



1960

UFSM

Tese de Doutorado

**SIMULAÇÃO ECONÔMICA DE ROTAÇÃO DE
CULTURAS IRRIGADAS NA REGIÃO CENTRAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Genesio Mario da Rosa

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**SIMULAÇÃO ECONÔMICA DE ROTAÇÃO DE
CULTURAS IRRIGADAS NA REGIÃO CENTRAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Por

Genesio Mario da Rosa

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **DOUTOR EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**.

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil.

2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado**

**SIMULAÇÃO ECONÔMICA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS
IRRIGADAS NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO
SUL**

Elaborada por

Genesio Mario da Rosa

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Reimar Carlesso, Ph.D.
(Presidente- Orientador)

Flávio Luiz Foletto Eltz, Ph.D.

Arno Bernardo Heldwein, Dr.

Oswaldo König, Dr.

Sidnei Osmar Jadoski, Dr.

Santa Maria, 01 de outubro de 2004.

Rosa, Genesio Mario da, 1968-
R788s

Simulação econômica de rotação de culturas irrigadas na Região Central do Rio Grande do Sul / por Genesio Mario da Rosa ; orientador Reimar Carlesso. – Santa Maria, 2004.
xxiii, 102 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

1. Engenharia agrícola 2. Irrigação 3. Simulação econômica 4. Rotação de culturas 5. Custos de produção I. Carlesso, Reimar, orient. II. Título

CDU: 631.67

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

Essa conquista eu dedico e agradeço:

A Deus, por sempre iluminar meu caminho;

A minha mãe Maria Iraci;

A minha esposa Luciana, pelo amor, carinho, compreensão, dedicação e companheirismo;

A meus filhos Rodrigo e Carolina Luiza, molas propulsoras dessa jornada, pelo afeto, carinho, compreensão e amor;

Aos meus sogros Adão e Nueli por terem me adotado como filho, meu eterno carinho.

Ao Professor Reimar Carlesso, pela orientação, amizade e estímulo durante essa jornada;

A colega e amiga Mirta, por sua amizade e presença durante todos esses anos de vida acadêmica;

Aos amigos Giane, Cleudson, Zaiosc, Renato, Tatiana, Vanessa e Fabiano pela dedicação, companheirismo e confiança.

Aos amigos Brantan, Rodrigo e Fábio, fundamentais para a execução desse trabalho.

Aos bolsistas e integrantes da equipe de trabalho, De Bona, Juliano, Gustavo, Paulo, Cleiton, Jefferson, Leandro e Francielli, pela dedicação e amizade.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade que jamais esquecerei.

Ao professor Afrânio Almir Righes, ex-coordenador e ao Professor José Fernando Schlosser, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela coragem e dedicação em criar e manter o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em nível de Doutorado.

A todos aqueles que não mais estão aqui, mas que sua presença iluminou o meu caminho, pelo exemplo de vida que deixaram.

A você minha vó que tão pouco convívio tivemos, mas que os ensinamentos recebidos quando menino norteiam o homem que sou hoje.

A todos meu eterno carinho.

“Tenho amigos que não sabem o quanto são meus amigos.
Não percebem o amor que lhes devoto e a absoluta necessidade que tenho deles.
A amizade é um sentimento mais nobre do que o amor,
eis que permite que o objeto dela se divida em outros afetos,
enquanto o amor tem intrínseco o ciúme, que não admite a rivalidade.
E eu poderia suportar, embora não sem dor,
que tivessem morrido todos os meus amores,
mas enlouqueceria se morressem todos os meus amigos!
Até mesmo aqueles que não percebem o quanto são meus amigos
e o quanto minha vida depende de suas existências ...”

(Vinícius de Moraes)

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - HIPÓTESES	04
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1 - Simulação matemática.....	04
3.2 - Irrigação e eficiência de uso da água.....	08
3.3 - Rotação de culturas.....	11
3.4 - Cultura do milho.....	14
3.5 - Cultura do feijão.....	16
3.6 - Cultura do trigo.....	17
3.7 - Cultura da soja.....	18
3.8 - Cultura da aveia.....	20
3.9 - Retorno econômico do investimento em irrigação.....	21
3.10- Análise de alternativas de investimento.....	23
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1- Custos de produção.....	27
4.2- Custo relacionados à irrigação.....	28
4.3- Receita líquida.....	29
4.4- Análise de investimento.....	31
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1- Santa Maria.....	33
5.2- Cruz Alta.....	50
5.3- Lâmina de irrigação estimada por cultura para Santa Maria e Cruz Alta..	67
5.4- Análise de investimento.....	72
6 - CONCLUSÕES	91
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

SIMULAÇÃO ECONÔMICA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Genesio Mario da Rosa

Orientador: Reimar Carlesso

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 01 de outubro de 2004.

Um sistema de produção agrícola é constituído de uma série de processos, dividido em subsistemas, onde se destaca a condução do processo produtivo que está intimamente relacionado com o ambiente. Nesses subsistemas existem processos que podem ser estimados considerando-se certas condições como: clima, adaptação das culturas e técnicas utilizadas para sua condução. A possibilidade de prever as datas de ocorrência ou os principais estádios de desenvolvimento das culturas, como data de colheita, e conseqüentemente a produtividade potencial, tem um caráter estratégico no processo de tomada de decisão no planejamento agrícola e no manejo das culturas, não só na determinação do momento de acionar um sistema de irrigação, aplicar fertilizantes e defensivos, como também no planejamento de safras e de colheita, na rotação de culturas, manejo do solo, etc. O presente trabalho teve como objetivo simular quatro sistemas de rotação de culturas: (i) sistema I- trigo e soja; (ii) sistema II - trigo-soja e aveia-milho; (iii) sistema III - trigo-soja, aveia-milho e trigo-feijão e; (iv) sistema IV - trigo-soja, aveia-milho-feijão safrinha e trigo-feijão-milho

safrinha. O trabalho foi desenvolvido para os municípios de Santa Maria e Cruz Alta no Estado do Rio Grande do Sul, considerando o período de 1990 a 2000. Para a simulação matemática do ciclo de desenvolvimento das culturas foram utilizados dados meteorológicos diários. A simulação das culturas dentro dos sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para cada ano agrícola, foi realizada em função de cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), espaçadas de 15 em 15 dias (primeira quinzena de maio; segunda quinzena de maio; primeira quinzena de junho; segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho). Foram estimadas a lâmina e o número de irrigações necessárias para suprir as necessidades hídricas das culturas, a partir de informações de capacidade de armazenamento de água disponível no solo, estágio de desenvolvimento e condições meteorológicas. Os custos de produção das diferentes culturas foram estimados, através do cálculo dos custos de implantação, condução e irrigação das culturas. A estimativa dos custos relacionados à irrigação foi realizada para uma área irrigada de 380 ha. A análise de investimento consistiu na determinação do tempo de retorno e do capital acumulado no final do período de 10 anos (1990-2000) para as seguintes alternativas de investimento de um valor de R\$ 1.258.344,00 (Um milhão, duzentos e cinquenta e oito mil e trezentos e quarenta e quatro reais): (i) implantação de irrigação em 380 ha; (ii) aquisição de 134,22 hectares e; (iii) aplicação financeira do capital. Os resultados simulados demonstraram que para todos os anos e épocas de semeadura simuladas, para as culturas da soja, milho e milho safrinha, feijão e feijão safrinha, para as cidades de Santa Maria e Cruz Alta, houve necessidade de complementação das necessidades hídricas das culturas através de irrigação. A lâmina de irrigação acumulada necessária para atender as necessidades hídricas das culturas da soja, milho e milho safrinha, feijão e feijão safrinha variou com a época de semeadura e região de cultivo. A cultura que necessitou a menor lâmina de irrigação foi a cultura do feijão cultivado na safrinha. A maior receita líquida acumulada, entre os sistemas de rotação de culturas, verificada para Santa Maria e Cruz Alta, foi observado para o sistema IV de rotação de culturas no terceiro, sexto e nono ano de cultivo, para a primeira, segunda e terceira épocas de semeadura da cultura de inverno, respectivamente, na sucessão trigo-feijão-milho safrinha. O investimento em

irrigação resultou no pagamento do investimento em 5,5 anos para o sistema I, em 4,5 anos para os sistemas II e III e em 3,5 anos para o sistema IV de rotação de cultura, simulados para as duas regiões analisadas. O investimento em aquisição de terras resultou no pagamento do investimento em 4,5 anos para as duas regiões. O investimento em irrigação, foi a alternativa que apresentou a maior receita líquida acumulada no final do período (R\$ 3.024.395,00) em comparação com as alternativas de investimento em aquisição de terras (R\$ 1.892.259,00) e aplicação financeira (R\$ 2.894.677,00) para as cidades de Santa Maria e Cruz Alta.

ABSTRACT

Doctorate Thesis
Post Graduation Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

**ECONOMIC SIMULATION OF IRRIGATED CROP
ROTATION IN THE CENTRAL REGION OF THE RIO
GRANDE DO SUL STATE - BRAZIL**

Author: Genesio Mario da Rosa
Adviser: Reimar Carlesso
Local and date: Santa Maria, October 01, 2004.

An agricultural production system is constituted by a succession of processes divided in subsystems in which it is emphasized the carriage of productive process related to the environment. In these subsystems, there are processes that can be estimated considering certain conditions such as: weather, crop adaptation and cultural practice and tillage system. The possibility of predicting dates of crop growth (phenology) and development (as harvest date, and consequently, the potential yield) has importance in the process of agricultural planning decision and crop management, not only for irrigation management, fertilizer and defensives application, but also for crop harvest planning, crop rotation, soil management, etc. The present work involved the mathematical simulation of four crop rotation systems: (i) wheat, soybean; (ii) wheat, oats, soybean and maize; (iii) wheat, oats, soybean, maize and dry beans and; (iv) wheat, oats, soybean, maize, maize in same crop sowing season, dry beans and dry beans in the same growing season. This work was conducted in Depressão

Central (Santa Maria) and Planalto Médio (Cruz Alta) regions of the Rio Grande do Sul State, using meteorological data from 1990 to 2000. The crop rotation simulation systems i, ii, iii and iv for each agricultural year was conducted for five crop sowing dates of winter cultures (wheat and oats), from 15 to 15 days (first half of May; second half of May; first half of June; second half of June; and first half of July). The irrigation depth and the irrigation number applied on the crops were estimated based on soil plant available water, crop development and meteorological conditions. Production costs of the different crops were estimated adding the cultivation cost, depreciation and irrigation cost. Irrigation cost was based on an area of 380 ha of irrigated crop. The analyses of investment consisted of the determination of return and cumulative capital after 10 years of crop rotation cultivation (from 1990 to 2000) considering the following alternatives of investment of the R\$ 1,258,344.00: (i) acquisition of 380 ha of center pivot irrigation system; (ii) acquisition of 134,22 ha of land and; (iii) financial application of capital. The simulated results demonstrated that the cultivation of soybean, maize, maize after a Summer crop during the same growing season, dry beans and dry beans after a Summer crop during the same growing season in Santa Maria and Cruz Alta regions, the complementary irrigation was necessary to supply water to the crops. The cumulative irrigation depth necessary to supply crop need changed according to the date of sowing and cultivation region. Dry beans cultivation after the main Summer crop during the same growing year required less amount of irrigation depth application. Among the crop rotation system tested in the region of Santa Maria and Cruz Alta, the larger cumulative net income was observed for the system IV (succession of wheat-dry beans-maize in same crop sowing season) in the third, sixth and ninth year of cultivation to the first, second and third sowing date of winter crop (wheat), respectively. The choice of the investment in irrigation resulted in investment return (payment capacity) for both regions studied in 5.5 years for the crop rotation system I, in 4.5 years for the crop rotation systems II and III, and in 3.5 years for the crop rotation system IV. The choice of the investment in land acquisition resulted in investment return (payment capacity) for both regions studied in 4.5 years. The choice of the investment in irrigation was the alternative that provided the most accumulated

net income after 10 years period (R\$ 3,024,395.00) compared to the choices of investment in land acquisition (R\$ 1,892,259.00) and financial application (R\$ 2,894,677.00) for the regions of Santa Maria and Cruz Alta.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Rendimento médio de grãos, preço médio pago ao produtor e custo de produção das culturas do milho, feijão, soja e trigo segundo a CONAB (2004).....	28
Tabela 2 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema I (trigo e soja) de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura da cultura do trigo, em Santa Maria - RS.....	33
Tabela 3 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema II de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura da cultura do trigo-aveia, em Santa Maria – RS.....	38
Tabela 4 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema III de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura das culturas de inverno trigo e aveia, em Santa Maria - RS.....	42
Tabela 5 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema IV de rotação de culturas, para cinco épocas de semeadura das culturas de inverno trigo e aveia, em Santa Maria – RS.....	46
Tabela 6 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema I de rotação de culturas, para cinco épocas de semeadura da cultura do trigo em Cruz Alta - RS.....	51
Tabela 7 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema II de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura das culturas do trigo e aveia, em Cruz Alta - RS.....	55
Tabela 8 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema III de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura das culturas do trigo-aveia, em Cruz Alta - RS.....	59
Tabela 9 -	Datas de semeadura estimadas na simulação do sistema IV de rotação de culturas para cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), em Cruz Alta - RS.....	62

Tabela 10 - Acúmulo de capital em reais (R\$) estimados para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), para Santa Maria - RS.....	79
Tabela 11 - Estimativa do número de hectares possíveis de adquirir na análise de investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação pivô central, aquisição de terras e aplicação financeira, para Santa Maria- RS.....	80
Tabela 12 - Acúmulo de capital em Reais (R\$) estimado nos sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), para Cruz Alta - RS.....	87
Tabela 13 - Estimativa do número de hectares possíveis de adquirir na análise de investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação pivô central aquisição de terras e aplicação financeira, para Cruz Alta - RS.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Produção de massa seca por hectare durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da aveia, segundo BEVILAQUA et al. (2001).....	26
Figura 2 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura do trigo em função de diferentes datas de semeadura.....	29
Figura 3 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura da soja em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de PETRY (2000).....	30
Figura 4 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura do milho safra em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de GALARRETA (2002) e MICHELON et al. (2003).....	30
Figura 5 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura do milho safrinha em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de GALARRETA (2002) e MICHELON et al. (2003).....	30
Figura 6 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura do feijão safra em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de RUBIM (2003).....	31
Figura 7 -	Rendimento de grãos estimado para a cultura do feijão safrinha em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de RUBIM (2003).....	31
Figura 8 -	Rendimento médio de grãos da cultura do trigo estimados para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS – 2004.....	34
Figura 9 -	Rendimento médio de grãos da soja estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura da cultura do trigo, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004.....	35

- Figura 10 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da soja para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004..... 35
- Figura 11 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simuladas para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja (linhas tracejadas), para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 37
- Figura 12 - Rendimento médio de grãos da cultura do milho estimado para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 39
- Figura 13 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 40
- Figura 14 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho (linhas tracejadas), para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 41
- Figura 15 - Rendimento médio de grãos do feijão safra estimado para o sistema III de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 43
- Figura 16 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safra para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 44
- Figura 17 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safra (linhas tracejadas), para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 45
- Figura 18 - Rendimento médio de grãos do feijão safrinha estimado para o sistema IV de rotação de culturas para três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 47

- Figura 19 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safrinha, para três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 47
- Figura 20 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulados para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha (linhas tracejadas), para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 48
- Figura 21 - Rendimento médio de grãos do milho safrinha estimado para o sistema IV de rotação de culturas para três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 49
- Figura 22 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho safrinha para quatro épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.. 49
- Figura 23 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulada para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha (linhas tracejadas), para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 50
- Figura 24 - Rendimento médio de grãos da cultura do trigo estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 52
- Figura 25 - Rendimento médio de grãos da cultura da soja estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 52
- Figura 26 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 53
- Figura 27 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulada para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja (linhas tracejadas), para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 54

- Figura 28 - Rendimento médio de grãos da cultura do milho estimado para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 56
- Figura 29 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho para as cinco épocas de semeadura. em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.. 57
- Figura 30 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho (linhas tracejadas), para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004..... 58
- Figura 31 - Rendimento médio de grãos da cultura do feijão safra estimado para o sistema de III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.. 60
- Figura 32 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safra, para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 61
- Figura 33 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura feijão safra (linhas tracejadas), para Cruz Alta – RS. Santa Maria - RS- 2004..... 61
- Figura 34 - Rendimento médio de grãos da cultura do feijão safrinha estimado para o sistema de IV de rotação de culturas, para três épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..... 63
- Figura 35 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safrinha, para três épocas de semeadura, em Cruz Alta – RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.. 64
- Figura 36 - Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha (linhas tracejadas), para Cruz Alta - RS. Santa Maria – RS - 2004..... 65

Figura 37 - Rendimento médio de grãos da cultura do milho safrinha estimado para o sistema de IV de rotação de culturas, para quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004..	66
Figura 38 - Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho safrinha, para quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.....	66
Figura 39 - Diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha (linhas tracejadas), para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.....	67
Figura 40 - Diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, estimada entre 10 de agosto e 20 de abril, no período de 1990-2000, para Santa Maria e Cruz Alta- RS. Santa Maria - RS- 2004.....	68
Figura 41 - Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.....	69
Figura 42 - Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, para as cinco épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.....	69
Figura 43 - Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safra, para as quatro épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	70
Figura 44 - Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safrinha, para as três épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	71
Figura 45 - Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho safrinha, para as quatro épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	71

Figura 46 - Receitas líquidas estimadas para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS-2004.....	72
Figura 47 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema I de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	74
Figura 48 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS - 2004	75
Figura 49 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	76
Figura 50 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	78
Figura 51 - Receitas líquidas acumuladas estimadas para alternativa de investimento aquisição de terras, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	79
Figura 52 - Receitas líquidas estimadas para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	81
Figura 53 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema I de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	83
Figura 54 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	84

Figura 55 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	85
Figura 56 - Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta – RS. Santa Maria – RS - 2004.....	86
Figura 57 - Receitas líquidas acumuladas estimadas para o investimento em aquisição de terras, para Cruz Alta - RS. Santa Maria – RS - 2004.....	87
Figura 58 - Tempo de retorno do investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de terras versus aquisição de sistemas de irrigação, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	89
Figura 59 - Receita líquida acumulada simulada para as alternativas de investimento: aquisição de terras, aquisição de sistemas de irrigação e aplicação financeira, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS - 2004.....	90

SIMULAÇÃO ECONÔMICA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

1- INTRODUÇÃO

Um sistema de produção agrícola é constituído de uma série de processos, dividido em subsistemas, onde se destaca a condução do processo produtivo que está intimamente relacionado com o ambiente. Nesses subsistemas existem processos que podem ser estimados considerando-se certas condições como: clima, adaptação das culturas e técnicas utilizadas para sua condução.

O desenvolvimento ou a fenologia de uma planta é uma seqüência ordenada de processos pontuados por eventos discretos, como sementeira, emergência, diferenciação floral, antese, maturação fisiológica, etc. As variações que ocorrem entre as cultivares, variedades ou híbridos são mais evidentes na duração dos estádios vegetativo e reprodutivo do que na taxa de crescimento. Isso significa que os processos de crescimento e de desenvolvimento podem ser estimados através de modelos de simulação, permitindo, assim, a avaliação precisa do tempo de ocorrência de um certo evento fenológico em decorrência das condições ambientais (precipitação pluvial, temperaturas, radiação, fotoperíodo, etc.).

A simulação matemática é, segundo BURKS & BURKS (1981), uma das técnicas utilizadas para o estudo de vários processos nas áreas da física e engenharia desde a década de 40, sendo esse, um dos primeiros usos da simulação. Por outro lado, a simulação de processos biológicos teve início na década de 60, e desde então pesquisadores têm despendido grandes esforços no

sentido de propiciar avanços na área de simulação de processos biológicos. Na área agrícola a principal finalidade do desenvolvimento e uso de simuladores matemáticos tem sido o desenvolvimento de políticas socioeconômicas, assessoria no processo de decisão dos produtores e auxílio na escolha e utilização das técnicas de produção, visando minimizar os riscos na condução dos processos de manejo das culturas.

O desenvolvimento alcançado na área de informática aplicada à agricultura e no conhecimento da fisiologia da produção, segundo CUNHA et al. (2000), tem proporcionado o surgimento de modelos de simulação de crescimento e de desenvolvimento de culturas que se destacam pelo potencial de ligação a sistemas de suporte a tomada de decisão na agricultura.

A possibilidade de prever as datas de ocorrência das principais fases de desenvolvimento das culturas, como data de colheita, e conseqüentemente a produtividade potencial, tem um caráter estratégico no processo de tomada de decisão no planejamento agrícola e no manejo das culturas, não só na determinação do momento de acionar um sistema de irrigação, aplicar fertilizantes e defensivos, como também no planejamento de safras e de colheita, na rotação de culturas, manejo do solo, etc. A rotação de culturas, fundamentada em espécies, tanto de inverno como de verão, tem contribuído para aumentar a estabilidade de produção e os rendimentos das culturas. A rotação de culturas viabiliza o plantio direto, que é um dos métodos mais eficientes de conservação do solo (SANTOS et al., 2001).

Os principais objetivos da rotação de culturas, além de viabilizar o sistema de plantio direto, são a diversificação da renda na propriedade rural, o melhor aproveitamento do parque de máquinas e da mão-de-obra disponível na propriedade, a manutenção e melhora da fertilidade do solo, a diminuição da incidência de doenças, de plantas daninhas e de pragas, redução de perdas de solo por erosão e redução nas perdas de água por escoamento superficial (SANTOS & REIS, 1991; SANTOS et al., 2001).

A adoção de sistemas de manejo conservacionistas (plantio direto), que visam manter ou aumentar a produtividade dos solos, segundo Ambrosi & Zentner citado por SANTOS et al. (2001), podem reduzir os efeitos dos riscos da atividade

agrícola provocado por fatores ambientais, enquanto o uso de sistemas de rotação de culturas mais diversificados pode diminuir o risco econômico. Da mesma forma, o uso de tecnologias como a irrigação pode proporcionar a utilização de sistemas de rotação de culturas eficientes e racionais, buscando maximizar os rendimentos econômicos e minimizar os riscos da atividade agrícola.

O uso de um sistema de rotação de culturas eficiente permite escolher os períodos de preparo de solo, de semeadura, de tratos culturais e de colheita, de modo a determinar uma melhor distribuição da mão-de-obra, em comparação à monocultura. Por outro lado, a utilização de sistemas de rotação de culturas em sistemas irrigados pode esbarrar na viabilidade econômica das culturas utilizadas em decorrência das épocas de semeadura, valor econômico das culturas, fatores climáticos (principalmente precipitação pluvial), número de culturas envolvidas na rotação, número de safras anuais, etc. Dessa forma, a busca por informações sobre custo/benefício de rotação de culturas em sistemas irrigados torna-se uma ferramenta estratégica no processo de tomada de decisão que objetivam a conservação do solo, a preservação do ambiente, e os aspectos econômicos e comerciais dos sistemas de produção.

O presente trabalho tem como objetivos: (i) avaliar a viabilidade econômica de quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo as culturas do milho, feijão, soja, aveia preta e trigo; (ii) estimar o retorno econômico de sistemas irrigados nas cidades de Santa Maria e Cruz Alta no Estado do Rio Grande do Sul; (iii) estimar o tempo de retorno do capital inicial investido em relação a duas alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação versus aquisição de terras e; (iv) estimar a receita líquida acumulada no final do período entre as alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação, aquisição de terras e aplicação financeira do capital.

2- HIPÓTESES

O ciclo de desenvolvimento das culturas é influenciado pelas condições meteorológicas do local e, assim, pode influenciar no sistema de rotação de culturas e na receita líquida da atividade agrícola.

A época de semeadura pode influenciar na receita líquida total obtida em um sistema de rotação de culturas de uma propriedade ao longo do tempo.

O retorno econômico e conseqüentemente a receita líquida obtida com investimento em tecnologia, no caso a irrigação, é maior do que com investimento em aumento de área cultivada ou aplicação financeira.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Simulação matemática

Os modelos de simulação, segundo HESKETH & JONES (1976) e WHISLER et al. (1986), além de serem importantes na condução e desenvolvimento de teorias, são ferramentas poderosas na investigação de parâmetros difíceis de serem observados (coletados) ou que requeiram um longo período para observação.

A simulação de fatores físicos é importante na previsão de processos biológicos através da simulação matemática. Assim, para RITCHIE (1994), os processos simulados devem sofrer sistemática análise e comparação com os resultados obtidos a campo.

Nas últimas décadas foram desenvolvidos modelos de desenvolvimento de culturas com grande confiabilidade e precisão (SALVADOR, 1993). Dentre esses modelos podem ser citados o Ceres-maize (JONES & KINIRY, 1986), Soygro (JONES et al., 1988) e Gossym (BAKER et al., 1983).

A utilização dos modelos de simulação é uma ferramenta de grande utilidade quando da investigação de probabilidade de ocorrência de eventos como,

por exemplo, da adaptação de um cultivar a um determinado ambiente. Um exemplo disso é o trabalho realizado por KEATING et al. (1992), que através da utilização de dados meteorológicos históricos, calibrou modelos de simulação de culturas para indicação de locais, datas e cultivares recomendados para regiões áridas.

A classificação das plantas baseada na duração do ciclo tem demonstrado inconsistência. Isso se deve ao fato de que o aparecimento de um estágio fenológico, bem como a duração dos sub-períodos e ciclo total das plantas, está estreitamente associado às variações das condições meteorológicas e às características de cada espécie vegetal. Assim, as predições das fases e a classificação dos ciclos das plantas devem ser realizadas em função dos elementos ambientais que exercem ação sobre o desenvolvimento vegetal (BRAGA, 1995).

A utilização de relações matemáticas que simulam o desenvolvimento das culturas em relação aos elementos meteorológicos são de grande interesse para a escolha das culturas e das variedades que melhor se adaptam ao ambiente de determinado local; para a previsão da produtividade potencial das culturas em diferentes condições climáticas; para descrever e explicar como o clima afeta o crescimento e o desenvolvimento vegetal, propiciando maior rapidez a compreensão das respostas fisiológicas das plantas ao clima (LEGG, 1979).

O índice de área foliar é frequentemente utilizado nos modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das plantas. A característica produtiva das culturas está diretamente relacionada ao índice de área foliar, a duração da área foliar e ao tempo de exposição dessas à radiação solar durante os diferentes estádios de desenvolvimento. Sendo o rendimento de grãos dependente do acúmulo de matéria seca durante o ciclo da cultura, e esse altamente sensível à taxa de expansão foliar na fase vegetativa, e a taxa de acumulação de matéria seca na fase reprodutiva (SALVADOR, 1993).

As relações matemáticas que envolvem o crescimento vegetal e parâmetros como a concentração de CO₂, a temperatura, a umidade do solo, a radiação fotossinteticamente ativa, entre outros, são utilizados, por exemplo, na estimativa da produção das culturas em estufa. A temperatura e a disponibilidade

hídrica são utilizadas, com frequência, para calcular as taxas de iniciação folhar, expansão e duração de fases.

Métodos e modelos agrometeorológicos, biometeorológicos ou bioclimáticos, são nada mais do que estudos ou formas de análises qualitativas e quantitativas da ação dos elementos meteorológicos sobre o desenvolvimento vegetal. Os elementos meteorológicos que possuem influência decisiva no crescimento e no desenvolvimento vegetal são: temperatura (do ar e do solo), fotoperíodo (comprimento do dia), radiação solar e precipitação pluviométrica (disponibilidade de água no solo). Devido ao número elevado de elementos meteorológicos aliados a complexidade das interações envolvidas em qualquer estudo planta-clima, a grande maioria dos estudos fenológicos têm sido conduzidos pela comparação do desenvolvimento vegetal com um único elemento ambiental, notadamente a temperatura média do ar (BRUNINI, 1975). Inúmeros trabalhos de pesquisa foram conduzidos nesse sentido, relacionando a temperatura do ar ou o fotoperiodismo com o crescimento e o desenvolvimento vegetal, tais como: ROBERTSON (1968), DAMARIO e PASCALE (1971), BRUNINI et al. (1976), BERLATO e SUTILI (1976), HARDING et al. (1976), LUCCHESI et al. (1977) e ALTHOFF et al. (1987).

Historicamente, os estudos das interações clima-planta iniciaram-se com Réaumur em 1735, com a construção da escala termométrica. Ele sugeriu que o somatório da temperatura média, para uma fase do desenvolvimento das plantas, é constante para cada espécie vegetal (KISH, 1967). Esse somatório da temperatura ficou conhecido como constante Réaumur de fenologia. Segundo ROBERTSON (1968), somente em 1834, Boussingault sugeriu a utilização do produto da temperatura média, acima de seis graus centígrados e o período considerado, sendo esse denominado de graus-dia (GD).

O conceito de graus-dia, também denominado soma térmica, assume que existe uma temperatura base, abaixo da qual a planta não se desenvolve, e se o fizer é em escala muito reduzida. Pressupõe, também, uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal. Cada espécie vegetal ou cultivar possui uma temperatura base, podendo esse valor variar com a idade da planta. Segundo OMETTO (1981), várias formulações ou modelos foram

sugeridos para o somatório dos graus-dia, necessários para que o vegetal atinja um certo estágio do seu ciclo de desenvolvimento, como: LYNDSEY e NEWMAN (1956), HOLMES e ROBERTSON (1959), ARNOLD (1960) e BROWN (1969). O autor apresentou um modelo para o cálculo da soma térmica ou graus dia acumulados (GDA), considerando as temperaturas basais mínima e máxima. A temperatura basal mínima indica que somente as temperaturas acima deste limite favorecem o crescimento e o desenvolvimento da planta. Por outro lado, a temperatura basal máxima indica o valor de temperatura acima da qual as atividades metabólicas da planta ficam constantes.

A temperatura máxima do ar para a maioria das espécies situa-se entre 40 e 44°C, sendo considerada como ótima a faixa de 30 a 35°C. A temperatura mínima de crescimento da maioria dos cultivos anuais de inverno se encontra entre 0 e 5°C. Para os cereais de inverno, temperatura do ar baixa na germinação e no crescimento inicial são benéficos mas no sub-período reprodutivo são prejudiciais (OMETTO, 1981).

Sendo a soma térmica um valor numérico aproximadamente constante para cada estágio fenológico, ou seja, pelo somatório dos valores diários, determina-se quando um estágio fenológico será completado, pode-se, pela observação realizada em um ou mais anos de cultivo, estimar os valores de soma térmica, possibilitando, dessa maneira, prever os estádios fenológicos das culturas como a emergência, floração, maturação ou data de colheita (BRAGA, 1987).

Vários estudos foram conduzidos combinando a metodologia de soma térmica com modelos polinomiais de diversas ordens para estimativa do desenvolvimento das culturas que não respondem somente a soma térmica. Nesse contexto, ROBERTSON (1968) desenvolveu um modelo para relacionar a taxa diária de desenvolvimento e o grau de maturidade em função do fotoperíodo e da temperatura do ar. Esse modelo foi utilizado pelo autor e por WILLIAMS (1974) para estimar as fases fenológicas da cultura de trigo e cevada nos EUA. O mesmo modelo também foi utilizado por CUTFORTH & SHAYKEWICH (1990) em experimento comparativo de três modelos de estimativa da fenologia de plantas de trigo sobre condições de campo de vários locais no Sudoeste do Canadá.

GRIMM et al. (1993) determinaram parâmetros para a previsão da data de florescimento de soja, para diversas situações climáticas, como parte do modelo fisiológico denominado Soygro. Nesse modelo a data de florescimento da soja é estimada pelo acúmulo de uma taxa diária de desenvolvimento, a qual depende do período de duração da noite e da temperatura do ar (BRAGA, 1995).

Nas últimas décadas, vários modelos foram desenvolvidos para testar a resposta das culturas em diferentes condições ambientais. Entre eles pode-se citar: LIU et al. (1987), LIMA (1995), FRANÇA (1999) e COSTA (2001) que desenvolveram modelos de crescimento e desenvolvimento para a cultura do milho, e MEIRELES (2002) em trabalho desenvolvido com feijão no Brasil Central.

3.2 - Irrigação e eficiência de uso da água

A disponibilidade hídrica de uma região através das precipitações pluviais é um elemento meteorológico muitas vezes utilizado para o desenvolvimento de simulações matemáticas de crescimento e desenvolvimento das culturas. Em condições naturais de ecossistemas cultivados, o suprimento adequado de água às plantas depende da distribuição e quantidade das precipitações pluviais. Segundo MATZENAUER & SUTILI (1983), o consumo de água pelas culturas, depende das condições meteorológicas que determinam a demanda evaporativa da atmosfera, da tensão da água no solo e das características das plantas, tais como área foliar, sistema radicular e altura de planta.

O déficit hídrico pode ocorrer por uma deficiência no suprimento de água na zona radicular ou por uma excessiva demanda evaporativa da atmosfera (RITCHIE, 1981). A água evapotranspirável ou água disponível no solo é definida como a diferença entre o conteúdo de água no solo, explorado pelo sistema radicular das plantas, entre o limite superior e o limite inferior de água disponível no solo (RITCHIE, 1981; CARLESSO, 1995). A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, que por sua vez, é dependente do local e época do

ano, pela demanda atmosférica, que é controlada pelo poder evaporante do ar, e pelo suprimento de água no solo (PEREIRA et al., 1997).

O déficit hídrico, segundo BERGAMASCHI (1992), afeta o desenvolvimento das plantas, reduzindo o índice de área foliar, diminuindo a fotossíntese e afetando vários outros processos, além de alterar o ambiente físico da cultura. Uma das conseqüências mais importantes dos efeitos do déficit hídrico é a redução no índice de área foliar. Essa redução causa decréscimo na taxa de crescimento da planta, especialmente durante os estádios iniciais de desenvolvimento, causando uma menor interceptação da radiação e produção fotossintética. Segundo STEWART & HAGAN (1973), existe uma relação linear entre a redução da produção e o déficit de água evapotranspirada, sendo que a sensibilidade das culturas ao déficit hídrico se expressa mediante a redução no rendimento de grãos das culturas.

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) apresenta variabilidade na precipitação pluvial, ocorrendo períodos de excesso e de deficiência hídrica que afeta o desenvolvimento das culturas, reduzindo sua produtividade. Nas últimas décadas trabalhos têm sido realizados demonstrando a resposta das culturas em decorrência de déficit hídrico no Rio Grande do Sul. Entre eles está o trabalho de MUCHOW et al. (1993), no qual os autores afirmam que a cultura da soja, de grande importância econômica no Rio Grande do Sul, é cultivada em condições ambientais muito variáveis e predominantemente sem irrigação. Dessa forma, na maioria das vezes ela está sujeita a déficit hídrico, com maior ou menor intensidade, que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento da cultura com conseqüência no rendimento final.

