

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SIMULAÇÃO DINÂMICA DA SOJA, MILHO E
FEIJÃO, CULTIVADOS SOB DIFERENTES
REGIMES HÍDRICOS**

TESE DE DOUTORADO

Gisele Aparecida Vivan

Santa Maria, RS, Brasil

2014

SIMULAÇÃO DINÂMICA DA SOJA, MILHO E FEIJÃO, CULTIVADO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Gisele Aparecida Vivan

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutora em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Xavier Peiter

Coorientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vivan, Gisele Aparecida
Simulação dinâmica da soja, milho e feijão, cultivado sob diferentes regimes hídricos. / Gisele Aparecida Vivan.-2014.
208 p.; 30cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Coorientador: Adroaldo Dias Robaina
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014

1. Irrigação 2. Análise temporal de rentabilidade 3. Glycine max L. 4. Zea mays L. 5. Phaseolus vulgaris L.
I. Peiter, Marcia Xavier II. Robaina, Adroaldo Dias
III. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Gisele Aparecida Vivan. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. Endereço: Av. General Osório, n. 1737, ap. 203, Bairro Centro, Bagé, RS. CEP: 96400-101.

Fone (002) 55 53 84438399; E-mail: giselevivan@gmail.com

**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 DINÂMICA DA SOJA, MILHO E FEIJÃO, CULTIVADO
SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

elaborada por
Gisele Aparecida Vivan

como requisito parcial para a obtenção de grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Marcia Xavier Peiter
Dr.^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)**

**Adroaldo Dias Robaina
Dr. (UFSM)
(Co-orientador)**

**Ana Rita Costenaro Parizi
Dr.^a. (IFFarroupilha)**

**Ricardo Luis Schons
Dr. (UFPel)**

**Fátima Cibele Soares
Dr.^a. (Unipampa-Alegrete)**

**Ana Carla dos Santos Gomes
Dr.^a. (IFFarroupilha)**

**Airton dos Santos Alonço
Suplente - Dr. (UFSM)**

**João Fernando Zamberlan
Suplente - Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 15 de janeiro de 2014.

OFEREÇO

À minha mãe Clori Durdyn e ao meu pai Valdir Francisco Vivan (in memorian) pelos ensinamentos, dedicação e esforço para minha formação e incentivo para sempre seguir em frente.

DEDICO

Ao meu companheiro Fabrício Barboza!
Que a cada dia, com sua paciência, humildade, carinho e amizade me conquista. Agradeço sinceramente tudo que fez, faz e ainda fará por mim, e tenha certeza estarei ao teu lado para o que der e vier...

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

A Prof^a Marcia Xavier Peiter, que mais uma vez, com sabedoria, amor e paciência esteve presente neste fundamental passo de minha caminhada. Subsidiando-me com seus conselhos e ensinamentos. Meu respeito, admiração e carinho!

Ao Prof. Adroaldo Dias Robaina, que ao longo destes anos, esteve sempre presente, com suas sábias palavras em momentos que tudo parecia não ter “sequência lógica”. Fica meu agradecimento e tenha certeza que levarei seus ensinamentos comigo por toda a minha vida.

Aos meus colegas do laboratório de Engenharia de Irrigação, Taíse, Tonismar, Rogério, Ricardo, Flávia, Anderson, Leonita, Luciana, Helena, Cícero, Luís Humberto, Mário e Fabiano, meu carinho e gratidão. Lamento, durante a tese, não poder ter convivido com todos vocês com a mesma intensidade que durante o mestrado, muitos nem tive a oportunidade de melhor conhecer, mas como dizem, algumas de nossas lamentações vem para o bem. Enfim, colegas e amigos, tenham certeza levarei ótimas recordações de cada um de vocês. A Cibele e Ana Rita, minhas amigas e parceiras para toda hora, meu muito obrigada.

Aos meus colegas e amigos do IFSul, câmpus Venâncio Aires e Bagé fica também meu agradecimento, pois em muitos momentos estiveram ali para ouvir minhas angustias e lamentações, me ajudando dentro de suas possibilidades a enfrentar as diferentes etapas desta caminhada.

Enfim, como já mencionei na dissertação, logo, segundo Vivan (2010) agradeço a todos aqueles que me acompanharam durante este período e que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Saibam que apesar deste momento marcar o findar de um período, muitos outros estão por vir...

Muito Obrigada...

"Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas. O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles."

Augusto Cury

RESUMO

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

SIMULAÇÃO DINÂMICA DA SOJA, MILHO E FEIJÃO, CULTIVADO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS.

Autora: Gisele Aparecida Vivan
Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Santa Maria, 15 de Janeiro de 2014.

O agronegócio apresenta elevada importância no Estado do Rio Grande do Sul, sendo a incorporação de tecnologias fator fundamental para manter a sua competitividade e atratividade. A irrigação apresenta-se dentre as principais tecnologias disponíveis, apresentando como principais vantagens a elevação da produtividade e a redução de riscos associados as estiagens. A determinação das respostas produtivas das culturas via modelos de simulação tem elevado-se nos últimos anos, aliando ao setor agropecuário a possibilidade de previsões sobre diversos cenários, dentre estes, os de disponibilidade hídrica, com redução de tempo e custos. Neste mesmo sentido, a realização de análises históricas de produções e rentabilidades são essenciais para tomadas de decisão relacionadas a incorporação de tecnologias na prática agrícola. O presente trabalho tem como objetivo determinar, via modelos de simulação, as respostas produtivas das culturas da soja, milho e feijão, cultivadas sob diferentes regimes hídricos, realizando análise temporal e de risco dos resultados obtidos, para a região de Santiago, RS. O trabalho foi realizado para o município de Santiago (29°09'S e 54°51'O), com as culturas da soja, milho e feijão, sendo realizada a calibração e validação dos modelos relativos a estas culturas presentes no sistema DSSat; e posterior avaliação e comparação com os modelos disponíveis para as culturas da soja e feijão no sistema RSAP. Nos modelos considerados aptos após a avaliação, foram inseridas sequencias de dados climáticos (1961-2010) e determinadas as respostas produtivas referentes às condições de cultivo em sequeiro e sob ótima disponibilidade hídrica, sendo realizada análise temporal e de rentabilidade anual. Os modelos Cropgro-Soybean, Ceres-Maize e Cropgro-Drybean, obtiveram desempenho enquadrado como muito bom, muito bom e bom, para simulação da produção de grão (PG) das culturas da soja, milho e feijão, respectivamente e ótimo para simulação da produção de matéria seca máxima (MSM) de todas as culturas. Na comparação entre respostas produtivas à campo versus modelos disponíveis no sistema DSSat e no RSAP, observou-se que para as culturas da soja e feijão, as simulações realizadas com o DSSat obtiveram menores variações para a soja, e o RSAP para o feijão, porém, ambos os sistemas apresentaram variações consideradas satisfatórias. Para as simulações históricas, na condição de sequeiro, as três culturas estudadas (soja, milho e feijão), apresentaram significativas reduções de produção e conseqüente lucro em função do déficit hídrico. Em ambas as condições de cultivos (sequeiro e irrigado) os maiores custos; renda e lucro estiveram associado a cultura do milho, seguidos pelo feijão e soja. Comparando cultivo irrigado com o de sequeiro, a cultura do feijão foi a que apresentou maiores elevações de lucro em função da complementação hídrica, seguidas pelas culturas do milho e soja. Conclui-se que os modelos de simulação apresentaram-se como ferramentas úteis para a determinação das respostas produtivas das culturas em estudo, sendo que comparado cultivos de sequeiro com irrigados, os últimos apresentaram-se mais interessantes técnica e economicamente.

