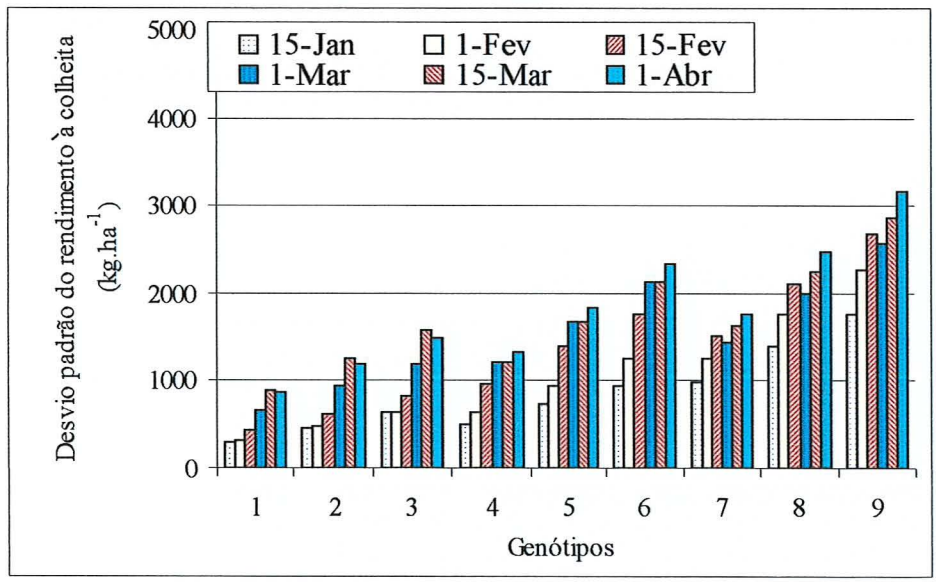


Figura 19. Desvio padrão do rendimento simulado para a cultura do milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes, para a região de Manduri, SP.

Os genótipos de ciclo médio seriam uma melhor opção quando é considerado o risco, pois eles apresentaram rendimentos simulados com menor desvio padrão do que os genótipos de ciclo longo. Duarte et al. (1994), em ensaios de campo conduzidos em vários locais no Vale do Paranapanema, Estado de São Paulo, verificaram que as cultivares mais adaptadas e estáveis em todos os locais foram as

de ciclo médio e precoce. Brunini (1997) também recomendou semear cultivares de ciclo curto para diminuir a chance de incidência de geadas nas fases críticas (floração e formação de espigas) nas regiões sudoeste e do Vale do Paranapanema, SP.

4. 2. 3. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

Na Figura 20 apresentam-se os resultados da análise de freqüência dos rendimentos simulados para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes para os diferentes ciclos das cultivares e para as diferentes épocas de semeadura.

Os genótipos de ciclo curto tiveram, de modo geral, menores rendimentos simulados, porém, com maior estabilidade. Assim para semeaduras de 1º de março, em 10% dos anos os rendimentos foram menores a 1.097 $kg.ha^{-1}$ e em 90% menores a 3.366 $kg.ha^{-1}$.

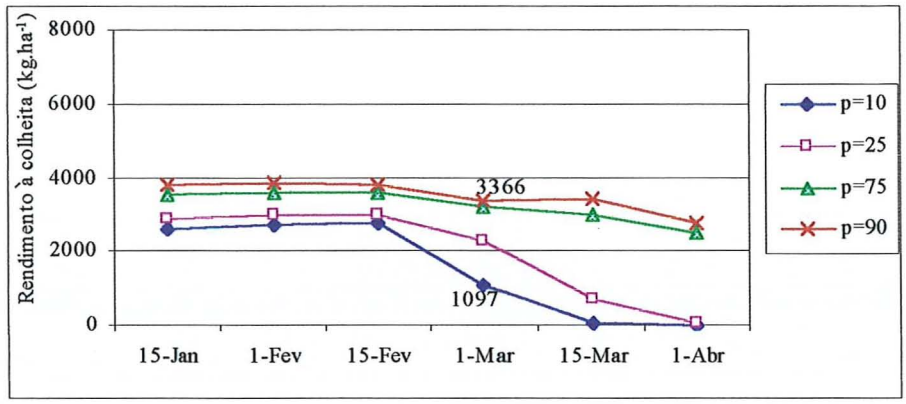
Por outro lado, os genótipos de ciclo longo tiveram, em geral, maiores rendimentos simulados. No entanto para semeaduras após 15 de fevereiro, os rendimentos foram extremadamente baixos em 10% dos anos.

As cultivares de ciclo longo e médio tiveram maiores rendimentos nas semeaduras de 15 de janeiro e 15 de fevereiro do que as cultivares de ciclo curto. Os genótipos de ciclo longo, na semeadura de 15 de fevereiro, tiveram rendimentos menores do que 64 $kg.ha^{-1}$ em 10% dos anos e em 90% dos anos menores de 5.605 $kg.ha^{-1}$.

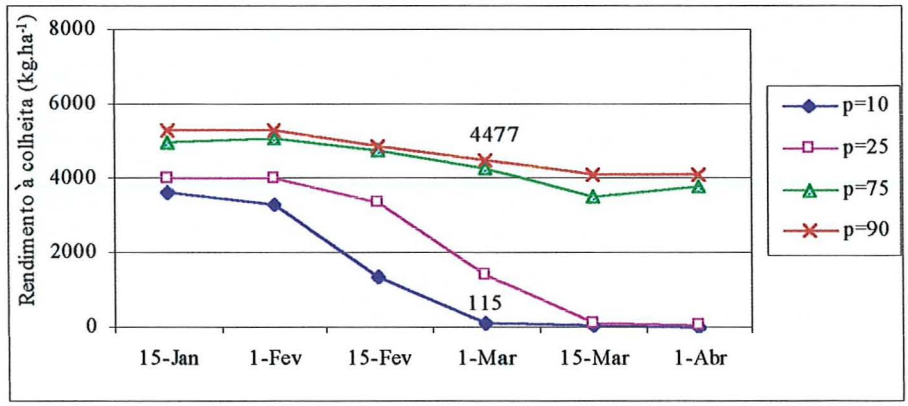
Os genótipos de ciclo médio, tiveram rendimentos menores a 115 $kg.ha^{-1}$ em 10% dos anos na semeadura de 1º de março, enquanto os genótipos de ciclo curto tiveram rendimentos menores a 1.097 $kg.ha^{-1}$ em 10% dos anos.

Pela análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados, fica evidenciado que para todos os genótipos, semeaduras após 15 de março resultaram em incremento no risco de baixos rendimentos.

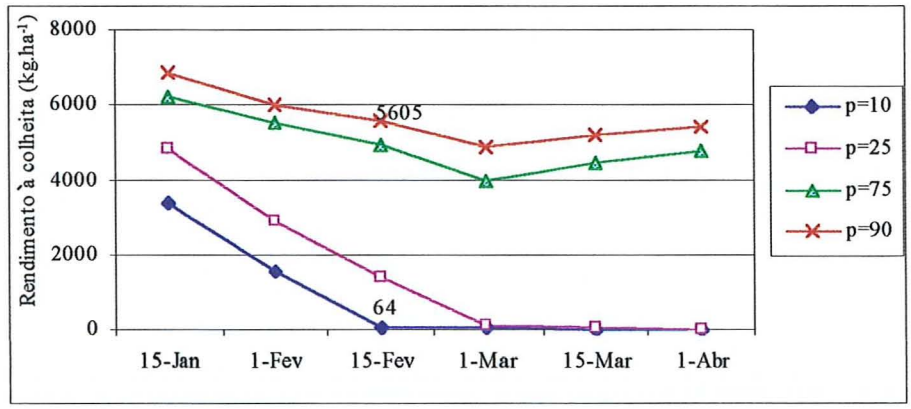
Para os genótipos de ciclo longo e médio, semeaduras após 15 de fevereiro e 1º de março, respetivamente, verificou-se alto risco de produção.



(A) ciclos curtos



(B) ciclos médios



(C) ciclos longos

Figura 20. Rendimentos simulados para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência.

4. 2. 4. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes

A precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura foi menor à medida que a semeadura foi atrasada, isso juntamente com às menores temperaturas determinaram menores evapotranspirações da cultura (Figura 21: A e D). Ao diminuir a água precipitada, os valores de água drenada para camadas inferiores do solo e de escoamento superficial ou runoff também diminuíram (Figura 21: A, B e C).