BERLATO (1992) demonstrou que a cultura da soja no Rio Grande do Sul, em anos considerados muito secos (1978/79, 1985/86, 1987/88 e 1990/91) em que ocorreram deficiências hídricas nos meses de crescimento da cultura, os rendimentos de grãos médios estiveram abaixo de uma tonelada por hectare. GERIK et al. (1996) demonstraram sensível redução no rendimento de grãos da cultura do milho, causada pelo déficit hídrico no Rio Grande do Sul. Da mesma forma, MATZENAUER & FONTANA (1997) relacionam o rendimento de grãos de milho com a precipitação pluvial em diferentes estádios da cultura. Para os

autores, o milho é uma cultura relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém, demonstra extrema sensibilidade com decréscimo no rendimento de grãos se o déficit hídrico ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos.

Apesar das precipitações pluviais no Estado do Rio Grande do Sul serem bem distribuídas nas quatro estações do ano, tendo em vista a alta demanda evaporativa da atmosfera nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, a precipitação pluvial normal no verão é, em geral, insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas (BERLATO, 1992).

A probabilidade de ocorrência de déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul, segundo BERLATO (1992) e ÁVILA et al. (1996), é da ordem de 30% ao ano. O nível de risco de perdas por deficiência hídrica pode ser diminuído através do uso da irrigação (FRANKE, 1990 e ROSA, 2000).

O fornecimento de água suplementar as culturas pode ser feito através do uso de diferentes métodos de irrigação (COTRIM et al., 1988). Do ponto de vista técnico, a irrigação é uma atividade que tem por finalidade o suprimento de água às culturas agrícolas. Na ausência da irrigação, os componentes principais do balanço hídrico de água no solo são a precipitação pluvial (positivo, porque representa a entrada de água no sistema) e a evapotranspiração (negativo, porque indica as saídas de água do sistema). Assim, um dos aspectos mais importantes no manejo da área irrigada é a associação da época de plantio com o período de maior disponibilidade hídrica às plantas (CARLESSO et al., 2001). Por outro lado, segundo WOLSCHICK (2000), o conhecimento da relação entre a frequência, a intensidade e o volume total das precipitações pluviais com a produção agrícola, pode auxiliar no processo de tomada de decisões para instalação de sistemas de irrigação.

A resposta das culturas em relação à água aplicada depende de diversos fatores. Entre eles pode-se citar a quantidade e frequência de irrigação, o método de aplicação de água, condições de clima, estágio de desenvolvimento da cultura e manejo das culturas. Existem vários trabalhos relacionando a resposta das culturas ao decréscimo da umidade do solo ou à quantidade de água no solo (VÉLEZ &

GARZA, 1978; MARTIN et al., 1984; ENGLISH et al., 1990; CARLESSO et al., 2001; GALARRETA, 2002).

A eficiência do uso da água é outro fator de extrema importância, pois a água de irrigação aplicada em excesso provoca redução da produção em consequência da diminuição da aeração do solo, da lixiviação de nutrientes e, provavelmente, do desenvolvimento de doenças associadas ao excesso de umidade (STEGMAN et al., 1980), além de aumentar os custos de produção e consumo de energia elétrica. Os efeitos da lâmina de irrigação sobre a produção, considerando os aspectos econômicos, são destacados, dentre outros, nos trabalhos realizados por AGUIAR (1992), FRIZZONE (1995) e PEITER (1998).

A redução no rendimento de grãos das culturas, ocasionada por deficiência hídrica, ou o aumento de rendimento de grãos proporcionado pela utilização da irrigação, são questões que afetam diretamente o retorno econômico de uma cultura. Assim, as variações econômicas de uma cultura estão ligadas a intensidade do déficit hídrico, da duração, da época de ocorrência durante o ciclo da cultura e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final.

3.3 - Rotação de culturas

A monocultura da soja no Sul do Brasil, ou mesmo o sistema de sucessão trigo-soja empregado de forma contínua em décadas passadas, provocou a degradação física, química e biológica do solo trazendo, como consequência, a queda da produtividade de grãos. Com a adoção da rotação de culturas, além de outras técnicas como o plantio direto, viabilizou-se, novamente, o cultivo em várias áreas já consideradas marginais pelo esgotamento químico e físico do solo, além de propiciar a expansão da área cultivada até então reservada a pecuária. Com isso, a rotação de culturas voltou a merecer especial destaque nas recomendações técnicas de várias culturas (BISSOTO, 2001).

Em estudo realizado por SILVEIRA et al. (2001), algumas áreas irrigadas por pivô central no Brasil Central, com cultivos anuais e contínuos apresentaram,

com o passar dos anos, queda na produtividade. Segundo os autores, isso ocorreu porque as características do solo (densidade, porosidade, etc..) foram alteradas e as condições do ambiente se tornaram propícias à multiplicação de pragas e doenças. Uma das maneiras para se solucionar ou atenuar esses problemas é a prática da rotação de culturas. Para SANTOS (2001), a rotação de culturas constitui-se na alternância regular de diferentes culturas em uma mesma área. Essa alternância deve ser efetuada de acordo com um planejamento adequado, no qual devem ser considerados diversos fatores, entre eles a cultura de maior expressão econômica, predominante na região, em torno da qual será programada a rotação, além dos elementos meteorológicos (principalmente temperatura e precipitação pluvial) que influirão nas culturas escolhidas para integrarem o sistema de produção de grãos.

Uma das melhores definições de rotação de culturas, segundo DERPSCH & CALEGARI (1985), é a alternância ordenada de diferentes culturas, num espaço de tempo, na mesma área, obedecendo a finalidades definidas, sendo que uma espécie vegetal não é repetida, no mesmo lugar, com intervalo menor do que um a três anos. Do ponto de vista fitopatológico, a rotação de culturas consiste em se deixar de semear trigo, soja ou milho, por exemplo, em uma área, até que ocorra a completa decomposição microbiana dos restos culturais e, conseqüentemente, a diminuição dos patógenos necrotróficos da área cultivada (SANTOS & REIS, 1991).

Segundo a Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa do Trigo (2003), os benefícios diretos da rotação de culturas, entre outros, são: viabilização do plantio direto; controle da erosão; melhor utilização do solo e dos nutrientes; mobilização e transporte dos nutrientes das camadas mais profundas para a superfície; aumento do teor de matéria orgânica; controle de plantas invasoras; controle de insetos e pragas; controle de doenças; melhor distribuição de mão-de-obra ao longo do ano; melhor aproveitamento das máquinas e maior estabilidade econômica para o agricultor.

O tipo e a freqüência das culturas contempladas em um sistema de rotação de culturas devem atender tanto aos aspectos técnicos, que objetivam a conservação do solo e a preservação ambiental, como aos aspectos econômicos e

comerciais, compatíveis com os sistemas de produção praticados. Assim, o planejamento da seqüência de culturas dentro de um sistema de rotação de culturas deve considerar, além do potencial de rentabilidade do sistema, a suscetibilidade de cada cultura à infestação de pragas, doenças, e de plantas daninhas, a disponibilidade de equipamentos para o manejo das culturas e de seus restos culturais, o histórico e o estado atual da área, atentando para aspectos de fertilidade do solo e de exigência nutricional das plantas (BISSOTO, 2001).

A simulação de culturas dentro de um processo de planejamento de rotação de culturas torna-se uma ferramenta estratégica para o arranjo das culturas no tempo e no espaço, além de permitir a obtenção dos benefícios técnicos, como escalonamentos de épocas de semeadura e de colheita. Nesse aspecto, DEL DUCA & FONTANELI (1995) defendem a idéia do uso de cereais de inverno em sistema de duplo-propósito (produção de massa e grãos) ao considerarem a necessidade de rotação de culturas que pode resultar em melhor aproveitamento do potencial da propriedade. Assim, a utilização da aveia como cobertura do solo na rotação de culturas tem sido estimulada devido a biomassa produzida e maior rusticidade, exercendo papel fundamental na viabilização do sistema de plantio direto, na região Sul do Brasil, pela quantidade de biomassa que pode adicionar ao sistema (RODRIGUES et al., 1998).

Por outro lado, a cobertura vegetal do solo, em um sistema de rotação de culturas, pode proporcionar efeitos positivos e negativos sobre o desenvolvimento de plantas. Entre outros, são observados efeitos positivos no controle de plantas daninhas e da erosão do solo. Como aspectos negativos podem ser citados os efeitos alelopáticos sobre o desenvolvimento de plantas e o ambiente favorável ao surgimento de doenças, que se multiplicam em tecidos mortos deixados na superfície do solo, causando a diminuição do rendimento de grãos das culturas em sucessão (VOSS & SIDIRAS, 1985; ALMEIDA, 1988; SANTOS & REIS, 1991).

A rotação de culturas apresenta papel importante na reciclagem de nutrientes, entre eles o nitrogênio, uma vez que, de acordo com Mengel & Kirby citados por SANTOS (2001), as espécies vegetais diferem entre si, com referência à quantidade de resíduos fornecidos, à eficiência de absorção de íons e à exploração de diferentes profundidades de solo. Nesse sentido, o milho tem

grande importância em função do elevado potencial de produção de biomassa e pelo fato desta biomassa ter uma decomposição mais lenta devido à alta relação entre carbono e nitrogênio (relação C/N). Sendo assim, segundo SANTOS & REIS (1991), um dos sistemas de rotação de culturas anuais mais recomendados é o que inclui milho e soja.

3.4 - Cultura do milho

A cultura do milho apresenta grande importância na agricultura brasileira, em especial na região Sul, onde tem significativa participação na área agrícola anual. O milho participa com cerca de 33% da produção de grãos do Estado de Rio Grande do Sul, de um total de 15,2 milhões de toneladas, de cereais, leguminosas e oleaginosas, contribuindo para a economia estadual (IBGE, 2001).

Em âmbito nacional, apesar do Brasil ser o 3º produtor mundial de milho, nos últimos anos, a quantidade produzida foi insuficiente para atender as necessidades internas. Devido a isso, tem importado anualmente expressivas quantidades (superior a 2 milhões de toneladas), com exceção da safra de 2000/01 quando foram produzidas mais de 40 milhões de toneladas (BISSOTO, 2001).

O milho, em geral, pode ser cultivado em todo o Estado do Rio Grande do Sul ocorrendo, entretanto, variações no rendimento de grãos entre anos e entre regiões. Essas variações são causadas, principalmente, pela ocorrência de deficiências hídricas durante o desenvolvimento da cultura. A ocorrência de geadas (agosto-setembro) é outro fator que influi na variação do rendimento de grãos, entretanto em menor grau. O regime térmico do Estado Rio Grande do Sul, de uma maneira geral, atende às exigências do milho (MATZENAUER & PORTO, 2001). Entretanto, o regime de precipitação pluvial apresenta-se com distribuição irregular, a ocorrência de estiagens, que podem ser prolongadas, tornando-se o principal fator limitante à obtenção de altos rendimentos de grãos de milho (CARLESSO et al., 2001).

A duração do período de desenvolvimento do milho, de uma determinada cultivar, é altamente dependente do regime térmico e do fotoperíodo. Por outro lado, sua taxa de crescimento pode ser modificada por diversos fatores, tais como temperatura, fotoperíodo, conteúdo de água no solo, radiação solar e fertilidade do solo, porém, é a temperatura quem primariamente afeta o desenvolvimento da cultura.

O conhecimento dos períodos de desenvolvimento do milho é fundamental para a definição da necessidade hídrica de cada período. O potencial produtivo da cultura é definido por ocasião da emissão da 4ª folha, podendo se estender até a 6ª folha, dependendo do tipo de material. Nesse estágio, a planta não pode ser submetida a nenhum tipo de estresse, principalmente àqueles relacionados ao suprimento de água e disponibilidade de nutrientes (FANCELLI, 2001).

A temperatura e a umidade do solo são dois fatores que interferem no desenvolvimento e, conseqüentemente, no rendimento final da cultura. Segundo BERGER (1962), temperaturas entre 25° e 30°C propiciam as melhores condições para o desencadeamento dos processos de germinação das sementes e emergência das plântulas. Por ocasião do período de florescimento a maturação, a temperatura média diária superior a 26°C pode promover a aceleração desse período, da mesma forma que temperaturas inferiores a 15,5°C podem retardá-lo.

A evapotranspiração acumulada apresenta variações entre locais e anos, principalmente em função das condições de demanda evaporativa da atmosfera. JENSEN (1973) cita valores de evapotranspiração acumulada para a cultura do milho, em diversos locais e períodos, que variam de 373 a 600 mm, enquanto DOORENBOS & PRUITT (1977) relatam valores de 400 a 700 mm. FANCELLI & DOURADO-NETO (1997) indicam que a cultura do milho exige, no mínimo, 400 a 600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sendo que a evapotranspiração, freqüentemente, oscila entre 4 e 6 mm dia⁻¹. Todavia, o período compreendido entre o emborrachamento-pendoamento e grão leitoso caracteriza-se como o mais sensível ao déficit hídrico, resultando em perda significativa e irreversível de produção.

3.5 - Cultura do feijão

O feijão tem especial importância no Brasil, não só por ser o maior produtor e consumidor mundial, mas também por ser o feijão uma das principais fontes protéicas da população brasileira. Seu consumo "per capita" está em torno de 16 kg habitante⁻¹ ano⁻¹. A produção nacional nos últimos anos está em torno de 2,2 a 2,5 milhões de toneladas em, aproximadamente, 5 milhões de hectares cultivados (ROSTON et al., 2003)

Segundo o IBGE (1998), no fim da década de 90, o rendimento médio de grãos da cultura de feijão safra no Estado do Rio Grande do Sul, atingiu 866 kg ha⁻¹ que, embora possa ser considerado baixo, foi superior à média nacional de 691 kg ha⁻¹. Essa média, principalmente no Estado do Rio Grande do Sul, seguramente pode ser aumentada com a utilização da irrigação.

O feijão pode ser cultivado em todo Estado do Rio Grande do Sul, entretanto, o rendimento e os riscos climáticos variam de acordo com as condições meteorológicas, com a época de semeadura e entre regiões. Em condições normais, as cultivares comuns de feijoeiro encerram seu ciclo em torno de 90 a 100 dias, cessando o processo de crescimento vegetativo dos 70 aos 80 dias (ROSTON et al, 2003).

O zoneamento da aptidão agroclimática do feijoeiro no Brasil, elaborado por CAMARGO (1972), considera como fatores climáticos importantes a temperatura do mês mais frio e a deficiência hídrica. MASSIGNAM & ANGELICCI (1997), por outro lado, ao elaborar o zoneamento agroclimático do feijoeiro para o Estado de Santa Catarina, sugere como variáveis importantes, a temperatura do ar, a probabilidade de ocorrência de geadas tardias e os períodos de deficiência hídrica. O regime térmico no Estado do Rio Grande do Sul, de maneira geral, satisfaz as exigências da cultura de feijão, ocorrendo, entretanto, diferenças entre regiões, onde as de maior altitude apresentam períodos com menor disponibilidade térmica ideal, tornando o período de semeadura mais restrito, podendo ocorrer maior risco por baixa temperatura (MALUF et al., 2002).

As regiões ideais para cultivo de feijão, segundo MALUF et al. (2002), devem possuir temperatura média, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura,

entre 20°C e 22°C, sendo a ótima de 21°C. Temperatura superior a 24°C durante o florescimento e formação de legumes determinam efeitos negativos no rendimento de grãos. Assim, a temperatura média durante o mês mais quente do ciclo da cultura não deve ser superior a 24°C (MOTA & ZAHLER, 1994; MALUF & CAIAFFO, 1999).

A cultura do feijão apresenta grande sensibilidade, tanto em relação à deficiência quanto a excesso hídrico, principalmente na fase de florescimento. O déficit hídrico no solo é crítico, principalmente no sub-período compreendido entre início do florescimento e enchimento de grãos (MASSIGNAM et al., 1998), existindo efeito interativo com a temperatura. O feijão tem sua exigência hídrica satisfeita quando a precipitação pluvial entre a semeadura e a maturação fisiológica (90 a 100 dias) situa-se entre 300 a 400 mm (BERGAMASCHI et al., 1989; FARIA et al., 1997; MALUF & CAIAFFO, 1999; COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2000).

3.6 - Cultura do trigo

Apesar do potencial agrícola do Brasil, o cultivo tradicional de trigo não se faz presente na maior parte de seu território, devido a baixa produtividade situada em torno de 1000 kg ha⁻¹, enquanto que em certos países da União Européia, a média chega a 6000 kg ha⁻¹. Esse fato talvez explique o porquê dessa cultura ter sofrido redução superior a 70% em sua produção (devido principalmente a redução na área cultivada) nas últimas duas décadas. Entretanto, cabe salientar que, em 1995, segundo dados do IBGE (1994), o consumo de trigo no Brasil atingiu 8,5 milhões de toneladas, sendo que apenas 1,5 milhões de toneladas teriam sido colhidas no país. Por outro lado, segundo RODRIGUES (2000), o rendimento de grãos de trigo por unidade de área, em áreas comerciais, no período de 1955 a 1992 no Estado do Rio Grande do Sul, indica uma taxa de incremento no rendimento de grãos de 22,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹. No ano de 2003 a produção nacional de trigo atingiu a 4,5 milhões de toneladas, sendo que a produção total de grão de trigo no Estado do Rio Grande do Sul foi de 1,47 milhões de toneladas (BISSOTO, 2003). Esse aumento crescente de produtividade

foi obtido com a introdução de cultivares de porte mais baixo, ciclo precoce e com maior potencial de rendimento de grãos, além da resistência ou tolerância às principais doenças e uso de defensivos mais eficientes.

A grande maioria dos cultivares de trigo apresenta pouca resposta ao fotoperíodo (RODRIGUES, 2000). Dessa forma, os processos de desenvolvimento da planta são controlados principalmente pela temperatura (GDA). A germinação do trigo, segundo Evans et al., citado por RODRIGUES (1998), ocorre entre temperaturas de 4 a 37°C, com um ótimo entre 20 e 25°C. O afilhamento ou perfilhamento começa entre a 3ª e a 4ª folha verdadeira. As fases seguintes são alongamento do colmo, espigamento e antese, crescimento do grão e maturação fisiológica (RODRIGUES, 1998).

Os riscos climáticos para a cultura de trigo no Sul do Brasil são a ocorrência de geadas, em particular na floração (antese), e o excesso de chuvas por ocasião da colheita. No Rio Grande do Sul, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, a deficiência hídrica é esporádica (BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO, 1989). Já em regiões como o Norte e Oeste do Paraná, Sudeste de São Paulo e Sul do Mato Grosso do Sul, a deficiência hídrica é mais freqüente, e pode ocasionar perdas totais em alguns anos (EMBRAPA, 1981).

O período crítico em relação à deficiência hídrica, segundo SLATYER (1969), ocorre da iniciação floral até a formação dos grãos. Por outro lado, segundo FISCHER (1973), as maiores reduções no rendimento de grãos da cultura do trigo ocorrem quando se verifica deficiência hídrica no período de desenvolvimento da planta compreendido entre 15 e 5 dias antes e após o espigamento, respectivamente.

3.7 - Cultura da soja

A cultura da soja é uma das culturas de maior importância econômica no Brasil, sendo que em 2003, o Brasil foi o segundo produtor mundial, responsável por 52 das 194 milhões de toneladas produzidas, o que corresponde a 26,8% da

safrã mundial. A soja em 2003 contribuiu com uma receita cambial direta para o Brasil de mais de sete bilhões de dólares, valor superior a 11% do total das receitas cambiais brasileiras (EMBRAPA, 2004).

No Estado do Rio Grande do Sul a área colhida na safra 2002/03 ficou em torno de 3,59 milhões de hectares com produção de 9,57 milhões de toneladas e rendimento médio de grãos de 2600 kg ha⁻¹ (JACOBSEN, 2003). A cultura da soja apresenta grande variabilidade entre as cultivares com relação à época de sementeira e às mudanças na região de cultivo, principalmente quanto à latitude, devido ao fotoperíodo. Segundo PEIXOTO (2001), nenhuma prática cultural isolada é mais importante para a soja do que a época de sementeira. O autor cita ainda que a época de sementeira é a variável que produz maior impacto sobre o rendimento de grãos da cultura da soja, em função da cultivar, região de cultivo e condições meteorológicas do ano agrícola. No Estado Rio Grande do Sul a época de sementeira recomendada como preferencial varia de outubro a dezembro (REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 2003). O mês de novembro, de maneira geral, tem proporcionado os melhores resultados de rendimento de grãos no Estado do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 1996).

A época de sementeira, além do rendimento de grãos, afeta a arquitetura e o desenvolvimento da planta. Sementeira em época não adequada pode causar redução drástica no rendimento de grãos, bem como dificultar a colheita mecânica, de tal modo que as perdas na colheita podem chegar a níveis elevados. Isto ocorre devido a alterações na altura das plantas, na altura de inserção dos primeiros legumes, no número de ramificações, no diâmetro do caule e no acamamento. Estas características estão também relacionadas com a população e as cultivares e dependem das condições bioclimáticas, principalmente fotoperíodo, temperatura e precipitação pluvial (CÂMARA, 1991; GARCIA, 1992 e PEIXOTO, 1999).

No Estado do Rio Grande do Sul, a sementeira tardia de soja (dezembro) ocorre em razão de condições adversas de clima e do longo ciclo das culturas de inverno. Sementeira tardia coloca o período reprodutivo da cultura em condição de ambiente menos favorável, com dias mais curtos, resultando em menor acúmulo de radiação solar absorvida. De forma geral, o baixo nível de radiação

solar acumulada durante o período reprodutivo tem sido apontado como causa principal da perda de rendimento de grãos da soja, em semeadura tardia.

O fotoperíodo e a temperatura são os principais condicionantes da área foliar da soja, e a resposta da cultura a esses elementos ambientais é dependente da latitude, da época de semeadura e de características dos genótipos. Assim, segundo RODRIGUES et al. (2002), o fotoperíodo curto provoca uma indução precoce à floração, limitando o número de nós, o índice de área foliar e o acúmulo de reserva nos grãos e, conseqüente, redução no rendimento final da cultura. As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada em uma mesma época, são devido às variações de temperatura e a resposta diferenciada dos cultivares ao comprimento do dia.

A temperatura média do ar ideal para o crescimento e o desenvolvimento da cultura da soja, situa-se em torno dos 30°C. A semeadura deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver acima de 20°C. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas inferiores a 10°C e acima de 40°C. A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C.

Com relação as exigências hídricas dessa cultura, são dois os períodos críticos: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. No primeiro período tanto o excesso como o déficit hídrico são prejudiciais ao bom estabelecimento do estande de plantas. Com o desenvolvimento da planta a exigência hídrica aumenta, atingindo o máximo no período de floração-enchimento de grãos (7 - 8 mm dia⁻¹), decrescendo após esse período. A necessidade total de água, para obtenção do máximo rendimento de grãos, varia entre 450 a 800 mm ciclo⁻¹, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo.

3.8 - Cultura da aveia

A aveia é uma cultura anual de clima temperado e subtropical, de hábito ereto, com desenvolvimento uniforme e bom perfilhamento. No Estado do Rio Grande do Sul a cultura da aveia preta (*Avena strigosa*) tem merecido destaque

nos últimos anos, pois geralmente antecede as culturas da soja e milho e é utilizada como cobertura do solo e/ou pastoreio, tendo participação importante nos sistemas de produção que envolve a produção de leite e carne. Segundo estimativa de RODRIGUES et al. (2000), a área ocupada com aveia preta no Estado do Rio Grande do Sul ultrapassa dois milhões de hectares.

De acordo com a COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA (1999), são recomendados quatro cultivares de aveia preta para cultivo no Estado do Rio Grande do Sul, embora não seja conhecido o grau de diversidade genética entre os genótipos. Entretanto, segundo MATZEMBACHER (1999), 90% da semente comercializada é da cv. Comum-RS, sem origem conhecida, sendo a produção de matéria seca e rendimento de grãos muito variável entre os anos.

A produção de sementes varia de 600 kg ha⁻¹ a 1600 kg ha⁻¹ (KICHEL et al., 2000). A produtividade varia de 10.000 kg ha⁻¹ a 30.000 kg ha⁻¹ de massa verde, com 2000 kg ha⁻¹ a 6000 kg ha⁻¹ de matéria seca. Adapta-se bem a vários tipos de solo, não tolerando excesso de umidade e temperaturas altas. Responde muito bem à adubação, principalmente com nitrogênio e fósforo (KICHEL et al., 2000). A aveia apresenta elevada resistência à seca e alta produção de matéria seca em solos com baixa fertilidade, podendo ser recomendada para cultivo em solos pobres. Possui boa capacidade de rebrote e é bastante resistente ao pisoteio em solos bem drenados (DERPSCH & CALEGARI, 1985).

3.9 - Retorno econômico do investimento em irrigação

A área potencial para irrigação no Brasil em 1999, considerando terras altas e várzeas aproveitáveis, foi estimada em 29,6 milhões de hectares, sendo 16,1 milhões em terras altas (CHRISTOFIDIS, 1999). Segundo o autor, até o ano de 1998 existiam cerca de 2,87 milhões de hectares irrigados, isso indica, a existência de um grande potencial de expansão da atividade agrícola irrigada no Brasil.

O uso da irrigação exerce papel fundamental para o aumento da produtividade agrícola, sendo um dos principais instrumentos para a modernização da agricultura brasileira, permitindo enormes benefícios, tais como: incremento de produtividade, redução do custo unitário de produção, utilização intensiva do solo durante todo o ano com até três culturas/ano, utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-obra ao longo do ano.

A utilização da irrigação tem proporcionando ainda, incorporação de novas áreas no Cerrado e Semi-árido, viabilizando a implantação de agroindústrias, maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas, além de propiciar uma maior garantia de colheita para o produtor rural pela redução do fator risco, causado por problemas climáticos desfavoráveis (principalmente precipitação pluvial). Dessa forma, estimulando a introdução de novas tecnologias como a quimigação (aplicação de fertilizantes, defensivos, inseticidas e herbicidas através dos sistemas de irrigação), plantio direto com sementes selecionadas, conservação do solo e da água e a produção de sementes de alta qualidade e contribuindo para o aumento da produtividade em geral.

O aumento de produtividade e a redução de custos somente é possível com o estabelecimento de um padrão de gerenciamento adequadamente qualificado nas unidades produtivas, bem como da adoção maciça de tecnologia e insumos capazes de tornar a exploração competitiva e rentável (MENDES, 2001). Critérios e conceitos de qualidade precisam ser urgentemente incorporados ao sistema produtivo como a análise detalhada e criteriosa da relação custo/benefício das culturas nas áreas irrigadas.

Ao longo das últimas duas décadas, vários estudos têm sido realizados relacionando o custo benefício da utilização da irrigação, entre eles pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por BRONER & LAMBERT (1989), que detiveram-se no estudo econômico e na análise de risco para decisão do uso da irrigação em regiões úmidas; FRIZZONE (1994) e PAZ (1995), que enfatizaram a resposta das culturas à irrigação e colocam como ponto central o uso da irrigação na relação custo/benefício dos sistemas de irrigação; PEITER (1998), que preocupou-se com o cálculo do benefício líquido ao irrigante e ROSA (2000), que abordou a

importância do estudo da viabilidade econômica da implantação de sistemas de irrigação.

Cabe ressaltar a importância de cada etapa do planejamento da implantação de um projeto de irrigação, desde a concepção do projeto, o planejamento agrônômico, a determinação dos parâmetros básicos para dimensionamento e especificação dos materiais, a análise detalhada e criteriosa da relação custo/benefício do projeto (MENDES, 2001). A atenção absoluta a todos os detalhes conduzirá ao sucesso do empreendimento. Nesse sentido deve-se dar atenção ainda ao estudo de mercado, à capacitação da mão-de-obra operacional e gerencial, a implantação de uma metodologia de acompanhamento dos resultados e à análise econômica das alternativas de investimento.

3.10- Análise de alternativas de investimento

O fundamento da análise e avaliação de investimentos é a comparação entre alternativas de investimento convertidas para uma unidade de medida física comum (GALESNE, 1999). Dessa forma, em análise de investimentos, o lucro é o resultado da inversão do dinheiro emprestado (financiamento) para aquisição de bens e materiais de produção, sendo pois, um ganho para o investidor. A fim de evitar interpretações equivocadas, nos estudos de análise e avaliação de investimentos, usa-se a expressão retorno do investimento em vez de lucro (SOUZA et al., 1999). Assim, o retorno do investimento gerado por um novo investimento é obtido, segundo (GALESNE, 1999), a partir de estimativas dos custos e receitas relacionadas ao processo produtivo.

Nesse sentido, a definição do custo de aquisição ou valor original de um bem de produção compreende as despesas relativas ao ato da aquisição propriamente dito e todas as despesas adicionais requeridas para colocar o bem em perfeitas condições de uso (GALESNE, 1999). Os custos mais comuns nas operações dos equipamentos usados na produção de bens e serviços são os seguintes: (i) custos de mão-de-obra direta; (ii) custos de materiais diretos e indiretos; (iii) despesas diretas inerentes ao processo produtivo; (iv) despesas

indiretas e; (v) impostos. O somatório desses valores compõe o custo operacional do processo.

O retorno do investimento é, portanto, a diferença entre os fluxos de caixa (entradas e saídas) obtido pela diferença entre o preço de venda do produto ou serviço e o custo operacional gerados por alternativas concorrentes (SOUZA et al., 1999). Na análise de alternativas de investimento, segundo KUHLEN & BAUER (1996), uma das ferramentas financeiras mais comuns para a tomada de decisão entre alternativas de investimento é o tempo de retorno do investimento. O tempo de retorno indica em quanto tempo ocorre a recuperação do investimento, ou seja, é a relação entre o valor do investimento e o fluxo de caixa do projeto.

4- MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas: (i) avaliação de sistemas de rotação de culturas irrigadas e; (ii) avaliação de investimento no setor agrícola. A avaliação dos sistemas de rotação de culturas irrigadas consistiu na simulação de quatro sistemas de rotação de culturas utilizando as culturas do trigo, aveia preta (aveia), soja, milho e feijão safra e milho e feijão safrinha. Os quatro sistemas de rotação de culturas foram: (i) sistema I- trigo e soja; (ii) sistema II - trigo-soja e aveia-milho; (iii) sistema III - trigo-soja, aveia-milho e trigo-feijão e; (iv) sistema IV - trigo-soja, aveia-milho-feijão safrinha e trigo-feijão-milho safrinha. Os sistemas de rotação de culturas foram simulados para os municípios de Santa Maria (Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul) e Cruz Alta (Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul), para o período compreendido entre os anos de 1990 e 2000.

O período preferencial de semeadura, das culturas do trigo, aveia, soja, milho na safra e feijão na safra, além de milho e feijão na safrinha, foi definido de acordo com o zoneamento agroclimático de cada cultura para as diferentes regiões. As datas de semeadura simuladas para a cultura do trigo foram 01 de maio até 15 de julho (REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 2003); para a cultura da aveia, de 01 de maio até 15 de julho (COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 1999); para a cultura da soja, de 15 de outubro até 10 de dezembro (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL - Recomendações técnicas, 2003); para a cultura do milho safra, de 15 de agosto até 15 de dezembro e milho safrinha, entre 15 de dezembro e 15 de fevereiro (MALUF et al., 2000); para a cultura do feijão safra, de 21 de agosto até 30 de outubro e o feijão safrinha, entre 10 de janeiro e 15 de fevereiro (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2000).

Os dados meteorológicos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, insolação, velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação pluvial, foram tabulados em séries diárias para o período entre 1990 e 2000. Para Santa Maria, os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica do 8º Distrito de

Meteorologia, instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29° 41' S, 53° 42' W e altitude de 95 m). Os dados meteorológicos, utilizados na simulação do desenvolvimento das culturas, para Cruz Alta-RS foram obtidos na FUNDACEPE (28° 38' S, 53° 36' W e altitude de 472 m).

A simulação das culturas dentro dos sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para cada ano agrícola, foi realizada para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), espaçadas de 15 em 15 dias sendo elas: primeira quinzena de maio; segunda quinzena de maio; primeira quinzena de junho; segunda quinzena junho e primeira quinzena de julho.

As datas de semeadura das culturas da soja, milho, feijão, milho safrinha e feijão safrinha foram simuladas a partir dos resultados estimados de colheita da cultura do trigo e de 3000 kg ha⁻¹ de produção de massa seca de aveia, estimada pela produção de massa seca apresentada na figura 1.

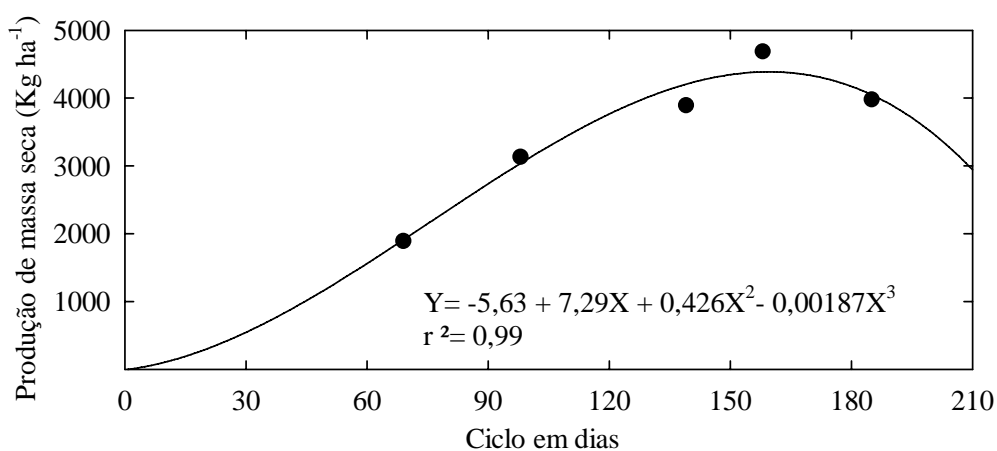


FIGURA 1- Produção de massa seca por hectare durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da aveia, segundo BEVILAQUA et al. (2001).

A data de semeadura simulada para cada cultura, por época de semeadura, foi obtida, quando no período de 15 dias, ocorreram mais de dois dias consecutivos sem precipitações pluviais ou, com precipitações pluviais inferiores a 4 mm. A contagem de dias a partir da semeadura (ciclo das culturas) foi feita em dias do ano (DDA) ou dia Juliano.

O ciclo de desenvolvimento das culturas do trigo, aveia, milho e feijão foi estimado através da soma térmica. Para a cultura da soja utilizou-se, além da soma térmica, o fotoperíodo para estimar o início da floração da cultura.

A soma térmica necessária durante o ciclo de desenvolvimento das culturas foi obtida a partir de dados experimentais de: RUBIN (2003) para a cultura do feijão; PETRY (2000) para a cultura da soja; GALARRETA (2002) e MICHELON et al. (2003) para a cultura do milho; BEVILAQUA et al. (2001) e SCHEFFER-BASSO et al. (2001) para a cultura da aveia.

Para a cultura do trigo os resultados utilizados foram os coletados em experimento realizado no ano agrícola 2003. Esse experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando-se três épocas de semeadura 1º de junho, 25 de junho e 11 de julho.