Palavras-chave: Irrigação. Análise temporal de rentabilidade. *Glycine max L.*. *Zea mays L.*. *Phaseolus vulgaris L.*.

ABSTRACT

Doctor Teses
Agricultural Engineering Post Graduation Program
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

DYNAMIC SIMULATION OF SOYBEANS, CORN AND BEAN, GROWN UNDER DIFFERENT WATER REGIMES

Author: Gisele Aparecida Vivan
Advisor: Marcia Xavier Peiter
Santa Maria, January 15th 2014.

Agribusiness has high importance in the state of Rio Grande do Sul, with the incorporation of fundamental importance to maintain its competitiveness and attractiveness factor technologies. Irrigation has become among the leading technologies available, featuring as main advantages to increase productivity and reduce risks associated with droughts. The determination of productive crop responses via simulation models has elevated in recent years, combining the agricultural sector the possibility of predictions about various scenarios, among these, water availability, reducing time and costs. In the same way, performing historical analyzes of production and profitability are essential for decision making related to incorporeal technologies in agricultural practice. This study aims to determine, via simulation models, productive responses of soybean, maize and beans, grown under different water regimes by performing temporal and risk analysis of the results obtained for the region of Santiago, RS. The study was conducted in the municipality of Santiago (29° 09 'S and 54 ° 51 ' O), with crops of soybeans, corn and beans, calibration and validation of models for these cultures in the DSSat system being performed, and subsequent evaluation and compared to the available models for soybean and beans in RSAP system. In the models considered fit after evaluation, sequences of climatic data (1961-2010) and certain productive responses related to growing conditions in rainfed and under great water conditions being held temporal and annual profitability analysis were included. The Cropgro - Soybean, Ceres-Maize - and Cropgro Drybean, framed models obtained performance as very good, very good and good for simulation of the production of grain (PG) of soybean, corn and beans, respectively, and great for simulation maximum production of dry matter (MSM) for all cultures. In comparison to the productive field responses versus models available in the DSSat system and RSAP, it was observed that for soybean and bean, the simulations obtained with the DSSat minor variations for soybeans, and RSAP for beans, however, both systems showed variations considered satisfactory. For historical simulations, the upland, the three studied crops (soybean, maize and beans), showed significant reductions in production and consequent income due to the drought. In both conditions of crops (dryland and irrigated) the higher costs, income and income were associated with maize, followed by soy beans. Comparing irrigated with dryland, the bean crop showed the greatest increases in profit complementation function of water, followed by corn and soybeans. Conclude that the simulation models were presented as useful tools for determining the yield response of crops under study, and compared with rainfed crops irrigated, the last were more interesting technically and economically.

Keywords: Irrigation. Simulation Models. Temporal analysis. *Glycine max L.* *Zea mays L.* *Phaseolus vulgaris L.*

LISTA DE TABELAS

Artigo 1:

Tabela 01- Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Gomes (2011).....	52
Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977).	54
Tabela 03- Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de soja CD 219, na região de Santiago, RS	55
Tabela 04- Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura da soja, cultivar CD 219, obtidos via simulação e experimento e variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , para Santiago, RS, Brasil.	56
Tabela 05- Valores de erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (I_w), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (I_d) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Soybean, com a cultura da soja, cultivar CD 219, na região de Santiago, RS	58

Artigo 2:

Tabla 01. Las láminas totales y los porcentajes de láminas totales de irrigación que se utilizaron en las simulaciones para los seis tratamientos considerados.....	77
Tabla 02. Los valores de materia seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y la producción de granos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtenido a través de la experimentación en campo y de los modelos de simulación DSSat y RSAP para el cultivo de la soja, variedad Coodetec 219, en la región de Santiago, Rio Grande do Sul.....	80
Tabla 03. Valores de Δvar obtenidos en la experimentación en campo en relación con los obtenidos en los modelos de simulación para el cultivo de soja	81

Artigo 3:

Tabela 01 - Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010).....	90
Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977)	93
Tabela 03 - Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de milho Pioneer 32R22, na região de Santiago, RS	93
Tabela 04 - Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, obtidos via simulação e experimento e variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , para Santiago, RS.....	94

Tabela 05 - Valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Ceres-Maize, com a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, na região de Santiago, RS..... 95

Artigo 4:

Tabela 01 - Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010). 106

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977)..... 109

Tabela 03 - Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de feijão IPR 88, na região de Santiago, RS 109

Tabela 04 - Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, obtidos via simulação e experimento, variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , variação média e desvio padrão, para Santiago, RS, Brasil 111

Tabela 05 - Valores de erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Drybean, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS 113

Artigo 5:

Tabela 01 - Lâminas totais e os percentuais das lâminas totais de irrigação utilizadas nas simulações para os seis tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010) 122

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977)..... 125

Tabela 03 - Valores de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos através de experimentação a campo e dos modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão para a cultura do feijão, nos 6 tratamentos propostos, na região de Santiago, RS..... 125

Tabela 04 - Valores de variação (Δvar) obtidos na experimentação à campo em relação aos obtidos via modelos de simulação, para os seis tratamentos propostos, para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS..... 126

Tabela 05 - valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS..... 128

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1 - Estrutura do Modelo DSSat (Adaptado de Jones et al.(2003)).....40

Figura 2.2 - Representação esquemática simplificada do modelo RSAP (ROBAINA, 1992). Adaptada de Gomes (2011).....42

Artigo 1:

Figura 01- Evolução do índice de área foliar (IAF) obtido via experimentações à campo versus os obtidos via modelo de simulação para os seis tratamentos propostos 59

Artigo 2:

Figura 01 - Datos de entrada, referente al suelo-planta-atmósfera necesaria para las simulaciones con el modelo Cropgro-Soybean 78

Figura 02 - Datos de entrada, referente al suelo-planta-atmósfera necesaria para las simulaciones con el modelo RSAP..... 79

Figura 03 - Comparación entre la producción de grano (PG) observada en el experimento en campo, con la producción de grano (PG) estimada en los modelos de simulación para los seis tratamientos propuestos 82