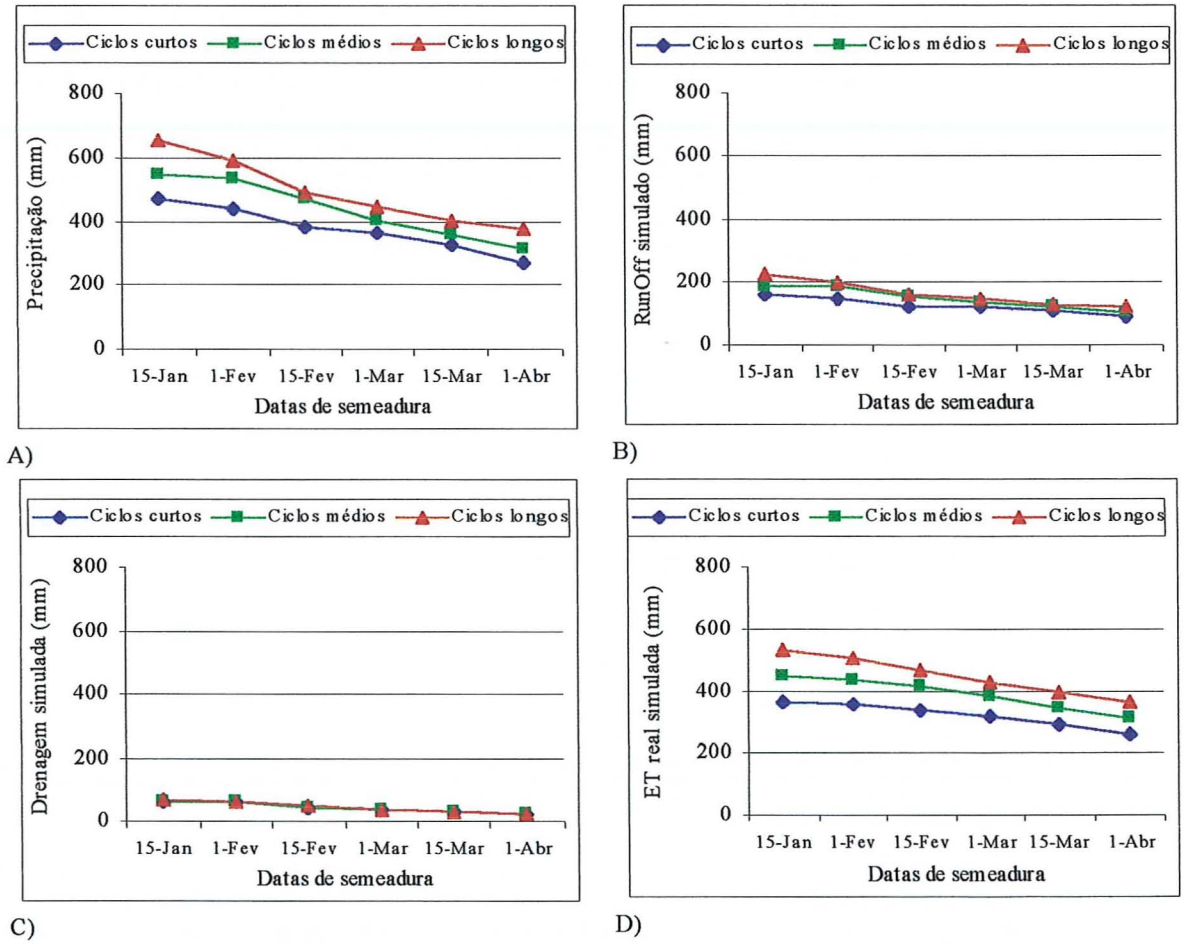


Figura 21. Precipitação ocorrida (A), escoamento superficial (B), drenagem (C), e evapotranspiração (D) simulados durante o ciclo da cultura para as diferentes cultivares nas diferentes épocas de semeadura, na região de Manduri-SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

A evapotranspiração real simulada atingiu o máximo valor nos genótipos de ciclo longo semeados em 15 de janeiro (533 mm). Observou-se uma diminuição da evapotranspiração real conforme a semeadura foi realizada tardiamente, chegando a 366 mm na semeadura de 1º de abril (Figura 21 D), o que se deve à menor temperatura e radiação solar registradas nos meses de outono.

4. 2. 5. Simulação do rendimento sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

A média simulada para todos os genótipos em todas as épocas de semeadura sob irrigação e com fertilização foi de 3.513 $kg.ha^{-1}$, sendo portanto, apenas 12,2% maior do que os mesmos genótipos na condição de sequeiro. Essa baixa diferença pode ser explicada pelo balanço hídrico da região de Manduri, onde não verifica-se deficiências hídricas acentuadas, como foi descrito na caracterização do clima (Figura 6).

O maior rendimento médio simulado foi obtido com os genótipos de ciclo longo, como também o maior desvio padrão (Tabela 12).

À medida em que se atrasou a semeadura, observou-se um decréscimo na produtividade associado a um incremento na variabilidade (desvio padrão). Para a primeira época de semeadura considerada (15 de janeiro), os valores simulados de rendimento médio foram 55% superiores em relação aos da última época (1º de abril).

Tabela 12. Rendimento médio e desvio padrão (kg.ha^{-1}) simulados para a cultura do milho "safrinha", para os diferentes ciclos dos genótipos, nas 6 épocas de semeadura sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para a região de Manduri, SP.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de semeadura	**Rendimento**	**Desvio padrão**	**Rendimento**	**Desvio padrão**	**Rendimento**	**Desvio padrão**	**Rendimento**	**Desvio padrão**
15/Jan	3.436	487	5.107	753	6.389	1.358	**4.977**	**866**
1/Fev	3.553	461	5.061	879	5.049	1.885	**4.554**	**1.075**
15/Fev	3.474	576	4.107	1.382	3.834	2.302	**3.805**	**1.420**
1/Mar	2.861	920	3.140	1.810	3.082	2.376	**3.028**	**1.702**
15/Mar	2.247	1.247	2.385	1.801	2.797	2.609	**2.476**	**1.886**
1/Abr	1.623	1.261	2.110	1.985	2.975	3.003	**2.236**	**2.083**
Média	**2.866**	**825**	**3.652**	**1.435**	**4.021**	**2.256**	**3.513**	**1.505**

O maior rendimento médio de todas as épocas de semeadura foi simulado para o genótipo 9 (5.161 kg/ha) de ciclo longo e alto número de grãos por espiga (Figura 22), o qual também apresentou o maior desvio padrão na série de anos considerada (Figura 23).

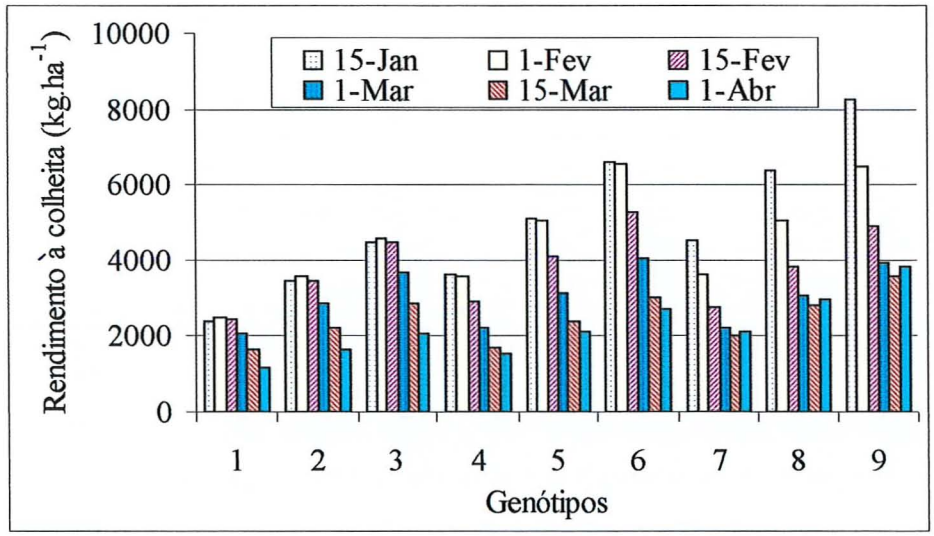


Figura 22. Rendimentos médios simulados da cultura de milho "safrinha", para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob irrigação e fertilização para a região de Manduri, SP.

Os genótipos de ciclo longo teriam melhores condições de desenvolvimento em anos com adequada incidência de radiação solar e temperaturas favoráveis. No entanto, seriam os mais prejudicados nos anos em que tais variáveis não fossem adequadas.

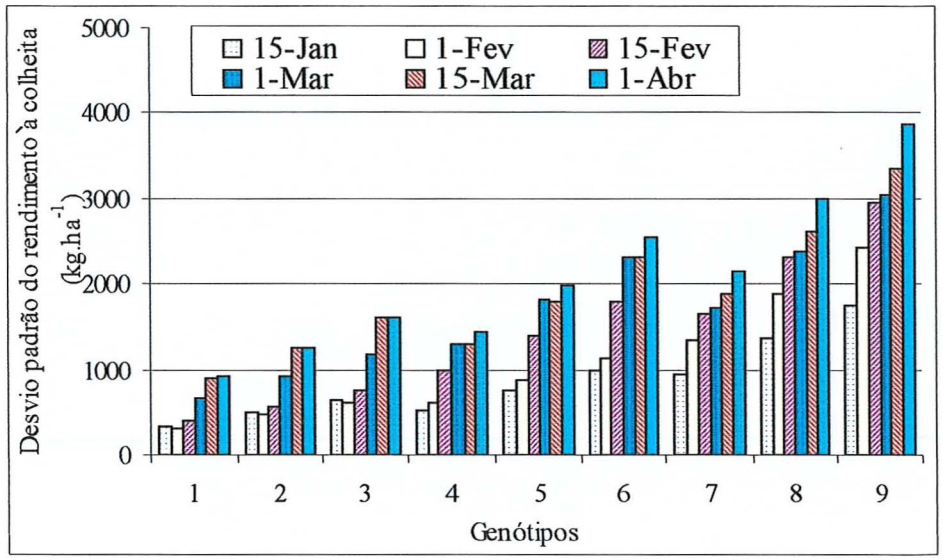


Figura 23. Desvio padrão do rendimento simulado do milho "safrinha" para os 9 genótipos nas 6 épocas de semeadura sob condições de irrigação e fertilização para a região de Manduri, SP.

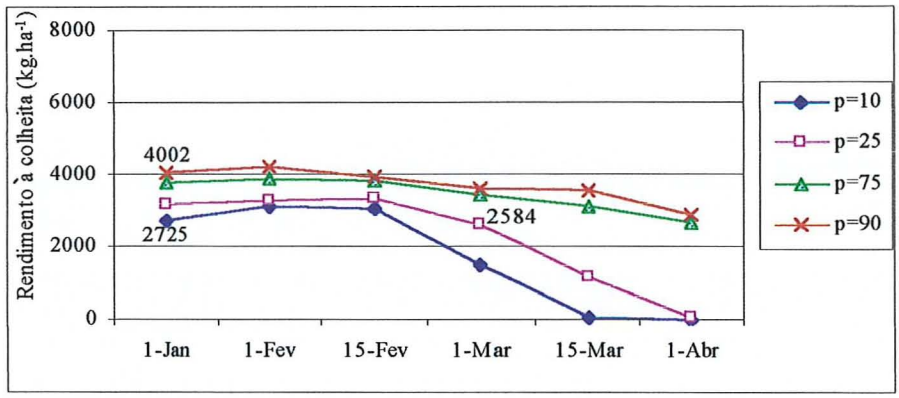
4. 2. 6. Análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

Os genótipos de ciclo curto tiveram menores rendimentos simulados em 90% dos anos que os de ciclo médio e longo em todas as épocas de semeadura (Figura 24).