A deficiência hídrica no solo para as culturas do milho, feijão e soja foi estimada com base na evapotranspiração máxima diária (ET_{md}) da cultura, obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Penman-Monteith apresentado por SMITH (1991), pelos valores de coeficiente de cultivo (K_c), propostos por DOORENBOS e KASSAN (1979).

A lâmina de irrigação foi estimada em função da capacidade de armazenamento de água disponível no solo até a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. A lâmina máxima diária aplicada, considerando um tempo de funcionamento de 21 horas, foi de 10mm. A partir dos dados da lâmina de irrigação, data de semeadura e GDA, estimou-se o número de irrigações aplicadas durante o ciclo de desenvolvimento das culturas e a lâmina total de água em cada época de semeadura. Para o cálculo da lâmina bruta de irrigação a ser aplicada utilizou-se uma eficiência de aplicação de água de 85%.

4.1- Custos de produção

Os custos de produção para Santa Maria e Cruz Alta foram estimados através do cálculo dos custos de implantação, condução e irrigação das culturas do

trigo, aveia, soja, milho e feijão. Os custos não associados à irrigação, incluindo as operações para implantação e condução das culturas, foram estimados considerando o sistema de plantio direto e incluíram as operações mecanizadas (semeadura, aplicação de herbicidas, inseticida, fungicidas, transporte interno e transporte externo), custos com insumos (sementes, calcário, adubação de base e cobertura, herbicidas, inseticida, fungicidas), mão-de-obra, encargos, juros e outros, segundo a metodologia descrita por ROSA (2000). Os custos com insumos de produção foram determinados para expectativas de rendimento de grãos e preço médio do produto, segundo a CONAB (2004), conforme valores apresentados na tabela 1.

TABELA 1- Rendimento médio de grãos, preço médio pago ao produtor segundo a CONAB (2004)* e custo de produção das culturas do milho, feijão, soja e trigo.

Cultura	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Preço médio (R\$)**	Custo produção (R\$)***
Milho	8000	16,50	12,20
Feijão	2000	65,00	37,40
Soja	3000	37,50	18,50
Trigo	2400	22,50	15,50

* Valores obtidos em março de 2004; ** Preço médio por saca de 60 Kg; *** Custo médio por saca de 60 Kg.

4.2- Custos relacionados à irrigação

Para a estimativa dos custos relacionados à irrigação foram utilizados dados técnicos de projetos de irrigação de pivô central já instalados, para uma área irrigada de 380 ha. Esse valor em área irrigada (380 ha) foi utilizado por corresponder a uma área irrigada considerada de média a grande para os padrões de irrigação por pivô central no Rio Grande do Sul. O valor total do projeto de irrigação para a área irrigada de 380 ha, foi de R\$ 1.258.344,00 (Um milhão, duzentos e cinquenta e oito mil e trezentos e quarenta e quatro reais), ou seja, R\$ 3.311,00 (Três mil, trezentos e onze reais) por hectare irrigado, sendo esse valor oriundo de recursos próprios do produtor sem a utilização de financiamento bancário.

Através da lâmina de irrigação simulada para as diferentes épocas de semeadura, para cada sistema de rotação, calculou-se a depreciação horária dos equipamentos de irrigação pivô central. O custo de aplicação, da água de irrigação, foi estimado em função do custo horário do acionamento do sistema de irrigação mais a depreciação do equipamento.

4.3- Receita líquida

A receita líquida estimada para as culturas foi obtida pela diferença entre a receita bruta (rendimento de grãos x preço do produto x área cultivada) menos o custo de produção. O rendimento de grãos por cultura, em função das datas de semeadura obtidas na simulação, foi estimado através das curvas de rendimento de grãos das culturas do trigo, aveia, soja, milho e milho safrinha e feijão e feijão safrinha, apresentadas nas figuras 2, 3, 4, 5, 6, e 7 , respectivamente.

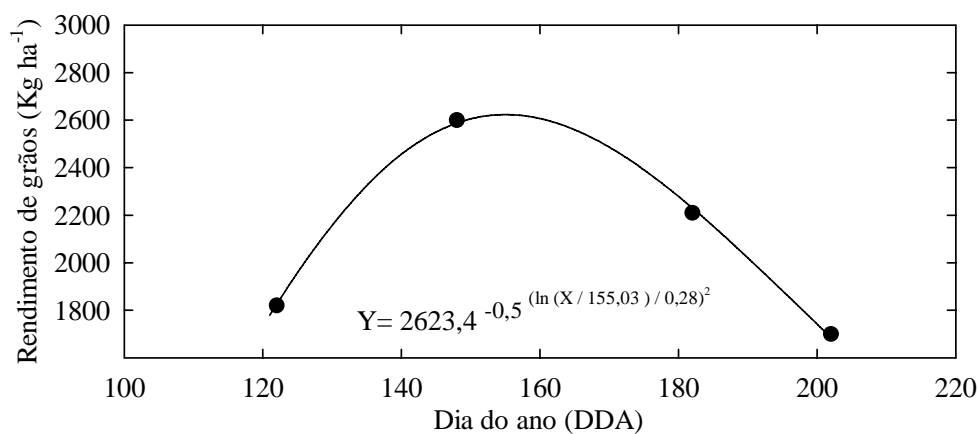


FIGURA 2- Rendimento de grãos para a cultura do trigo em função de diferentes datas de semeadura.

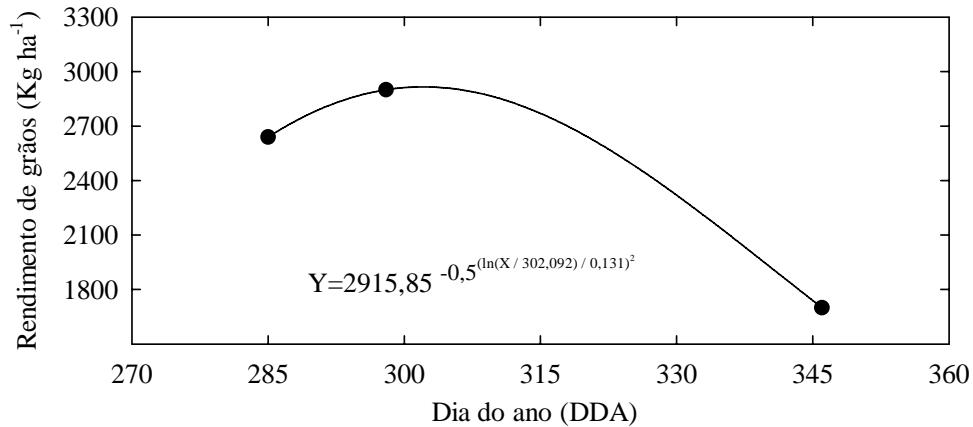


FIGURA 3- Rendimento de grãos para a cultura da soja em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de PETRY (2000).

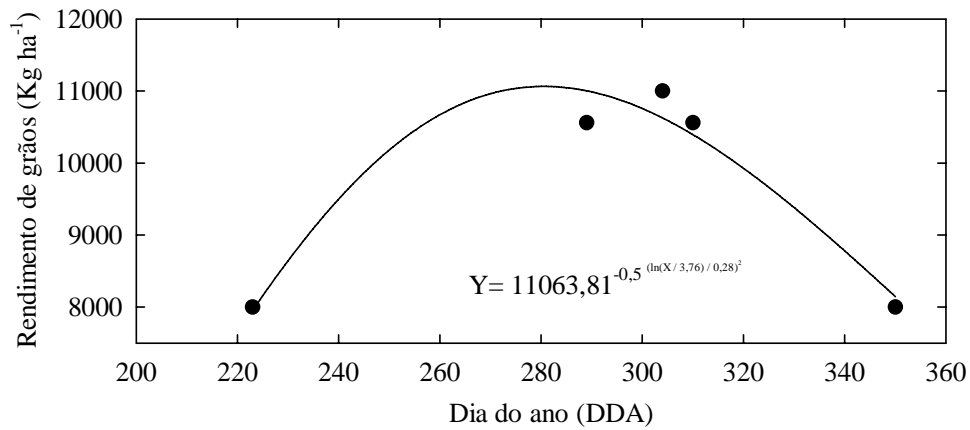


FIGURA 4- Rendimento de grãos para a cultura do milho safra em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de GALARRETA (2002) e MICHELON et al (2003).

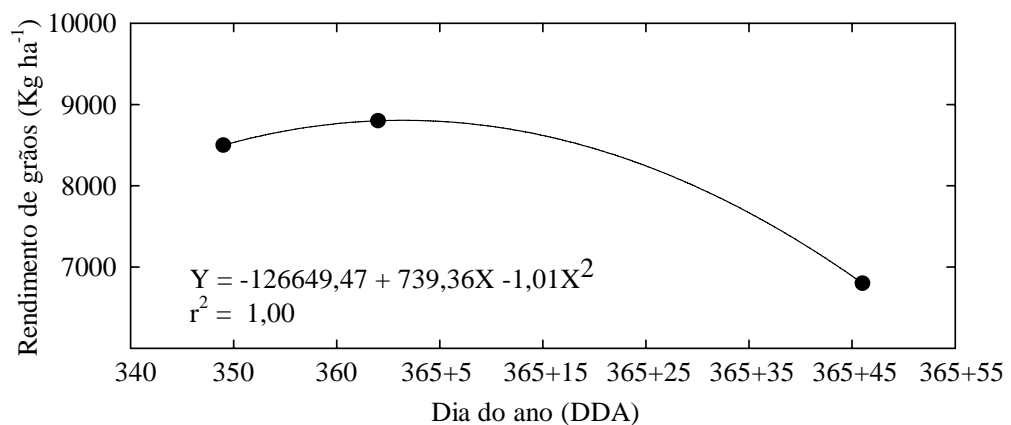


FIGURA 5- Rendimento de grãos para a cultura do milho safrinha em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de GALARRETA (2002) e MICHELON et al (2003).

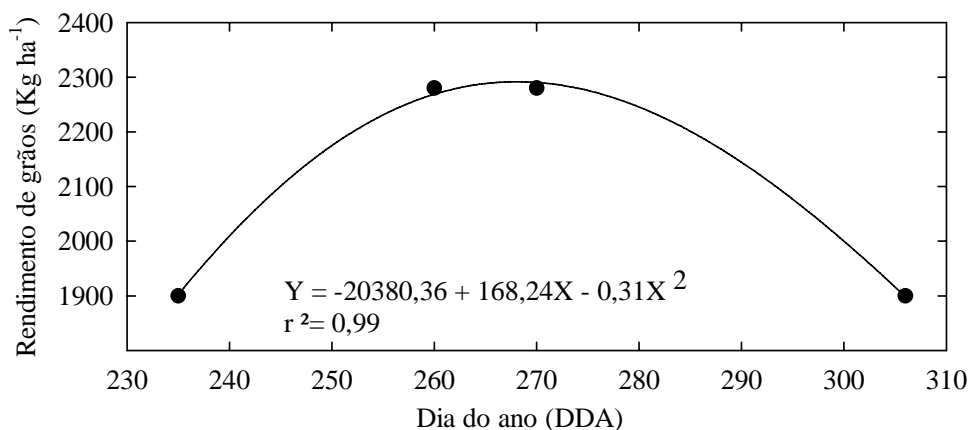


FIGURA 6- Rendimento de grãos para a cultura do feijão safra em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de RUBIN (2003).

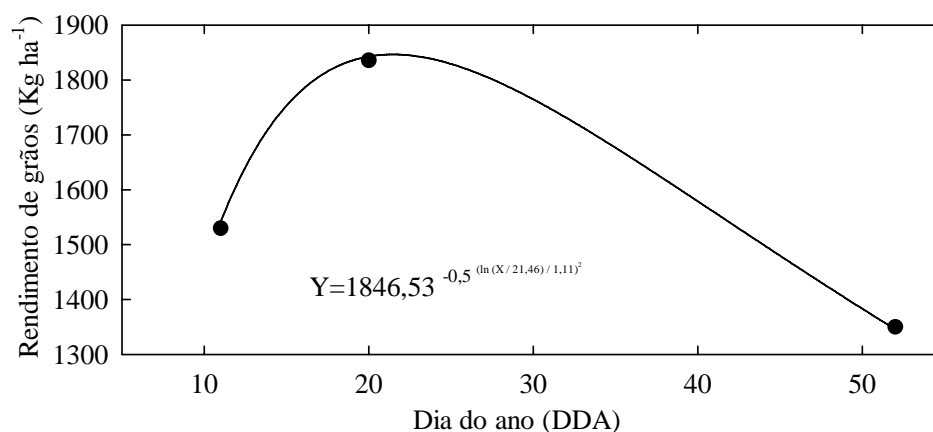


FIGURA 7- Rendimento de grãos para a cultura do feijão safrinha em função de diferentes datas de semeadura, adaptado de RUBIN (2003).

4.4- Análise de investimento

A análise de investimento foi realizada levando-se em consideração a existência de 380 ha de área de sequeiro com possibilidade de serem irrigados e um capital de R\$ 1.258.344,00 (Um milhão duzentos e cinquenta e oito mil e trezentos e quarenta e quatro reais). Sendo assim, as alternativas de investimento foram: (i) investir em irrigação (380 ha irrigados); (ii) investir na compra de terras e; (iii) investir o capital em aplicação financeira a juro bancário de 12% aa.

A área total possível de ser adquirida com o capital de R\$ 1.258.344,00 foi de 134,22 ha, considerando o valor do hectare a R\$ 9.375,00 (equivalente a 250 sc de soja e o valor da saca de soja de R\$ 37,50).

O cálculo do tempo de retorno do investimento, em anos, na alternativa de investimento em sistemas de irrigação, foi estimado pela diferença entre o valor do investimento menos a receita líquida simulada em cada ano agrícola com as culturas em rotação numa área de 380 ha irrigados, no período de 1990 a 2000, considerando quatro sistemas de rotação de cultura (sistema I, II, III e IV).

O cálculo do tempo de retorno do investimento, em anos, para a alternativa de investimento em aquisição de terras (134,22 ha), foi estimado pela diferença entre o valor do investimento menos a receita líquida simulada para cada ano agrícola na sucessão do trigo-soja. A receita líquida para a cultura do trigo e soja sem irrigação foi obtida considerando-se a produtividade média das duas culturas, nas cinco épocas de semeadura simuladas no sistema I de rotação de culturas (sucessão trigo-soja) multiplicado pelo fator 0,7, referente a redução de produtividade em decorrência de déficit hídrico de água no solo.

Estimou-se a receita líquida pelo uso da irrigação, por safra agrícola, através da receita bruta na área irrigada menos os custos de produção (custo de produção associados a irrigação mais os custos não relacionados a irrigação) menos a receita líquida com a produção de trigo-soja em sequeiro.

O acúmulo de capital no final do período para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas foi estimado através da soma das receitas líquidas observadas nas cinco épocas de semeadura. Na alternativa de investimento em aquisição de terra, o acúmulo de capital no final do período, foi estimado pela soma das receitas líquidas observadas na sucessão trigo-soja por safra agrícola.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Santa Maria

Na tabela 2 são apresentadas as datas de semeadura estimadas na simulação do sistema I de rotação de culturas (sucessão trigo-soja), em função de cinco épocas de semeadura da cultura do trigo. Observa-se que no 1º ano, para a 3ª, 4ª e 5ª épocas de semeadura, a data favorável de semeadura foi a mesma (23 de novembro) em decorrência do grande número de precipitações ocorridas entre a segunda quinzena de outubro e a segunda quinzena de novembro.

TABELA 2- Datas de semeadura estimadas para o sistema I (trigo e soja) de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura da cultura do trigo, em Santa Maria - RS.

Ano Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5	
1	1	Trigo	01/05	18/05	08/06	15/06	01/07
1	2	Soja	02/10	17/10	23/11	23/11	23/11
2	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Soja	02/10	02/10	19/10	28/10	04/11
3	1	Trigo	01/05	18/05	01/06	15/06	08/07
3	2	Soja	04/10	14/10	31/10	05/11	20/11
4	1	Trigo	01/05	16/05	01/06	19/06	09/07
4	2	Soja	01/10	08/10	25/10	04/11	19/11
5	1	Trigo	02/05	15/05	02/06	26/06	03/07
5	2	Soja	05/10	05/10	26/10	07/11	07/11
6	1	Trigo	04/05	15/05	01/06	18/06	08/07
6	2	Soja	02/10	10/10	15/10	29/10	07/11
7	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	23/06	02/07
7	2	Soja	03/10	16/10	27/10	13/11	14/11
8	1	Trigo	01/05	15/05	03/06	28/06	03/07
8	2	Soja	07/10	07/10	17/10	08/11	08/11
9	1	Trigo	01/05	19/05	01/06	15/06	03/07
9	2	Soja	01/10	11/10	21/10	30/10	09/11
10	1	Trigo	01/05	15/05	02/06	15/06	05/07
10	2	Soja	04/10	10/10	26/10	30/10	11/11

Com a utilização de épocas de semeadura mais tardias houve a redução no ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Esta redução deve-se ao encurtamento do período vegetativo da cultura, uma vez que a soja responde ao fotoperíodo para a indução floral. Dessa forma, como o fotoperíodo necessário para indução floral da soja está compreendido entre o segundo e o terceiro

decêndio de fevereiro, as datas de semeadura encontradas na simulação, propiciaram a redução no ciclo da cultura da soja de 177 para 137 dias.

Na figura 8 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos da cultura do trigo. Os maiores rendimentos de grãos para a cultura do trigo (2600 kg ha^{-1}) foram observados para a época de semeadura simulada na primeira quinzena de junho, e os menores rendimentos de grãos (1807 kg ha^{-1}) para a época de semeadura simulada em 02 de maio.

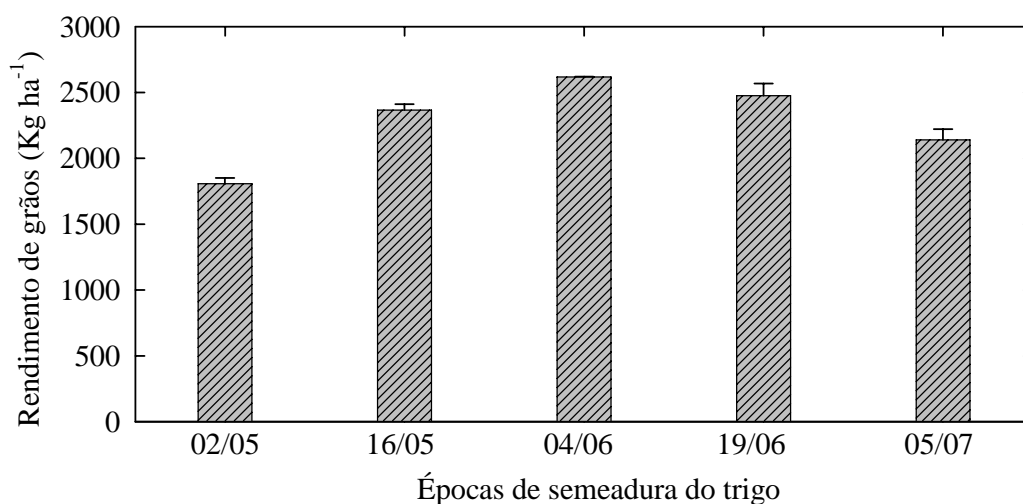


FIGURA 8- Rendimento médio de grãos da cultura do trigo estimados para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004.

Na figura 9 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos da cultura da soja, simulada para o período de 1990/00. Os maiores rendimentos de grãos simulados para a cultura da soja (2820 kg ha^{-1}) foram observados para as épocas de semeadura do trigo entre a primeira e a segunda quinzena de junho. Esse fato proporcionou datas para a semeadura da soja entre o final da segunda quinzena de outubro (23 de outubro) e a segunda quinzena de novembro (15 de novembro). Vários autores observaram o aumento no rendimento de grãos da cultura da soja quando semeada no mês de novembro (ROCHA et al., 1984; NAKAGAWA et al., 1988; e EMBRAPA, 1996).

Na figura 10 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura. O número médio de irrigações estimado

para a soja foi de 13 e a lâmina média de irrigação simulada necessária foi de 122 mm.

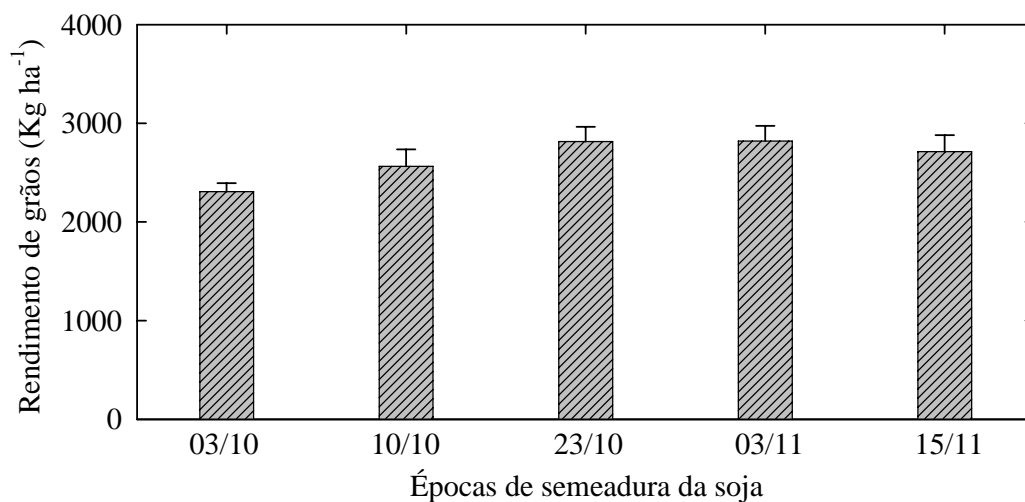


FIGURA 9- Rendimento médio de grãos da soja estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura da cultura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004.

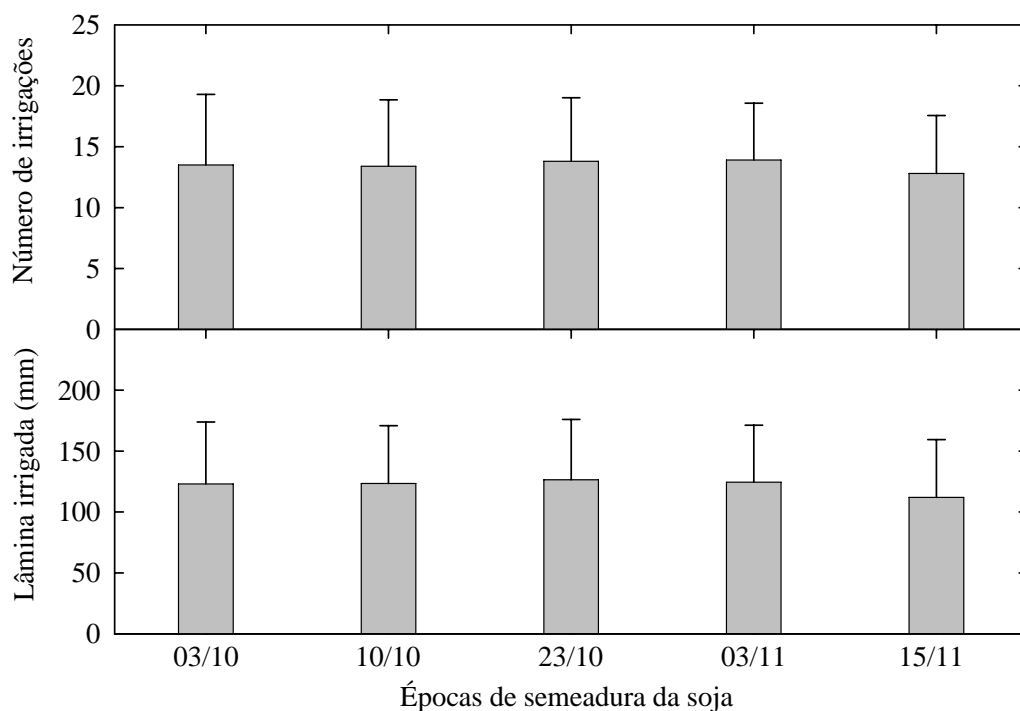


FIGURA 10- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da soja para as cinco épocas de semeadura em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004.

Na figura 11 são apresentados os resultados simulados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja. As variações nos períodos de semeadura não propiciaram alterações no período de maior exigência hídrica da cultura (floração e enchimento de grãos). Em experimento realizado por RODRIGUES et al. (2002), os autores observaram que as datas de florescimento de cultivares de soja de ciclo médio e de ciclo precoce, variaram entre o dia 26 de fevereiro e 28 de fevereiro e a cultivar de ciclo tardio foi 10 dias mais tardia.

Entre os anos analisados houve deficiência hídrica no período de floração-enchimento de grãos nas safras de 1990/91, 1994/95, 1998/99 e 1999/00 onde os valores médios de déficit hídrico, foram superiores a 100 mm. Porém, foi a safra de 1990/91 que apresentou o maior déficit hídrico médio, superior a 250 mm no período de maior exigência hídrica da cultura. BERLATO (1992) afirma que existe uma forte correlação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico. Segundo o autor, na safra de 1990/91 os rendimentos médios de grãos da soja, no Rio Grande do Sul, estiveram abaixo de uma tonelada por hectare.

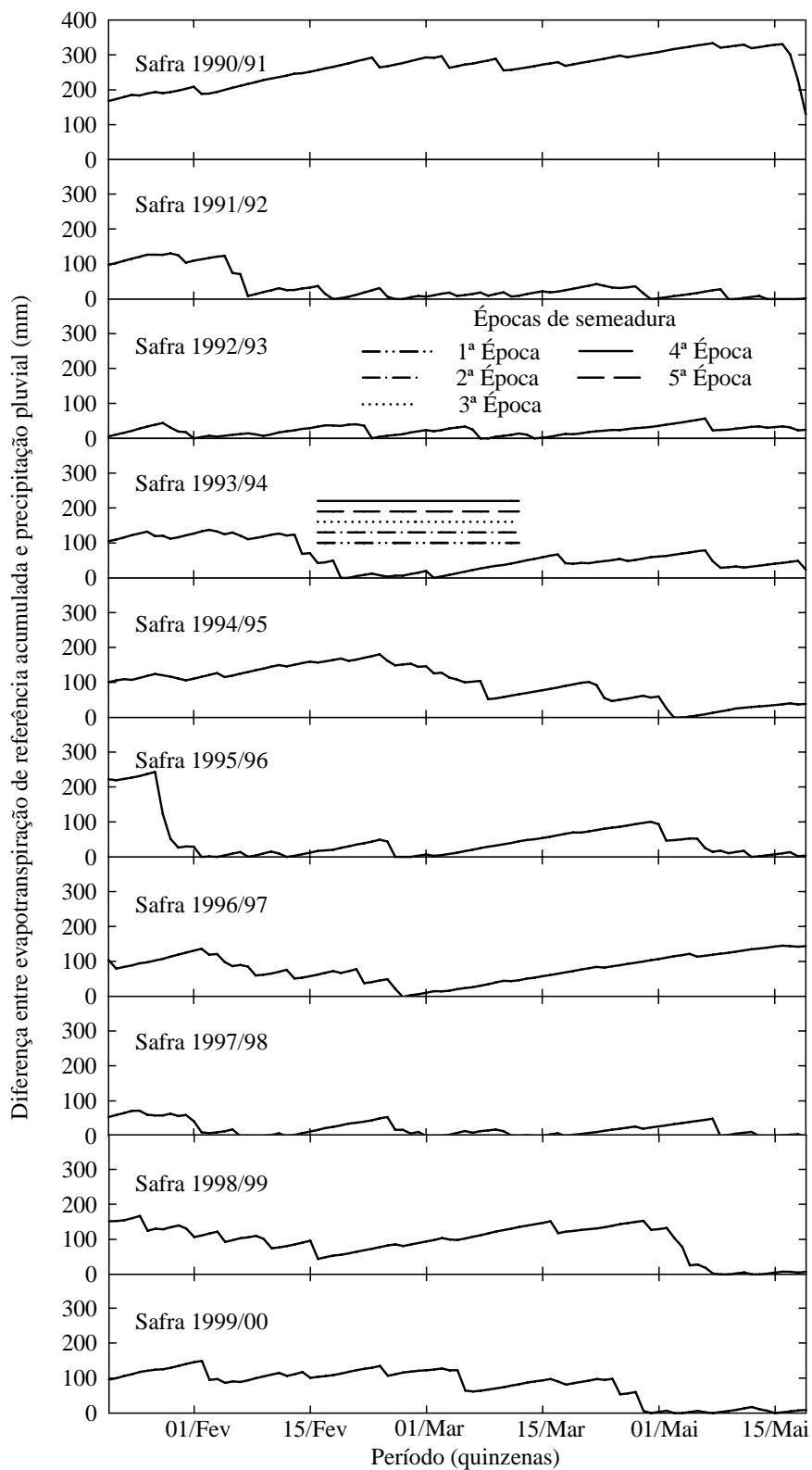


FIGURA 11- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simuladas para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja (linhas tracejadas), em Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na tabela 3 são apresentados os resultados da simulação do sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno. Nesse sistema utilizou-se no 1º ano a sucessão trigo-soja, no 2º ano a sucessão aveia-milho retornando no 3º ano a sucessão trigo-soja.

TABELA 3- Datas de semeadura estimadas para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno trigo e aveia, em Santa Maria - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	18/05	08/06	15/06	01/07
1	2	Soja	02/10	17/10	23/11	23/11	23/11
2	1	Aveia Preta	01/05	17/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	28/08	12/09	26/09	12/10
3	1	Trigo	01/05	18/05	01/06	15/06	08/07
3	2	Soja	04/10	14/10	31/10	05/11	20/11
4	1	Aveia Preta	01/05	16/05	01/06	19/06	09/07
4	2	Milho	12/08	27/08	12/09	01/10	25/10
5	1	Trigo	02/05	15/05	02/06	26/06	03/07
5	2	Soja	05/10	05/10	26/10	07/11	07/11
6	1	Aveia Preta	04/05	15/05	01/06	18/06	08/07
6	2	Milho	16/08	26/08	16/09	02/10	19/10
7	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	23/06	02/07
7	2	Soja	03/10	16/10	27/10	13/11	14/11
8	1	Aveia Preta	01/05	15/05	03/06	28/06	03/07
8	2	Milho	12/08	26/08	15/09	17/10	17/10
9	1	Trigo	01/05	19/05	01/06	15/06	03/07
9	2	Soja	01/10	11/10	21/10	30/10	09/11
10	1	Aveia Preta	01/05	15/05	02/06	15/06	05/07
10	2	Milho	15/08	30/08	17/09	27/09	18/10

A simulação da sucessão aveia-milho propiciou, para as cinco épocas de semeadura da aveia, datas de semeadura do milho entre a primeira quinzena de agosto e a segunda quinzena de outubro. Nos resultados da simulação, foram observadas diferenças entre as épocas de semeadura, em relação a duração do período entre a emergência e o pendoamento da cultura do milho. A duração desse período foi de 105 dias para semeaduras realizadas na primeira quinzena de

agosto e de 71 dias para sementeiras realizadas em outubro. Isso corre por que o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho está diretamente relacionado à soma térmica (RITCHIE & NeSMITH, 1991). Sementeiras mais tardias do milho resultaram na redução no ciclo médio da cultura de 150 para 128 dias.

Na figura 12 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos, estimados para a cultura do milho em sucessão a aveia. Os maiores rendimentos de grãos para a cultura do milho (10990 kg ha^{-1}) foram observados para a simulação de datas de sementeira do milho entre a segunda quinzena de setembro e a segunda quinzena de outubro (Tabela 3), onde o ciclo de desenvolvimento da cultura, ocorreu durante o período de maior incidência de radiação solar e disponibilidade térmica do ano.

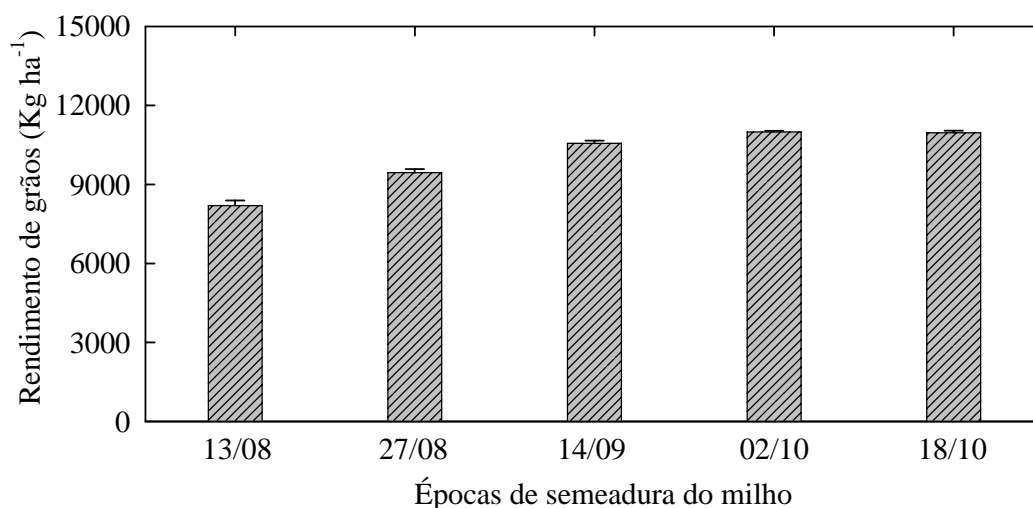


FIGURA 12- Rendimento médio de grãos da cultura do milho estimado para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de sementeira, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 13 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho, para cinco épocas de sementeira. O número médio de irrigações recomendadas para o desenvolvimento da cultura do milho foi de 25, e a lâmina média total necessária para a cultura foi de 244 mm.