Figura 04 - Comparación entre la producción de materia seca máxima (MSM) observada en la experimentación en campo con las producciones de materia seca máximos (MSM) de las estimaciones de la simulación para seis tratamientos propuestos 83

Artigo 4:

Figura 01- Janela inicial do DSSat, com seus sub módulos, Cropgro-Drybean em destaque. 106

Artigo 6:

Figura 01 - Histogramas da produção relativa (relação entre produção potencial e produção obtida), no período entre safras 1961-2010 para as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), na Região de Santiago, RS 149

Figura 02 - Evolução dos valores de custos de produção, preços e margens de lucro obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudos (1961-2010), na Região de Santiago, RS 150

Artigo 7:

Figura 01 - Valores de precipitação efetiva, evapotranspiração potencial e evapotranspiração do cultivo para as culturas da soja, milho e feijão, no período de 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil 155

Figura 02 - Lâminas de irrigação requeridas e probabilidade de ocorrência destas, para as culturas da soja, milho e feijão, considerando o consumo hídrico pela evapotranspiração potencial (ETp) e do cultivo (ETc), para o período entre ciclo 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil. 157

Figura 03 - Produção potencial das culturas da soja, milho e feijão, considerando o cômputo do consumo hídrico pela evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração do cultivo (ETc), para o período entre ciclo 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil..... 159

Figura 04 - Evolução dos valores de custos de produção, renda bruta e lucro, obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudo, na Região de Santiago-RS 161

LISTA DE SÍMBOLOS

DSSat	– Decision Support System for Agrotechnology Transfer
EMATER	– Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Etc	– Evapotranspiração do cultivo
Etp	– Evapotranspiração potencial
IAF	– Índice de área foliar
IBSNAT	– International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer
Id	– Índice de desempenho
Iw	– Índice de concordância de Wilmont
ME	– Erro médio
MSM	– Produção de matéria seca máxima
PG	– Produção de grãos
r	– Coeficiente de correlação
r ²	– Coeficiente de determinação
RSAP	– Relação Solo-planta-atmosfera
RSEM	– Raiz quadrada do erro médio
T ₀	– Tratamento 0
T ₁	– Tratamento 1
T ₂	– Tratamento 2
T ₃	– Tratamento 3
T ₄	– Tratamento 4
T ₅	– Tratamento 5
Δvar	– Variação percentual

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 - Artigo “Evaluación del funcionamiento de los modelos de simulación del crecimiento de la cultura de la soya irrigada”, traduzido para a língua portuguesa 187

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1. Objetivos.....	27
1.1.1. Geral.....	27
1.1.2. Específicos	27
1.2. Estrutura da Tese	27
2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL	31
2.1. O setor do agronegócio.....	31
2.2. A agricultura irrigada.....	31
2.2.1. A agricultura irrigada no Rio Grande do Sul	32
2.2.1.1. Principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul e suas demandas hídricas 33	
2.3. Modelos de simulação para planejamento agrícola.....	36
2.3.1. Modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas.....	37
2.3.1.1. DSSat - Sistema de apoio à decisão para transferência de agrotecnologias	39
2.3.1.2. RSAP - Relação solo-água-planta	40
2.4. Calibração, validação e avaliação do desempenho dos modelos de simulação.....	42
2.5. Engenharia Econômica Aplicada ao Agronegócio.....	43
2.6. Rentabilidade em sistemas irrigados	44
2.7. Riscos em projetos agrícolas	45
3. ARTIGO 1: DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-SOYBEAN PARA O MANEJO DE SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS.....	47
3.1. RESUMO	47
3.2. ABSTRACT	48
3.3. INTRODUÇÃO.....	48
3.4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.6. CONCLUSÃO.....	60
3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
4. ARTIGO 2: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA CULTURA DE LA SOYA IRRIGADA	63
4.1. Resumen	63
4.2. Abstract.....	63
4.3. Introducción.....	64
4.4. Material y métodos	67
4.5. Resultados y discusión	70
4.6. Conclusiones.....	73
4.7. Referencias bibliográficas	73
5. ARTIGO 3: CAPACIDADE PREDITIVA DO MODELO CERES-MAIZE PARA O MANEJO DE SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS 85	
5.1. RESUMO	85
5.2. ABSTRACT	86
5.3. INTRODUÇÃO.....	87

5.4. MATERIAIS E MÉTODOS	89
5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
5.6. CONCLUSÃO	97
5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
6. ARTIGO 4: DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-DRYBEAN EM SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS	101
6.1. Resumo.....	101
6.2. Abstract	101
6.3. Introdução	102
6.4. Materiais e métodos	105
6.5. Resultados e discussão	109
6.6. Conclusão.....	114
6.7. Referências bibliográficas.....	114
7. ARTIGO 5: RESPOSTAS PRODUTIVAS DO FEIJÃO (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) IRRIGADO ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	117
7.1. RESUMO	117
7.2. ABSTRACT.....	117
7.3. INTRODUÇÃO	118
7.4. MATERIAIS E MÉTODOS	122
7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	125
7.6. CONCLUSÃO	130
7.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
8. ARTIGO 6: RENTABILIDADE DAS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO CULTIVADO SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO.....	137
8.1. RESUMO.....	137
8.2. ABSTRACT.....	138
8.3. INTRODUÇÃO	139
8.4. MATERIAIS E MÉTODOS	140
8.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	142
8.6. CONCLUSÕES	145
8.7. AGRADECIMENTOS.....	146
8.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
9. ARTIGO 7: NECESSIDADES HÍDRICAS E RENTABILIDADE DAS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO	151
9.1. RESUMO	151
9.2. ABSTRACT	151
9.3. INTRODUÇÃO.....	152
9.4. MATERIAIS E MÉTODOS	153
9.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	155
9.6. CONCLUSÕES	162
9.7. AGRADECIMENTOS	162
9.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
10. DISCUSSÃO GERAL	167
11. CONCLUSÕES GERAIS	175
12. REFERÊNCIAS GERAIS	177

1. INTRODUÇÃO

O cenário econômico brasileiro caracteriza-se pela forte dependência do setor agropecuário, onde a especialização e tecnificação abrem possibilidade de elevação de receita produzida por unidade de área. Segundo Heinze (2002), o produto interno bruto (PIB) do setor agropecuário, no conceito de “dentro da porteira”, mantém a participação variável da ordem de 8% a 10%, enquanto o PIB agropecuário de forma sistêmica, ou seja, agregando os elos da cadeia do agronegócio, possui participação de 46%, colocando o agronegócio entre as atividades econômicas mais importantes do país.