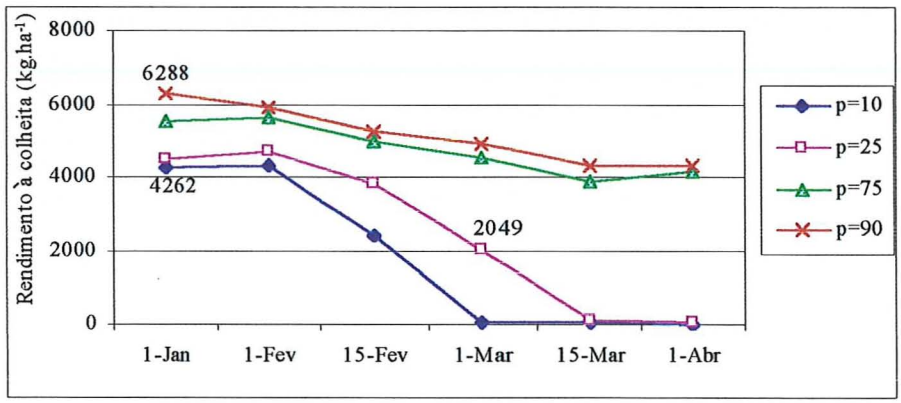
Os genótipos de ciclo longo tiveram maiores rendimentos simulados em anos favoráveis à cultura, porém, foram os mais prejudicados em anos com condições ambientais adversas.

Em semeaduras mais tardias, em 1º de março, os ciclos curtos tiveram maiores rendimentos (2.584 $kg.ha^{-1}$) que os ciclos longos (114 $kg.ha^{-1}$) em 25% dos anos, o que confirma a maior estabilidade no rendimento desses genótipos nessa data de semeadura.

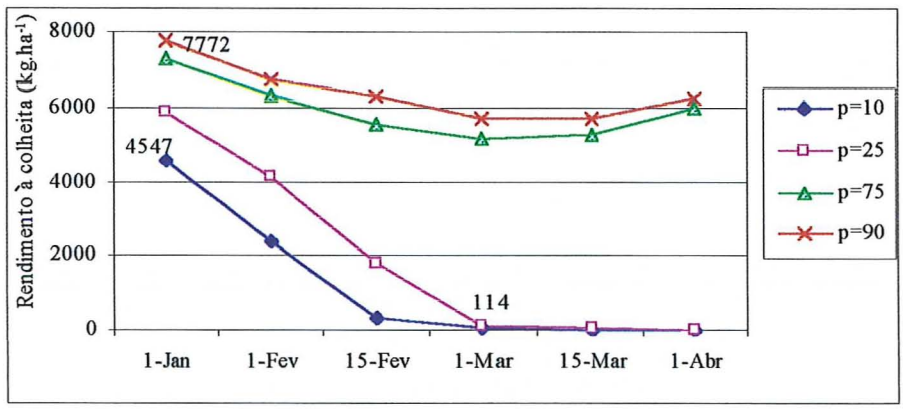
Verificou-se elevado risco para semeaduras após 1º de março, 15 de fevereiro e 1º de fevereiro para os genótipos de ciclo curto, médio e longo, respectivamente.



(A) ciclos curtos



(B) ciclos médios



(C) ciclos longos

Figura 24. Rendimentos simulados para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes para as diferentes épocas de semeadura com 10, 25, 75, e 90% de probabilidade de ocorrência.

4. 2. 7. Simulação dos componentes do balanço hídrico sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes

A precipitação ocorrida durante o período da semeadura à colheita foi maior para os genótipos de ciclo longo e diminuiu a medida que atrasou-se a semeadura. A quantidade de água proveniente da irrigação simulada, esteve ao redor de 200 mm, com tendência a aumentar nas semeaduras mais tardias (Figura 25 B).

A drenagem e o escoamento superficial simulados tiveram tendência a diminuir na medida que atrasou-se a semeadura para os três tipos de ciclos das cultivares (Figura 25 D e E).

Os genótipos de ciclo longo, ao permanecerem por mais tempo no campo, tiveram maior evapotranspiração real simulada, e esta diminuiu com o atraso da semeadura (Figura 25 F).

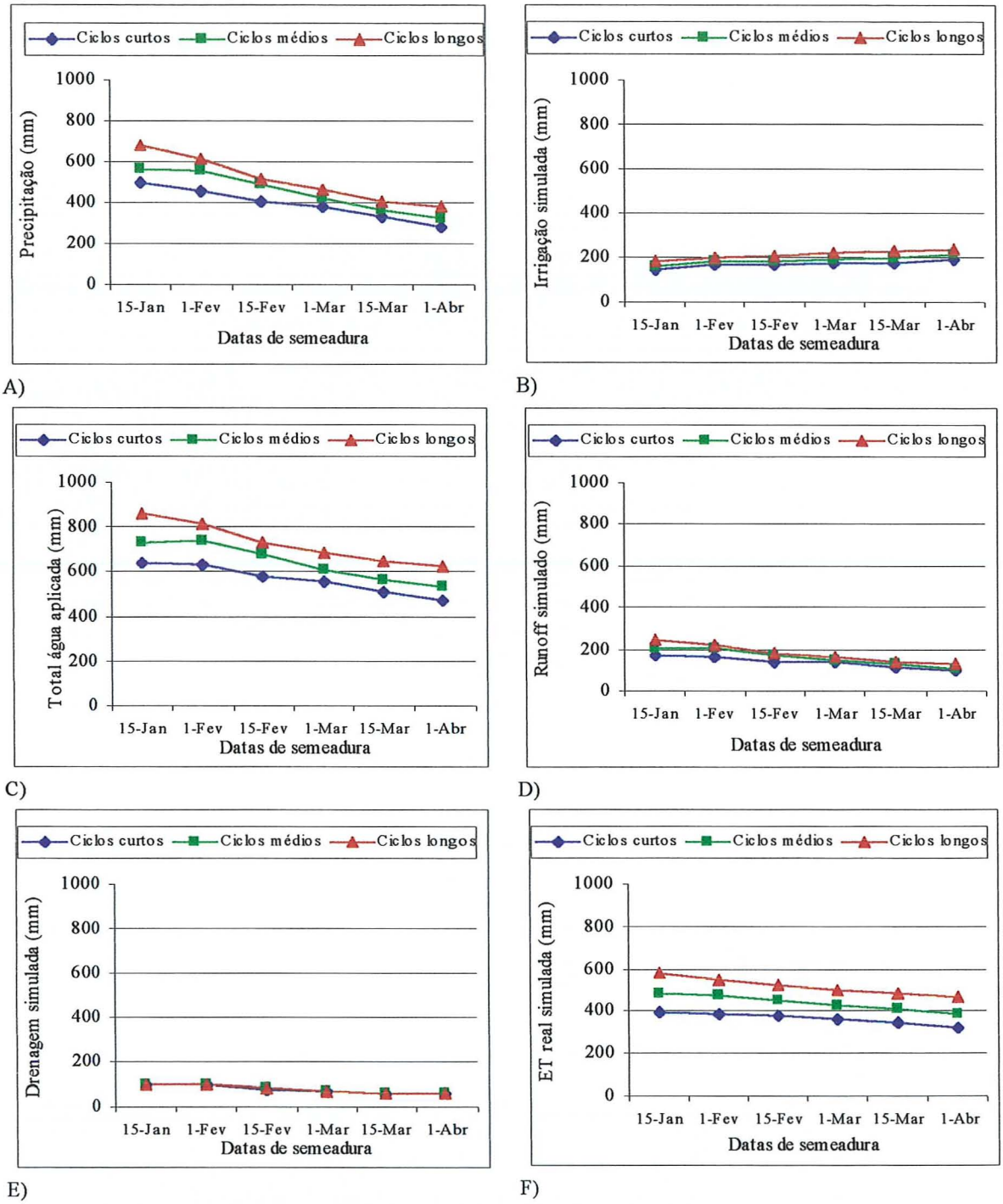


Figura 25. Precipitação ocorrida (A), quantidade de água irrigada (B), total de água de precipitação e irrigação (C), escoamento superficial (D), drenagem (E) e evapotranspiração (F) simulados durante o ciclo da cultura para as diferentes cultivares nas diferentes épocas de semeadura, na região de Manduri-SP sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

Na Figura 26 observa-se o número de irrigações simuladas pelo modelo CERES-Maize para a região de Manduri, as quais variaram entre 7 e 12 aplicações de 10 mm. Verificou-se um maior número de irrigações quando a semeadura é realizada tardiamente e também quando foram simulados genótipos de ciclo mais longo.

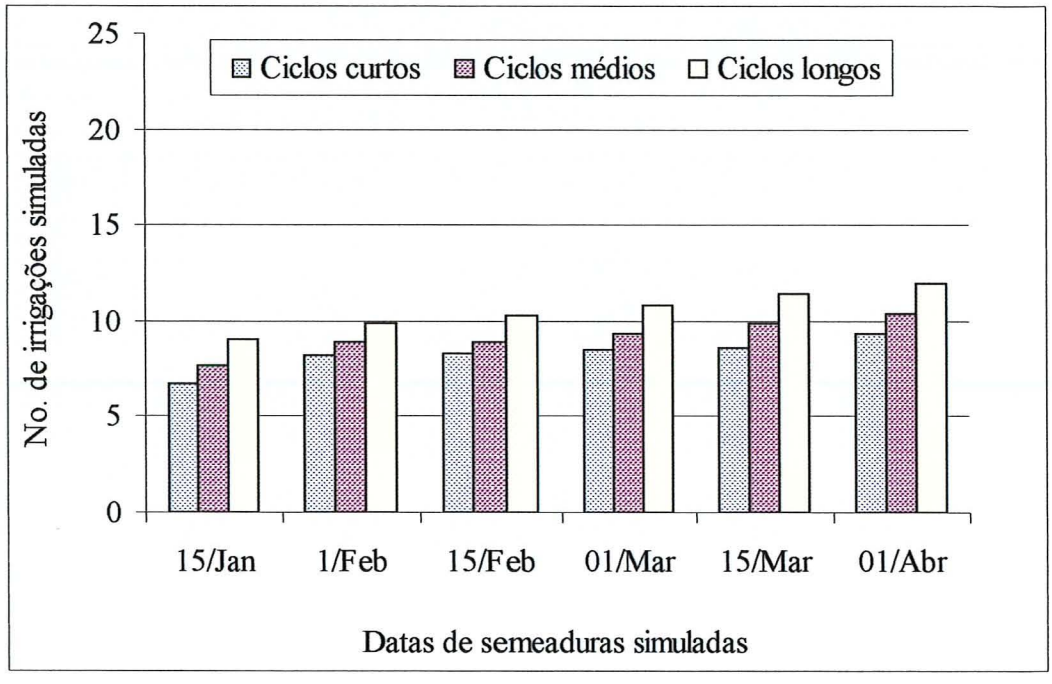


Figura 26. Número de irrigações simuladas pelo modelo CERES-Maize na região de Manduri, SP.