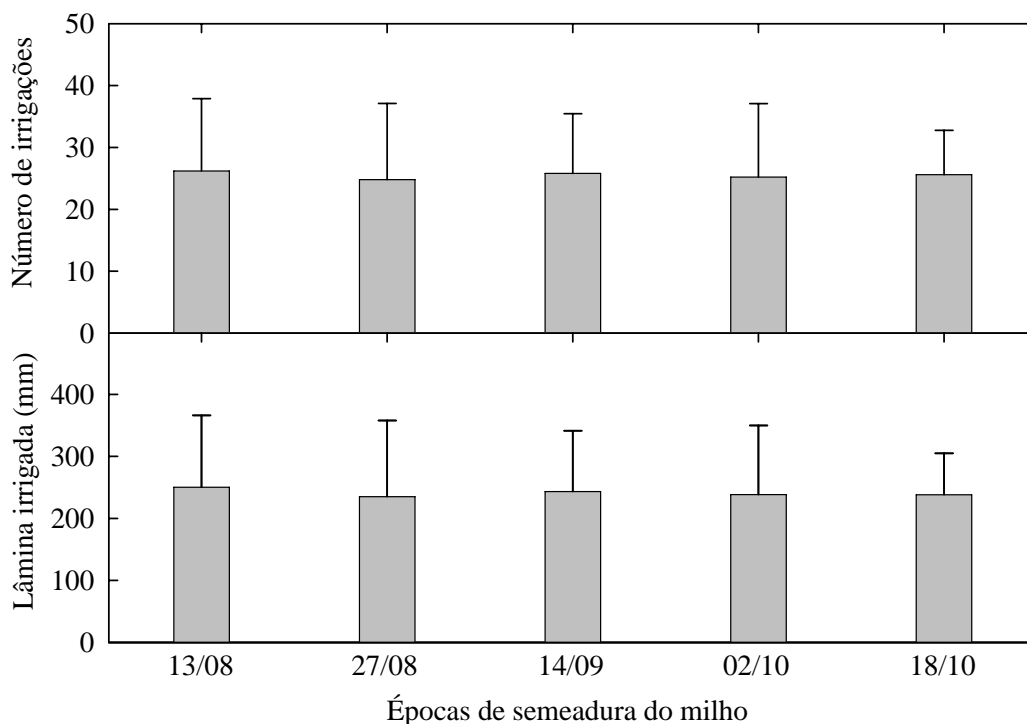


FIGURA 13- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho para as cinco épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 14 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho simulado em sucessão a cultura da aveia. Observa-se que o período de maior exigência hídrica do milho ocorreu entre a segunda quinzena de novembro e a segunda quinzena de janeiro. Verificou-se que as safras de 1991/92, 1995/96 e 1999/00 apresentaram os maiores valores de déficit hídrico, sendo que, na safra de 1999/00 o déficit hídrico foi superior a 200 mm, durante o período de maior exigência hídrica da cultura do milho. Embora os resultados da simulação para a safra de 1991/92 demonstrassem a existência de um déficit hídrico, segundo MATZENAUER (1995), nessa safra o rendimento médio de grãos do milho no Estado do Rio Grande do Sul foi de 2.700 kg ha⁻¹, enquanto que na safra 1990/91 o rendimento médio de grãos foi de 1.100 kg ha⁻¹, em decorrência de um longo período de precipitação pluvial no início da

época preferencial de semeadura do milho (agosto e setembro) seguido de elevado déficit hídrico, nos meses de outubro, novembro e dezembro.

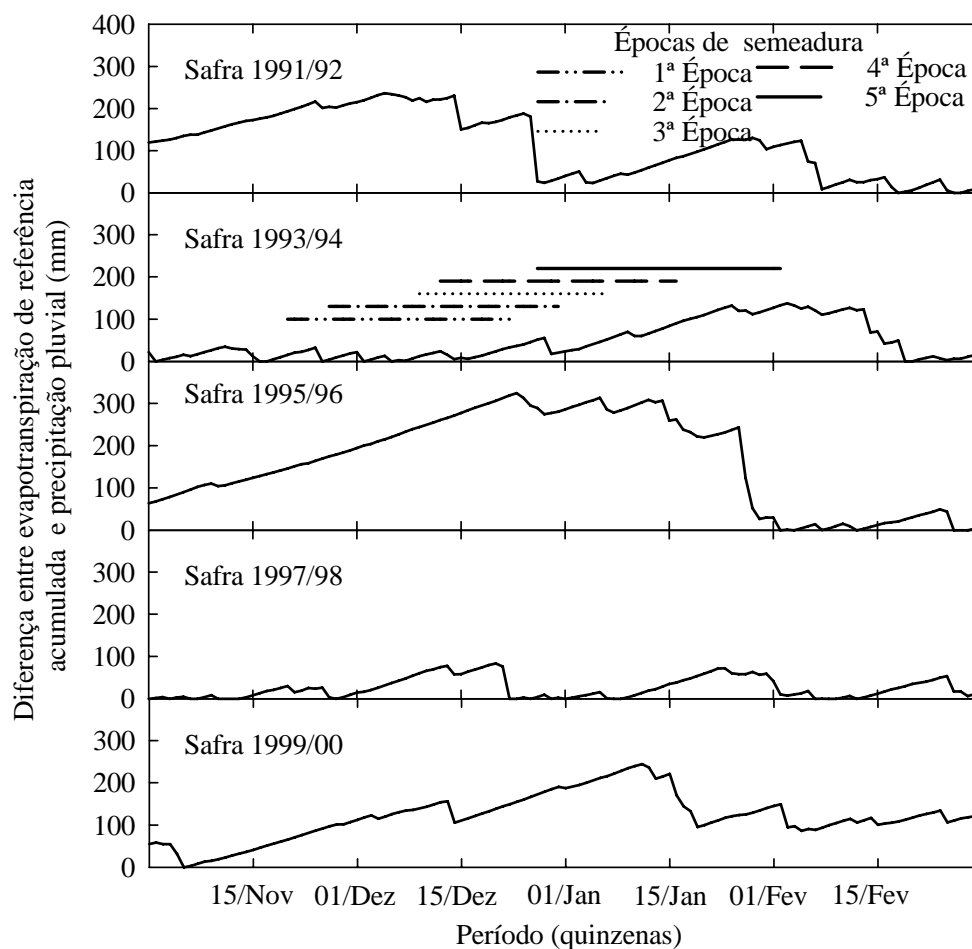


FIGURA 14- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho (linhas tracejadas), em Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na tabela 4 são apresentados os resultados da simulação do sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno. Observa-se que no 3º, 6º e 9º ano da rotação não foi possível simular a semeadura da cultura do feijão safra, para a 4ª e 5ª épocas, na sucessão trigo-feijão, em decorrência do encerramento da cultura do trigo (colheita) ter ocorrido após 30 de outubro, data limite para a semeadura do feijão safra, segundo a COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (2000).

TABELA 4- Datas de semeadura estimadas para o sistema III de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno trigo e aveia, em Santa Maria - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	18/05	08/06	15/06	01/07
1	2	Soja	02/10	17/10	23/11	23/11	23/11
2	1	Aveia Preta	01/05	17/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	29/08	12/09	26/09	12/10
3	1	Trigo	01/05	18/05	01/06	15/06	08/07
3	2	Feijão	27/09	14/10	31/10	-	-
4	1	Trigo	01/05	16/05	01/06	15/06	08/07
4	2	Soja	04/10	10/10	25/10	05/11	20/11
5	1	Aveia Preta	01/05	15/05	02/06	19/06	09/07
5	2	Milho	12/08	26/08	16/09	01/10	25/10
6	1	Trigo	02/05	15/05	01/06	26/06	03/07
6	2	Feijão	19/09	10/10	15/10	-	-
7	1	Trigo	02/05	15/05	01/06	26/06	03/07
7	2	Soja	05/10	10/10	27/10	07/11	07/11
8	1	Aveia Preta	04/05	15/05	03/06	18/06	08/07
8	2	Milho	16/08	04/09	15/09	02/10	19/10
9	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	23/06	02/07
9	2	Feijão	29/09	07/10	21/10	-	-
10	1	Trigo	01/05	19/05	02/06	23/06	02/07
10	2	Soja	03/10	11/10	26/10	13/11	14/11

A simulação da semeadura do feijão em sucessão a cultura do trigo para a primeira, segunda e terceira épocas de semeadura do trigo, ocorreu na segunda quinzena de setembro, primeira quinzena de outubro e segunda quinzena de outubro, respectivamente (Tabela 4). A duração média do ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão, estimado para Santa Maria foi de 86 dias.

Na figura 15 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do feijão safra (2284 kg ha^{-1}) para o sistema III de rotação de culturas. As semeaduras simuladas na primeira e segunda quinzenas de outubro, apresentaram redução no rendimento de grãos em relação à semeadura realizada na segunda quinzena de setembro. Essa redução no rendimento de grãos, segundo MASSIGNAM et al. (1998), deve-se às altas temperaturas durante o período de florescimento-enchimento de grãos que juntamente com o déficit hídrico, são as principais causas da redução do rendimento de grãos da cultura.

O rendimento médio de grãos simulados para a cultura do feijão safra foi de 2184 Kg ha⁻¹, sendo esse rendimento semelhante ao observado por ANTUNES (2003) (2373 Kg ha⁻¹).

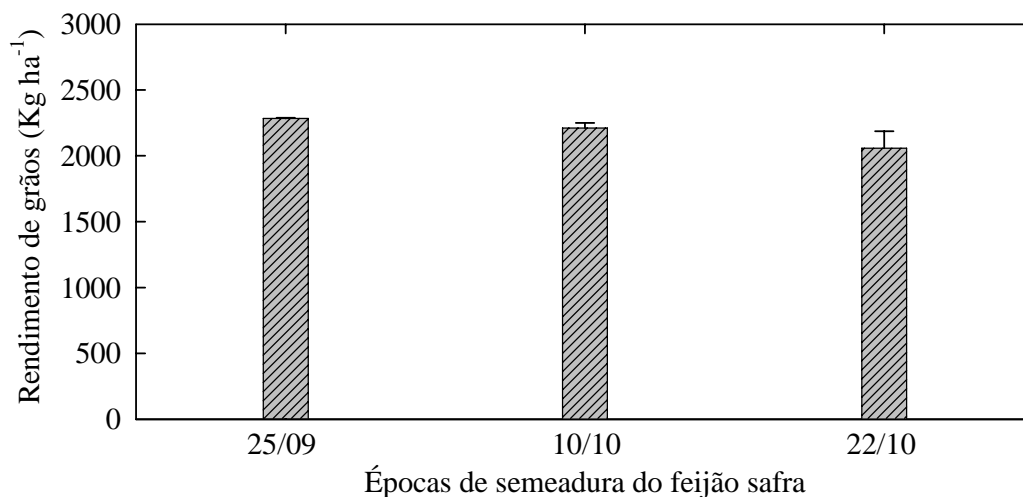


FIGURA 15- Rendimento médio de grãos do feijão safra estimado para o sistema III de rotação de culturas para as três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 16 são apresentados os resultados simulados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações necessários durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safra, para as cinco épocas de semeadura. A maior lâmina irrigada (264 mm) necessária para atender as necessidades hídricas da cultura foram observadas para a época de semeadura simulada na segunda quinzena de outubro (Figura 16). O número médio de irrigações simuladas foi de 17 e a menor lâmina média simulada foi de 107 mm obtida para a época de semeadura de 25 de setembro (Tabela 4). A lâmina média de irrigação simulada para atender as necessidades hídricas da cultura do feijão foi de 147mm. Sendo que a necessidade hídrica do feijoeiro, segundo a COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (2000), é de aproximadamente 300 mm durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

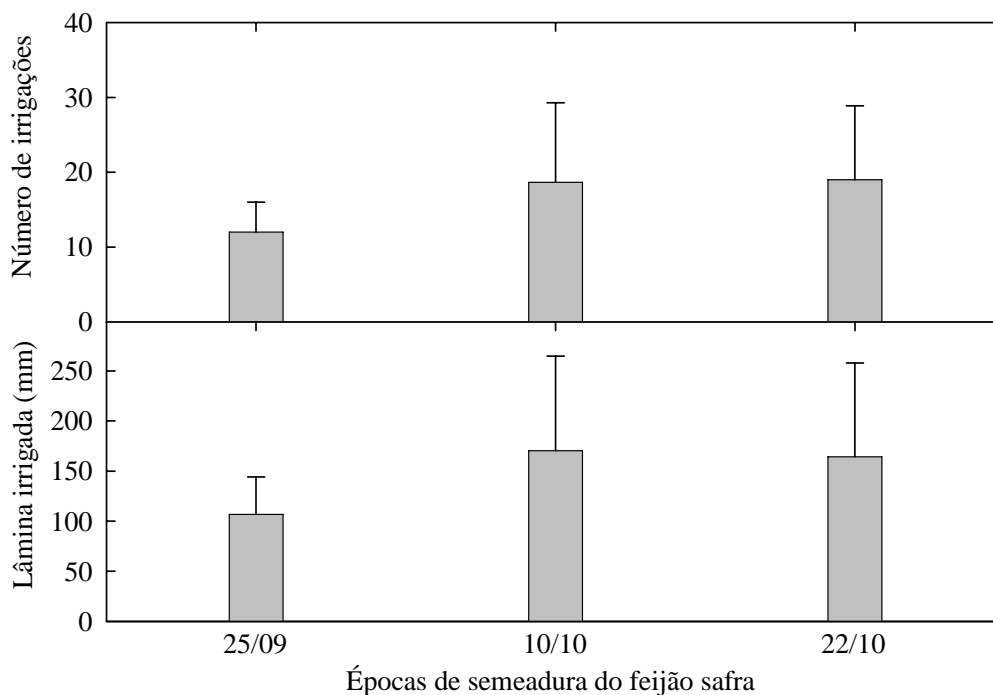


FIGURA 16- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safra para as três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 17 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, durante o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão. Observa-se que os anos agrícolas de 1992/93 e 1998/99 apresentaram déficit hídrico médio inferior a 50 mm, durante o período de maior exigência hídrica da cultura (floração - enchimento de grãos). Por outro lado, no ano agrícola de 1995/96 ocorreu déficit hídrico superior a 100mm, durante o período de maior exigência hídrica da cultura.

Na tabela 5 são apresentados os resultados da simulação do sistema IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno. O retardamento na semeadura do trigo inviabilizou a semeadura das demais culturas em rotação. Assim, observou-se no 3º ano da simulação da rotação de culturas que, a semeadura do trigo na segunda quinzena de junho e primeira de julho, e no 6º e 9º anos para as semeaduras do trigo na primeira quinzena de julho, não foi possível a semeadura da cultura do feijão safra. Isso ocorreu, porque as datas de

final de ciclo do trigo ocorreram após 30 de outubro. Sendo nesse caso, simulado o cultivo do milho safra, evitando, um longo período de tempo sem cultivo do solo.

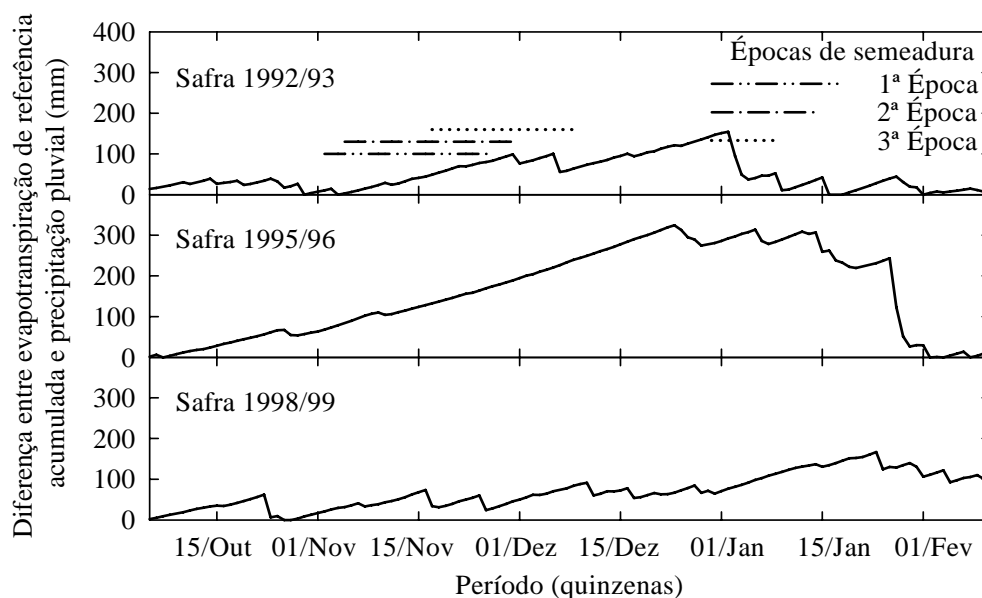


FIGURA 17- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safra (linhas tracejadas), em Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

No 2º, 5º e 8º ano de cultivo, nos quais foi simulada a sucessão aveia-milho-feijão safrinha, somente nas três primeiras épocas de semeadura da aveia foi possível realizar a semeadura em sucessão do feijão safrinha. As épocas de semeadura da aveia realizadas entre a segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho proporcionaram épocas de semeadura do milho entre a primeira e a segunda quinzena de outubro, tendo o final do ciclo do milho, para essas épocas, ocorrido após 15 de fevereiro data limite para semeadura do feijão safrinha.

Na figura 18 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do feijão safrinha para o sistema IV de rotação de culturas. As semeaduras simuladas na segunda quinzena de janeiro (28 de janeiro) apresentaram os maiores rendimentos de grãos (superiores a 1800 kg ha⁻¹). Os

menores rendimentos de grãos foram observados para as semeaduras simuladas na primeira quinzena de fevereiro (1045 kg ha⁻¹).

TABELA 5- Datas de semeadura estimadas para o sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno trigo e aveia, em Santa Maria - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	18/05	08/06	15/06	01/07
1	2	Soja	02/10	17/10	23/11	23/11	23/11
2	1	Aveia Preta	01/05	17/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	28/08	12/09	26/09	12/10
2	3	Feijão Safrinha	11/01	30/01	07/02	-	-
3	1	Trigo	01/05	18/05	01/06	15/06	08/07
3	2	Feijão	27/09	14/10	31/10	-	-
3	3	Milho Safrinha	10/01	11/01	22/01	05/11	20/11
4	1	Trigo	01/05	16/05	01/06	19/06	09/07
4	2	Soja	01/10	10/10	25/10	08/11	19/11
5	1	Aveia Preta	02/05	15/05	02/06	26/06	03/07
5	2	Milho	18/08	26/08	16/09	07/10	26/10
5	3	Feijão Safrinha	19/01	23/01	-	-	-
6	1	Trigo	04/05	15/05	01/06	18/06	08/07
6	2	Feijão	24/09	10/10	15/10	29/10	-
6	3	Milho Safrinha	29/12	01/01	02/01	21/01	07/11
7	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	23/06	02/07
7	2	Soja	03/10	16/10	27/10	13/11	14/11
8	1	Aveia Preta	01/05	15/05	03/06	28/06	03/07
8	2	Milho	12/08	26/08	15/09	17/10	17/10
8	3	Feijão Safrinha	12/01	02/02	12/02	-	-
9	1	Trigo	01/05	19/05	01/06	15/06	03/07
9	2	Feijão	01/10	11/10	21/10	30/10	-
9	3	Milho Safrinha	01/01	07/01	16/01	21/01	09/11
10	1	Trigo	01/05	15/05	02/06	15/06	05/07
10	2	Soja	04/10	10/10	26/10	30/10	11/11

Datas em negrito referem-se a cultura do milho safra

Na figura 19 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações estimadas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safrinha. O número médio de irrigações e a lâmina de irrigação necessária para atender as exigências hídricas da cultura do feijão safrinha foram de 8 e 60 mm, respectivamente.

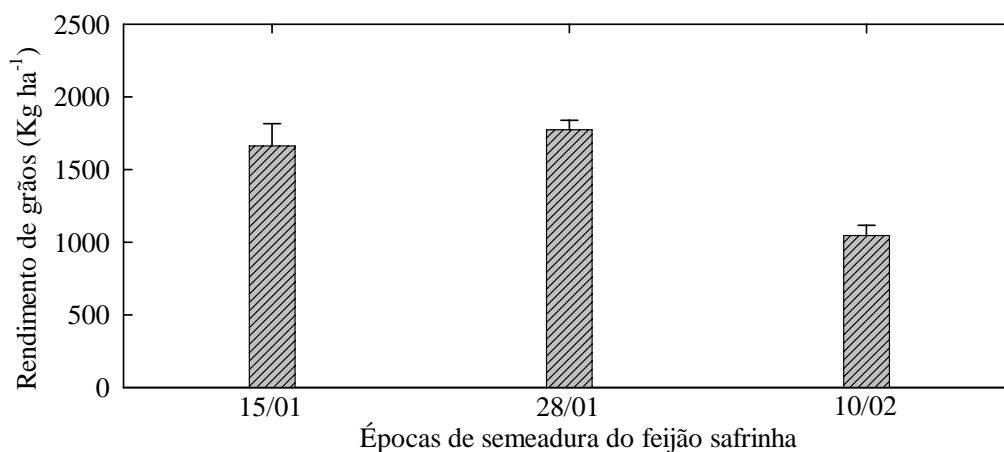


FIGURA 18- Rendimento médio de grãos do feijão safrinha estimado para o sistema IV de rotação de culturas para três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

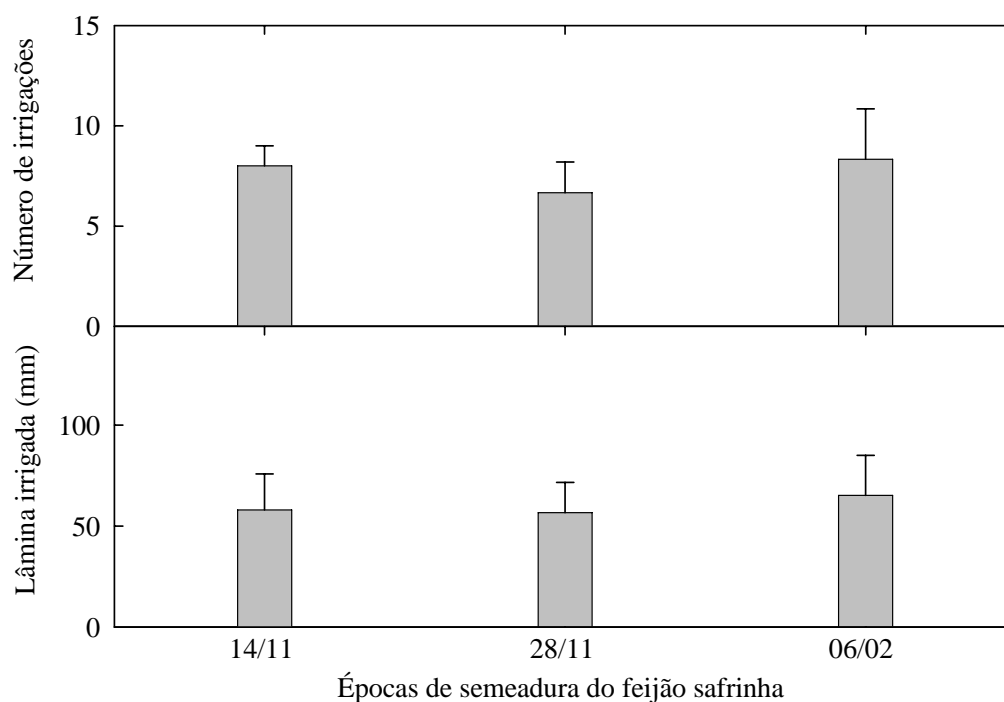


FIGURA 19- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safrinha, para três épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 20 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência e a precipitação pluvial, determinados no período

de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha em sucessão as culturas da aveia-milho. Observou-se que, apenas na safra 1994/95, ocorreu déficit hídrico, sendo esse superior a 100 mm. A menor necessidade de irrigação para o feijão safrinha em relação ao feijão safra deve-se a menor demanda evaporativa da atmosfera a partir de fevereiro e a menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nesse período (ÁVILA et al., 1996).

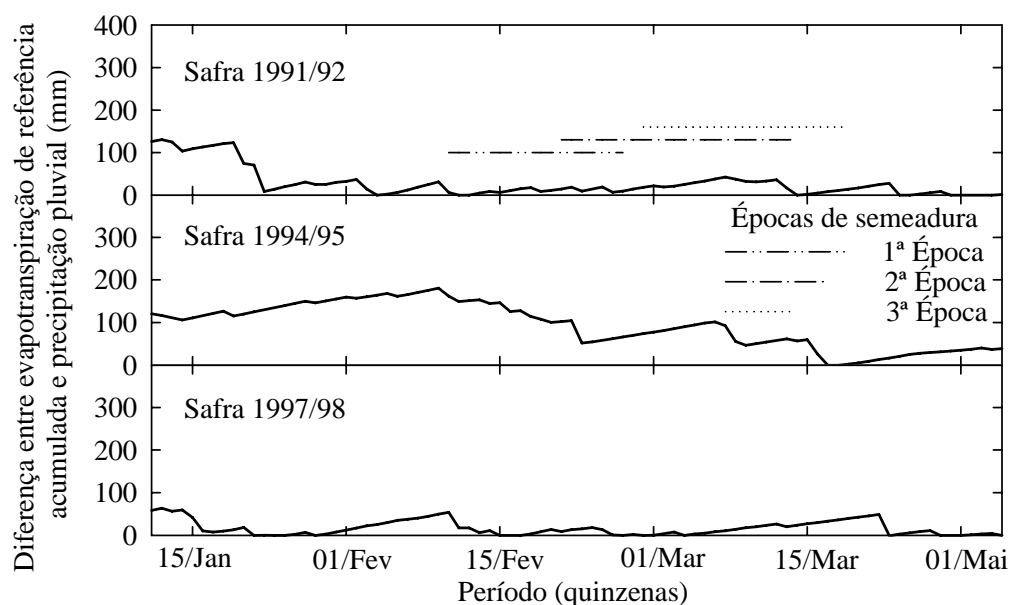
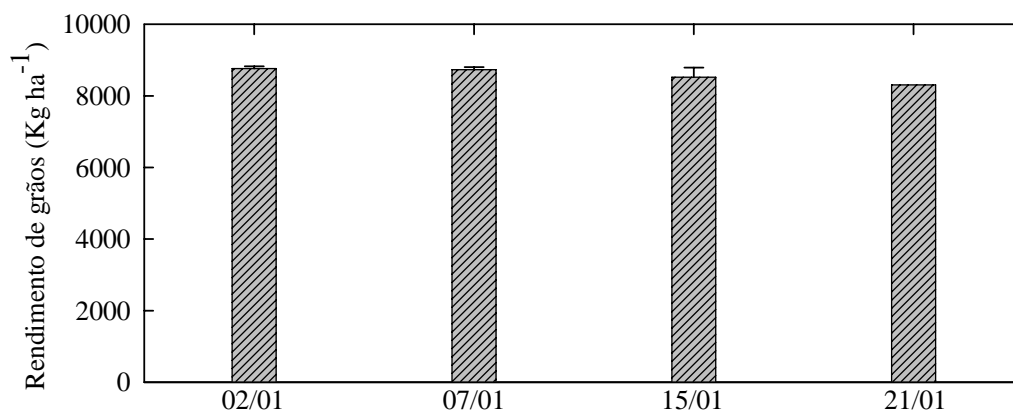


FIGURA 20- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulados para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha (linhas tracejadas), em Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 21 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do milho safrinha para o sistema IV de rotação de culturas. Os rendimentos médios de grãos observados para as datas de semeadura de 02, 07, 15 e 21 de janeiro foram de 8303, 8515, 8739 e 8768 kg ha⁻¹, respectivamente.

Na figura 22 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas para o desenvolvimento da cultura do milho safrinha na sucessão trigo-feijão-milho safrinha.



Épocas de semeadura do milho safrinha

FIGURA 21- Rendimento médio de grãos do milho safrinha estimado para o sistema IV de rotação de culturas para quatro épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

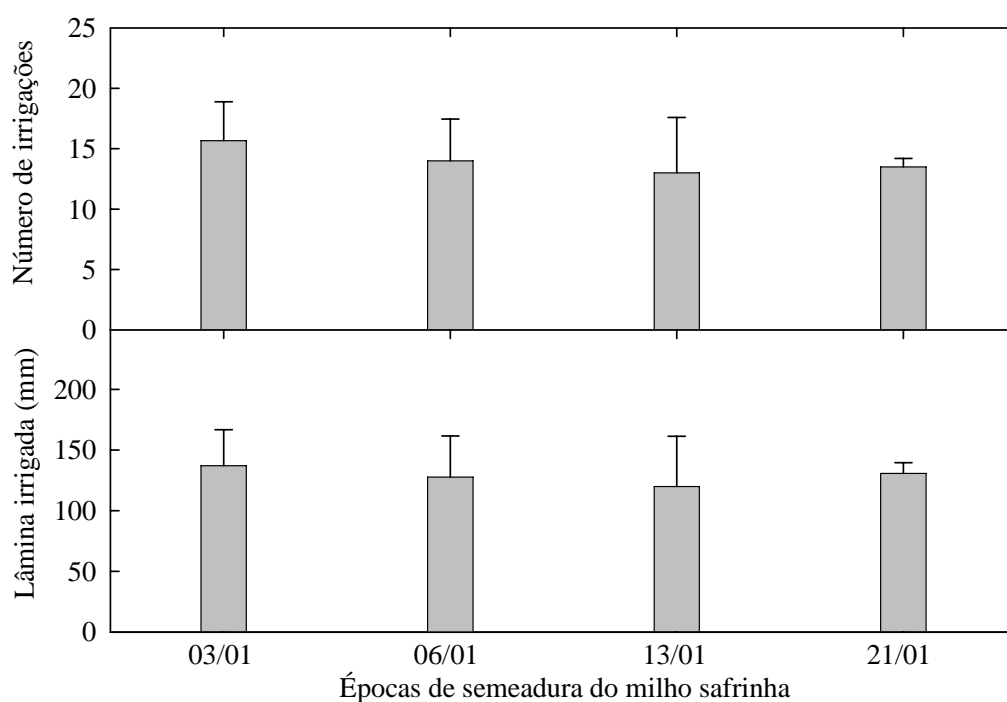


FIGURA 22- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho safrinha para quatro épocas de semeadura, em Santa Maria - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

A maior lâmina de irrigação simulada para o desenvolvimento do milho safrinha foi de 137,5 mm, obtida para a época de semeadura de 03 de janeiro

(Figura 22). O número médio de irrigações e a lâmina de irrigação simulados para o desenvolvimento do milho safrinha foram de 14 e 129 mm, respectivamente.

Na figura 23 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha. Observou-se que no ano agrícola de 1998/99 ocorreu déficit hídrico no período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha, sendo esse superior a 85 mm.

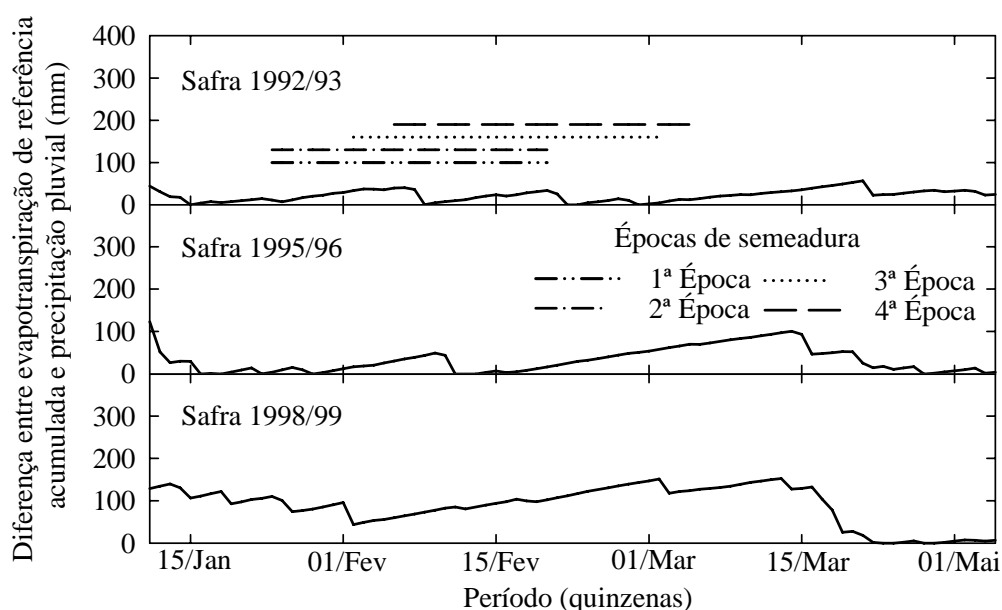


FIGURA 23- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulada para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha (linhas tracejadas), em Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

5.2- Cruz Alta

Na tabela 6 são apresentados os resultados da simulação do sistema I de rotação de culturas, para cinco épocas de semeadura da cultura do trigo. As datas de semeadura da soja em sucessão a cultura do trigo foram 06, 12 e 28 de outubro, 06 e 17 de novembro.

A utilização de épocas mais tardias de semeadura da soja resultou na redução no ciclo de desenvolvimento da cultura de 181 dias (primeira época de

semeadura) para 140 dias (última época de semeadura). Resultado semelhante foi observado por RODRIGUES et al. (2002), que encontrou uma variação de até 55 dias entre a emergência e o florescimento para a soja cultivada em Passo Fundo-RS. O ciclo médio da cultura do trigo observado foi de 139 dias.

TABELA 6- Datas de semeadura estimadas para o sistema I de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura da cultura do trigo, em Cruz Alta - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	15/05	08/06	15/06	06/07
1	2	Soja	01/10	17/10	03/11	22/11	22/11
2	1	Trigo	01/05	16/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Soja	04/10	04/10	20/10	01/11	05/11
3	1	Trigo	03/05	16/05	01/06	15/06	09/07
3	2	Soja	01/10	11/10	07/11	09/11	28/11
4	1	Trigo	01/05	16/05	10/06	20/06	01/07
4	2	Soja	08/10	10/10	04/11	11/11	20/11
5	1	Trigo	01/05	17/05	10/06	15/06	10/07
5	2	Soja	06/10	17/10	28/10	21/11	21/11
6	1	Trigo	02/05	19/05	01/06	15/06	01/07
6	2	Soja	10/10	10/10	20/10	01/11	08/11
7	1	Trigo	04/05	15/05	03/06	15/06	01/07
7	2	Soja	02/10	16/10	28/10	12/11	18/11
8	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	18/06	01/07
8	2	Soja	18/10	18/10	19/10	27/10	09/11
9	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	18/06	03/07
9	2	Soja	06/10	06/10	19/10	29/10	08/11
10	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	15/06	08/07
10	2	Soja	03/10	09/10	27/10	09/11	21/11

Na figura 24 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do trigo para o sistema I de rotação de culturas. Os maiores rendimentos de grãos para a cultura do trigo (2614 kg ha⁻¹) foram observados para a semeadura realizada na primeira quinzena de junho (05 de junho). Os menores rendimentos de grãos (1815 kg ha⁻¹) foram observados para a semeadura realizada em 02 de maio.