Este fato culmina com a necessidade de visão global do agronegócio, com o entendimento da propriedade agrícola como um empreendimento, onde os fatores atratividade e lucratividade devem ser analisados e controlados. Entendimento este que está em consonância com a necessidade de incorporação de práticas que maximizem o uso da tecnologia e a otimização de processos no campo, visando à obtenção de maiores produtividades por unidade de área e, conseqüentes elevações nos retornos econômicos advindos da produção.

Dentre as tecnologias disponíveis, a irrigação desponta como uma eficiente técnica para a elevação de produtividade das culturas. Esta técnica, que caracteriza-se pelo suprimento artificial das demandas hídricas das culturas, pode ser utilizada como única fonte de suprimento da demanda ou, de forma suplementar, somando-se a precipitação pluviométrica.

No Brasil, como um todo, destaca-se o uso da irrigação em regiões áridas, onde verifica-se escassez hídrica durante a maior parte do ano, onde as precipitações pluviométricas, em muitos casos, não atendem às necessidades mínimas de água da cultura, sendo inviável seu desenvolvimento sem aplicação artificial de água, via irrigação.

Além das elevações de produtividade e lucros ao produtor, também é inquestionável que a agricultura irrigada, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do globo, promove a geração de emprego, o crescimento do capital monetário e a produção de fibras e alimentos em quantidade e qualidade para suprimento das demandas alimentares e de bens de consumo (ANDRADE et al. 2008).

No Estado do Rio Grande do Sul, a irrigação é utilizada principalmente para fins de complementação das necessidades hídricas de determinadas culturas, visto que, pelas séries históricas de precipitação pluviométrica, a altura de lâmina de chuva total precipitada durante o período de safra é suficiente, numericamente, para atender à demanda hídrica das culturas.

Porém, devido à variabilidade desta precipitação, muitas vezes, acabam por ocorrer déficits hídricos, que se coincidirem com determinadas fases do ciclo, podem ocasionar reduções significativas de produtividade.

No Estado, ocorre predominância de culturas de primavera-verão, as quais respondem por mais de 90% da produção total de grãos. Soja e milho são as culturas de maior expressão; que juntas, representam 70% da área cultivada e mais de 60% da produção total de grãos (FONTANA et al., 2001). Estas culturas são predominantemente cultivadas em condições de sequeiro, ou seja, sem suplementação hídrica via irrigação, o que determina grande variabilidade interanual de produção.

Considerando que em regiões susceptíveis a estiagens no período de safra, o risco da atividade agrícola é inversamente proporcional à frequência destes eventos, o uso de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas caracteriza-se como uma alternativa de baixo custo e com elevada eficiência para a previsão das safras, sendo cada vez mais utilizado e, apresentando boa similaridade com os resultados obtidos em campo.

Cabe citar que a principal vantagem do uso de um modelo adequadamente calibrado e validado é a possibilidade de resposta do comportamento da cultura frente a distintos cenários de disponibilidade hídrica de maneira eficiente e rápida, quando comparando a experimentação à campo, reduzindo assim os gastos de produção e a mão de obra. Deste modo, considerando os altos investimentos iniciais necessários para os cultivos agrícolas, perdas ou reduções de produção podem implicar em elevações nos riscos da atividade, gerando, conseqüentemente, o insucesso da propriedade agrícola, trazendo consigo os conhecidos problemas de êxodo do campo, redução de renda, desemprego, entre outros.

Logo, para a tomada de decisão sobre a implantação de um dado cultivo, cabe realizar anteriormente um procedimento de reconhecimento das variáveis envolvidas no processo e de sua interferência na produtividade a ser obtida, construindo cenários possíveis e realizando a análise dos mesmos.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva determinar, via modelos de simulação, as respostas produtivas das culturas da soja, milho e feijão, cultivadas sob diferentes regimes hídricos, realizando análise temporal e de risco dos resultados obtidos, para a região de Santiago, RS.

1.1. Objetivos

Diante das considerações apresentadas, o presente trabalho, tem por objetivo:

1.1.1. Geral

Determinar, via modelos de simulação, as respostas produtivas das culturas da soja, milho e feijão, cultivadas sob diferentes regimes hídricos, realizando análise temporal e de risco dos resultados obtidos, para a região de Santiago, RS.

1.1.2. Específicos

- Calibrar e validar o sistema DSSat, em seus módulos dedicados às culturas da soja, milho e feijão;
- Simular os modelos para a determinação das respostas produtivas das culturas, comparando os resultados obtidos via modelagem e os obtidos experimentalmente;
- Determinar das respostas produtivas, para o período 1961-2010, referentes às condições de cultivo em sequeiro e sob ótima disponibilidade hídrica;
- Avaliar economicamente as estratégias testadas (sequeiro e ótima disponibilidade hídrica), inferindo sobre os resultados obtidos em nível de opção pelo uso de sistemas de irrigação.

1.2. Estrutura da Tese

A presente tese está estruturada com introdução, revisão de literatura, 7 artigos, discussão geral, conclusões gerais e referências bibliográficas gerais.

A introdução apresenta informações gerais sobre o tema alvo da presente pesquisa, que trata-se da utilização de modelos de simulação calibrados e validados para determinação das respostas produtivas das culturas da soja, milho e feijão, sob diferentes regimes hídricos e da análise temporal e econômica das respostas produtivas encontradas, para a região de Santiago, RS. Busca ainda justificar a escolha do presente tema, apontando informações relevantes para sua execução, bem como apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos.

A revisão de literatura visa o embasamento teórico para execução do presente estudo, incluindo assim, estudos relativos aos principais tópicos a serem utilizados, sendo eles: o setor do agronegócio, a agricultura irrigada, a agricultura irrigada no RS, modelos de simulação para o planejamento agrícola, calibração, validação e avaliação de desempenho dos modelos de simulação, engenharia econômica aplicada ao agronegócio e rentabilidade em sistemas irrigados.

O primeiro, o terceiro e o quarto artigo apresentam a calibração, validação e avaliação do desempenho dos modelos Cropgro-Soybean para a cultura da soja; Ceres-Maize para a cultura do milho e, Cropgro-Drybean para a cultura do feijão, na região de Santiago, RS, Brasil.

O segundo e o quinto artigo tem como enfoque a comparação do desempenho dos modelos Cropgro-Soybean versus RSAP-Soja e Cropgro-Drybean versus RSAP-feijão, para a determinação das respostas produtivas das culturas da soja, cultivar Coodetec 219 e cultura do feijão, cultivar Uirapuru 88, respectivamente, ambas as culturas submetida a diferentes regimes hídricos, na região de Santiago, RS, Brasil.

O sexto artigo tem como objeto de trabalho a determinação das respostas produtivas produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM), para as culturas da soja, milho e feijão, no período histórico 1961 a 2010, cultivados sob condição de sequeiro, realizando ainda, a análise da rentabilidade associada aos cultivos.