4. 2. 8. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento na região de Manduri-SP

O fato de se adicionar água pela irrigação, foi prejudicial na região de Manduri (Figura 27), pois teve uma limitação de nitrogênio no solo que não permitiu aproveitar a água adicionada. Verificaram-se maiores valores do fator de estresse de nitrogênio quando a cultura foi irrigada conforme pode-se visualizar na Figura 28.

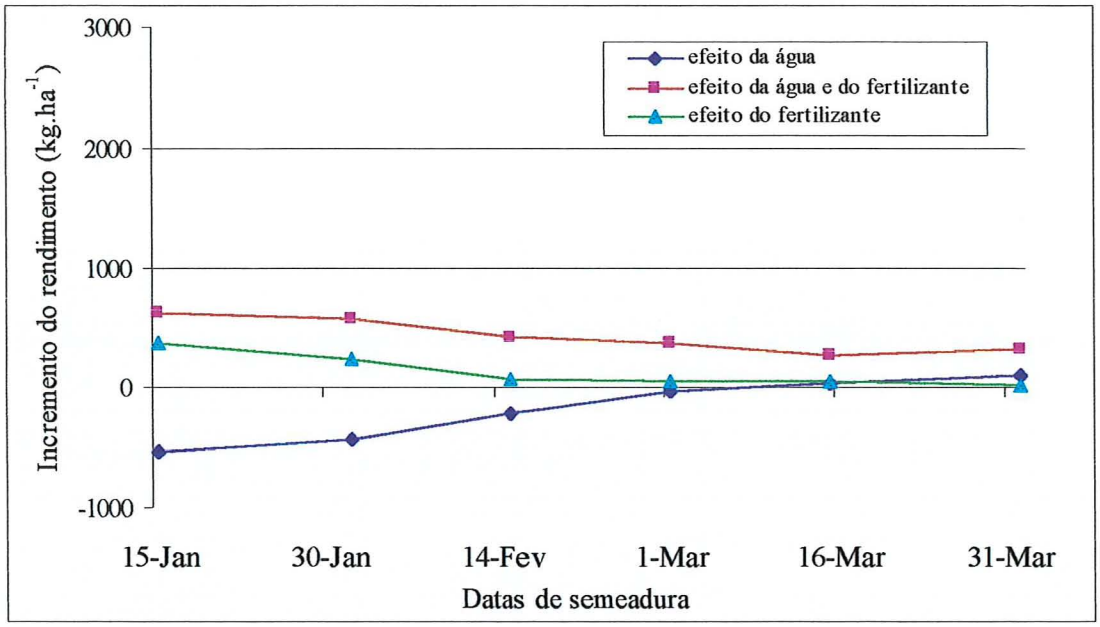


Figura 27. Incremento médio do rendimento simulado de todos os genótipos devido aos efeitos da água, do fertilizante e de ambos na região de Manduri - SP.

Como nessa região não existem, na média dos anos, problemas de deficiência hídrica, o efeito de se adicionar fertilizante determinou incrementos no rendimento simulado. Resultados de uma série de 22 ensaios de campo na Região do Vale do Médio Paranapanema, mostraram respostas consistentes à adubação e bom retorno econômico com a prática (Cantarella e Duarte, 1997).

Quando adicionou-se água e fertilizante, os rendimentos foram incrementados em maior proporção do que a simples soma dos efeitos deles separadamente.

Na Figura 28 verifica-se que o maior fator de estresse de água foi verificado no ano de escassas precipitações na situação só fertilizada e o maior fator de estresse de nitrogênio foi simulado no ano úmido na situação só irrigada. Esse maior fator de estresse de N é explicado pela maior lixiviação do N que determinou uma diminuição do consumo de N na situação sob irrigação.

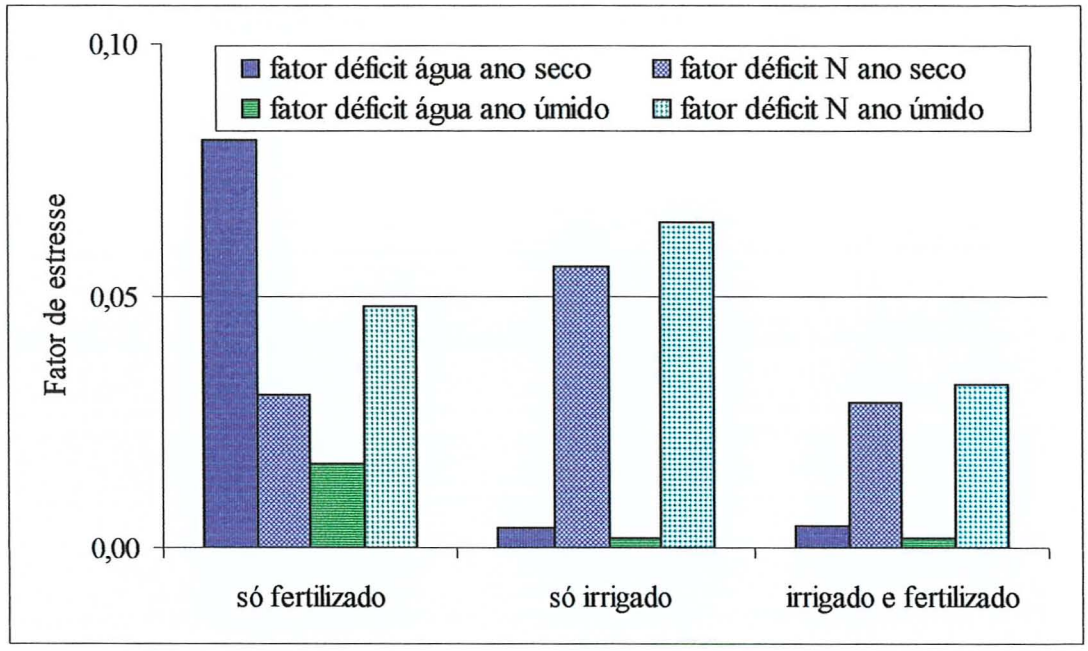


Figura 28. Fator de estresse médio de todos os genótipos para diferentes tratamentos: fertilizado, irrigado, e irrigado e fertilizado.

4.3. Comparação entre as duas regiões sob estudo

4. 3. 1. Simulação da fenologia

Considerando a primeira época de semeadura (15 de janeiro), o número de dias entre a emergência e a floração não apresentou diferenças notórias entre as duas regiões. Porém, à medida que se atrasou a semeadura, os mesmos genótipos simulados na região de Manduri mostram ciclos maiores do que na região de Ribeirão Preto. Isso é devido à ocorrência de menores temperaturas na região de Manduri que determina menor acúmulo de graus-dia e, conseqüentemente, ciclos mais longos. Por exemplo, ao analisar a última época de semeadura (1º de Abril), os genótipos de ciclo longo (Nºs. 7, 8 e 9) apresentaram, em média, 16 dias a mais no sub-período emergência à floração do que em Ribeirão Preto.

Em relação à duração do ciclo, da emergência à maturidade fisiológica, o modelo simulou ciclos iguais para a condição de sequeiro e irrigada, na região de Manduri. Porém, na região de Ribeirão Preto observaram-se diferenças entre as duas

condições, assim, os ciclos simulados nos genótipos irrigados foram maiores do que os não irrigados. Na condição de sequeiro, o enchimento dos grãos foi finalizado antes do normal devido às condições adversas, principalmente de estresse hídrico.

4. 3. 2. Simulação do rendimento em condições de sequeiro

As simulações realizadas indicaram que a região de Manduri apresenta um potencial melhor para a produção de milho "safrinha" sob condições de sequeiro. Pode-se constatar que o rendimento médio simulado para todas as épocas de semeadura foi de 3.083 $kg.ha^{-1}$, o que representa 30% a mais do que na região de Ribeirão Preto (2.182 $kg.ha^{-1}$). Segundo Brunini (1996), na região do Vale do Paranapanema (Manduri) não existem restrições hídricas para plantios fora de época, porém, após o mês de março, há maior risco de baixas temperaturas que poderão afetar o desenvolvimento da cultura.

Nas duas regiões, os maiores rendimentos foram simulados para a primeira época de semeadura (15 de janeiro), sofrendo redução à medida que a semeadura foi atrasada.

Os genótipos de ciclo médio e longo foram os que apresentaram maior rendimento simulado na região de Manduri, porém com uma alta variabilidade entre anos. Contrariamente, na região de Ribeirão Preto, os genótipos de ciclo curto foram os melhores.

Na região de Manduri o genótipo 9, de ciclo longo e maior número de grãos por espiga foi o que teve maior rendimento médio em todas as épocas de semeadura simuladas, porém, com o mais alto desvio padrão. O genótipo 6, de ciclo médio apresentou também elevados rendimentos na série de anos utilizada, porém, com uma menor variação (menor desvio padrão).

Na região e Ribeirão Preto, o genótipo 3, de ciclo curto e alto número de grãos por planta (800), foi o que apresentou maiores rendimentos médios em todas as épocas de semeadura simuladas.

4. 3. 3. Simulação do rendimento em condições irrigadas e com uso de fertilizantes

A região de Ribeirão Preto apresentou maior potencial de rendimento sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes do que a região de Manduri. O rendimento simulado em Ribeirão Preto (4.507 $kg.ha^{-1}$) foi 24% superior do que o simulado para a região de Manduri (3.513 $kg.ha^{-1}$). Isso pode ser explicado mediante a análise do clima, pois a região de Manduri é caracterizada pela ocorrência de baixas temperaturas, maior número de geadas e menor disponibilidade de radiação solar, o que estaria limitando a simulação de maiores rendimentos.