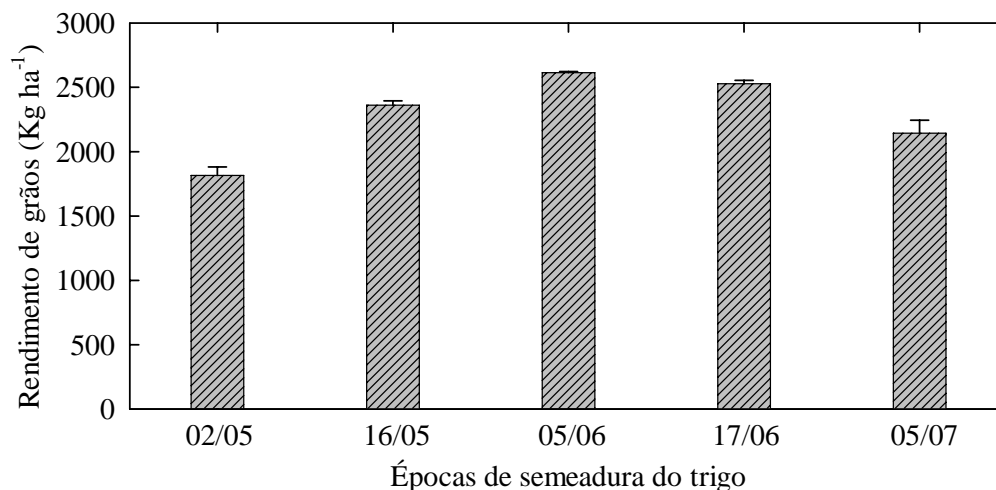


FIGURA 24- Rendimento médio de grãos da cultura do trigo estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 25 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos da cultura da soja, simulados para o sistema I de rotação de culturas. Os maiores rendimentos de grãos, para a cultura da soja foram observados para a terceira época de semeadura (28 de outubro) 2940 Kg ha⁻¹, e os menores rendimentos de grãos foram observados para a semeadura realizada na primeira época de semeadura (06 de outubro) 2232 kg ha⁻¹

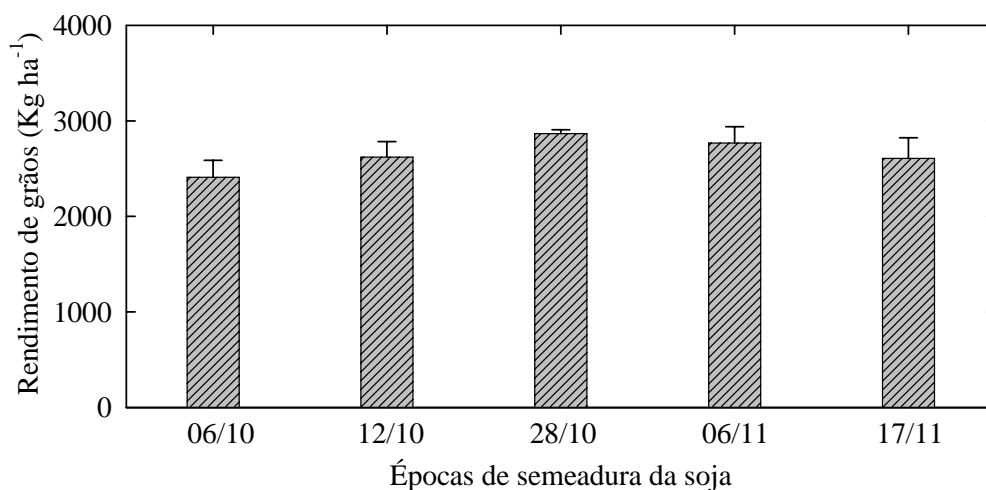


FIGURA 25- Rendimento médio de grãos da cultura da soja estimado para o sistema I de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 26 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações necessárias para atender as necessidades hídricas durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura. O número médio de irrigações simulado foi 13, com uma lâmina média de 118 mm. Os maiores déficits hídricos observados ocorreram na segunda época de semeadura da soja (12 de outubro). Sendo que, no ano agrícola de 1995/96, foram necessários de 215 mm de lâmina de irrigação para suprir as exigências hídricas da cultura.

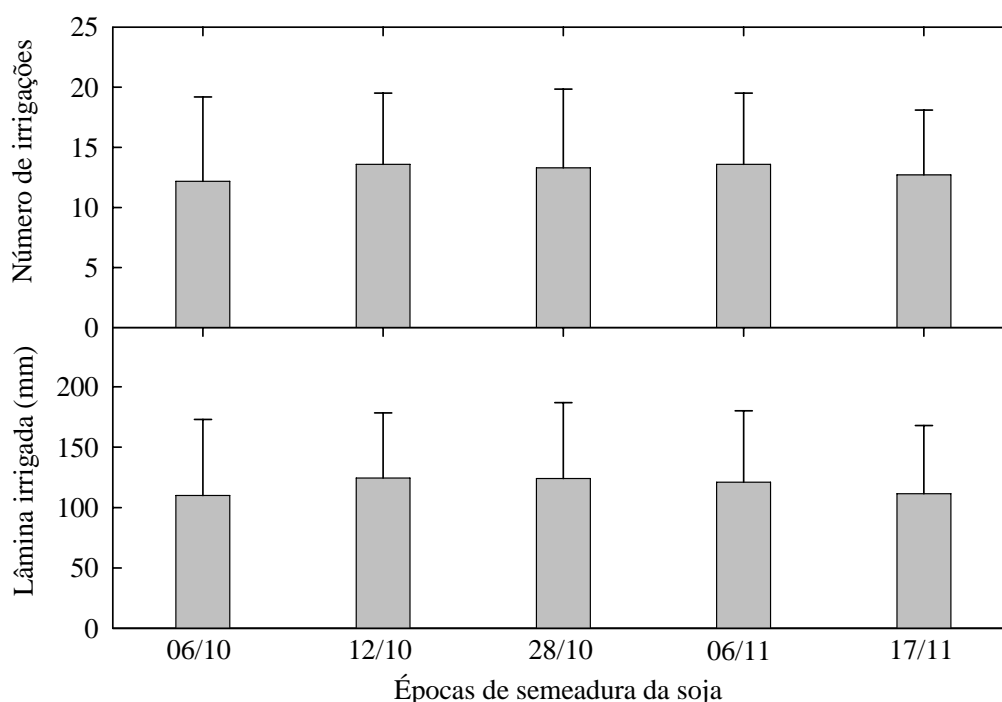


FIGURA 26- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 27 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, determinada para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja, para as cinco épocas de semeadura.

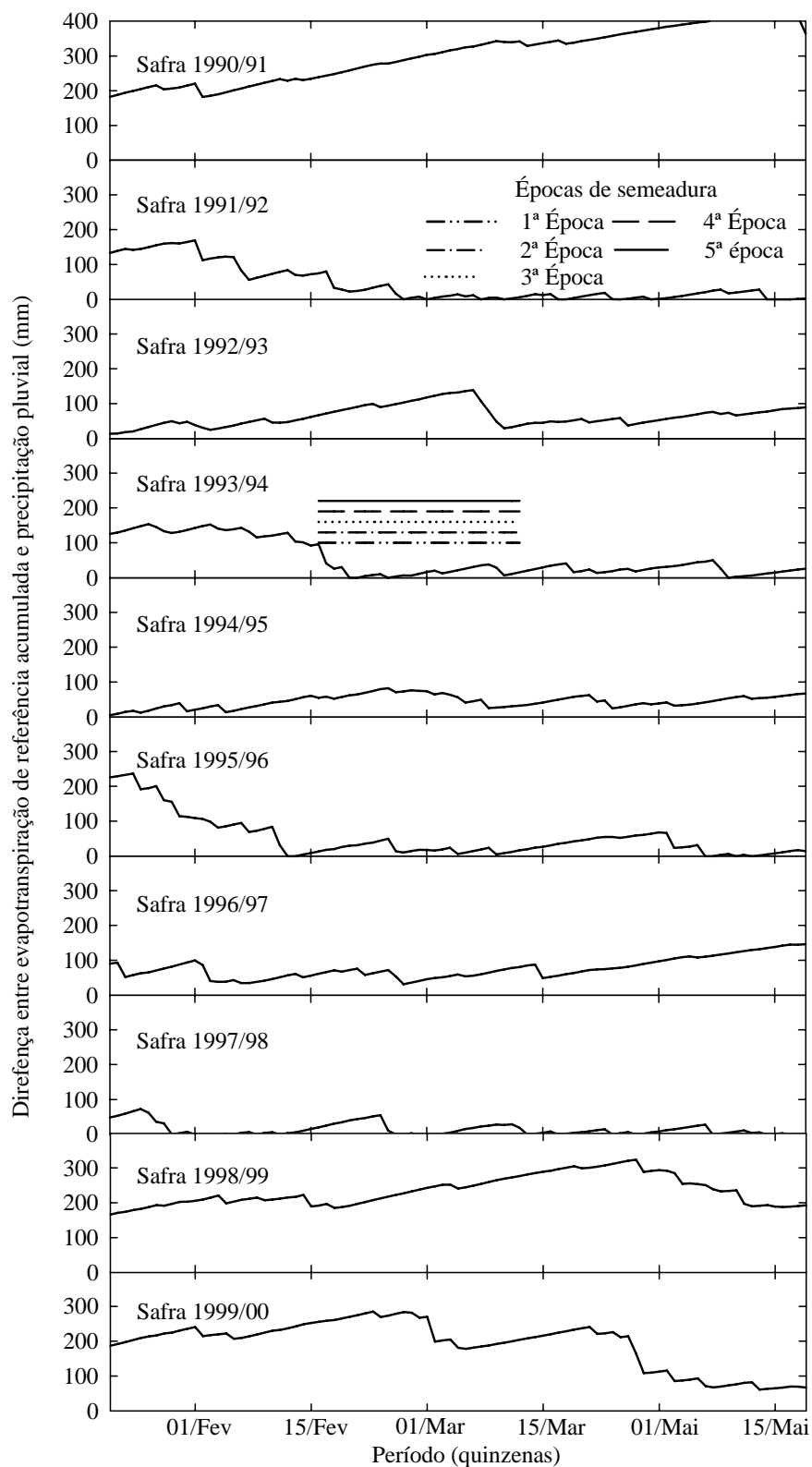


FIGURA 27- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluviual, simulada para o período de maior exigência hídrica da cultura da soja (linhas tracejadas), em Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Nos anos agrícolas de 1990/91, 1998/99 e 1999/00 foram estimados valores de déficit hídrico superiores a 200 mm. No ano agrícola de 1990/91 o déficit hídrico foi superior a 290 mm. Por outro lado, os anos agrícolas de 1995/96 e 1997/98 apresentaram os menores valores de deficiência hídrica no período de maior exigência hídrica da cultura, o valor médio de déficit hídrico entre as duas safras foi inferior a 20 mm.

Na tabela 7 são apresentados os resultados da simulação do sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, em Cruz Alta.

TABELA 7- Datas de semeadura estimadas para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas do trigo e aveia, em Cruz Alta - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	15/05	08/06	15/06	06/07
1	2	Soja	01/10	17/10	03/11	22/11	22/11
2	1	Aveia Preta	01/05	16/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	28/08	12/09	26/09	12/10
3	1	Trigo	03/05	16/05	01/06	15/06	09/07
3	2	Soja	01/10	10/10	07/11	09/11	28/11
4	1	Aveia Preta	01/05	16/05	10/06	20/06	01/07
4	2	Milho	12/08	27/08	23/09	08/10	12/10
5	1	Trigo	01/05	17/05	10/06	15/06	10/07
5	2	Soja	06/10	17/10	28/10	21/11	21/11
6	1	Aveia Preta	02/05	19/05	01/06	15/06	01/07
6	2	Milho	13/08	30/08	15/09	27/09	13/10
7	1	Trigo	04/05	15/05	03/06	15/06	01/07
7	2	Soja	02/10	16/10	29/10	12/11	18/11
8	1	Aveia Preta	01/05	15/05	01/06	18/06	01/07
8	2	Milho	12/08	26/08	12/09	18/10	18/10
9	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	18/06	03/07
9	2	Soja	06/10	06/10	19/10	29/10	08/11
10	1	Aveia Preta	01/05	15/05	01/06	15/06	08/07
10	2	Milho	14/08	27/08	16/09	26/09	19/10

A simulação da sucessão aveia-milho proporcionou, para as cinco épocas de semeadura da aveia, datas de semeadura do milho entre a primeira quinzena de agosto e a segunda quinzena de novembro. A utilização de datas de semeadura mais tardias para a cultura do milho resultou em aumento no ciclo médio do milho em relação ao ciclo médio observado para Santa Maria em 6, 8 e 8 dias, para as épocas de semeadura simuladas na primeira quinzena de junho, segunda quinzena de junho e primeira de julho, respectivamente

Na figura 28 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos da cultura do milho em sucessão a aveia, para o sistema II de rotação de culturas.

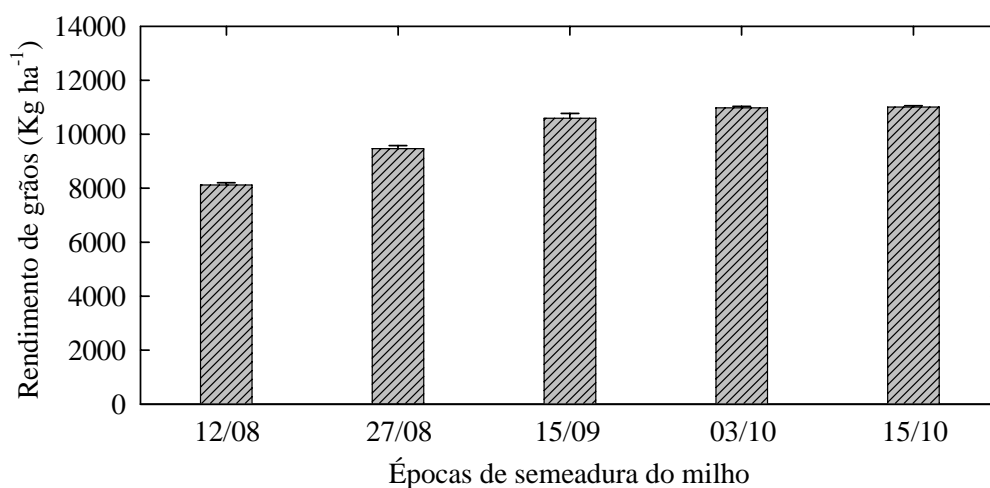


FIGURA 28- Rendimento médio de grãos da cultura do milho estimado para o sistema II de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

O rendimento médio de grãos simulados para a cultura do milho em Cruz Alta foi semelhante ao encontrado para Santa Maria. Aumentou o rendimento médio de grãos da cultura quando foram simuladas datas de semeadura mais tardias. Isso ocorreu, em decorrência da maior quantidade de radiação incidente e da melhor eficiência da interceptação da radiação solar (ANDRADE, 1995).

Na figura 29 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de milho, para as cinco épocas de semeadura. O número médio de

irrigações recomendadas para o desenvolvimento da cultura do milho foi de 26 e a lâmina média necessária para a cultura foi de 246 mm, não havendo diferença entre épocas. No ano agrícola de 1995/96, observou-se a maior lâmina média de irrigação (373 mm) durante o ciclo de desenvolvimento do milho.

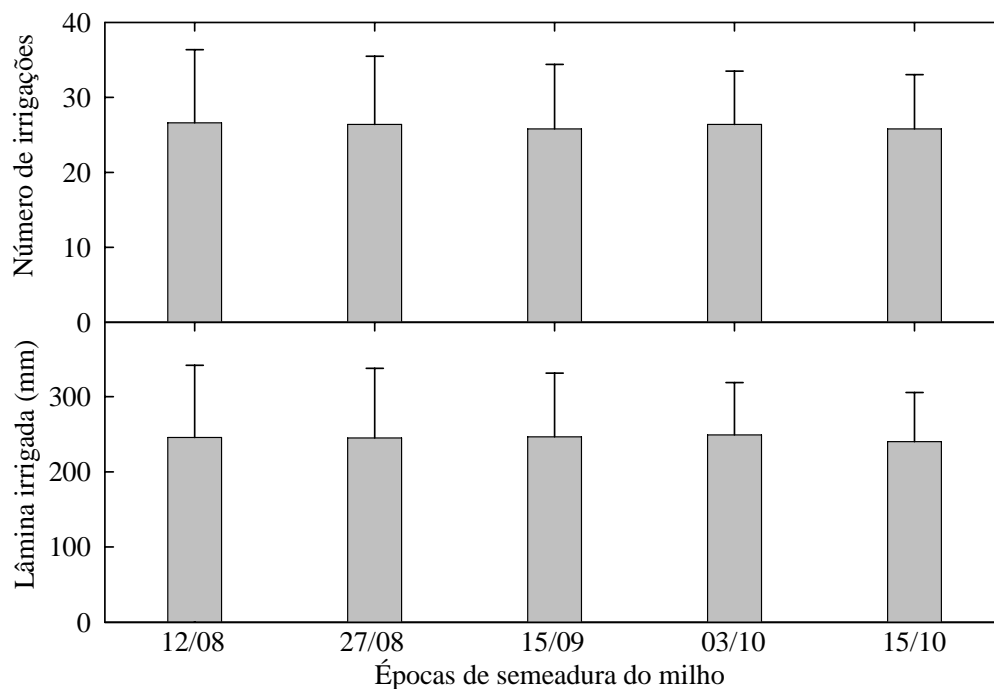


FIGURA 29- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho para as cinco épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 30 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial estimada no período de maior requerimento hídrico da cultura do milho. O déficit hídrico médio estimado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho foi maior nos anos agrícolas 1991/92, 1995/96 e 1999/00, apresentando valores acumulados superiores a 100 mm.

No ano agrícola de 1993/94, apenas as datas de semeadura simuladas na primeira e segunda quinzena de outubro apresentaram déficit hídrico no período de maior exigência hídrica da cultura do milho. No ano agrícola de 1995/96,

foram observados os maiores valores de déficit hídrico (superior a 250 mm) no período de maior exigência hídrica da cultura do milho.

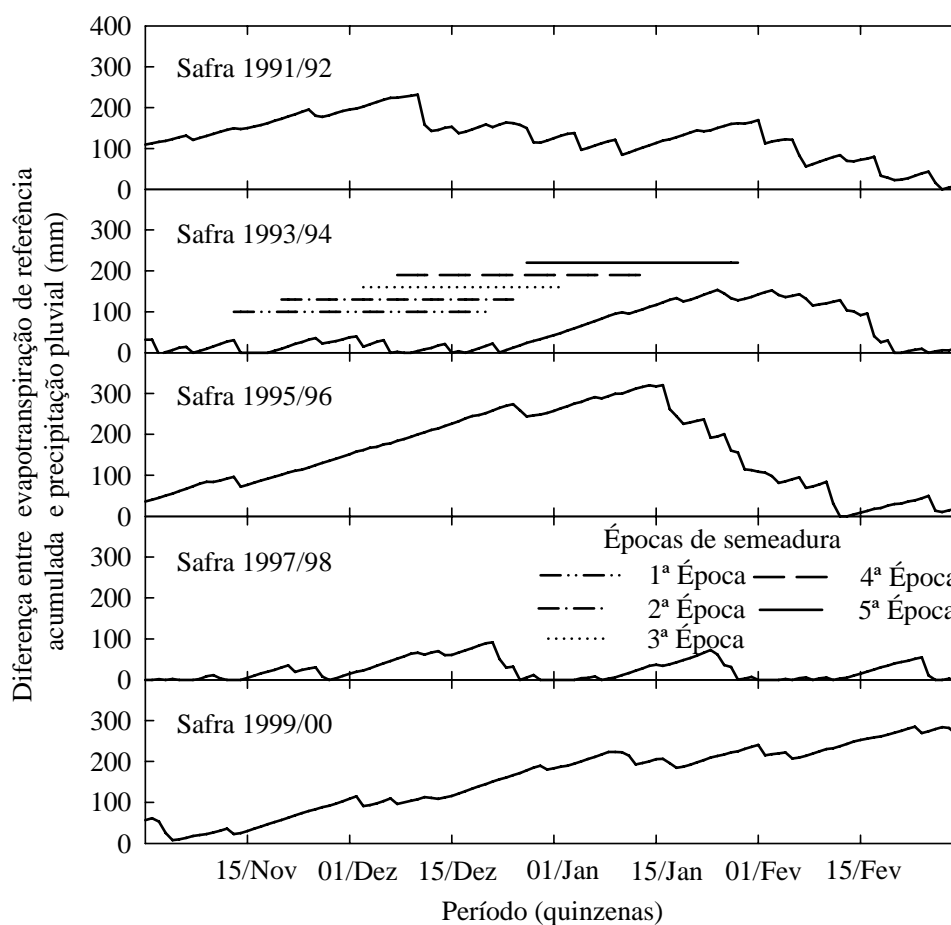


FIGURA 30- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho (linhas tracejadas), em Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na tabela 8 são apresentados os resultados da simulação do sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno. Épocas de semeadura mais tardias ocasionaram redução do número possível de culturas em rotação no 3º, 6º e 9º anos de cultivo. Dessa forma, o sistema III não atendeu aos aspectos considerados importantes por BISSOTO (2001), de acordo com os quais, um sistema de rotação de culturas, deve atender tanto aos aspectos técnicos como aos aspectos econômicos do sistema de produção utilizado.

TABELA 8- Datas de semeadura estimadas para o sistema III de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas do trigo-aveia, em Cruz Alta - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	15/05	08/06	15/06	06/07
1	2	Soja	01/10	17/10	03/11	22/11	22/11
2	1	Aveia Preta	01/05	16/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	28/08	12/09	26/09	12/10
3	1	Trigo	03/05	16/05	01/06	15/06	09/07
3	2	Feijão	28/09	10/10	-	-	-
4	1	Trigo	01/05	16/05	10/06	20/06	01/07
4	2	Soja	08/10	11/10	05/11	12/11	20/11
5	1	Aveia Preta	01/05	17/05	10/06	15/06	10/07
5	2	Milho	13/08	01/09	21/09	29/09	28/10
6	1	Trigo	02/05	19/05	01/06	15/06	01/07
6	2	Feijão	27/09	10/10	20/10	-	-
7	1	Trigo	04/05	15/05	03/06	15/06	01/07
7	2	Soja	02/10	16/10	29/10	12/11	18/11
8	1	Aveia Preta	01/05	15/05	01/06	18/06	01/07
8	2	Milho	12/08	26/08	12/09	18/10	18/10
9	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	18/06	03/07
9	2	Feijão	19/09	06/10	19/10	29/10	-
10	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	15/06	08/07
10	2	Soja	03/10	17/10	27/10	09/11	21/11

A redução no número de culturas em rotação (nos anos em que simulou-se a sucessão trigo-feijão) ocorreu no 3º ano, para as épocas de semeadura do trigo simuladas na primeira quinzena de junho, segunda quinzena junho e primeira quinzena de julho, no 6º ano de cultivo, para as épocas de semeadura do trigo simuladas na segunda quinzena junho e primeira quinzena de julho e no 9º ano de cultivo, para a época de semeadura do trigo simulada na primeira quinzena de julho.

A cultura do feijão safra apresentou duração média do ciclo de 86 dias (período de semeadura até a maturação fisiológica), semelhante ao ciclo observado para Santa Maria. Por outro lado, o ciclo total da cultura variou de 98 dias, para a semeadura simulada em 28 de setembro do 3º ano, a 79 dias, para semeadura simulada em 20 outubro no 6º ano (Tabela 8).

Na figura 31 são apresentados os resultados do rendimento médio de grãos da cultura do feijão safra, para o sistema III de rotação de culturas.

Observou-se redução do rendimento médio de grãos da cultura do feijão safra para as sementeiras mais tardias. O rendimento médio de grãos simulado para a cultura do feijão safra foi de 2184 Kg ha⁻¹.

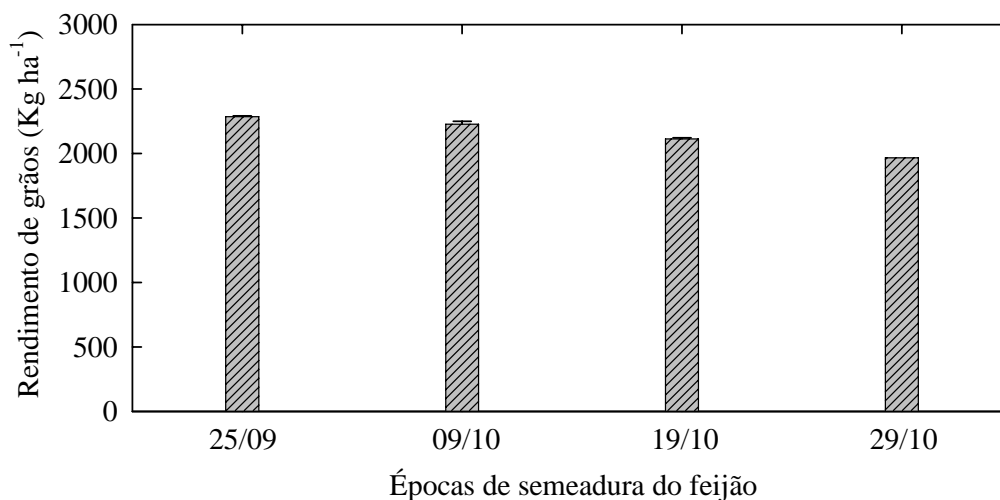


FIGURA 31- Rendimento médio de grãos da cultura do feijão safra estimado para o sistema de III de rotação de culturas, para as quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 32 são apresentados os resultados simulados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações necessárias durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safra, para as cinco épocas de semeadura. O número médio de irrigações necessário foi 21 e a lâmina média de irrigação para atender as necessidades hídricas da cultura foi de 182 mm.

Na figura 33 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, durante o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão. Observou-se que os maiores déficits hídricos no período de maior exigência hídrica da cultura (floração-enchimento de grãos) foram estimados para a terceira (19 de outubro) e quarta (29 de outubro) épocas de semeadura da cultura do feijão (Tabela 8). O ano agrícola de 1995/96 foi o que apresentou os maiores déficits hídricos para todas as épocas de semeadura simuladas.

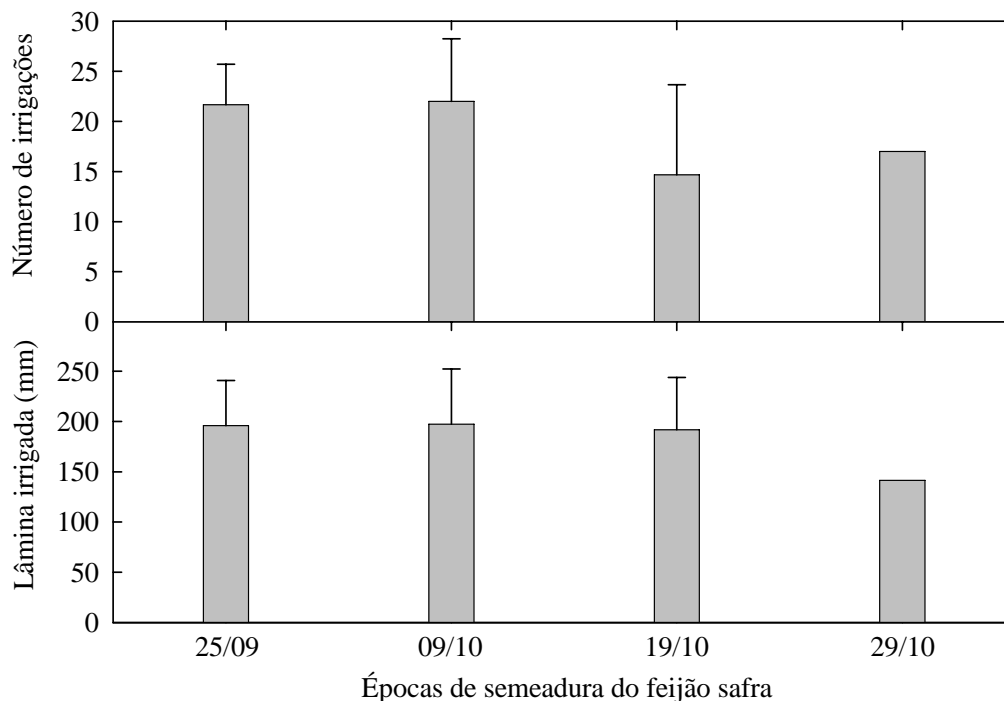


FIGURA 32- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safra, para as quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

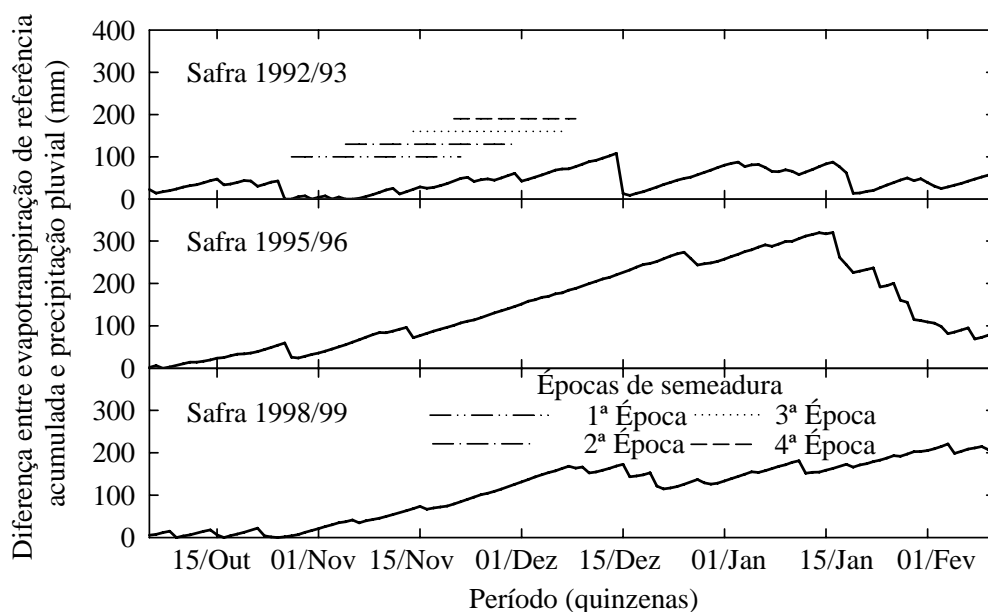


FIGURA 33- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura feijão safra (linhas tracejadas), em Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na tabela 9 são apresentados os resultados da simulação do sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno. O retardamento na semeadura do trigo inviabilizou a simulação das demais culturas em rotação. Dessa forma, observa-se que não foi possível a semeadura da cultura do feijão safra no 3º ano da rotação de culturas, para as datas de semeadura do trigo simuladas na primeira quinzena de junho, segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho, no 6º ano de cultivo para as épocas de semeadura do trigo da segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho, e no 9º ano de cultivo para a época de semeadura do trigo simulada na primeira quinzena de julho.

TABELA 9- Datas de semeadura estimadas para o sistema IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), em Cruz Alta - RS.

Ano	Cultivo	Cultura	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
1	1	Trigo	01/05	15/05	08/06	15/06	06/07
1	2	Soja	01/10	17/10	03/11	22/11	22/11
2	1	Aveia Preta	01/05	16/05	01/06	15/06	01/07
2	2	Milho	12/08	28/08	12/09	26/09	12/10
2	3	Feijão Safrinha	11/01	01/02	14/02	-	-
3	1	Trigo	03/05	06/05	01/06	15/06	09/07
3	2	Feijão	28/09	30/09	-	-	-
3	3	Milho Safrinha	12/01	12/01	07/11	09/11	28/11
4	1	Trigo	01/05	16/05	10/06	20/06	01/07
4	2	Soja	08/10	10/10	04/11	11/11	20/11
5	1	Aveia Preta	01/05	17/05	10/06	15/06	10/07
5	2	Milho	13/08	26/08	21/09	29/09	28/10
5	3	Feijão Safrinha	19/01	25/01	-	-	-
6	1	Trigo	02/05	19/05	01/06	15/06	01/07
6	2	Feijão	27/09	10/10	20/10	-	-
6	3	Milho Safrinha	30/12	11/01	11/01	01/11	08/11
7	1	Trigo	04/05	15/05	03/06	15/06	01/07
7	2	Soja	02/10	16/10	29/10	12/11	18/11
8	1	Aveia Preta	01/05	15/05	01/06	18/06	01/07
8	2	Milho	12/08	26/08	12/09	18/10	18/10
8	3	Feijão Safrinha	11/01	11/02	11/02	-	-
9	1	Trigo	01/05	17/05	01/06	18/06	03/07
9	2	Feijão	19/09	06/10	19/10	29/10	-
9	3	Milho Safrinha	30/12	02/01	15/01	20/01	08/11
10	1	Trigo	01/05	15/05	01/06	15/06	08/07
10	2	Soja	03/10	09/10	27/10	09/11	21/11

Datas em negrito referem-se a cultura do milho safra.

A impossibilidade de semeadura do feijão safra ocorreu em função das datas de final de ciclo do trigo ocorrerem após 30 de outubro, data limite para a semeadura do feijão safra. Sendo, nesse caso, foi simulado o cultivo do milho safra evitando, dessa forma, um longo período de tempo sem cultivo do solo.

Observou-se que na simulação da semeadura do feijão safrinha (sucessão aveia-milho-feijão safrinha) no 5º ano (para a 3ª época de semeadura do milho em 15 de setembro) e no 2º, 5º e 8º ano de cultivo (para a 4ª e 5ª épocas de semeadura do milho, 03 de outubro e 15 de outubro, respectivamente) não foi possível simular a semeadura do feijão safrinha em função das datas de final do ciclo do milho ocorrerem após 15 de fevereiro.

Na figura 34 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do feijão safrinha para o sistema IV de rotação de culturas. As semeaduras simuladas na primeira quinzena de fevereiro (02 de fevereiro) apresentaram o maior rendimento médio de grãos (1700 kg ha^{-1}). Os menores rendimentos médios de grãos foram observados para as semeaduras simuladas em 12 de fevereiro (1006 kg ha^{-1}).

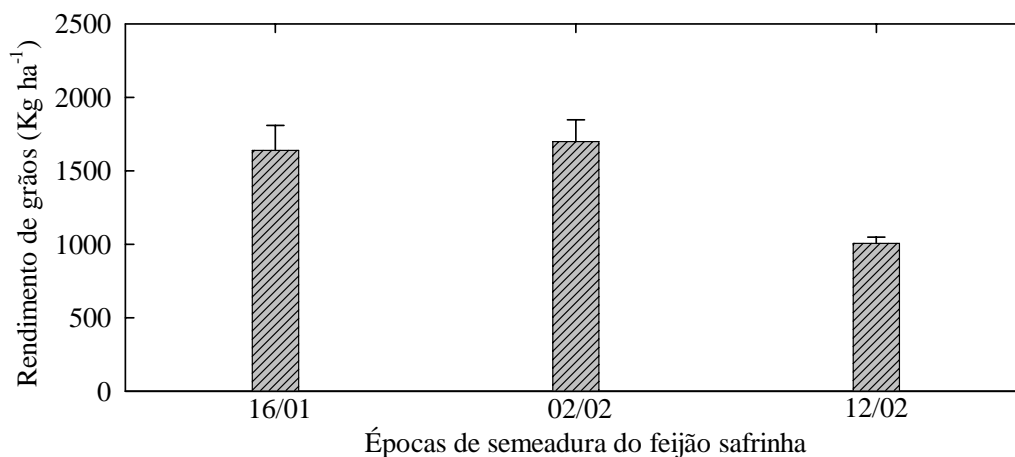


FIGURA 34- Rendimento médio de grãos da cultura do feijão safrinha estimado para o sistema de IV de rotação de culturas, para três épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 35 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safrinha, para três épocas de semeadura. Observou-se que o

número médio de irrigações e a lâmina necessária estimadas para o desenvolvimento do feijão safrinha foram de 6 e 43 mm, respectivamente.