O sétimo artigo apresenta a determinação das lâminas de irrigação necessárias ao suprimento das demandas hídricas das culturas da soja, milho e feijão, para o período histórico 1961-2010, utilizando para a determinação via balanço hídrico, com contabilização da precipitação pluviométrica efetiva e da evapotranspiração potencial e do cultivo. Com a determinação da produção via funções de produção e da rentabilidade via contabilização do lucro pela diferença entre a receita obtida e os custos totais.

A discussão geral busca integralizar a discussão sobre os resultados obtidos nos 7 artigos presentes na tese, de forma a correlacioná-los e apresentar a ideia de continuidade na execução do trabalho, onde, conforme citado, os modelos foram calibrados, validados, avaliados, comparados, e utilizados como ferramenta para determinação histórica das respostas produtivas das culturas, sendo posteriormente analisadas economicamente as opções pelo uso ou não da prática da irrigação.

A conclusão geral extrai a principal conclusão de cada artigo, correlacionando esta com as obtidas nos demais artigos.

A referência bibliográfica geral apresenta as referencias relativas às citações utilizadas na revisão bibliográfica geral e discussão geral.

2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1. O setor do agronegócio

O cenário atual aponta que o Brasil será o maior país agrícola do mundo em dez anos (LOURENÇO, 2008), sendo o agronegócio brasileiro uma atividade próspera, segura e rentável (BORGES, 2007). Com um clima diversificado, chuvas regulares, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no planeta, o Brasil tem 388 milhões de hectares de terras agricultáveis férteis e de alta produtividade, dos quais 90 milhões ainda não foram explorados. Esses fatores fazem do país um lugar de vocação natural para a agropecuária e todos os negócios relacionados às suas cadeias produtivas (MAPA, 2005).

Para que a evolução esperada para o agronegócio venha a se confirmar, o uso da tecnologia na agricultura se torna fator fundamental. De acordo com De Castro e Pedroso (2005), na agricultura, a necessidade de inovação para o desenvolvimento econômico resultou na mudança do modelo importador de tecnologias primárias que, há cerca de três décadas, era voltado à massificação do emprego de tecnologias geradas em condições totalmente diferentes para um modelo mais adequado às necessidades locais, o que provocou uma excepcional evolução na pesquisa agrícola.

A evolução do uso de tecnologia na agricultura pode ser verificada pela incorporação de sistemas agrícolas otimizados, onde a suplementação hídrica via irrigação desponta como ferramenta de interesse na redução de riscos vinculados a atividade e de maximização da produtividade e dos lucros, contribuindo para a competitividade e eficiência do setor. Neste contexto as organizações pertencentes ao setor agronegocial inserem-se num cenário de crescente competitividade, o que as obriga a buscar meios e ações estratégicas que permitam garantir a sua sobrevivência e continuidade (ESTIVALETE et al., 2006).

2.2. A agricultura irrigada

As taxas de crescimento da produção agrícola mundial, superadas pelas dos incrementos populacionais nos últimos anos, vêm causando certa intranquilidade com relação à segurança alimentar. Ao lado da oferta de alimentos, estão a degradação dos solos, a baixa resposta positiva da produtividade ao uso de fertilizantes e defensivos e a escassez de água,

principais entraves que inviabilizaram o aumento da produção agrícola compatível com a população (CHRISTOFIDIS, 1997).

Para uma produção crescente de alimentos, uma das alternativas está na produção agrícola sob irrigação, que tem possibilitado maior número de safras por ano, principalmente em países do hemisfério sul. Assim, tendo em vista ser o setor agrícola o maior usuário de água e, como esta é o componente essencial e estratégico ao desenvolvimento da agricultura, o controle e a administração adequados possibilitará o manejo justo e equilibrado desta (PAZ et al., 2000).

São cerca de 1,54 bilhões de hectares de solos que estão em produção agrícola no Planeta, dos quais aproximadamente 277 milhões sob o domínio de infraestrutura hídrica de irrigação. A área de 18% sob cultivo irrigado produz cerca de 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante (CHRISTOFIDIS, 2006).

Segundo ANA (2009), o setor agropecuário é responsável por utilizar elevado da água doce disponível, sendo esta, ainda, muita vezes perdida em função do mau uso, decorrente de perdas via sistemas irrigados em condições precárias de conservação, com baixa eficiência, dimensionamento equivocado, entre outros.

Assim, a racionalização do uso da água na agricultura irrigada está intrinsecamente relacionada, à adequação do manejo da irrigação e, do planejamento relativo às estratégias de produção. O consumo expressivo da água na irrigação evidencia a importância de estratégias de planejamento, monitoramento e operação, relativas ao uso racional de recursos hídricos.

2.2.1. A agricultura irrigada no Rio Grande do Sul

Quando se utiliza a técnica da irrigação é necessário levar em consideração a precipitação pluvial. Em algumas regiões esta é bem distribuída durante todas as estações do ano, já em outras regiões torna-se insuficiente para atender a demanda evaporativa das culturas, geralmente ocorrendo nos meses mais quentes do ano, desta forma justifica-se a utilização da irrigação (MAGGI, 2003).

Quando a precipitação pluvial é levada em consideração a irrigação é chamada de suplementar, pois é aplicado o total requerido pelas plantas diminuindo o índice pluviométrico da região. Já quando não se considera a precipitação pluviométrica, ou esta não é disponível, a irrigação é chamada de total (PARIZI, 2010).

No Estado do Rio Grande do Sul, irrigações suplementares são necessárias no período primavera-verão, devido à alta demanda evaporativa que ocorre nos meses de dezembro a

fevereiro, tornando-se insuficiente para atender as exigências hídricas das culturas, principalmente no sul do Estado (BERLATO, 1992).

Segundo Christofidis (2005), o Brasil possui cerca de 3.440.470 hectares irrigados. A região Sul se destaca como a mais irrigada com cerca de 1.301.660 hectares (38%), seguida da Sudeste com mais de 988.080 hectares (29%), a Nordeste com mais de 732.840 hectares (21%), depois a Centro-Oeste com aproximadamente 318.210 hectares (9%) e, finalmente a região Norte com 99.680 hectares (3%) irrigados. O mesmo autor comenta que no Rio Grande do Sul, a irrigação por superfície predomina em 94% da área irrigada, seguido pelo pivô central com 3%, aspersão convencional com menos de 3% e, a irrigação localizada com área inferior a 1%.

2.2.1.1. Principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul e suas demandas hídricas

O agronegócio, principalmente a produção de grãos e produção pecuária, continua sendo a base da economia do Rio Grande do Sul. Em anos de condições pluviométricas favoráveis o Estado produz perto de 20% da produção de grãos do País. Entretanto, a variabilidade dos rendimentos de ano para ano é muito grande, atingindo, com elevada frequência, nível de frustração da safra agrícola (BERLATO e CORDEIRO, 2005).