Nas duas regiões, os genótipos de ciclo longo, particularmente o genótipo 9, foram os que apresentaram maiores rendimentos simulados em todas ás épocas de semeadura, porém com o maior desvio padrão. À medida que a época de semeadura foi atrasada, os rendimentos diminuíram. Para a região de Manduri, genótipos semeados em 15 de janeiro (primeira época) apresentaram um rendimento 55% maior àqueles semeados em 1º de abril (última época). Em Ribeirão Preto, houve esta mesma tendência, porém, com diferença menor (24%).

4. 3. 4. Comparação das simulações dos componentes do balanço hídrico

A maior deficiência hídrica verificada na região de Ribeirão Preto determinou que o modelo simulasse um maior número de irrigações (média de 13) do que na região de Manduri (média de 9 irrigações). O maior número de irrigações na região de Ribeirão Preto, determinou em conseqüência maior quantidade de água de irrigação. Assim, para os genótipos de ciclo longo semeados em abril, a mesma atingiu em média 382 mm em Ribeirão Preto, e para a região de Manduri, 240 mm.

A maior radiação solar e temperaturas registradas na região de Ribeirão Preto, determinou que sob condições de irrigação, fosse simulada maior evapotranspiração (média de 482 mm) do que na região de Manduri (média de 440).

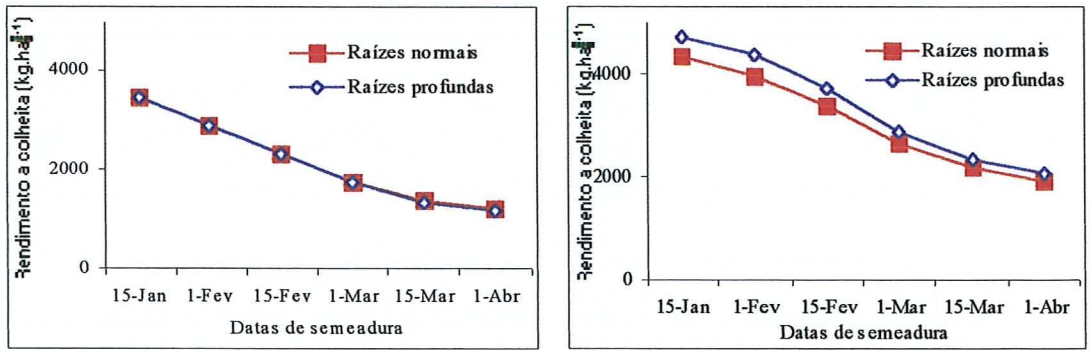
4. 3. 5. Quantificação dos efeitos da água, do fertilizante e de ambos fatores no rendimento - comparação entre as duas regiões

Comparando ambas regiões (Figuras 17 e 27) observa-se que o maior incremento de rendimento simulado foi obtido quando adicionou-se água via irrigação na região de Ribeirão Preto, em razão dessa região, na média dos anos, apresentar problemas de deficiência hídrica no solo e, portanto, o efeito da água de irrigação no rendimento foi importante.

4. 3. 6. Efeito do comprimento do sistema radicular no rendimento do milho "safrinha" nas duas regiões estudadas

Observa-se que na região de Ribeirão Preto (Figura 29 A) não existe diferença no rendimento simulado entre as culturas de raízes de comprimento normal e profundas. Nessa região, existem deficiências hídricas importantes no período da "safrinha". A limitação de água no solo determinou a existência de déficit hídrico para a cultura, independentemente do tamanho do sistema radicular.

Na região de Manduri (Figura 29 B), raízes profundas determinaram incrementos no rendimento simulado. O melhoramento de plantas visando uma maior profundidade radicular acrescentaria no potencial de rendimento em média 300 kg.ha^{-1}. A resposta simulada, deve-se ao fato de nessa região não ter deficiências hídricas importantes, e portanto raízes mais compridas tem mais capacidade de extrair água e nutrientes.



A B

Figura 29. Rendimento simulado nas regiões de Ribeirão Preto (A) e de Manduri (B) para sistema radicular normal e profundo.

4. 4. Análise econômica

4. 4. 1. Análise econômica da condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto

Os genótipos de ciclo curto foram os que apresentaram um maior retorno econômico e menor desvio padrão (Tabela 13) considerando a série de anos utilizados.

À medida que a semeadura foi retardada, a renda líquida média de todos os genótipos caiu sensivelmente. Pode-se observar que, o atraso na semeadura desde 15 de janeiro até 15 de fevereiro, determinou uma queda na renda líquida de 94%. A partir do dia 1º de março a renda líquida simulada foi negativa.

Considerando a média dos anos, a semeadura em 1º de março só seria rentável para cultivares de ciclo curto, as quais escapariam aos fatores ambientais adversos. Entretanto, em função dos elevados desvios padrão apresentados, pode-se inferir que essa data de semeadura proporciona um alto risco ao agricultor. Os genótipos de ciclo médio e longo apresentaram rendas líquidas negativas, uma vez que permaneceram por mais tempo no campo e, portanto, ficando mais expostos às baixas temperaturas, à deficiência hídrica no solo e à menor disponibilidade de radiação solar.

Tabela 13. Renda líquida e desvio padrão (R$.ha^{-1}) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de semeadura	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**
15/Jan	130,00	67,60	233,10	132,20	154,10	252,30	**172,40**	**150,70**
1/Fev	132,20	88,10	141,90	215,30	5,00	282,80	**93,00**	**195,40**
15/Fev	94,60	116,70	39,20	269,60	-102,60	231,10	**10,40**	**205,80**
1/Mar	44,70	144,80	-65,80	213,10	-194,50	140,00	**-71,90**	**166,00**
15/Mar	-19,00	130,10	-124,40	160,50	-228,10	152,00	**-123,80**	**147,60**
1/Abr	-69,00	125,70	-136,20	192,30	-239,80	150,30	**-148,30**	**156,10**
Média	**52,30**	**112,20**	**14,60**	**197,20**	**-101,00**	**201,40**	**-11,40**	**170,30**

A análise do DSSAT, na qual detecta-se o tratamento dominante (mean-gini dominance), indicou que o genótipo 3, de ciclo curto e alto número de grãos por espiga (800), foi o que apresentou melhor desempenho entre todas as semeaduras com exceção da primeira época em que o genótipo 6 (ciclo médio e alto número de grãos por espiga) foi o dominante e a segunda época em que ambos genótipos foram dominantes.

Na Figura 30, observa-se a renda líquida para cada genótipo nas diferentes épocas de semeaduras simuladas. Verifica-se que a maior renda líquida estimada para a série de anos considerada correspondeu ao genótipo 6 (ciclo médio e alto número de grãos por espiga) na semeadura do dia 15 de janeiro, atingindo 397,40 R$.ha^{-1} e a menor para o genótipo 7, de ciclo longo e baixo número de grãos por espiga (400), na semeadura de 1º abril (-262,50 R$.ha^{-1}).

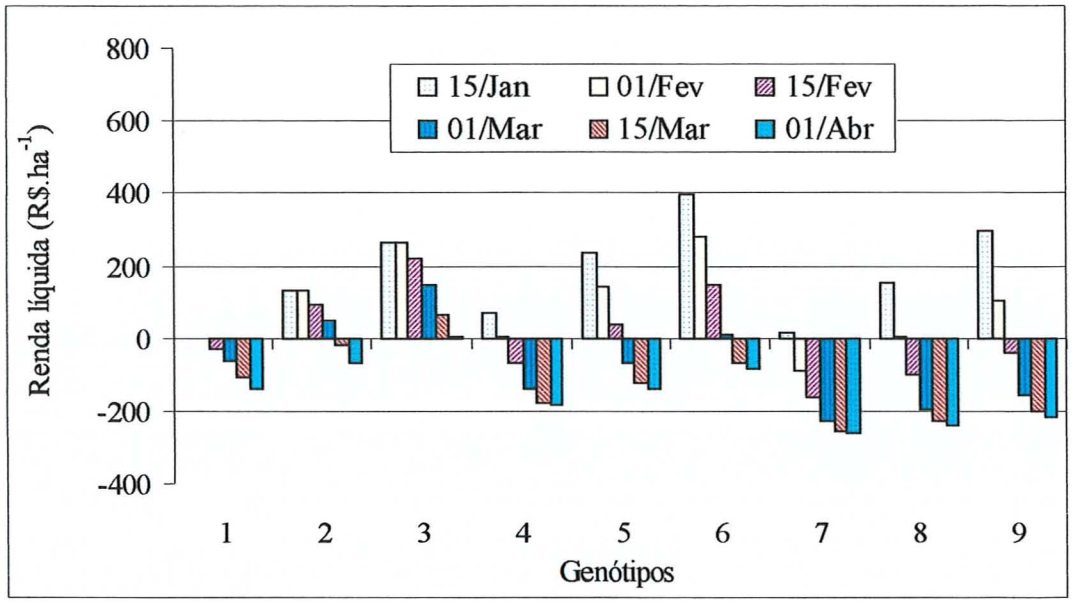


Figura 30. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

4. 4. 2. Análise econômica da condição sob irrigação e com uso de fertilizantes para a região de Ribeirão Preto

Os genótipos de ciclo longo foram os que apresentaram um maior retorno econômico e maior desvio padrão (Tabela 14) considerando a série de anos utilizados. Esses genótipos, foram os que atingiram maior rendimento simulado.

À medida que a semeadura foi retardada, a renda líquida média de todos os genótipos caiu sensivelmente. Pode-se observar que, quando semeado em 1º de março, o milho "safrinha" apresentou uma renda líquida de 32,5% da obtida com a semeadura em 15 de janeiro. A partir do dia 15 de março a renda líquida simulada foi negativa.

Considerando a média dos anos, a semeadura em 1º de abril só seria rentável para cultivares de ciclo longo, as quais tiveram maior rendimento simulado.