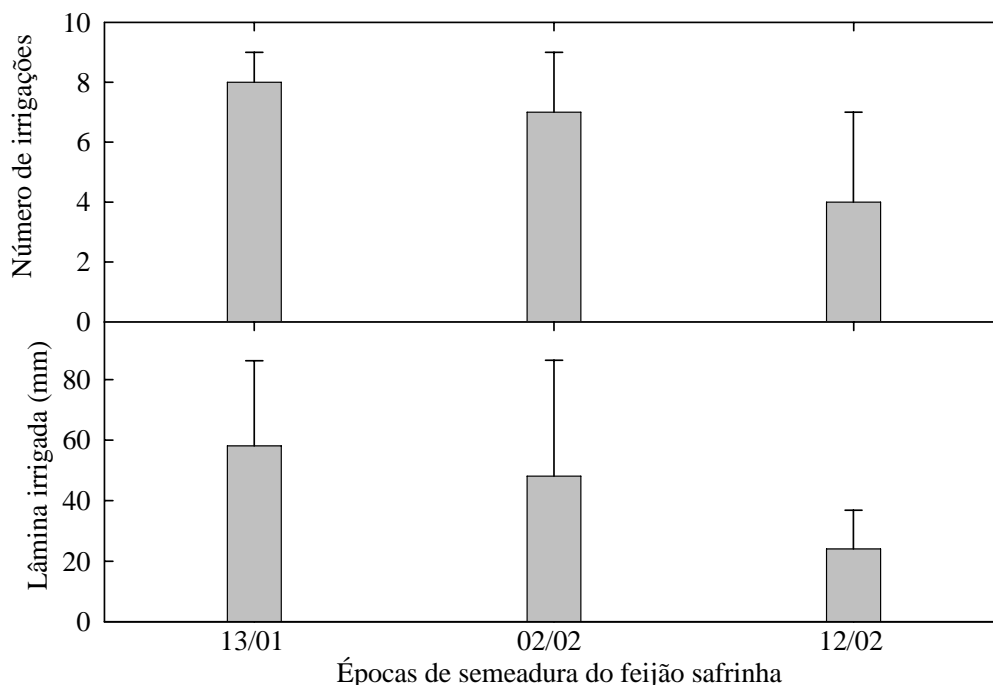


FIGURA 35- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do feijão safrinha, para três épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS - 2004.

Na figura 36 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, determinados para ao período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha em sucessão as culturas da aveia-milho. No ano agrícola de 1994/95 foram estimados déficits hídricos superiores a 60 mm, para o período de maior exigência hídrica da cultura, e nos anos agrícolas de 1991/92 e 1997/98 verificaram-se os menores valores médios de déficit hídrico no período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha (inferiores a 25 mm).

Na figura 37 são apresentados os resultados simulados do rendimento médio de grãos da cultura do milho safrinha para o sistema IV de rotação de culturas.

Os maiores rendimentos médios de grãos (8742 kg ha^{-1}) foram observados para a data de semeadura simulada em 02 de janeiro. Os menores rendimentos médios de grãos (8346 kg ha^{-1}) foram observados para a data de semeadura simulada em 21 de janeiro.

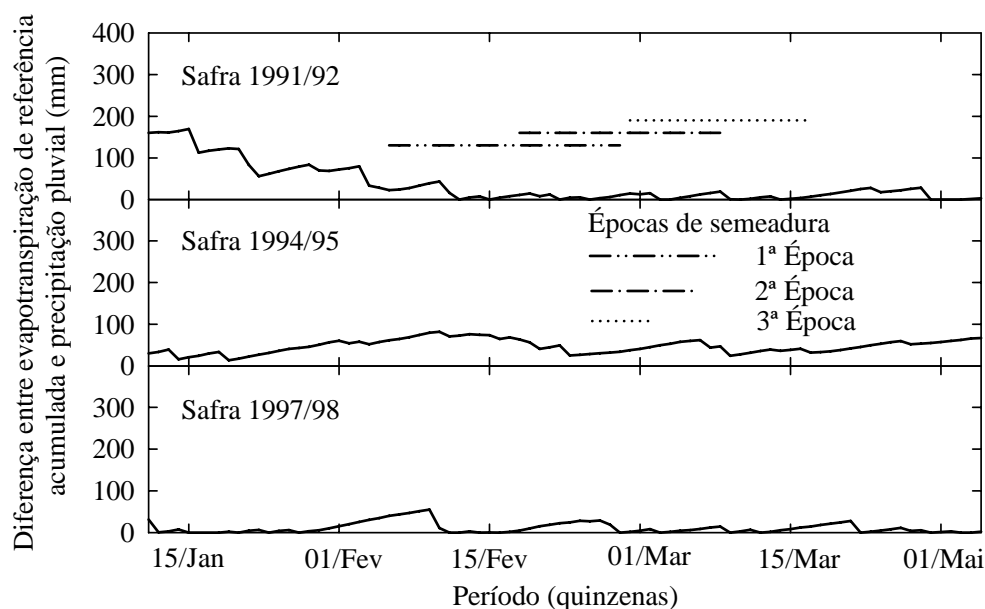


FIGURA 36- Diferença entre evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do feijão safrinha (linhas tracejadas), em Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 38 são apresentados os resultados da lâmina irrigada e do número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho safrinha, para quatro épocas de semeadura. O número médio de irrigações e a lâmina necessária para o desenvolvimento do milho safrinha foram de 15 e 139 mm, respectivamente.

Na figura 39 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, determinados no período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha. No ano agrícola de 1998/99 os maiores valores de déficits hídricos (superiores a 200 mm) ocorreram no período de maior exigência hídrica da cultura, em decorrência do menor número de precipitações pluviais no período. No ano agrícola de 1995/96

os valores de déficit hídrico determinados durante o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha foram inferiores a 40 mm. No ano agrícola de 1992/93 foram observados valores de déficit hídrico entre 50 mm e 120 mm, durante o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha

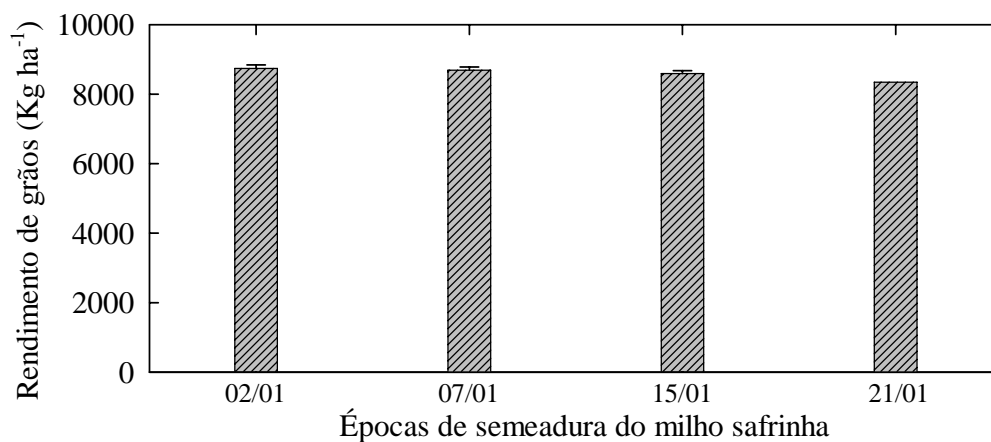


FIGURA 37- Rendimento médio de grãos da cultura do milho safrinha estimado para o sistema de IV de rotação de culturas, para quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

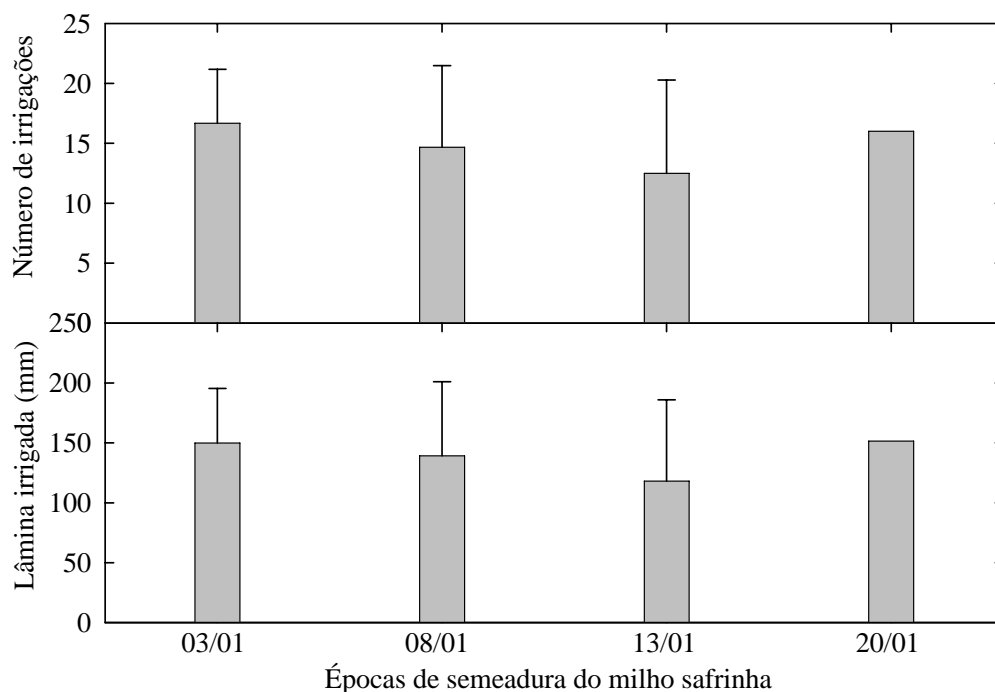


FIGURA 38- Lâmina irrigada e número médio de irrigações simuladas durante o ciclo de desenvolvimento do milho safrinha, para quatro épocas de semeadura, em Cruz Alta - RS. As barras verticais representam o desvio padrão. Santa Maria - RS- 2004.

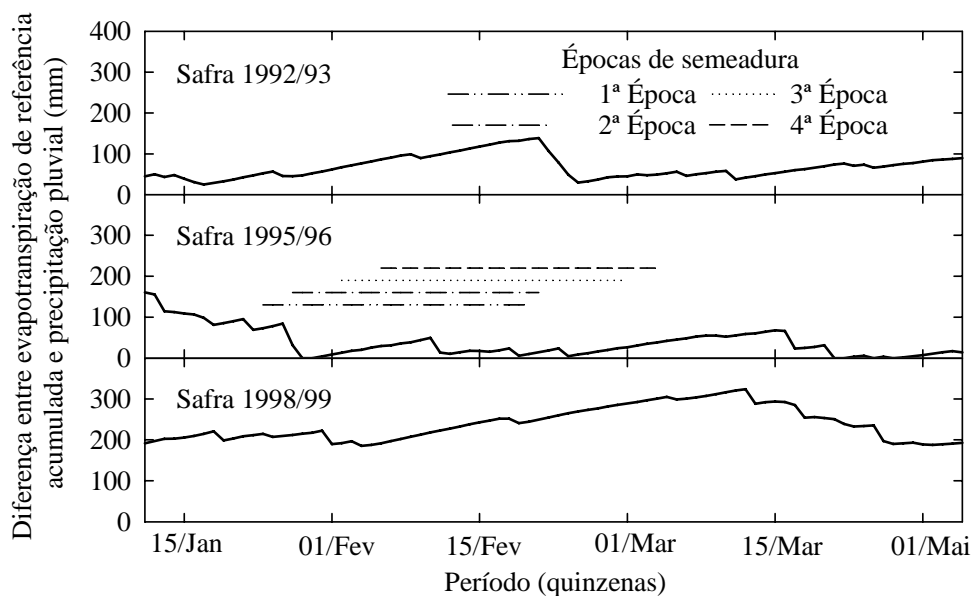


FIGURA 39- Diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, simulado para o período de maior exigência hídrica da cultura do milho safrinha (linhas tracejadas), para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

5.3- Lâmina de irrigação estimada por cultura para Santa Maria e Cruz Alta

Na figura 40 é apresentada a diferença média entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, estimada para Santa Maria e Cruz Alta. Ocorreu déficit hídrico no período entre 10 de agosto (data de semeadura simulada para as culturas de verão) e 20 abril (data final de ciclo para a última cultura de verão). Durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril a diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, determinada para Cruz Alta é na média 25% maior que a determinada para Santa Maria.

A diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e a precipitação pluvial, estimada para Cruz Alta, foi inferior a 30 mm, entre a primeira quinzena de agosto e a primeira de novembro. Por outro lado, a partir da segunda quinzena de novembro até a primeira quinzena de abril está diferença aumentou para valores superiores a 85 mm.

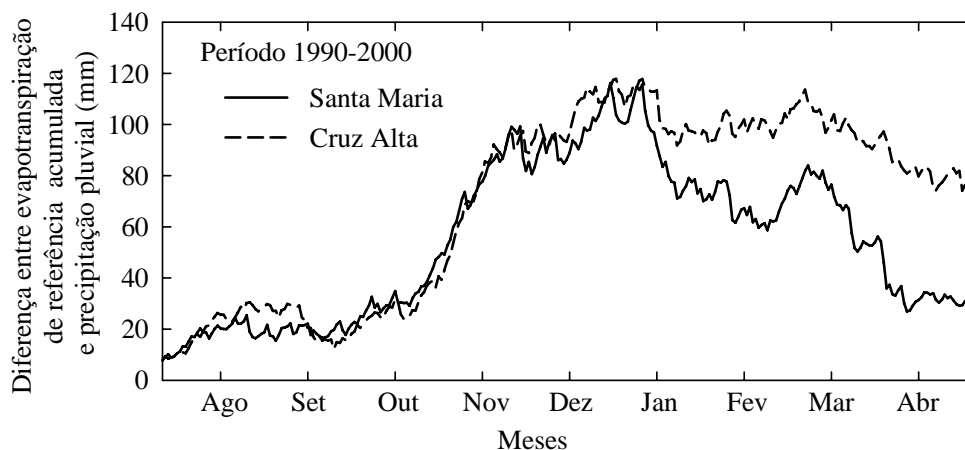


FIGURA 40- Diferença entre a evapotranspiração de referência acumulada e precipitação pluvial, estimada entre 10 de agosto e 20 de abril, no período de 1990-2000, para Santa Maria e Cruz Alta- RS. Santa Maria - RS- 2004.

Nas figuras 41, 42, 43, 44 e 45 são apresentados os valores acumulados da lâmina de irrigação máxima, média e mínima, simulados para atender as necessidades hídricas das culturas da soja, milho, feijão safra, feijão safrinha e milho safrinha, respectivamente, para Santa Maria e Cruz Alta.

Na figura 43 verifica-se que a lâmina máxima de irrigação simulada para a cultura da soja, para a semeadura simulada em 05 e 15 de outubro foi de 250 mm. Da mesma forma, para Santa Maria a lâmina máxima simulada de irrigação necessária para a cultura foi de 220 mm.

A lâmina mínima acumulada de irrigação simulada para Cruz Alta, foi menor que a lâmina mínima acumulada de irrigação necessária para Santa Maria, com exceção das semeaduras realizadas em 15 de novembro que apresentaram lâminas semelhantes (55 mm). A menor lâmina de irrigação simulada para atender as necessidades hídricas da cultura da soja foi de 30 mm, observada para Cruz Alta, para semeadura realizada em 25 de outubro.

Na figura 42 são apresentados os valores da lâmina de irrigação máxima, média e mínima, por época de semeadura, para atender as necessidades hídricas da cultura do milho. A lâmina máxima acumulada para atender as necessidades hídricas do milho foi de 380 mm, para a semeadura realizada em 12 de agosto em Santa Maria, que apresentou os menores valores de lâminas mínimas, para todas

as épocas de semeadura simuladas em comparação com Cruz Alta. A exceção da semeadura realizada em 15 de setembro, onde, a lâmina mínima acumulada de irrigação para Cruz Alta foi 7mm menor que a observada para Santa Maria.

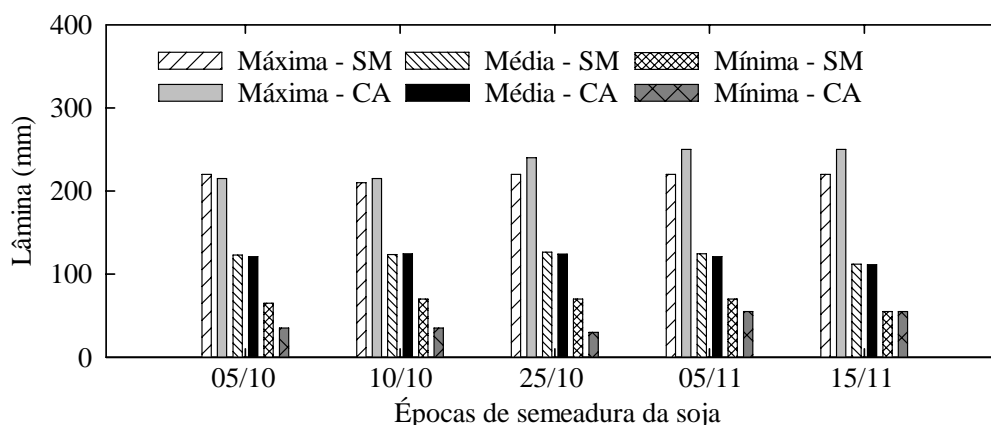


FIGURA 41- Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da soja, para as cinco épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS-2004.

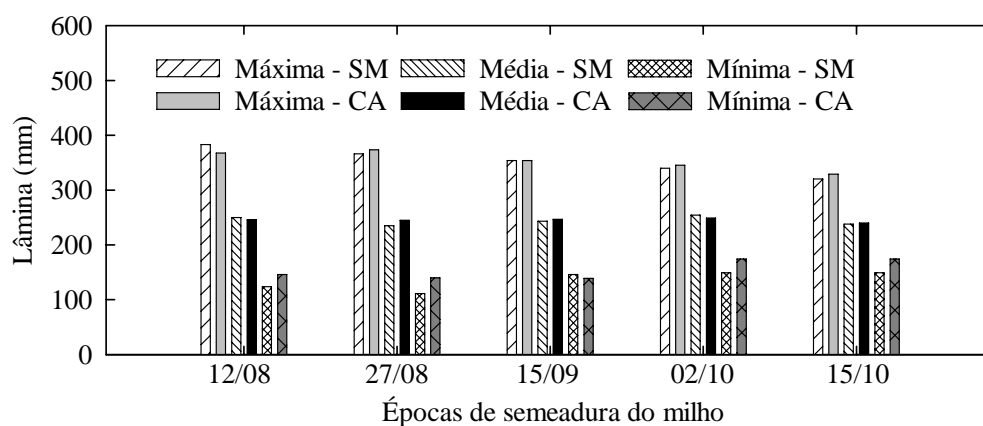


FIGURA 42- Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, para as cinco épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 43 são apresentados os valores da lâmina de irrigação máxima, média e mínima estimados para atender as necessidades hídricas da cultura do feijão safra. A lâmina máxima de irrigação foi observada em Santa Maria (270 mm) para as datas de semeadura realizadas em 10 de outubro e 20 de outubro. A menor lâmina mínima acumulada (75 mm) foi observada para Santa Maria, para a

data de semeadura realizada em 25 de setembro, onde observa-se lâmina máxima de 40% e mínima de 55% menor, que a observada para Cruz Alta.

Na figura 44 são apresentados os valores da lâmina de irrigação máxima, média e mínima estimados para atender as necessidades hídricas da cultura do feijão safrinha. Para Cruz Alta a lâmina máxima de irrigação simulada para a cultura do feijão safrinha foi de 91 mm, para a semeadura realizada em 01 de fevereiro. Por outro lado, a maior lâmina máxima simulada para Santa Maria foi de 87 mm, para a semeadura realizada em 08 de fevereiro. Cruz Alta apresentou os menores valores de lâminas mínimas acumulada para as três épocas de semeadura simuladas, em comparação com Santa Maria.

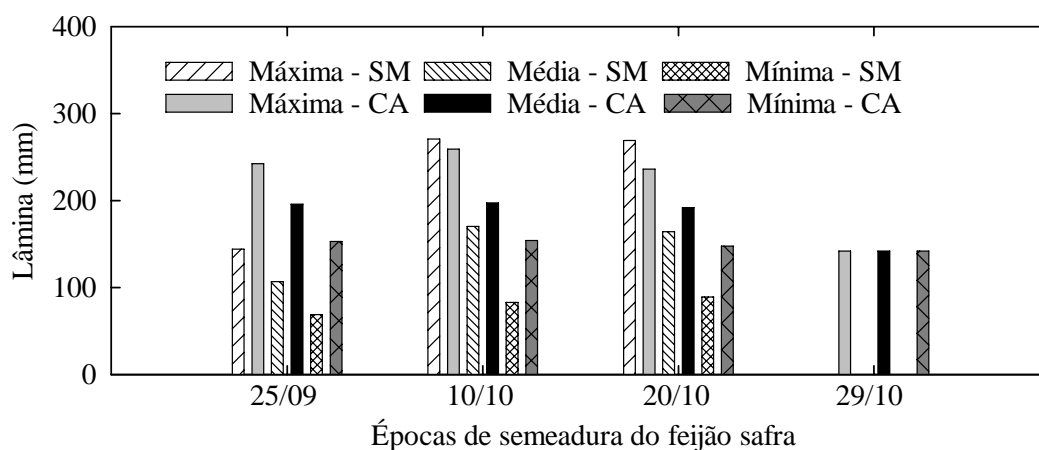


FIGURA 43- Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safrinha, para as quatro épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na figura 45 são apresentados os valores estimados da lâmina máxima, média e mínima de irrigação para atender as necessidades hídricas da cultura do milho safrinha. Cruz Alta apresentou os maiores valores de lâmina de irrigação máxima acumulada para as quatro épocas de semeadura simuladas da cultura do milho safrinha, em comparação com os valores observados em Santa Maria. Os menores valores de lâmina mínima acumulada para suprir as exigências hídricas da cultura foram observados para a data de semeadura simulada em 15 de janeiro para Santa Maria e Cruz Alta.

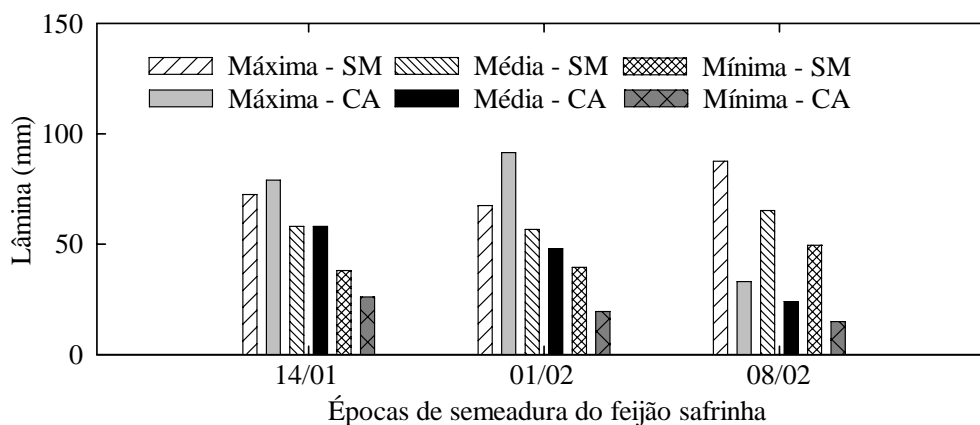


FIGURA 44- Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão safrinha, para as três épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

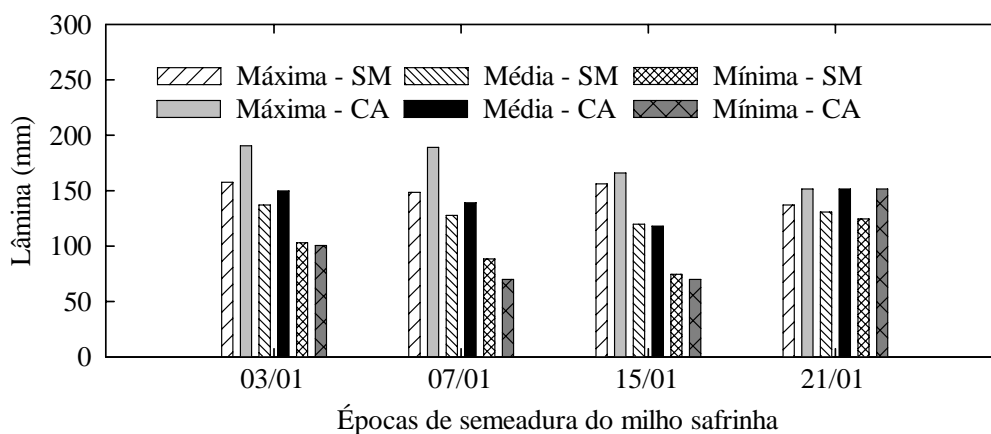


FIGURA 45- Lâmina máxima, média e mínima de irrigação simulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho safrinha, para as quatro épocas de semeadura, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Para as culturas da soja, milho e milho safrinha, feijão e feijão safrinha, para Santa Maria e Cruz Alta, para todos os anos e épocas de semeadura simulados, houve necessidade de complementação das necessidades hídricas das culturas através de irrigação.

A lâmina de irrigação acumulada necessária para atender as necessidades hídricas das culturas da soja, milho e milho safrinha, feijão e feijão safrinha variou com a época de semeadura, local de cultivo e principalmente com o ano de cultivo.

5.4- Análise de investimento

Na figura 46 são apresentadas as receitas líquidas obtidas para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas para Santa Maria.

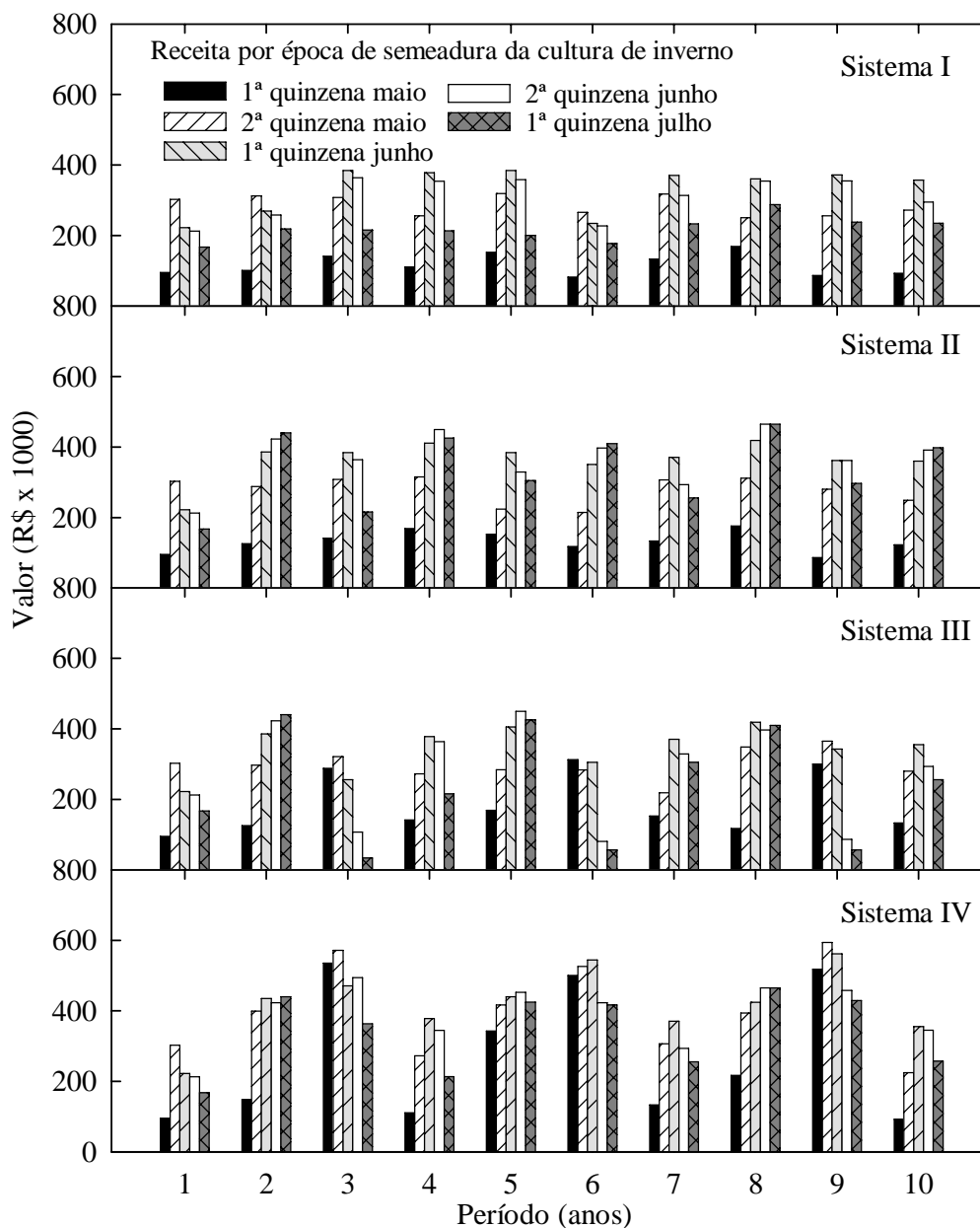


FIGURA 46- Receitas líquidas estimadas para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS-2004.

As menores receitas líquidas foram observadas para o sistema III de rotação de culturas no 3º, 6º e 9º ano de cultivo para as épocas de semeadura da

cultura de inverno realizado na segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho. Isso ocorreu devido a impossibilidade de simular a semeadura da cultura do feijão safra. Para o sistema IV de rotação de culturas os maiores valores de receita líquida foram observados no 3º, 6º e 9º ano da simulação, para as épocas de semeadura realizada na primeira e segunda quinzenas de maio e primeira quinzena de junho.

Nas figuras 47, 48, 49 e 50 são apresentadas as receitas líquidas acumuladas, para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, respectivamente, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia).

No sistema I de rotação de culturas sucessão trigo-soja, as semeaduras realizadas na segunda quinzena de maio, primeira quinzena de junho e segunda quinzena de junho, apresentaram o menor tempo para o retorno do investimento, sendo esse entre o 4º e o 5º ano de cultivo (Figura 47). Por outro lado, a receita líquida obtida com as culturas semeadas na primeira quinzena de maio foi a que apresentou o maior tempo de retorno do investimento (entre o 10º e o 11º ano de cultivo).

O menor tempo para o retorno do investimento estimado para o sistema II de rotação de culturas (entre o 3º e o 4º ano de cultivo) ocorreu para as épocas de semeadura realizadas na primeira quinzena de junho, segunda quinzena junho e primeira quinzena de julho (Figura 48). Para a época de semeadura realizada na segunda quinzena de maio o tempo de retorno do investimento foi estimado entre o 4º e o 5º ano da rotação de culturas. O maior tempo para o retorno do investimento (entre o 9º e 10º ano de cultivo) foi observado para a semeadura realizada na primeira quinzena maio.

As épocas de semeadura realizadas na segunda quinzena de maio, primeira quinzena de junho, segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho (Figura 49), foram as que apresentaram o menor tempo para o retorno do investimento (entre o 4º e o 5º ano de cultivo) para o sistema III de rotação de culturas. A época de semeadura simulada na primeira quinzena de maio apresentou o tempo de retorno do investimento entre o 6º e 7º ano da rotação de culturas.