O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores e exportadores de grãos do Brasil, aproximadamente 20% da produção nacional de soja. No ano agrícola 2000/2001 foram produzidas 6.935 mil toneladas, com produtividade média de 2.339 kg.ha⁻¹ (IBGE, 2011) e um valor de cerca de 2,3 bilhões de reais (EMATER, 2002).

A produção de soja tem sido crescente e isto é demonstrado pela boa tecnologia aplicada a cultura, pelo emprego de materiais genéticos de bom potencial produtivo e pela crescente profissionalização dos produtores rurais. A área colhida de soja no Estado na safra de 2005 (3.965.250 ha) obteve um incremento de 3,08% e 10,41% em relação à safra de 2004 e 2003 (3.846.955 ha), respectivamente, representando um acréscimo real de 373.780 ha colhidos em 2005 (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 2005).

Segundo Conab (2013), a área plantada com a cultura da soja, no Brasil, na safra 2009/2010 foi de 23.467.900 de hectares, com uma produção de 68.688.200 de toneladas, com uma produtividade média de 2.927 kg.ha⁻¹, gerando uma renda bruta de 38 bilhões de reais.

No Estado do Rio Grande do Sul, na mesma safra, a área colhida foi de 3.976.200 hectares e a produção 10.218.800 toneladas, com produtividade de 2.570 kg.ha⁻¹. Gerando

uma receita de 5,6 milhões de reais (CONAB, 2013). Sendo cultivada nas 32 microrregiões geográficas do Estado (MELO, 2005).

Na produção de soja, Mota et al. (1996) indicaram que a disponibilidade de água é o principal fator limitante ao rendimento e que a precipitação natural não atende a demanda potencial de água para essa cultura, em todas as regiões do Estado do Rio Grande do Sul. Sendo que a necessidade total de água na cultura da soja para obter alta produtividade é de 450 a 850 mm por ciclo, dependendo do clima e da duração do período de crescimento (DOORENBOS e KASSAM, 1980; REICHARDT, 1990).

Mota e Agendes (1989), em estudo realizado na região das Missões, RS com a cultura da soja encontraram necessidades anuais de irrigação suplementar variando entre 224,2 e 396,8 mm. Segundo os autores, o consumo hídrico foi de 731,6 mm e 689,5 mm no ciclo para semeaduras de outubro e novembro, respectivamente, constatando que semeaduras em outubro acarretam maior necessidade hídrica.

Segundo Berlato e Cordeiro (2005) as culturas da soja e do milho são duas das maiores culturas do Rio Grande do Sul, representando mais de 70% da área cultivada e 60% da produção total de grãos do Estado, sendo estas praticamente em sua totalidade produzidas sem irrigação (sequeiro) e seus rendimentos e produção, conseqüentemente, ficam dependentes da precipitação pluvial.

A produção do milho está distribuída em vários Estados, sendo que o Estado do Rio Grande do Sul passou de terceiro maior produtor brasileiro, com 3.837.276 toneladas, no período 1998 a 2000, para segundo maior produtor, no período 2001 a 2003, com 5.153.834 toneladas ou 12,2% da produção nacional, atrás do Paraná que é o maior produtor, com 29,2% do total produzido no país (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2011).

Segundo IBGE (2009), a área plantada com a cultura do milho no Brasil, na safra 2007/2008, foi de 14.010.080 de hectares, com uma produção de 52.112,20 toneladas e uma produtividade de 3.785 kg.ha⁻¹, gerando uma receita bruta de R\$15.616.489,00. No Estado, na mesma safra, a área colhida foi de 1.363.320 hectares, a produção de 5.969,11 toneladas e a produtividade de 4.378 kg.ha⁻¹, gerando uma receita de R\$1.676.453,00.

A disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades na cultura do milho. Vários autores, tais como Matzenauer (1994), Bergonci et al. (2001) e Bergamaschi et al. (2004) destacam que, as oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água.

De acordo com Fancelli (2001) a cultura do milho exige de 300 a 350 mm de água para uma produção satisfatória sem uso de irrigação, estes autores ressaltam que, regiões em que as precipitações oscilem de 300 a 500 mm anuais estão aptas para o plantio do cereal. Porém essa quantidade deve ser bem distribuída durante o ciclo da cultura. Outros autores, tais como, Doorenbos e Kassan (1994) mencionam necessidades de 500 a 800 mm de água, dependendo do clima.

Quando a disponibilidade hídrica não é suficiente para atender a demanda da cultura, frequentes déficits hídricos podem ocorrer. Para Matzenauer et al. (2002), a maior parte do Estado do Rio Grande do Sul apresenta fortes restrições ao cultivo do milho em decorrência do déficit hídrico, que abrange toda a metade sul e o extremo oeste do Estado. Mesmo nas regiões mais ao norte, onde se encontram as áreas consideradas preferenciais pelo zoneamento climático, as médias de precipitação não atendem às necessidades da cultura, e a ocorrência de estiagens também afeta a produção, embora com menor intensidade e frequência.

Outra cultura de grande importância no Rio Grande do Sul é a do feijão, onde o Estado possui a oitava maior produção do país, com 141.467 toneladas, sendo que sua participação na produção nacional baixou de 5,2% para 4,8%, considerando a média dos períodos 1998 a 2000 e, 2001 a 2003 (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2011).

Segundo IBGE (2009) a área plantada com a cultura do feijão no Brasil, na safra 2007/2008, foi de 3.788,28 hectares, onde foram colhidas 3.169 toneladas, gerando uma receita bruta de R\$3.380.952,00. No Estado do Rio Grande do Sul, nesta mesma safra, a área colhida foi de 117,06 hectares e a produção de 474,67 toneladas de grãos, gerando uma receita de R\$112.201,00.

A disponibilidade hídrica para a cultura do feijoeiro depende da época e local de semeadura, variedade, condições edafoclimáticas e estágio de desenvolvimento. Para Silveira e Stone (2001), as áreas aptas à produção de feijão devem apresentar precipitações anuais entre 500 mm e 1500 mm, porém, a quantidade de chuva para suprir a demanda durante o ciclo da cultura varia de 300 mm a 400 mm, dependendo da capacidade de retenção de água do solo. Doorenbos e Kassam (1980) destacam que o feijoeiro requer cerca de 1.750 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca e grãos.

A cultura do feijão concentra elevada porcentagem do sistema radicular na camada superficial do solo, refletindo-se em alta sensibilidade ao déficit hídrico. Em função disso, um adequado desenvolvimento das plantas está associado à distribuição regular das chuvas ou ao eficiente uso da água de irrigação (CARLESSO et al., 2007).