Entretanto, em função dos elevados desvios padrão apresentados, pode-se inferir que essa data de semeadura proporciona um alto risco ao agricultor.

Os genótipos de ciclo curto e médio apresentaram rendas líquidas negativas, devido ao fato de permanecerem por menos tempo no campo e, portanto, tendo menor capacidade de acumular fotoassimilados e consequentemente menor rendimento.

Tabela 14. Renda líquida e desvio padrão (R$.ha^{-1}) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de semeadura	**Renda Líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**
15/Jan	-23,20	70,30	228,50	117,40	356,30	165,50	**140,40**	**88,30**
1/Fev	-5,30	78,70	221,90	119,80	320,60	148,30	**134,30**	**86,70**
15/Fev	-6,90	80,40	185,50	115,20	191,20	185,40	**92,50**	**95,20**
1/Mar	-25,10	77,50	95,80	147,60	111,80	195,70	**45,60**	**105,20**
15/Mar	-90,80	100,40	7,00	166,10	81,20	246,90	**-0,70**	**128,30**
1/Abr	-159,20	109,30	-30,70	190,00	77,00	268,00	**-28,20**	**141,80**
Média	**-51,80**	**86,10**	**118,00**	**142,70**	**189,70**	**201,60**	**64,00**	**107,60**

A análise do DSSAT, na qual detecta-se o tratamento dominante (mean-gini dominance) indicou que o genótipo 9, de ciclo longo e alto número de grãos por espiga (800), foi o que apresentou melhor desempenho entre todas as semeaduras, exceto nas épocas de semeadura de 15 fevereiro e 1º de março, nas quais o genótipo 6 (ciclo médio e alto número de grãos por espiga) foi também o dominante. Coincidentemente, esses genótipos tiveram os maiores rendimentos simulados.

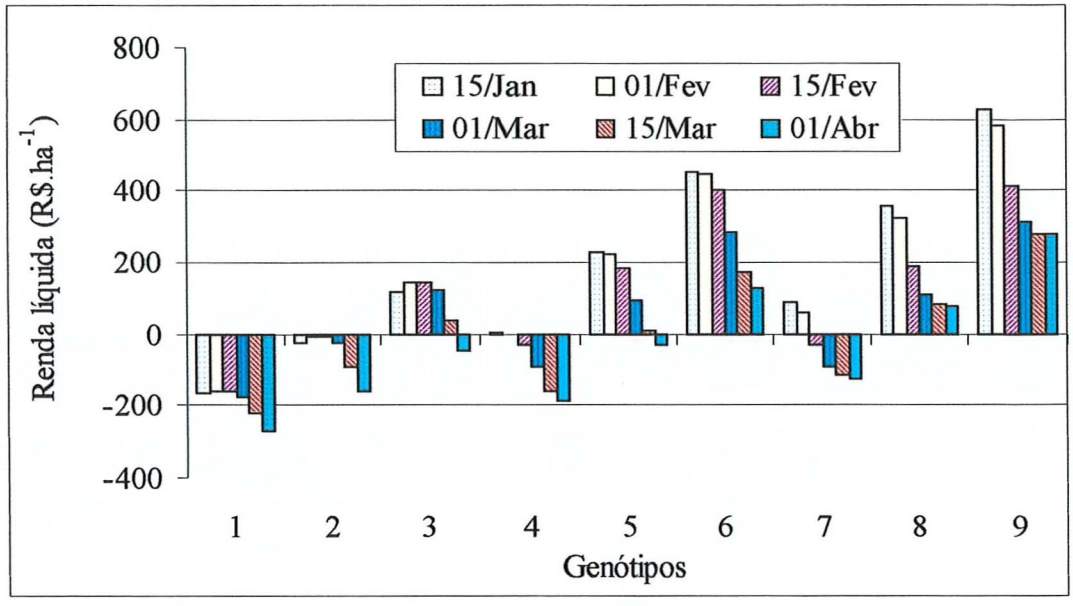


Figura 31. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Ribeirão Preto, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

Na Figura 31 observa-se a renda líquida para cada genótipo nas diferentes épocas de semeaduras simuladas. Verifica-se que a maior renda líquida estimada para a série de anos considerada correspondeu ao genótipo 9 (ciclo longo e alto número de grãos por espiga) na semeadura do dia 15 de janeiro, atingindo 623,50 R$.ha^{-1} e a menor para o genótipo 1, de ciclo curto e baixo número de grãos por espiga (400), na semeadura de 1º abril (-270,60 R$.ha^{-1}).

4. 4. 3. Análise econômica da condição de sequeiro e sem uso de fertilizantes para a região de Manduri

Na região de Manduri, os genótipos de ciclo médio e longo apresentaram as maiores rendas líquidas, 139,6 e 157,00 R$.ha^{-1} respectivamente (Tabela 15). Constatou-se que à medida que a semeadura era atrasada, a renda líquida média simulada diminuía. Assim, a média de todos os genótipos na semeadura em 1º de março representou 19% da renda líquida simulada para a semeadura em 15 de janeiro.

Tabela 15. Renda líquida e desvio padrão (R$.ha^{-1}) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura, para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de plantio	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**
15/Jan	134,80	78,70	308,80	120,60	451,60	219,10	**298,40**	**139,50**
1/Fev	142,40	81,50	302,30	152,00	284,80	266,00	**243,20**	**166,50**
15/Fev	131,10	100,80	198,00	206,10	145,60	309,80	**158,20**	**205,60**
1/Mar	44,00	139,00	87,10	245,70	39,00	297,80	**56,70**	**227,50**
15/Mar	-23,10	182,10	-10,90	243,50	11,30	328,30	**-7,60**	**251,30**
1/Abr	-106,10	173,70	-47,90	267,80	9,60	363,90	**-48,20**	**268,50**
Média	**53,80**	**126,00**	**139,60**	**205,90**	**157,00**	**297,50**	**116,80**	**209,80**

Na Tabela 16 observam-se os tratamentos diferenciados pela análise "mean gini dominance" do DSSAT. Observa-se que, em geral, o genótipo 6, de ciclo médio e alto número de grãos por espiga foi o que apresentou melhor desempenho.

Tabela 16. Tratamentos dominantes segundo a análise "mean gini dominance" segundo a época de semeadura para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

	15/Jan	**1/Fev**	**15/Fev**	**1/Mar**	**15/Mar**	**1/Abr**
Genótipo	9	6	6	3, 6	3, 6, 9	9

A maior renda líquida foi simulada para o genótipo 9 (ciclo longo e alto número de grãos por espiga) na semeadura de 15 de janeiro (667,00 R$.ha^{-1}), e a menor para o genótipo 1 (ciclo curto e baixo número de grãos por espiga) que teve um valor negativo (-164,00 R$.ha^{-1}) (Figura 32).

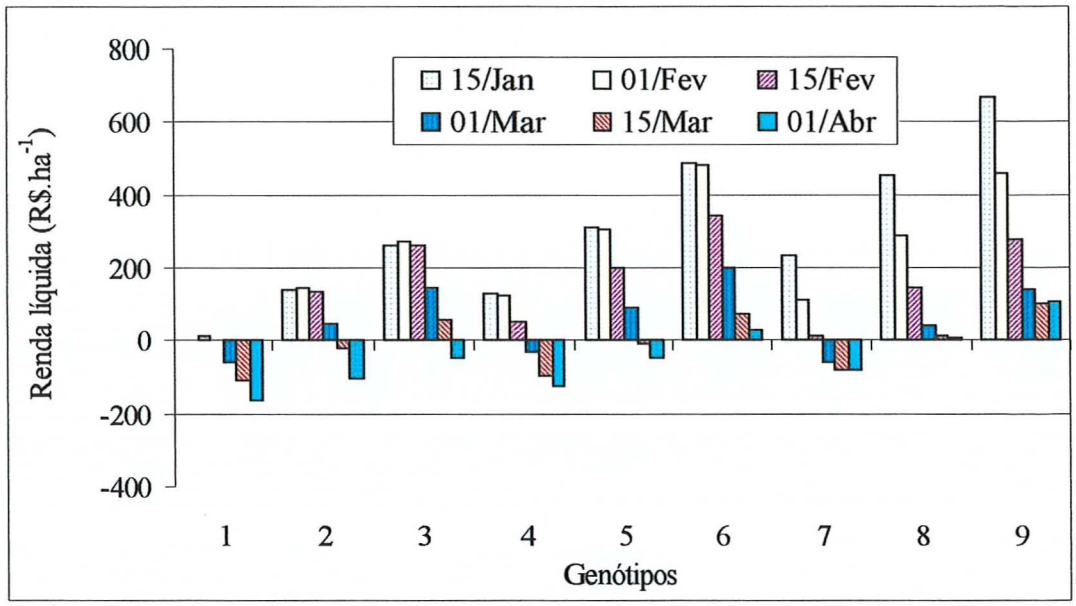


Figura 32. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Manduri, SP, sob condições de sequeiro e sem uso de fertilizantes.

4. 4. 4. Análise econômica da condição sob irrigação e com uso de fertilizantes para a região de Manduri

Na região de Manduri, os genótipos de ciclo longo apresentaram as maiores rendas líquidas, atingindo 383,50 R$.ha^{-1} na semeadura de 15 de janeiro (Tabela 17).

Constatou-se que à medida que a semeadura era atrasada, a renda líquida média simulada diminuía. Assim, a média de todos os genótipos na semeadura em 1º de março representou 47% da renda líquida simulada para a semeadura em 15 de janeiro.

Tabela 17. Renda líquida e desvio padrão (R$.ha^{-1}) para os diferentes genótipos de milho "safrinha" simulados nas 6 épocas de semeadura, para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

	Ciclo curto		**Ciclo médio**		**Ciclo longo**		**Média**	
Data de plantio	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**	**Renda líquida**	**Desvio padrão**
15/Jan	-16,40	87,40	212,50	132,30	383,40	225,50	**170,80**	**202,00**
1/Fev	93,40	87,80	193,20	150,40	185,80	286,90	**166,30**	**178,40**
15/Fev	-21,00	106,70	62,20	215,80	14,00	343,60	**120,20**	**143,80**
1/Mar	-111,00	149,50	-76,20	274,10	-98,60	348,70	**81,10**	**113,10**
15/Mar	-197,90	190,30	-190,00	266,20	-146,00	374,90	**49,60**	**90,80**
1/Abr	-293,50	187,00	-234,20	285,30	-124,00	429,10	**41,60**	**97,50**
Média	**-91,10**	**134,80**	**-5,40**	**220,70**	**35,80**	**334,80**	**104,90**	**137,60**

Na Tabela 18 observam-se os tratamentos diferenciados pela análise "mean gini dominance" do DSSAT. Sob condições irrigadas, em geral, o genótipo 6, de ciclo médio e alto número de grãos por espiga foi o que apresentou melhor desempenho.