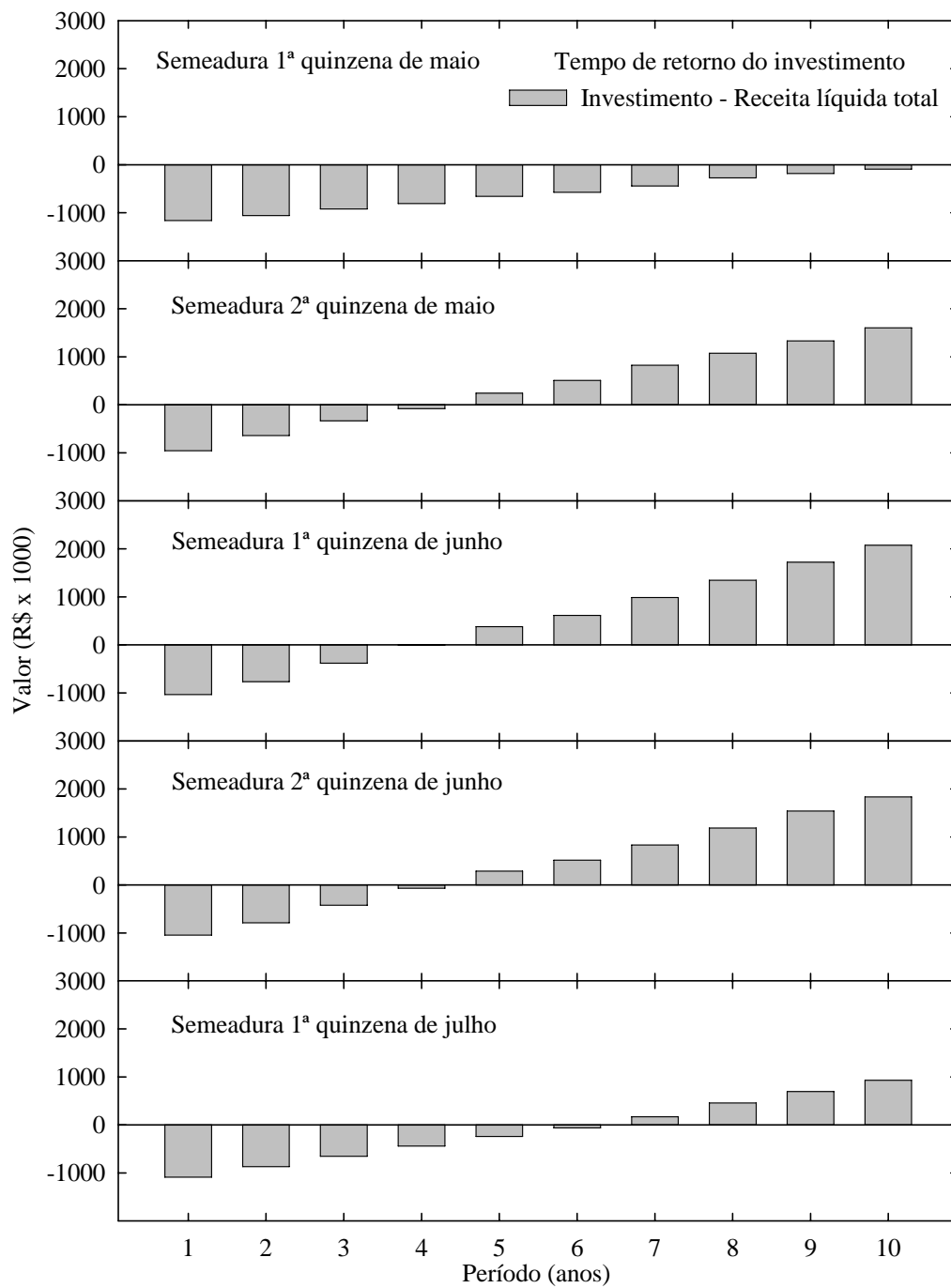


FIGURA 47- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema I de rotação de culturas, para as cinco épocas de sementeira das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

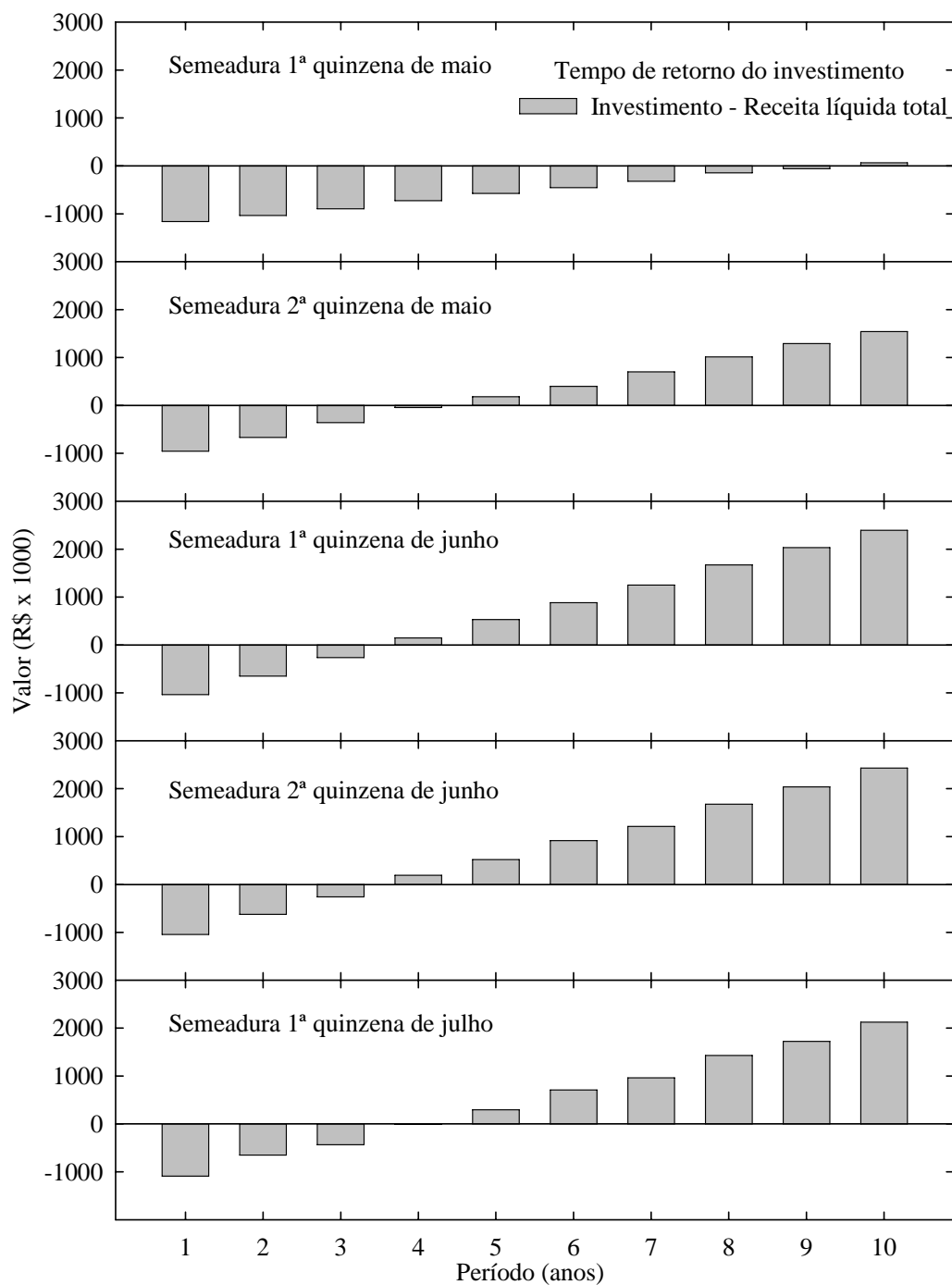


FIGURA 48- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

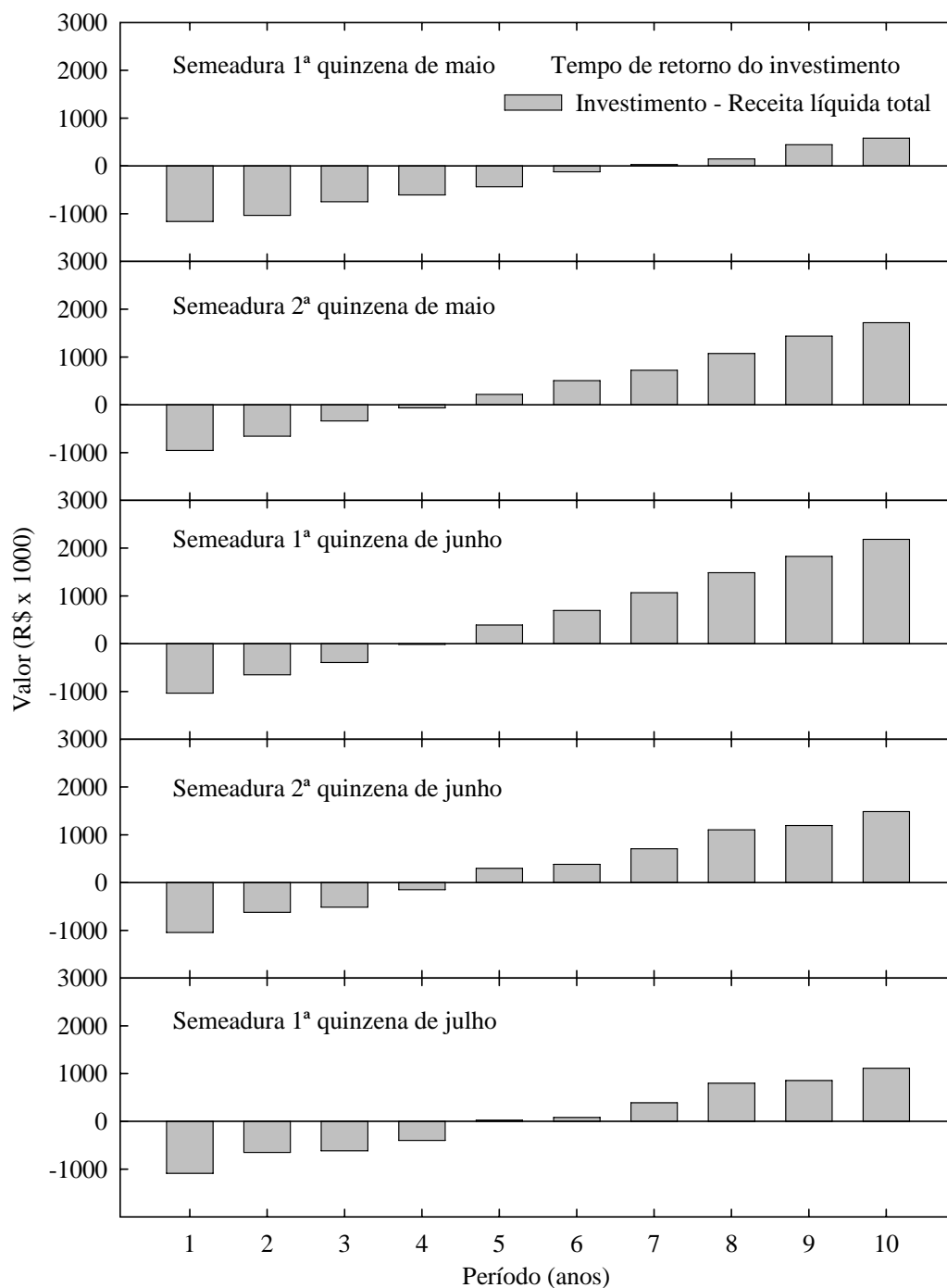


FIGURA 49- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria – RS. Santa Maria - RS- 2004.

O menor tempo de retorno sobre o capital investido (entre o 2º e o 3º ano de cultivo) para o sistema IV de rotação de culturas, foi observado na época de semeadura simulada na segunda quinzena de maio (Figura 50). Para as épocas de semeadura realizadas na primeira e segunda quinzenas de junho, o tempo de retorno do investimento foi observado entre o 3º e o 4º ano de cultivo. O tempo de retorno do investimento para as épocas de semeadura simuladas na segunda quinzena de junho e primeira quinzena de maio ocorreu entre o 4º e o 5º e 5º e o 6º ano da rotação de culturas, respectivamente.

Na figura 51 é apresentada a receita líquida acumulada observada com a alternativa de investimento em aquisição de terras (134,22 ha), com a produção de trigo-soja em sucessão, em Santa Maria. O tempo de retorno do investimento em relação à receita líquida foi verificado entre 4º e o 5º ano de cultivo.

Na tabela 10 é apresentada a estimativa da receita líquida acumulada nos sistemas I, II, III e IV de rotação de cultura. A semeadura das culturas de inverno realizadas na primeira quinzena de junho propiciou o maior retorno econômico para os sistemas I, III e IV de rotação de culturas. No entanto, a época de semeadura realizada na segunda quinzena de junho apresentou o maior retorno econômico para o sistema II de rotação de culturas. Comparando-se a receita líquida acumulada para os sistemas I, II, III e IV de rotação de cultura, os sistemas que apresentaram o melhor resultado econômico (capital acumulado no final do período) foram, por ordem decrescente, os sistemas IV, II, III e I de rotação de culturas.

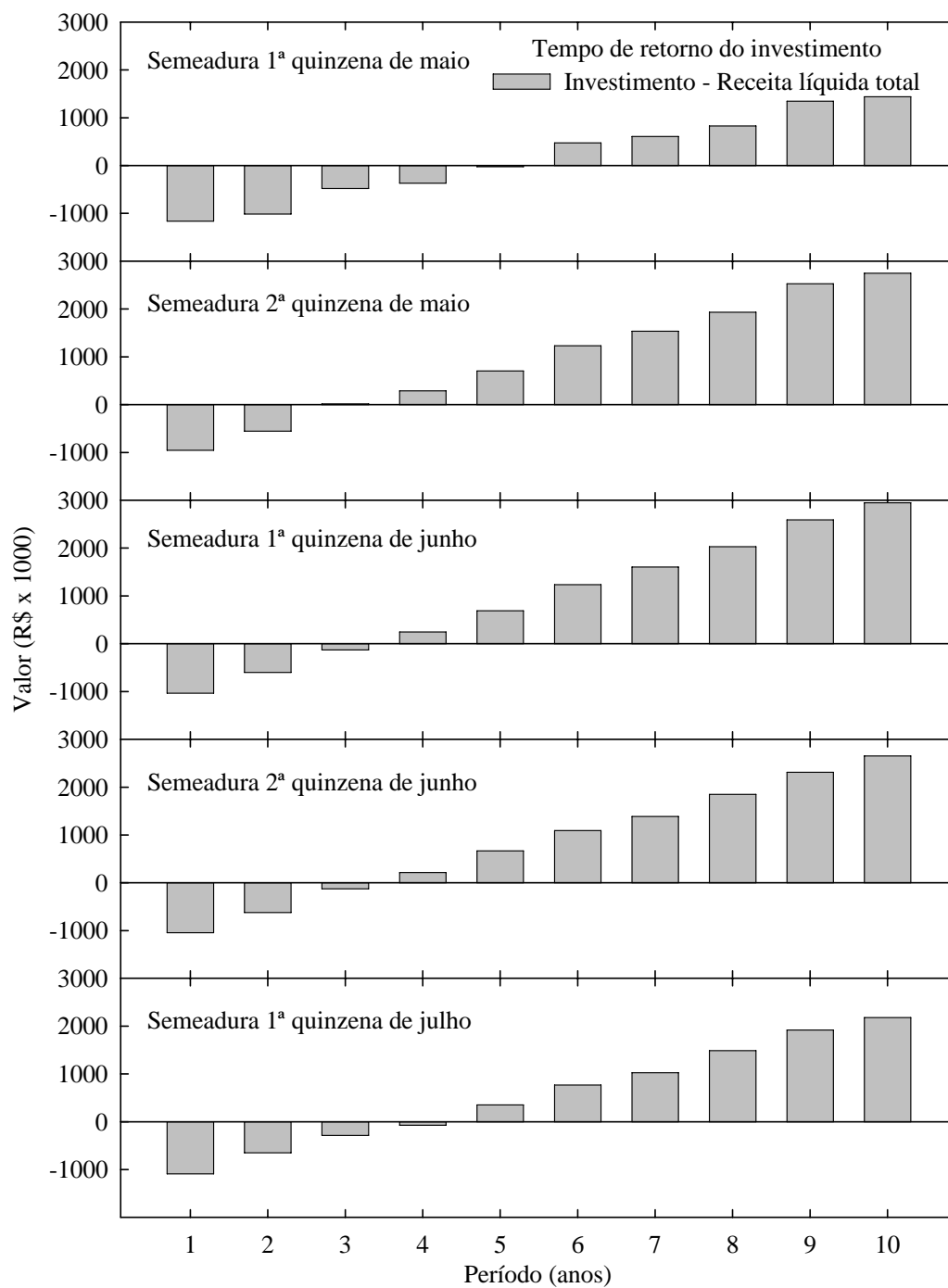


FIGURA 50- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

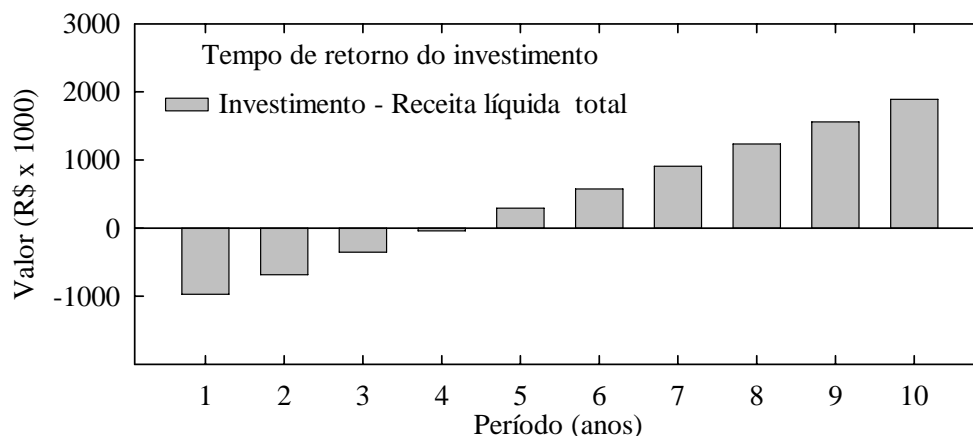


FIGURA 51- Receitas líquidas acumuladas estimadas para alternativa de investimento aquisição de terras, para Santa Maria - RS. Santa Maria - RS- 2004.

TABELA 10- Acúmulo de capital em reais (R\$) estimados para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), para Santa Maria - RS.

Rotação de culturas	Receita líquida acumulada (R\$ x1000)					Média
	Época de semeadura das culturas de inverno (quinzenas)					
	1ª Maio	2ª Maio	1ª junho	2ª Junho	1ª julho	
Sistema I	1165	2860	3334	3093	2188	2528
Sistema II	1321	2800	3649	3688	3379	2967
Sistema III	1837	2974	3440	2744	2367	2672
Sistema IV	2695	4007	4203	3912	3433	3650

Na tabela 11 é apresentada a análise do capital acumulado para as alternativas de investimento em irrigação, aquisição de terras e aplicação financeira. A receita líquida acumulada com a utilização do investimento em irrigação resultou com a semeadura realizada na primeira quinzena de junho para os sistemas I, III e IV de rotação de culturas e segunda quinzena de junho para o sistema II de rotação de culturas, o melhor retorno econômico (Tabela 10). Esses resultados indicam que após o pagamento do investimento inicial e dentro do prazo de 10 anos, é possível a aquisição adicional de 221, 259, 233, 314 hectares de terra com as receitas líquidas acumuladas nos sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, respectivamente.

O investimento em terra, no final do período de 10 anos possibilita a aquisição de 202 hectares adicionais. Entretanto, a alternativa de investimento em aplicação financeira possibilita a aquisição de 309 hectares.

TABELA 11- Estimativa do número de hectares possíveis de serem adquiridos na análise de investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação pivô central, aquisição de terras e aplicação financeira, para Santa Maria- RS.

Itens	Aplicação financeira		Irrigação			
	Terra	Terra	Rotação de culturas			
			Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV
Valor do investimento*	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258
Valor do ha de terra *	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37
Receita líquida acumulada no período - valor do investimento *	2.895	1.892	2.076	2.429	2.182	2.945
Nº. de ha possíveis de serem adquiridos com a receita acumulada	309	202	221	259	233	314

*Valor em R\$ x 1000.

Na figura 52 são apresentadas as receitas líquidas obtidas para o sistema I, II, III e IV de rotação de culturas para Cruz Alta. As menores receitas líquidas foram observadas para o sistema III de rotação de culturas no 3º, 6º e 9º ano da rotação para a época de semeadura da cultura de inverno realizada na primeira quinzena de julho. Isso ocorreu devido a impossibilidade de realizar a semeadura da cultura do feijão safra. Para o sistema IV de rotação de culturas observou-se os maiores valores de receita líquida no 3º, 6º e 9º ano da rotação, para as épocas de semeadura realizadas na primeira e segunda quinzenas de maio e primeira quinzena de junho, respectivamente.

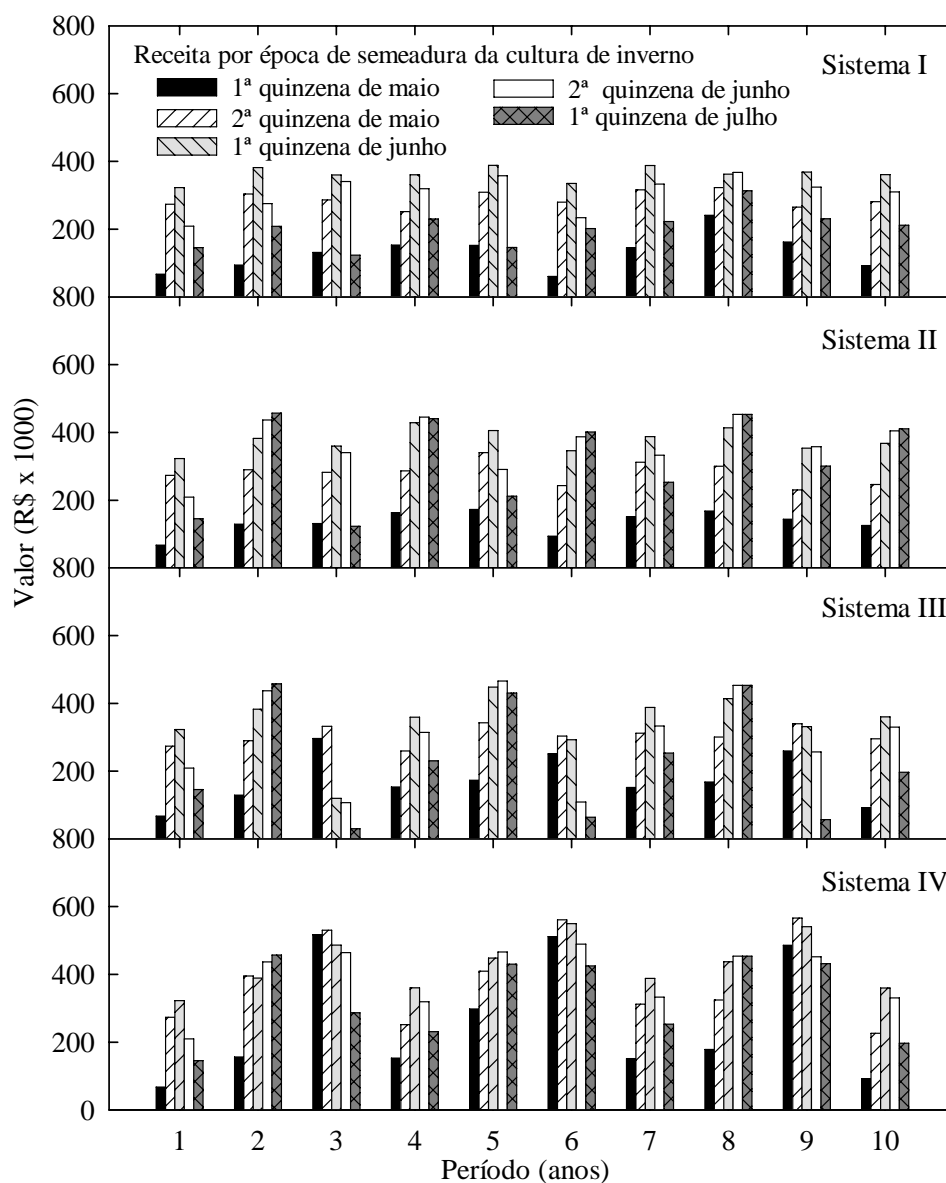


FIGURA 52- Receitas líquidas estimadas para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Nas figuras 53, 54, 55 e 56 são apresentadas a receitas líquidas acumuladas, para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, respectivamente, ocorrida nas cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia).

No sistema I de rotação de culturas (Figura 53), a semeadura realizada na primeira quinzena de junho apresentou o menor tempo de retorno do investimento, sendo esse entre o 3º e o 4º ano de cultivo. As épocas de semeadura

realizadas na segunda quinzena de maio e primeira quinzena de junho apresentaram o tempo de retorno do investimento entre o 4º e o 5º ano de cultivo. O maior tempo de retorno do investimento (entre o 9º e o 10º ano de cultivo) para o sistema I de rotação de culturas foi observado para a época de semeadura realizada na primeira quinzena de maio.

O menor tempo de retorno do investimento no sistema II de rotação de culturas (Figura 54) foi observado para as épocas de semeadura realizada na primeira quinzena de junho e segunda quinzena de julho (entre o 3º e o 4º ano de cultivo). Nas épocas de semeadura realizadas na segunda quinzena de maio e primeira quinzena de julho, o tempo de retorno do investimento foi observado entre o 4º e o 5º ano de cultivo. O maior tempo de retorno do investimento para o sistema II de rotação de culturas foi observado no 9º ano de cultivo, para a época de semeadura realizada na primeira quinzena maio.

As semeaduras realizadas na segunda quinzena de maio, primeira quinzena de junho, segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho foram as que apresentaram o menor tempo de retorno do investimento para o sistema III de rotação de culturas (Figura 55), sendo esse observado entre o 4º e o 5º ano de cultivo. Para a época de semeadura realizada na primeira quinzena de maio, o tempo estimado de retorno do investimento em sistemas de irrigação ocorreu no 7º e o 8º ano de cultivo.

As semeaduras realizadas na segunda quinzena de maio, primeira quinzenas de junho e segunda quinzenas de junho resultaram em um tempo de retorno do investimento entre o 3º e o 4º ano de cultivo (Figura 56). Para as épocas de semeadura realizadas na primeira quinzena de maio e primeira quinzena de julho, o tempo de retorno do investimento foi observado entre o 5º e o 6º e 4º e o 5º ano de cultivo, respectivamente.

Na figura 57 é apresentada a receita líquida acumulada com a alternativa de investimento em aquisição de terras (134,22 ha), obtida com a produção de trigo-soja em sequeiro, em Cruz Alta. Observou-se que o tempo de retorno do investimento em relação à receita líquida foi estimado entre 4º e o 5º ano de cultivo.

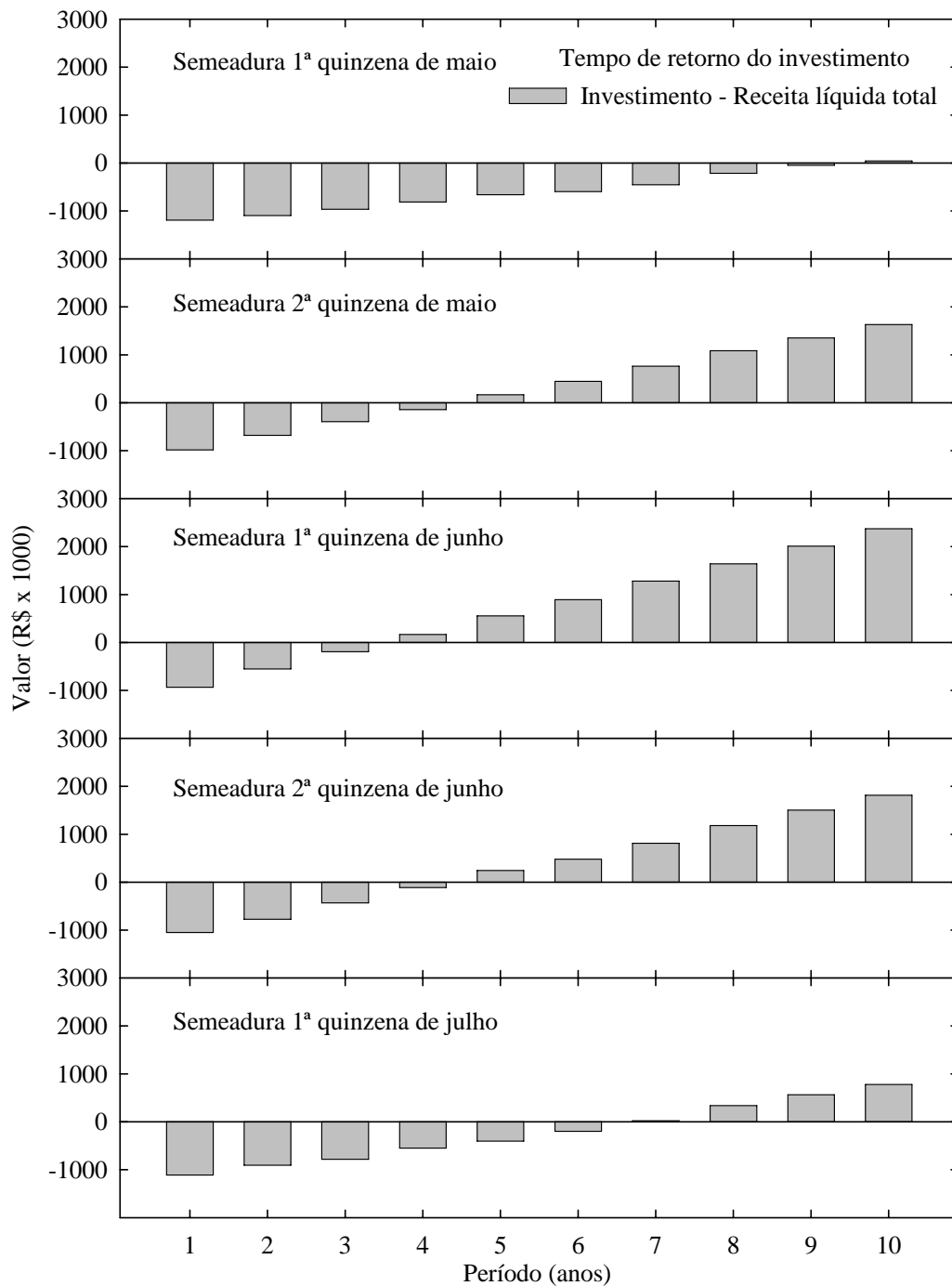


FIGURA 53- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema I de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

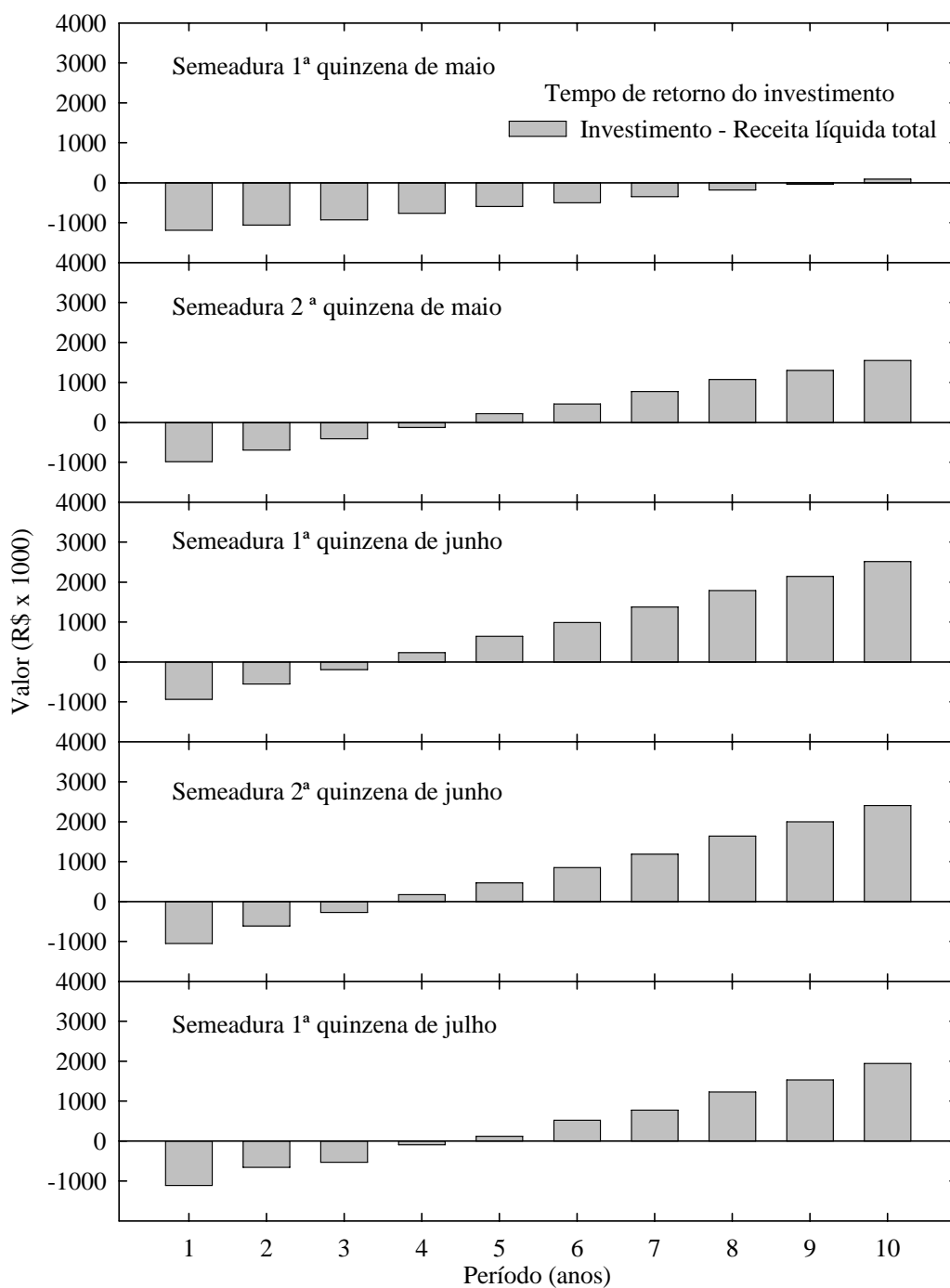


FIGURA 54- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema II de rotação de culturas, para as cinco épocas de sementeira das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

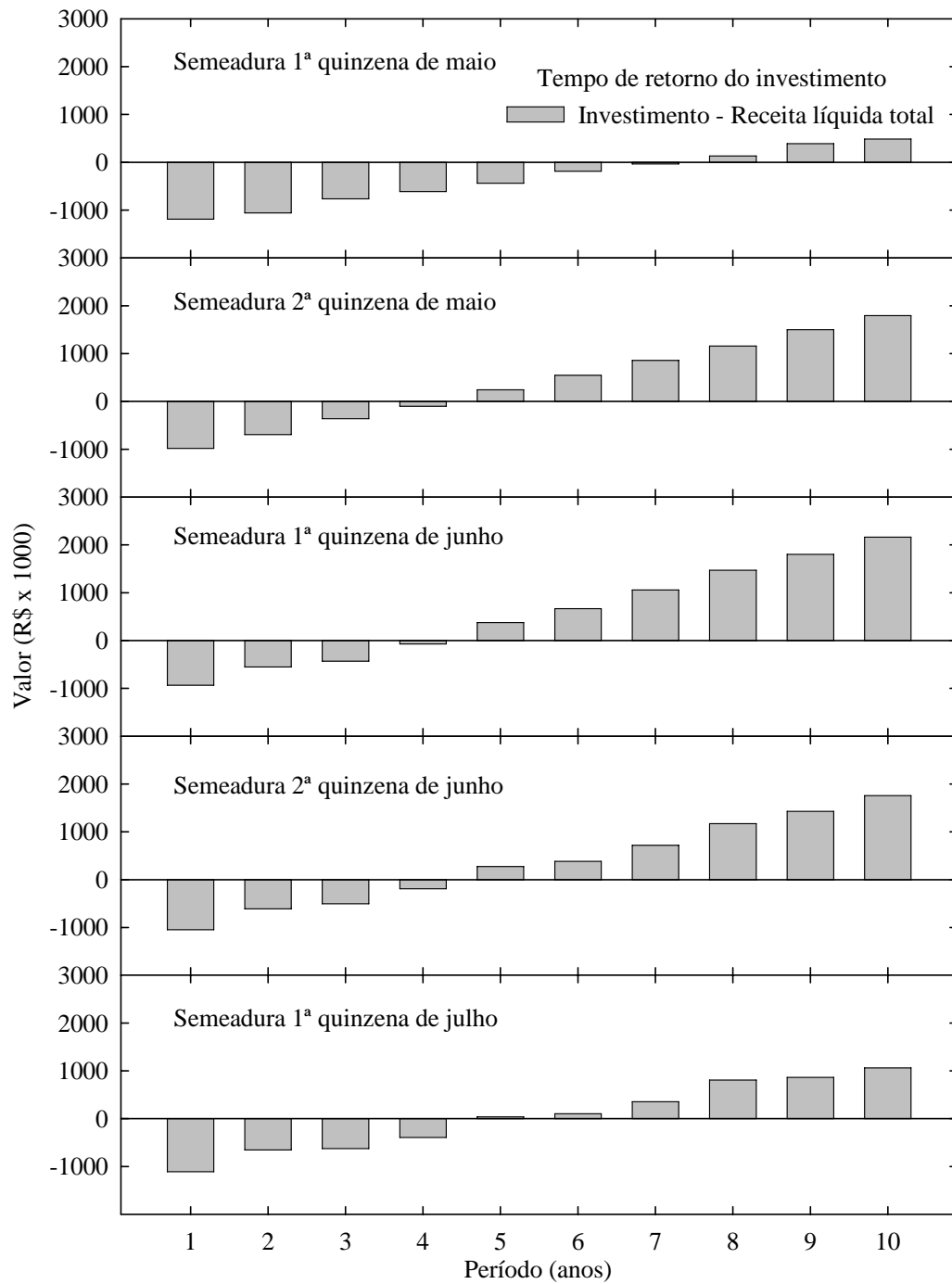


FIGURA 55- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema III de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

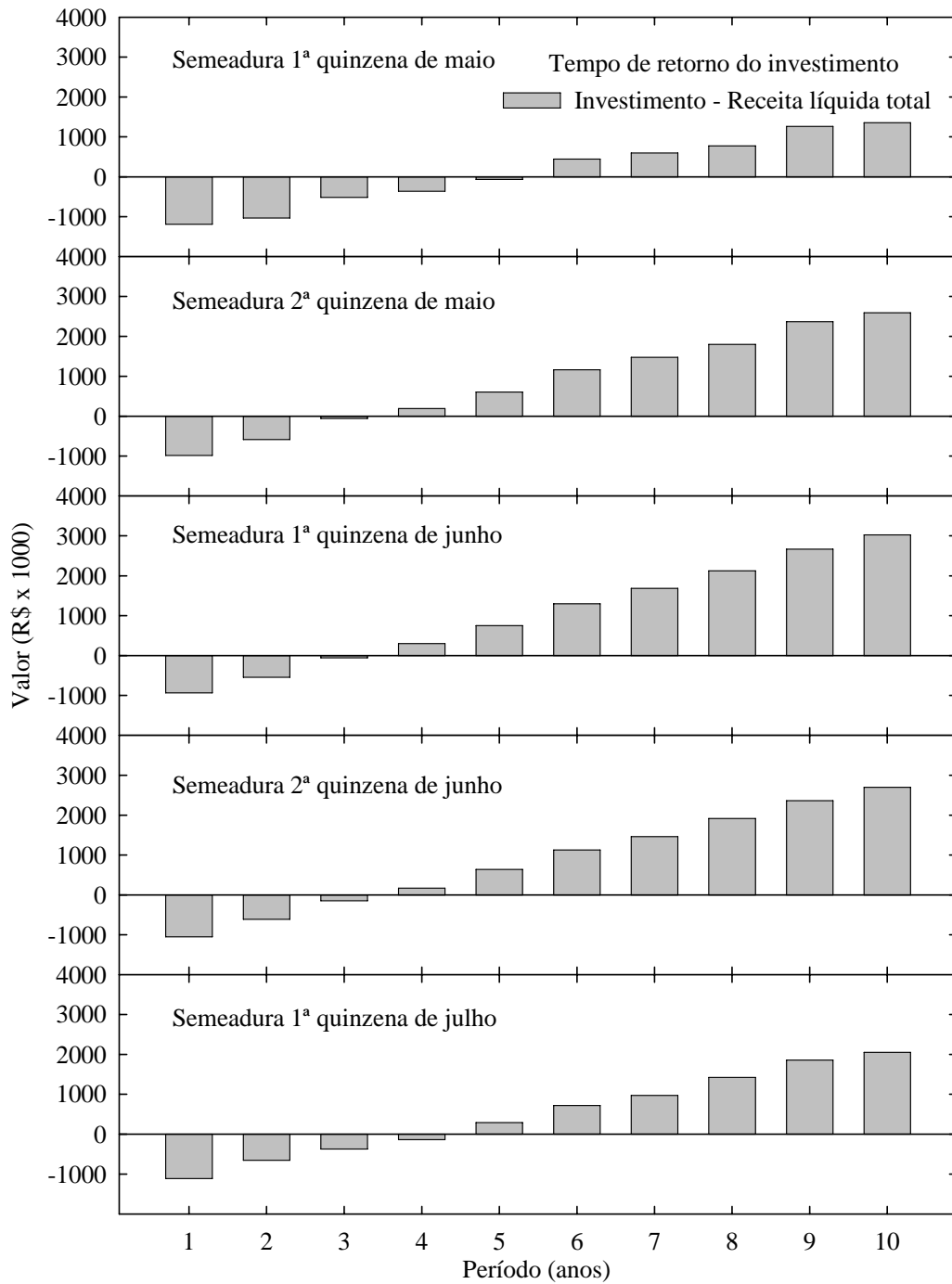


FIGURA 56- Receita líquida total acumulada da área irrigada, simulada no sistema IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno, para Cruz Alta – RS. Santa Maria - RS- 2004.