O Rio Grande do Sul, em alguns anos, pode apresentar períodos de estiagem causados pela pouca quantidade e/ou distribuição irregular da precipitação pluvial. Essa realidade, constatada no Estado nos anos agrícolas de 1978/1979, 1979/1980, 1981/1982, 1985/1986, 1987/1988, 1990/1991, 1995/1996, 1998/1999 e 1999/2000, foi a causa do baixo rendimento das culturas de primavera-verão naquelas safras (MATZENAUER et al., 1998a, 1998b; BERLATO e FONTANA, 1999).

ÁVILA (1994) cita que a probabilidade da precipitação pluvial superar a evapotranspiração potencial nos meses de dezembro a fevereiro, em praticamente todo o Estado, é inferior a 60%, fato que indica elevada frequência de ocorrência de deficiência hídrica e conseqüentemente redução no rendimento de grãos das culturas de primavera-verão.

2.3. Modelos de simulação para planejamento agrícola

A irrigação auxilia na maximização da produtividade agrícola, porém os riscos da adoção da agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando, sempre, que os rendimentos sejam maiores que os custos. Logo, estudos que auxiliem técnicos e agricultores nas tomadas de decisões quanto à a agricultura irrigada, tornam-se a cada dia mais necessários (SOUZA, 2001).

Dentre as técnicas possíveis de auxílio para tomada de decisão, os modelos de simulação do balanço hídrico salientam-se, pois são, em geral, de fácil operação, não apresentam riscos efetivos à cultura, e possibilitam com elevada eficácia prever as necessidades hídricas e as produtividades das culturas em diversas condições impostas, resultando em possibilidade de prever a lucro líquido da atividade.

Segundo Barth et al. (1987), a utilização da técnica permite ainda representar alternativas propostas para solucionar um dado problema e/ou simular condições reais, com a vantagem de apresentar baixo custo, rapidez na obtenção dos resultados e necessitar de uma série menor de dados.

De acordo com Naylor et al. (1971), o modelo, para ser útil, deve abranger dois atributos conflitantes, o realismo e a simplicidade. O modelo deve servir como uma aproximação precisa do sistema real e conter a maior parte dos aspectos importantes do mesmo. A compreensão e manipulação do modelo vão depender do seu grau de complexidade, por isso, o ideal é que os modelos não sejam tão complexos, tornando-se de fácil aplicação.

Segundo Andrade et al. (2008), dependendo da forma como são delimitados, os sistemas agrícolas podem conter grande número de componentes que se inter-relacionam e são afetados por fatores internos e externos a eles, o que os tornam complexos e de difícil controle. Modelos de simulação podem auxiliar no entendimento desse tipo de sistema e também permitir a análise de cenários em que se modificam os fatores e se avaliam os elementos do sistema e o seu produto final.

Borges Júnior et al. (2008) citam que a utilização de modelos computacionais de simulação propicia ganhos em termos de tempo e economia de recursos materiais e financeiros podendo ser, também, eficazes instrumentos de difusão de agrotecnologias.

Borges e Ritchie (1998) citam que os modelos podem ser utilizados para analisar os efeitos de diferentes estratégias, ajudando na determinação da melhor decisão, e apresentam uma série de vantagens para uma análise econômica, em relação aos dados provenientes de experimentação em campo. Entre essas vantagens destacam-se: um grande número de diferentes estratégias que podem ser avaliadas rapidamente e com baixo custo.

Pode-se ainda destacar a economia de tempo e recursos necessários para a pesquisa, mão de obra disponível e a resposta em curto prazo para a tomada de decisões. Alguns modelos realizam as simulações em resposta a déficits hídricos, salinidade e excesso de água na zona radicular, resultantes de diferentes estratégias de manejo de irrigação e configurações de sistemas de irrigação ou drenagem (GARCIA et al., 1995).

Assim, para o processo de planejamento, os modelos constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e de operação de projetos de irrigação, permitindo a tomada de decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível. Possibilitando, também, a escolha correta da época de plantio, para que a cultura não fique exposta a déficits hídricos em momentos cruciais para a obtenção de uma boa produção (VAUX e PRUITT, 1983; HOWELL, CUENCA e SOLOMON, 1992; FRIZZONE et al., 2005).

2.3.1. Modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas

Existem vários tipos de modelos aplicados ao manejo e programação agrícola, recebendo destaque os modelos matemáticos, estes são descrições construídas em linguagem matemática, mediante simplificações do sistema, sendo representados por: componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais. Podendo ser classificados em função de sua estrutura, como: (i) mecânicos, (ii) correlacionais ou estatísticos e (iii) empíricos, ou ainda,

em função da avaliação da incerteza, sendo: (i) determinísticos e (ii) estocásticos (PESSOA et al., 1997).

Segundo Costa (1997), os modelos matemáticos mecanísticos, são aqueles baseados na descrição do processo que ocorre no sistema real considerado, ou seja, existe a tentativa de se considerar os princípios físicos e biológicos que ocorrem no sistema. Para tanto, esses modelos procuram descrever as ocorrências a partir dos processos anteriores, muitas vezes utilizando submodelos empíricos. Como restrição, cita-se a dificuldade na obtenção dos dados necessários para o seu desenvolvimento; por outro lado, apresentam pouca restrição à extrapolação geográfica e temporal dos resultados.

Os modelos empírico-estatísticos pretendem, com base em séries históricas de dados meteorológicos e dados de rendimento das culturas, estimar o comportamento das culturas; portanto, a validade dos resultados destes modelos depende da representatividade dos dados utilizados, o que dificulta sua extrapolação (BAIER, 1979).

Os modelos matemáticos empíricos são baseados na interação quantitativa entre os elementos considerados, ou seja, os resultados não se baseiam na explicação dos fenômenos envolvidos. Normalmente, tais modelos fundamentam-se na análise de regressões e, via de regra, requerem grande número de dados para o seu desenvolvimento. Portanto, como os modelos empíricos não consideram o entendimento do sistema, apresentam restrições à extrapolação de seus resultados (COSTA e BARROS, 2001).

Souza e Gomes (2008) citam que nos últimos anos tem aumentado o desenvolvimento e a utilização de modelos de simulação do balanço hídrico voltados às atividades agrícolas, em especial os modelos matemáticos. Sendo que com o avanço da informática, algumas dificuldades operacionais, como a solução de equações complexas e a utilização de grande sequencia de dados, deixaram de serem obstáculos.

Segundo FAO (2009), existem variados modelos que são utilizados para fins de simulação cultural, entre estes o CROPWAT, o CERES e o CROPGRO. Estes, entre suas funcionalidades possuem a capacidade de simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas para genótipos específicos, levando em consideração fatores como: disponibilidade de água no solo, clima e dinâmica do nitrogênio no solo e na cultura (TARJUELO e JUAN, 1999).

2.3.1.1. DSSat - Sistema de apoio à decisão para transferência de agrotecnologias

O DSSat é uma das mais conhecidas e difundidas aplicações dos modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo desenvolvido pelo projeto IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) (ICASA, 2007).