Tabela 18. Tratamentos dominantes segundo a análise "mean gini dominance" segundo a época de semeadura para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

	15/Jan	**1/Fev**	**15/Fev**	**1/Mar**	**15/Mar**	**1/Abr**
Genótipo	9	6	6	3, 6	3, 6, 9	9

A maior renda líquida foi simulada para o genótipo 9 (ciclo longo e alto número de grãos por espiga) na semeadura de 15 de janeiro (646,30 R$.ha^{-1}), e a menor para o genótipo 1 (ciclo curto e baixo número de grãos por espiga) que teve um valor negativo (-356,80 R$.ha^{-1}) (Figura 33).

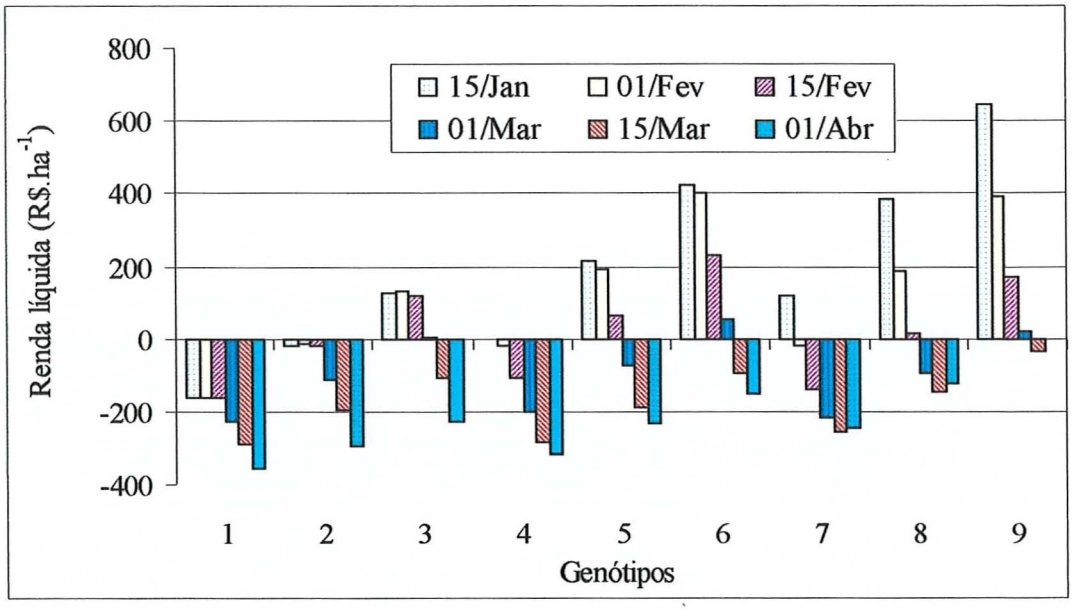


Figura 33. Renda líquida média estimada para a cultura de milho "safrinha", para a região de Manduri, SP, sob condições irrigadas e com uso de fertilizantes.

4. 4. 5. Análise econômica: comparação entre as duas regiões sob estudo

De acordo com as simulações realizadas pelo modelo CERES-Maize, sob condições de sequeiro, a região de Manduri apresentou as melhores condições para a cultura de milho "safrinha", sendo a média de renda líquida nessa região de todos os genótipos e épocas de semeadura da ordem de 116,80 R$.ha^{-1}. A renda simulada para a região de Ribeirão Preto foi de -11,40 R$.ha^{-1}) (Tabelas 13 e 15).

Sob condições irrigadas, a região de Manduri, apresentou renda líquida média maior (105 R$.ha^{-1}) do que a região e Ribeirão Preto (64 R$.ha^{-1}).

5. CONCLUSÕES

- As simulações realizadas indicaram a região de Manduri como sendo aquela que apresenta maior potencial para a produção de milho "safrinha" em condições de sequeiro. O rendimento médio simulado para todas as épocas de semeadura foi de 3.083 $kg.ha^{-1}$, representando 30% a mais do que na região de Ribeirão Preto (2.182 $kg.ha^{-1}$).
- Sob condições de sequeiro, verificou-se que para a região de Manduri, os genótipos de ciclos médio e longo alcançaram os maiores rendimentos simulados pelo modelo. Entretanto, o oposto ocorreu para a região de Ribeirão Preto, ou seja, os genótipos de ciclo curto foram os melhores.
- Através da análise de freqüência de ocorrência dos rendimentos simulados, foi possível detectar as melhores épocas de semeadura para cada região, segundo os diferentes comprimentos de ciclo das cultivares. Nas duas regiões, os maiores rendimentos foram simulados para a primeira época de semeadura (15 de janeiro). Porém, observou-se que à medida em que se atrasou a semeadura, os rendimentos decresceram.
- Na região de Manduri, sob condições de sequeiro, o genótipo 9, de ciclo longo e maior número de grãos por espiga (800) foi aquele que teve maior rendimento médio em todas as épocas de semeadura simuladas, porém, com o mais alto desvio padrão. O genótipo 6, de ciclo médio e alto número de grãos por espiga, apresentou também, elevados rendimentos na série de anos utilizada mas com um desempenho mais estável (menor desvio padrão). Na região de Ribeirão Preto, o genótipo 3, de ciclo curto e alto número de grãos por espiga, foi o que apresentou maiores rendimentos médios em todas as épocas de semeadura simuladas.

- Para a condição irrigada, foram simuladas maior evapotranspiração, maior número de irrigações e consequentemente maior lâmina de água aplicada na região de Ribeirão Preto em relação à região de Manduri.
- A região de Ribeirão Preto apresentou maior potencial produtivo em condições irrigadas com uso de fertilizantes do que a região de Manduri. O rendimento simulado em Ribeirão Preto (4.508 $kg.ha^{-1}$) foi 24% superior àquele simulado para a região de Manduri (3.513 $kg.ha^{-1}$).
- Nas duas regiões, sob condições irrigadas com uso de fertilizantes, os genótipos de ciclo longo, particularmente, o genótipo 9, foram os que tiveram maiores rendimentos simulados em todas ás épocas de semeadura, porém, com os maiores desvios padrão. À medida em que se atrasou a época de semeadura, os rendimentos diminuíram. Assim, para a região de Manduri, o rendimento da cultura do milho "safrinha" na primeira época de semeadura simulada foi 55% superior em relação à última. Entretanto, na região de Ribeirão Preto, o rendimento na primeira época de semeadura foi 24% maior do que a última.
- As simulações de um maior comprimento do sistema radicular, não correspondeu com aumentos do rendimento na região de Ribeirão Preto. As simulações mostraram pequenos incrementos de rendimento na região de Manduri.
- Pela análise econômica, evidenciou-se que na região de Ribeirão Preto, sob condições de sequeiro, os genótipos de ciclo curto obtiveram maior renda líquida em todas as épocas de semeadura. Porém, elevadas rendas líquidas também foram alcançadas para os genótipos de ciclo médio, apenas nas semeaduras de 15 de janeiro e 1º de fevereiro. Para as condições irrigadas, os genótipos de ciclos médio e longo foram aqueles que obtiveram maiores rendas líquidas.
- Na região de Manduri, os genótipos de ciclos médio e longo foram aqueles que tiveram maiores rendas líquidas tanto em condições irrigadas como de sequeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAETHGEN, W. Uso de modelos de simulación en manejo y fertilidad de suelos. In: **Curso de actualización técnica manejo y fertilidad de suelos,** 2. Uruguay: INIA La Estanzuela, 1995. cap.1, p.4-10.

BOGNOLA, A. I. Caracterização química, física e mineralógica de Solos Intermediários entre Latossolos Brunos e Latossolos Roxos. Viçosa, 1995. 205p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

BOOTE, K.J; JONES, J.W; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crops models. **Agronomy Journal,** v. 88, p.704-716, 1996.

BOULLON, D.R; RODRÍGUEZ, G.R Y MAGRÍN G.O. Aplicación de CERES-Maize a la estimación de rendimientos regionales. In: REUNIÓN ARGENTINA DE FISIOLOGÍA VEGETAL, 21., Argentina, 1996. Actas. Argentina: INTA Castelar, 1996. p.168-170.

BOWEN, W.T.; JONES, J.W; CARSKY, R.J; QUINTANA, J.O. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. **Agronomy Journal,** v.85, n.1 p.153-159, 1993.

BRITO, A. R. De M.B.; FANCELLI, A. L.; e DURÃES, F.O.M. Comportamento de híbridos de milho tardio, precoce e super-precoce, na época de "safrinha", submetidos a diferentes níveis de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: IAPAR, 1996. p.173.

BRITO, A.R.M.B. Comportamento de híbridos de milho tardio, precoce e superprecoce, na época de "safrinha", submetidos a diferentes níveis de nitrogênio. Piracicaba, 1995. 78p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BRUNINI, O. Características meteorológicas e potencialidades das principais regiões produtoras de milho do estado de São Paulo. In: PEREIRA DUARTE, A; PATERNIANI ZAGATTTO, M.E.A.G (Ed.) **Caracterização edafoclimática e avaliação de cultivares de milho no Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1996. cap. 3, p19-30.

BRUNINI, O. Probabilidades de cultivo do milho "safrinha" no estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3., Assis, 1997. **Resumos**. Assis: CDV, IAC, 1997. p.37-55.

BRUNINI, O.; BORBOLETO, N.; MARTINS, A.L.M. et al. Determinação das exigências térmicas e hídricas de cultivares de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3., Assis, 1995. **Resumos**. Assis: CDV, IAC, 1995. p.141-145.