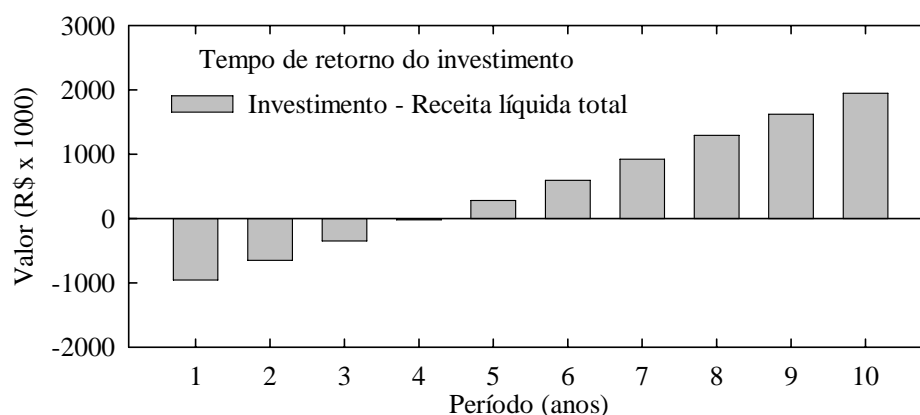


FIGURA 57- Receitas líquidas acumuladas estimadas para o investimento em aquisição de terras, para Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

Na tabela 12 é apresentada a estimativa da receita líquida acumulada para os sistemas I, II, III e IV de rotação de cultura. A semeadura das culturas de inverno realizada na primeira quinzena de junho proporcionou o maior retorno econômico para os quatro sistemas de rotação de culturas. Comparando-se os valores de receita líquida acumulada entre os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, os sistemas de rotação de culturas que apresentaram o maior resultado econômico (capital acumulado) em relação ao capital investido foram, em ordem decrescente, os sistemas IV, II, III e I de rotação de culturas.

TABELA 12- Acúmulo de capital em reais (R\$) estimados para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, para as cinco épocas de semeadura das culturas de inverno (trigo e aveia), para Cruz Alta - RS.

Rotação de culturas	Receita líquida acumulada (R\$ x1000)					Média
	Época de semeadura das culturas de inverno					
	(quinzenas)					
	1ª Maio	2ª Maio	1ª junho	2ª Junho	1ª julho	
Sistema I	1301	2890	3629	3072	2036	2585
Sistema II	1347	2807	3771	3660	3199	2957
Sistema III	1742	3049	3419	3016	2319	2709
Sistema IV	2612	3851	4283	3954	3311	3602

Na tabela 13 é apresentada a análise do capital acumulado para as alternativas de investimento em irrigação, aquisição de terras e aplicação

financeira. A receita líquida acumulada para a alternativa de investimento em aquisição de sistemas de irrigação, para a semeadura realizada na primeira quinzena de junho (maior retorno econômico - Tabela 12), após o pagamento do investimento inicial, possibilita a aquisição de 253, 268, 230, 323 hectares de terra, para os sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas, respectivamente. O investimento em aquisição de terra, no final do período de 10 anos possibilita a ampliação da área em 208 hectares. Entretanto, alternativa de investimento em aplicação financeira possibilita a aquisição de 309 hectares.

TABELA 13- Estimativa do número de hectares possíveis de serem adquiridos na análise de investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de sistemas de irrigação pivô central aquisição de terras e aplicação financeira, para Cruz Alta - RS.

Itens	Aplicação financeira	Terra	Irrigação			
			Rotação de culturas			
			Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV
Valor do investimento*	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258
Valor do ha de terra *	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37
Receita líquida acumulada no período - valor do investimento *	2.895	1.947	2.371	2.512	2.160	2.3024
Nº. de ha possíveis de serem adquiridos com a receita acumulada	309	208	253	268	230	323

*Valor em R\$ x 1000.

Na figura 58 é apresentado o tempo de retorno do investimento, em anos de cultivo, para as alternativas de investimento em irrigação e aquisição de terras. O sistema IV de rotação de culturas apresentou menor tempo de retorno do investimento aquisição de irrigação, tanto para Santa Maria como para Cruz Alta, em comparação com a alternativa de investimento em terras. Os sistemas II e III de rotação de culturas apresentaram tempo de retorno do investimento entre o 4º e o 5º ano de cultivo, sendo semelhante ao tempo de retorno do investimento em aquisição de terras, tanto para Santa Maria como para Cruz Alta.

O sistema I de rotação de culturas foi o que apresentou o maior tempo de retorno do investimento, entre as alternativas de investimento (aquisição de terras e aquisição de irrigação), para Santa Maria e Cruz Alta.

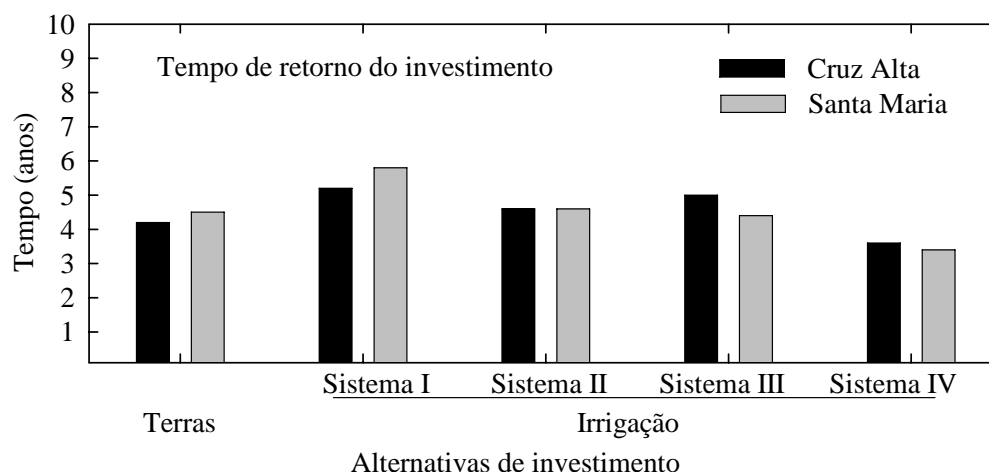


FIGURA 58- Tempo de retorno do investimento entre as alternativas de investimento: aquisição de terras versus aquisição de sistemas de irrigação, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS-2004.

Na figura 59, são apresentadas as receitas líquidas acumuladas para as três alternativas de investimento, no final do período de 10 anos, para Santa Maria e Cruz Alta. O capital acumulado no final do período de 10 anos (1990-2000), estimado através da receita líquida acumulada foi menor para aquisição de terras em relação a aquisição de irrigação e aplicação financeira. As receitas líquidas acumuladas nos sistemas I, II, III e IV de rotação de culturas foram maiores que a receita líquida acumulada na alternativa de investimento aquisição de terras.

O sistema IV de rotação de culturas propiciou no final do período de 10 anos capital acumulado superior ao capital acumulado para a alternativa de investimento em aplicação financeira.

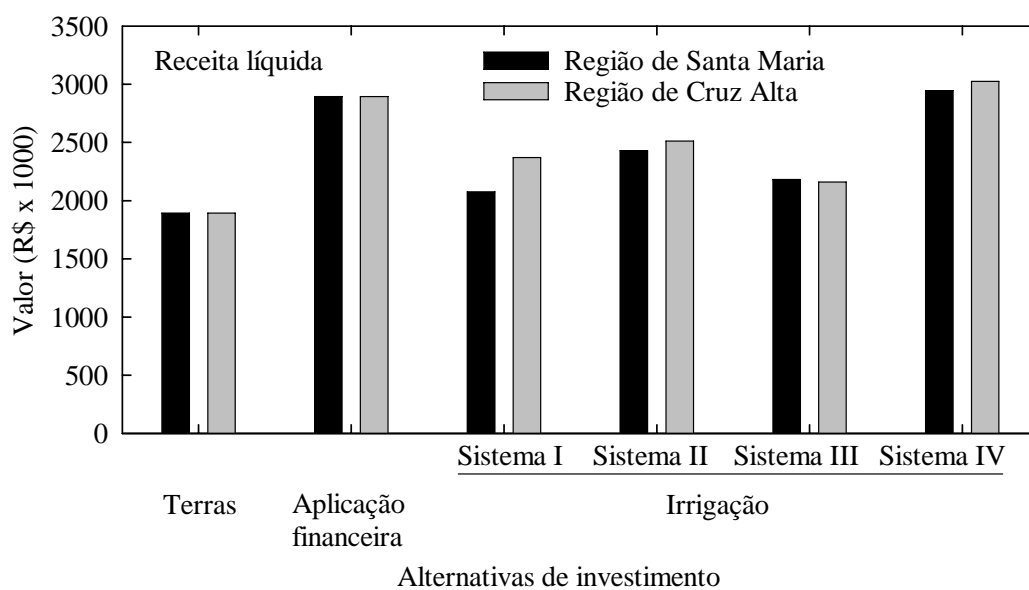


FIGURA 59- Receita líquida acumulada simulada para as alternativas de investimento: aquisição de terras, aquisição de sistemas de irrigação e aplicação financeira, para Santa Maria e Cruz Alta - RS. Santa Maria - RS- 2004.

6- CONCLUSÕES

Entre os sistemas de rotação de cultura (sistema I- trigo e soja; sistema II - trigo-soja e aveia-milho; sistema III - trigo-soja, aveia-milho e trigo-feijão, e sistema IV - trigo-soja, aveia-milho-feijão safrinha e trigo-feijão-milho safrinha), o sistema IV de rotação de cultura apresenta maior retorno econômico para Santa Maria e Cruz Alta.

A alternativa de investimento em sistemas de irrigação possibilita o pagamento do investimento para a Santa Maria entre o 5º e o 6º ano de cultivo para o sistema I de rotação de culturas, entre o 4º e 5º ano de cultivo para aos sistemas II e III de rotação de culturas, e entre o 3º e 4º ano de cultivo para o sistema IV de rotação de culturas

A alternativa de investimento em sistemas de irrigação possibilita o pagamento do investimento para Cruz Alta entre o 5º e o 6º ano de cultivo para os sistemas I e III de rotação de culturas, entre o 4º e 5º ano de cultivo para o sistema II de rotação de culturas, e entre o 3º e 4º ano de cultivo para o sistema IV de rotação de culturas .

A alternativa de investimento em aquisição de terras proporciona o retorno do investimento para Santa Maria e Cruz Alta entre o 4º e 5º ano de cultivo.

A alternativa de investimento que proporciona o maior capital acumulado no final de 10 anos, para Santa Maria e Cruz Alta, foi aquisição de sistemas de irrigação com a utilização do sistema IV de rotação de culturas (trigo-soja, aveia-milho-feijão safrinha e trigo-feijão-milho safrinha).

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J. V. Produção de caupi irrigado em Bragança, Pará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.30, n.3, p.239-252, 1992.
- ALMEIDA, F. S. **A Alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60p. (IAPAR. Circular, 53).
- ALTHOFF, D. A.; BRAGA, H. J.; VIEIRA H. J. **Determinação das melhores épocas de plantio do milho precoce e tardio para a região oeste de Santa Catarina**. Florianópolis, ENPASC, 1987. 37p. (EMPASC. Documento 88).
- ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcare Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, p.1-12, 1995.
- ANTUNES, I. F.; MASTRANTONIO J. J. S.; SANTIN, R. C. M.; CHOLLET, C. B.; LOPES, R. A. M.; RODRIGUES, L. S. Ensaio preliminar interno avançado preto (epi ii-preto) de rendimento de feijão na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, em 2001/2002. **In: Anais da Reunião Técnica Anual do Feijão**. FEPAGRO. Porto Alegre, 2003. 57p.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v.76, p.682-692, 1960.
- ÁVILA, A. M. H.; BERLATO, M. A.; SILVA, J. B.; FONTANA; D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a Estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v2, n.2, p.149-154, 1996.
- BAKER, D. N.; LAMBERT, J. R.; McKINION, J. M. GOSSYM: A simulator of cotton crop growth and yield. Tech. Bull. 1089. S. Carolina **Agric. Expt. Station**. 1983.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. **In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto alegre, Editora da Universidade/UFRGS. p.11-24. 1992.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H. J.; LIBARDI, P. L. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relação com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.24, n.4, p.387-392, 1989.
- BERGER, J. **Maize production and the manuring of maize's**. Center d'Estudo de l'Azote. p.38-41. 1962.

- BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. **In:** BERGAMASCHI, H. (Coord.) Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS. p.11-24. 1992.
- BERLATTO, M. A.; SUTILI, V. R. Determinação das temperaturas-base dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de 3 cultivares de milho (*Zea mays L.*). **In:** REUNIÃO TÉCNICA DO MILHO E SORGO, 21, Porto Alegre-RS, Anais, Porto Alegre-RS, p.523-527. 1976.
- BEVILAQUA, G. A. P.; LINHARES, A.G.; TOMM, G. O. Avaliação e seleção de genótipos de aveia de cobertura de solo para o sul do Brasil. **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.7, n.3, p.163-169, 2001.
- BISSOTO, V. Algumas considerações sobre a cultura de trigo **In:** Indicações técnicas da comissão Sul-Brasileira de pesquisa de trigo. Passo Fundo, RS: EMBRAPA TRIGO. 2003. 120p.
- BISSOTO, V. Algumas considerações sobre a cultura do milho **In:** Indicações técnicas para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul. - Porto Alegre: FEPAGRO, EMBRAPA TRIGO, EMATER/RS, FECOAGRO/RS, n.7, 2001. 135p.
- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1989. 34p.
- BRAGA, H. J. **Previsão agrícola: uma nova abordagem.** Florianópolis. Tese (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Eng. de Produção. 1995.
- BRAGA, H. J.; BIASI, J. Determinação das temperaturas-base e graus-dia de três cultivares de alho de ciclo precoce, médio e tardio. **In:** CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém-Pará. Coletânea de trabalhos apresentados. p.91-93. 1987.
- BRONER, I.; LAMBERT, J. Optional scheduling of irrigation machines. II: Applications and results. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** New York, v.115, n.5, p.880-893. 1999.
- BROWN, D. M. Heat units for corn in southern Ontario. Department of Agriculture and Food, Toronto, **Ontario Information Leaflet**, p.111-131, 1969.
- BRUNINI, O. Determinação dos índices biometeorológicos para variedades de arroz IAC- 1246 e Pratão precoce. **Ciência e Cultura**, v.28, n.8, p.928-931. 1976.
- BRUNINI, O. **Relações solo-água-plantas em cultura de arroz em condições de sequeiro.** Piracicaba. ESALQ, 1975. 128p. (Tese de Doutorado).

- BURKS, A. W.; BURKS, A. R. **The ENIAC: First general-purpose electronic computer**. Ann. of the History of Computing. v.3, p.310-399. 1981.
- CÂMARA, G. M. S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa, 1991. 266p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. 1991.
- CAMARGO, A. P. de Esboço de zoneamento da aptidão do feijão (*Phaseolus vulgaris*) no Brasil. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1º, 1972, Campinas. Anais..... Viçosa, MG: UFV, p.119-128. 1972.**
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível *versus* extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M. Manejo da irrigação por aspersão visando a redução de custos de produção e de energia. **In: Carlesso et al. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, p.10-20, 2001.**
- CHRISTOFIDIS, D. **Situação das Áreas Irrigadas - Métodos e equipamentos de irrigação - Brasil**. Brasília-DF, 1999. 25p.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, Londrina, PR. **Recomendações técnicas para a cultura da aveia**. Londrina, 1999. 60p.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO: **Feijão : recomendações técnicas para cultivo de feijão no Rio Grande do Sul / Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão**; coordenador Ricardo Silveiro Balardin. - Santa Maria, 2000. 80 p.
- COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DO TRIGO. **35ª Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa do Trigo**. Passo Fundo. 2003.
- CONAB. Indicadores econômicos- preços da agropecuária. Disponível no site: <http://www.conab.gov.br>. Acessado em 20/16/2004.
- COSTA, L. C.; BARROS, A. H. C. **Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho1**. Ver. Brás. de Agromet., Santa Maria, v.9, n.1, p.75-82, 2001.
- COTRIM, C. E. **Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão**. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, Brasília, n.33, p.21-27, 1988.
- CUNHA, G. R.; HASS, J. C.; ASSAD, E. D.; MOEIRA, M. B.; PASINATO, A. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Rio Grande do Sul **In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, K. (Org.) Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. 404p.**

- CUTFORTH, H. W.; SHAYKEWICH, C. F. Temperature response function for development. **Agricultural and Forest Meteorology**. n. 50, p.159-171. 1990.
- DAMARIO, E. A.; PASCALE, A. I. Estimation de sumas de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. **Rev. Fac. Agr. Vet. Univ. Buenos Aires**, v.19, n.3, 109-124. 1971.
- DEL DUCA, L. de J.; FONTANELI, R. S. Utilização de cereais de inverno em duplo propósito (forragem e grão) no contexto do sistema plantio direto. **In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO**, Passo Fundo, 1995. Resumos. Passo Fundo, p.177-180. 1995.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, C. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR. (Documentos IAPAR, 9) 1985. 140p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yield response to water. FAO: Irrigation and Drainage Paper. Nº 3 Rome, Italy: **Food and Agricultural Organizations**, United Nations, 1979. 193p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop Water Requirements** - FAO publisher, Rome, Italy. 1977.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil 1996/97**. Londrina, 1996. 149p. (EMBRAPA/CNPSo. Documentos, 88).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tecnologia de produção de soja. Paraná, 2004. Disponível no site: <www.cnpso.embrapa.br/producaosojapr> acessado em 29/01/2004.
- EMBRAPA. **Programa Nacional de Pesquisa de Trigo**. Departamento Técnico-Científico (Brasília, DF), Brasília: Embrapa-DID, 1981. 100p.
- ENGLISH, M. J.; JAMES, L.; CHEN, C. Deficit irrigation. II: Observations in Colombia Basin. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.3, p.413-26, 1990.
- FANCELLI, A. L. & DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, Piracicaba. 1997. 174p.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. **In: CARLESSO et al. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, p.59-73, 2001.
- FARIA, R. T. de; FOLEGATTI, M. V.; OLIVEIRA, D. de. Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídricos. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 10, 1997, Piracicaba. Anais..., Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". p.659-661. 1997.

- FISCHER, R. A. The effects of water stress at various stages of development on yield processes in wheat. **In:** SLATYER, R. O. (Ed.). Plant responses to climatic factors. Paris: UNESCO, p.233-241, 1973.
- FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; GONÇALVES, R. L. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Rev. Bras. de Agromet.**, Santa Maria, v.7, n.1, p.59-66, 1999.
- FRANKE, A.E. **Balanco hídrico na cultura da batata (Solanum tuberosum L.) sob três níveis de manejo da irrigação.** Santa Maria, RS. 92p. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, 1990.
- FRIZZONE, J. A. Aspectos econômicos da irrigação do feijão. **Preços Agrícolas.** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, v.105, n.1, p.6-7, 1995.
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural.** Piracicaba: ESALQ - USP, v.5, n.1, p.34-53, 1994.
- GALARRETA, C. G. **Manejo da irrigação do milho baseado na evapotranspiração máxima acumulada da cultura.** Santa Maria, UFSM, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, 2002.
- GALESNE, A.; FENSTENSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa.** Porto Alegre: Atlas, 1999.
- GARCIA, A. Manejo da cultura da soja para alta produtividade. **In:** SIMPÓSIO SOBRE CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1. Piracicaba: FEALQ, p.213-235. 1992.
- GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water user, and yield. **Crop Science**, Madison, v.36, p.914-912, 1996.
- GRIMM, S. S. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. **Crop Science**, Madison, n.33, p.137-144. 1993.
- HARDING, P. H.; COCHRANE, J.; SMITH L. P. Forecasting the flowering stages of apple varieties in Kent, England, by the use of meteorological data. **Agricultural Meteorology.** n.17, p.49-54. 1976.
- HESKETH, J. D. & JONES, J. W. Some comments on computer simulators for plant growth - 1975. **Ecol. Modelling.** n.2, p.235-247. 1976.
- HOLMES, R. M.; ROBERTSON, G. W. Heat units and crop growth. **Can. Def Agric. Pub.** p.1042-1050, 1959.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Levantamento Sistemático Pesquisa Agropecuária**, Brasília, 2001.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Levantamento Sistemático Pesquisa Agropecuária**, Brasília, Dezembro, 1998.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. IBGE, RJ, 1994.
- JACOBSEN, L. A. **Perfil sócio- econômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/ RS- ASCAR, 2003. 38p. (Caderno, 1). Disponível no site: <<http://www.emater.tche.br>> acessado em 18/02/2004.
- JENSEN, M. E. Consumptive use water and irrigation water requirements. New York: **American Society of Civil Engineers**. 1973. 215p.
- JONES, C. A. & KINIRY, J. R. **CERES-Maize. A Simulation Model of Maize Growth and Development**. Texas A&M University Press, College Station. 1986.
- JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; JAGTAP, S. S.; HOOGENBOOM, G.; WILKERSON, G. G. **SOYGRO Soybean Crop Growth Simulation Model. User's Guide**. Agricultural Engineering Dept. and Agronomy Dept., Univ. of Florida, Gainesville, and IBSNAT Project, Dept. of Agronomy and Soil Science, Univ. of Hawaii, Honolulu. v.5, n.41, 1988.
- KEATING, B. A.; KARANJA, D. R.; CARBERRY, P. S. **Assessing the risks to crop production - maize and sorghum in semi- arid Kenya**. Proceedings of the 1st International Crop Science Congress, 1992. Ames, Iowa, American Society of Agronomy and Iowa State Univ. p.14-22, 1992, p.95
- KICHEL, A. N.; MIRANDA C. H. B. **Uso da aveia como planta forrageira** Embrapa nº 45. 2000. Disponível em <www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD45.html>, acessado em 04/02/2004
- KISH, A. J. **Forecasting maturity date of snap beans in South Carolina U. S.** New York, Dept Commerce Tech. mem. 20:7. 1967.
- KUHNEN, O. L.; BAUER, U. R. **Matemática Financeira Aplicada e análise de Investimentos** - Ed. Atlas, 1996.
- LEGG, B. J.; DAY, W.; LAWLOR, D. W.; PARKINSON, K. J. The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. **J. Agric. Sci.** n.92, p.703-716, 1979.
- LIMA, M. G. **Calibração e validação do modelo CERES-maize em condições tropicais do Brasil**. 1995. 119 p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1995.

- LIU, W. T. H.; LIU, B. W. Y. Comparação de três modelos de previsão da safra de café no Estado de Minas Gerais. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 4, Belém do Pará, Anais, p.21-37. 1987
- LUCCHESI, A. A. **Estimativa de graus-dia acumulados no ciclo de frutificação de cultivares de abacateiros (Persea americana, Miller)**. Piracicaba, Anais da Esc. Sup. Agr. "Luiz de Queiroz", n.34, p.317-325. 1977.
- LYNDSEY, A. A.; NEWMAN, J. E. Use of official weather data in spring time-temperature analysis of an Indiana phenological record. **Ecology**. v.37, p. 812-823, 1956.
- MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Zoneamento agroclimático da cultura de feijão no Estado do Rio Grande do Sul: recomendação de períodos favoráveis de semeadura por região agroecológica. **In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO**, 6. 1999, Salvador, BA. Resumos..., Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, p.455-458. 1999. 880p.
- MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R. da; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R. **Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no estado do Rio Grande do Sul: períodos favoráveis de semeadura por município, safra 2002-2003**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 11p.
- MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; CAIAFO, M. R. Zoneamento agroclimático da cultura de milho por épocas de semeadura, no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, n.1, p.39-54, 2000.
- MARTIN, D. L.; WATTS, D. G.; GILLEY, J. R. Model and production function for irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.112, p.149-164, 1984.
- MASSIGNAM, A. M.; ANGELOCCI, L. R. Ecofisiologia do feijoeiro. VI - Zoneamento agroclimático para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria - RS, v.6, n.1, p.69-73. 1997.
- MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; HEMP, S.; DITTRICH, R. C.; FLESCHE, R. D.; VICTORIA, F. B. Ecofisiologia do feijoeiro I - Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria - RS, v.6, n.1, p.35-39, 1998.
- MATZEMBACHER, R. G. **A cultura da aveia no sistema de plantio direto**. Fundacep/Fecotrigo, Cruz Alta, 1999. 200p.
- MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 5. Belém, 1997. Coletânea de trabalhos ... Belém Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. p.3-6, 1997.

- MATZENAUER, R.; PORTO, M. P. Necessidades hídricas, coeficientes de cultura e irrigação. **In:** Indicações técnicas para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul. - Porto Alegre: FEPAGRO, EMBRAPA TRIGO, EMATER/RS, FECOAGRO/RS, n.7, 2001. 135p.
- MATZENAUER, R. & SUTILI, R. A água na cultura do milho. **IPAGRO Informa**. n.26, p.17-32, 1983.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relação entre o rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.3, p.85-92. 1995.
- MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Calibração e teste do modelo "cropgro-dry bean" para as condições edafoclimáticas do Brasil central. **Sci. agric**. Piracicaba, v.59, n.4, 2002.
- MENDES, A. A. T. **Irrigação tecnologia e produtividade**. UNESP. Irrigaplan. Leme, SP. 2001.
- MICHELON, C. J.; FIORIN, T.T.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; MELO, G.L. SPOHR R.B. Disponibilidade de água no solo e rendimento de grãos do milho semeado em duas épocas. In: Anais **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. Ribeirão Preto. 2003.
- MOTA, F. S.; ZAHLER, P. J. M. **Clima, Agricultura e Pecuária no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Ed. Livr. Mundial. 1994. 166 p.
- MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; PENGELLY, B. C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. **Field Crops Res.**, Amsterdam, v.32, n.1, p.1-6, 1993.
- NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeito da densidade de plantas no comportamento de cultivares de soja, em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.9, p. 1003-1014, 1988.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda., 1981. 425p.
- PAZ, V. P. S. **Condições ótimas de operação de sistemas de irrigação por aspersão**. - Piracicaba, SP. 1995. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado)
- PEITER, M. X. **Estudo do manejo da irrigação via modelo de simulação**. São Carlos. - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998. 183p. (Tese de Doutorado).
- PEIXOTO, C. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**.

- Piracicaba, 1999. 151p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado)
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S. Características agronômicas e rendimento de soja em diferentes épocas de semeadura e densidades de plantas. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v.13, n.2, 2001.
- PEREIRA A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 1997. 183 p.
- PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**, Santa Maria, RS. 125p (Mestrado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria. 2000.
- REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO – 35^a. **Indicações técnicas da comissão Sul-brasileira de pesquisa de trigo**. Passo Fundo, RS. Embrapa trigo, 2003.
- REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 2003. 137p.
- RITCHIE, J. T. & NeSMITH, D. S. Temperature and crop development. **In:** HANKS, J. & RITCHIE, J. T. (Eds). Modeling plant and soil systems. Agronomy 31, Madison, Wisconsin, EUA. 1991.
- RITCHIE, J. T. Classification of crop simulation models. **In:** UHLIR, P. F. and CARTER. 1994.
- RITCHIE, J. T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant Soil**, n.58, p.81-96, 1981.
- ROBERTSON, G. W. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. **Int. J. Biometeorol.** v.3, n.12, p.191-223. 1968.
- ROCHA, V. S.; OLIVEIRA, A. B.; SEDIYAMA, T.; GOMES, J. L. L.; SEDIYAMA, C. S.; PEREIRA, M. G. **A qualidade da semente de soja. Viçosa**. Universidade Federal de Viçosa, 1984. 76 p. (UFV. Boletim, 188).
- RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. **In:** CUNHA, G.R.; BACALTCHUK, K. (Org.) Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000. 404p.
- RODRIGUES, O.; BERTAGNOLLI, P. F.; SANTOS, H. P. Cadeia produtiva da cultura da aveia. **In:** Reunião da Comissão Brasileira da Aveia, 18. Londrina, PR, 1998. Palestras. Londrina: IAPAR, 1998. 79p.

- RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; LHAMBY, J. C. B.; BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F. **Redução de espaçamento em semeadura tardia de soja.** EMBRAPA, 2002. 6p. Disponível no site: <www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do12_22.htm> acessado em 18/11/2003.
- ROSA, G. M. **Análise econômica da implantação de sistemas de irrigação na produção de grãos na região do planalto médio do Rio Grande do Sul.** Santa Maria. UFSM, 2000. 59p Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- ROSTON, A. J.; PIZAN, N. R. FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.). **In:** CATI - Cultura do feijão. 2003. disponível no site: <www.ufrgs.br/icta/agronom/legum/feijao.htm> acessado em 08/03/2004.
- RUBIN, R. B. **Crescimento de plantas de feijão irrigado e armazenamento de água no solo em diferentes sistemas de manejo do solo.** Santa Maria, 2003. p. 87. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria.
- SALVADOR, R. J. **Uso de la Simulación Computarizada para Avanzar la Investigación Agrícola en los Países en Vía de Desarrollo.** Eighth International Congress on Research in Electrical Sciences. Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. 1993.
- SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R.; AMBROSI, I. Rotação, consorciação e sucessão de culturas **In:** Indicações técnicas para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO; EMBRAPA TRIGO, EMATER/RS; FECOAGRO/RS. n.7, 2001. 135p.
- SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. XIX. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.11, p.1637-1645, 1991.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; FLOSS, E. L.; CECHETTI, D.; BARÉA, K.; BORTOLINI, F. Potencial de genótipos de aveia para duplo-propósito **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.7, n.1, p.22-28, 2001.
- SILVEIRA, P. M.; SILVA, O. F.; STONE, L. F.; SILVA, J. G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.36, n.2, p.257-263. 2001
- SLATYER, R. O. Physiological significance of internal water relations to crop yield. **In:** EASTIN, F. A.; SULLIVAN, C. Y.; VAN BAVEL, C. H. M. Physiological aspects of crop yield. Madison: WI. Inst., p.53-83. 1969.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome FAO. 1991. 45p.

- SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações.** São Paulo, 1999. 142p.
- STEGMAN, E. C.; MUSICK, J. T.; STWART, J. I. Irrigation water management. **In:** JENSEN, M. E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, ASAE, 1980.
- STEWART, J. I.; HAGAN, R. M. Function to predict effects of crop water deficits. **Journal of the irrigation and Drainage Division**, ASCE, New York, n.99, p.421-439. 1973.
- VÉLEZ, E.P. & GARZA, A.M. **Respuesta de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo – Um enfoque metodológico de investigación.** Chapingo Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1978. 149p.
- VOSS, M.; SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.775-782, 1985.
- WHISLER, F. D.; B. ACOCK, D. N.; BAKER, R. E.; FYE, HODGES, H. F.; LAMBERT, J. R.; LEMMON, H. E.; McKINION, J. M.; REDDY, V. R. Crop simulation models in agronomic systems. **Adv. Agron.** n.40, p.141-208. 1986.
- WILLIAMS, A. D. V. Devising a biophothermal time scale for barley. **J. Biometeor.** n.18. p.57-69. 1974.
- WOLSCHICK, D. **Perdas de nitrogênio por lixiviação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho em condições de excesso hídrico.** Santa Maria, UFSM. 2000. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, 2000.