CANTARELLA, H. Adubação do milho "safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5., Barretos, 1999. **Anais**. Barretos: CATI, IAC, IEA, 1999. p.15-24.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Tabela de recomendação de adubação NPK para milho "safrinha" no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 4., Assis, 1997. **Anais**. Assis: CDV, IAC, 1997. p.65-70.

COMERMA, J.; GUENNI, L.; MEDINA, G. Validación del balance hídrico del modelo CERES-Maize en la zona de Maracay, estado Aragua. **Agronomia Tropical**, v.35, n.4-6, p.115-132. 1985.

COSTA. M.M.G. Aplicação de dois modelos de previsão de safra agrícola para a cultura de milho na microrregião de Ribeirão Preto, SP. São Paulo, 1992. 207p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.

DUARTE, A.P.; ALLIPRANDINI, L.F; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R.A.D. Avaliação de cultivares de milho "safrinha" no vale Paranapanema. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Centro-Oeste: cinturão de milho e sorgo no Brasil;** resumos. Goiânia: ABMS, EMGOPA, EMBRAPA, CNPMS, UFG, EMATER-GO, 1994. p.91.

DUARTE, P.A.; BORBOLETTO, N; BIANCHINI, M.T. et al. Avaliação de cultivares de milho "safrinha" na região Norte/Noroeste do Estado de São Paulo em 1998. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5., Barretos, 1999. **Anais**. Barretos: CATI/IAC/IEA, 1999. p.249-258.

DUCHON, C.E. Corn yield prediction using climatology. **Journal of Climate and Applied Meteorology,** v. 25, n.5, p.581-585, 1986.

DURÃES, F.O.M; MAGALHAES, P. C.; FANCELLI, A. L.; COSTA, J.D. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento de milho em semeadura tardia (safrinha). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Centro-Oeste: cinturão de milho e sorgo no Brasil;** resumos. Goiânia: ABMS,EMGOPA,EMBRAPA, CNPMS,UFG,EMATER-GO, 1994. p.199.

ECK, H. U. Effects of water deficits on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. **Agronomy Journal**, v. 75, n.4, p.1035-1040. 1986.

ESTEVES, A.; PEREIRA, EBC; RUSCHEL, R. Avaliação de características agronômicas em cultivares de milho (Zea Mays) introduzidas, no plantio de "safrinha". In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20.,

Goiânia, 1994. **Centro-Oeste: cinturão de milho e sorgo no Brasil;** resumos. Goiânia: ABMS,EMGOPA,EMBRAPA, CNPMS,UFG,EMATER-GO, 1994. p.36.

FARIA, R.T. DE; FOLEGATTI, M.V; FRIZZONE, J.A; SAAD, A.M. Determintation of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana State, Brazil. **Scientia Agrícola.** v. 54, número especial, p.155-164. 1997.

FAVETTA, G.M. Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central. Piracicaba, 1998. 110p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Agrianual 1999: Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. São Paulo, 521p.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Agrianual 2000: Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. São Paulo, 546p.

HOOGENBOOM, G. DSSAT version 3.5 released, **ICASA NEWS**, n. 4, 1998. p.2.

HOOGENBOOM, G; JONES, J.W; WILKENS, P.W; BATCHELOR, W.D; BOWEN, W.T; HUNT, L.A; PICKERING, N.B; SINGH,U; GODWIN, D.C; BAER, B; BOOTE, K.J; RITCHIE, J.T; WHITE, J.W. Crop models. In: TSUJI, G.Y; UEHARA, G. AND BALAS. (Ed.) **DSSAT v3, Decision support system for agrotechnology tranfer.** Honolulu: University of Hawai, 1994. v. 2. cap. 2, p.95-242.

IEA-Instituto de Economia Agrícola. **Anuário Estatístico da Agricultura**: Anuário IEA 1992. (Série de Informações Estatísticas da Agricultura) 01/93. 1993.

IEA-Instituto de Economia Agrícola. **Anuário Estatístico da Agricultura**: Anuário IEA 1996. (Série de Informações Estatísticas da Agricultura) 01/97. 1997.

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

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: PENNING DE VRIES F.W.T, TENG PS, METSELAAR K (Ed.) **Systems approaches for agricultural development.** Boston: Kluwer Academic Press, 1993. p.459-471.

JONES, J.W.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize**: (a simulation model of maize growth and development). College Station: Texas A&M Univ. Press, 1986. 194p.

JONES, J; TSUJI, G; HOOGENBOOM, G; HUNT, L; THORNTON, P; WILKENS, P; IMAMURA, D; BOWEN, W; SINGH, U. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v.3. In: TSUJI, G; HOOGENBOOM, G AND THORNTON, P. (Ed.) **International benchmark sites network for agrotechnology transfer: a system approach to research and decision making.** Kluwer Academic Press, 1996.

KINIRY, J.R. Maize Phasic Development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. (Ed.) **Modeling Plant and Soil Systems**. Madison, Wisconsin: ASA, 31, 1991. cap.4, p.55-70.

KLOCKE, N.L.; TODD, R.W.; SCHNEEKLOTH, J.P. Soil water evaporation in irrigated corn. **Applied Engineering in Agriculture**. v.12, p. 301-306, 1996.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia. 1994. 261p.

LIMA, M.G. Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

LIU, W.T.H; BOTNER, D.M.; SAKAMOTO, C.M. Aplication of CERES-Maize model to yield prediction of a Brazilian maize hybrid. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 45, n.2, p. 299-312, 1989.

LLANOS COMPANY, M. El riego. In: MUNDI PRENSA (Ed.) **El Maiz**. Madrid, 1984. p.177-192.

MOCK, J.J; PEARCE, R.B. An ideotipe of maize. **Euphytica.** v. 24, p.613-623, 1975.

MOTA, F.S. DA. Meteorologia Agrícola. São Paulo: Nobel, 1986.

MUCHOW, R.C.; CARBERRY, P.S. Designing improved plant types for the semiarid tropics: agronomist viewpoints. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS APPROACHES FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, Bangkok, Tailand, 1991. **Proceedings**. Bangkok: Kluver Acaemic Publisher, 1991. p. 37-61.

MUCHOW, R.C.; HAMMER, G.L.; CARBERRY, P.S. Optimizing crop and cultivar selection in response to climatic risk. pp 235-262. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION: MODELS AND MANAGEMENT FOR THE SEMIARID TROPICS AND SUBTROPICS, Brisbane, 1991. **Proceedings**. Australia: p. 235-261.

OLIVEIRA, M.D.X. DE; ANDRADE, J.A.C.; ARF,O. e PASTANA, A.K.M.P. Estudo de épocas de semeadura e ciclo de cultivar de milho "safrinha" na região sudeste do Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Centro-Oeste: cinturão de milho e sorgo no Brasil;** resumos. Goiânia, ABMS/EMGOPA/EMBRAPA, CNPMS/UFG/ EMATER-GO, 1994. p. 177.

PREÇOS AGRÍCOLAS. n.152. p.40, 1999.

QUIESSI, J.A; PEREIRA DUARTE, A; BICUDO, S.J; ZAGATTO, M.E.A.G. Rendimento de grãos e características fenológicas do milho em diferentes épocas de semeadura, em Tarumã (SP). In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5., Barretos, 1999. **Anais**. Barretos: CATI/IAC/IEA, 1999. p.239-248.

RITCHIE, J.T. Soil water balance and plant water stress. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for**

agricultural production. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p.41-54. 1998.

RITCHIE, J.T.; GOODWIN, D.C.; SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER, Las Vegas, 1989. **Symposium Proceedings**. Honolulu: University of Hawaii, 1990, p.31-45.

RITCHIE, J.T; SINGH, GODWIN, D.C; BOWEN, W.T. Cereal growth, development and yield. . In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluver Academic Publishers. The Netherlands. p79-98. 1998.

SAAD, A.M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central na cultura de Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L). Piracicaba, 1991. 141p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SALVADOR, R. J. Use of Computerized Simulation to Advance Agricultural Research in Developing Countries. Eighth International Congress on Research in Electrical Sciences. Instituto Tecnológico de la Laguna, 20 - 24 September 1993, Torreón, Coahuila, México. 1993.

SARTORI, J.A. Determinantes genético fisiológicos e elementos de manejo na escolha de cultivares de milho "safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3. Assis, 1997. **Resumos**. Assis: CDV/IAC, 1997. p.31-35.

SENTELHAS, P.C., PEREIRA; MARIN, A.R.; F.R., ANGELOCCI, L.R., ALFONSI, R.R., CARAMORI, P.H., SWART, S. Balanços hídricos climatológicos do Brasil. ESALQ/USP, Piracicaba, 1999. CD-ROM.

THORNTON, P.K.;HOOGENBOOM, G. A computer program to analyse single-season Crop Model outputs. **Agronomy Journal**, v. 86, n.5, p.860-864, 1994.

THORNTON, P.K; SAKA, A.R; SING, U; KUMWENDA, J.D.T; BRINK, J.E; DENT, J.B. Application of a maize crop simulation model in the central region of Malawi. **Experimental Agriculture**. v. 31, n.2, p.213-226, 1995.

TSUNECHIRO, A. Análise do risco da produção e do mercado de milho "safrinha" In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5., Barretos, 1999. **Anais**. Barretos: CATI/IAC/IEA, 1999. p.127-132.

TSUNECHIRO, A. Milho. In: Prognostico Agricola. São Paulo: IEA, vol.2. p.233-240. 1998.

TSUNECHIRO, A; FERREIRA, C.R; FRANCISCO, V.L. Estratificação da área da cultura do milho "safrinha" nas regiões de Assis, Orlândia e Barretos, Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5., Barretos, 1999. **Anais**. Barretos: CATI/IAC/IEA, 1999. p.141-148.

UEHARA, G & TSUJI, G. The IBSNAT project. In: PENNING DE VRIES F.W.T, TENG PS, METSELAAR K (Ed.) **Systems approaches for agricultural development**. Kluwer Academic Press, Boston. 505-513. 1993.

WHITE, J.W. Modeling and crop improvement. In: TSUJI, G.Y; HOOGENBOOM, G; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. The Netherlands: Kluver Academic Publishers, 1998. p.179-188.