Atualmente, o sistema DSSat, é mantido pelo consórcio ICASA (International Consortium for Agricultural Systems Applications), que reúne grande número de cientistas de diversas universidades e centros de pesquisa, os quais trabalham de forma colaborativa para a construção dos modelos e suas aplicações (JONES et al., 2001, 2003; ICASA, 2007).

O sistema é composto por diversos modelos de simulação, projetado para aplicações globais que realiza suas simulações independentemente de local, estação ou cultivar (VERHAGEN et al., 2001). Sendo apropriado para estudos a longo prazo que avaliem as estratégias eficientes de gerenciamento da cultura e otimizem a produção (FARIA e BOWEN, 2003). O DSSat combina dados de solo e de clima com modelos de culturas e aplicativos, a fim de simular os resultados de vários anos de estratégias no manejo de culturas (ICASA, 2007).

O uso do DSSat torna possível avaliar a estabilidade e a produtividade de um sistema de cultura, uma vez que permite simular a cultura para um conjunto de anos. Outra grande vantagem deste software é a possibilidade do estudo de condições hipotéticas (UEHARA e TSUJI, 1998).

De acordo com Jones et al. (1998) existem três exemplos de utilização do DSSat como sistema de apoio à decisão em diferentes níveis: (1) à escala da exploração, na escolha das técnicas culturais que mais beneficiam a produtividade e diminuem o risco; (2) à escala regional, no caso da sugestão do aumento da área de uma dada cultura; (3) na estimativa do desempenho das culturas no contexto de mudança climática (ROSENZWEIG et al., 1995). A Figura 2.1 apresenta a estrutura organizacional do DSSat adaptada de Jones et. al (2003).

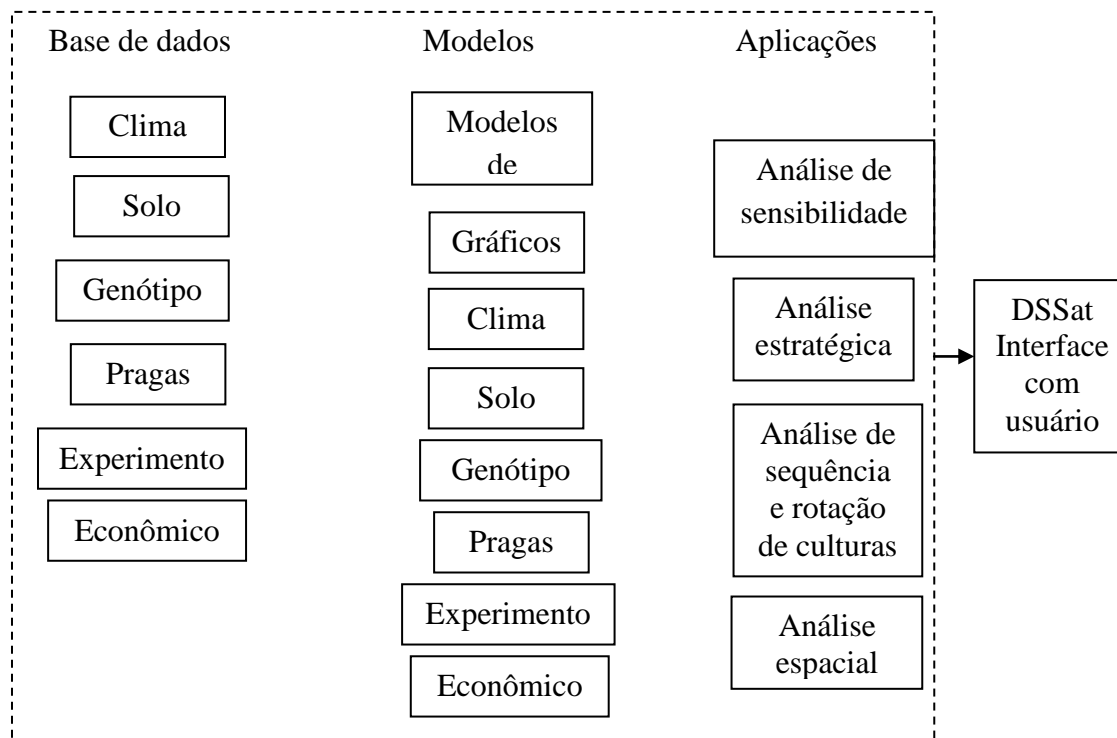


Figura 2.1 - Estrutura do DSSat (Adaptado de Jones et al.(2003)).

A arquitetura do DSSat permite que os utilizadores organizem, armazenem e utilizem como dados de entrada características das culturas, dos solos e dados meteorológicos; reparem, analisem e apresentem dados; calibrem e validem os modelos de crescimento de culturas, e, a nível local, avaliem diferentes técnicas culturais (JONES et al., 1998).

Atualmente, o DSSat é composto por 27 diferentes modelos de culturas, formando uma coleção de programas independentes que operam em conjunto, estando inseridos numa ferramenta que facilita a criação e o gerenciamento de arquivos de experimentos, de solo e de clima. Inclui aplicações que auxiliam na análise sazonal e sequencial dos riscos econômicos e impactos ambientais associados à irrigação, uso de fertilizantes e nutrientes, mudanças climáticas, sequestro de carbono do solo, variabilidade climática e agricultura de precisão (JONES et al., 2003; ICASA, 2007).

2.3.1.2. RSAP - Relação solo-água-planta

O RSAP trata-se de um sistema composto por módulos dinâmicos que simulam o crescimento e desenvolvimento das culturas da soja, milho e feijão. O mesmo possui código aberto permitindo alterações e adaptações para condições específicas de cultivo.

O sistema utiliza-se da equação de Richard para a resolução do fluxo de água no solo. Sendo construído e validado através de estudo experimental e de simulação numérica para a aplicação de água na produção das culturas, estudando a eficiência da aplicação de água sob diferentes estratégias de irrigação com a utilização de modelos matemáticos, adequando uma metodologia para ser utilizada no gerenciamento de áreas irrigáveis, em especial naquelas com disponibilidade de água limitada (ROBAINA, 1992).

Parizi (2010) e Gomes (2011) citam ter utilizado os módulos existentes no sistema, sendo que a primeira utilizou o mesmo para simulações com as culturas do milho e feijão e a segunda para a cultura da soja, tendo, ambos os autores, obtido resultados satisfatórios para a simulação das respostas produtivas destas culturas, em condições de diferentes disponibilidades hídricas, com elevada similaridade entre os valores obtidos à campo e os obtidos via modelagem computacional. A Figura 2.2 apresenta representação da estrutura do modelo RSAP (ROBAINA, 1992) adaptada de Gomes (2011).

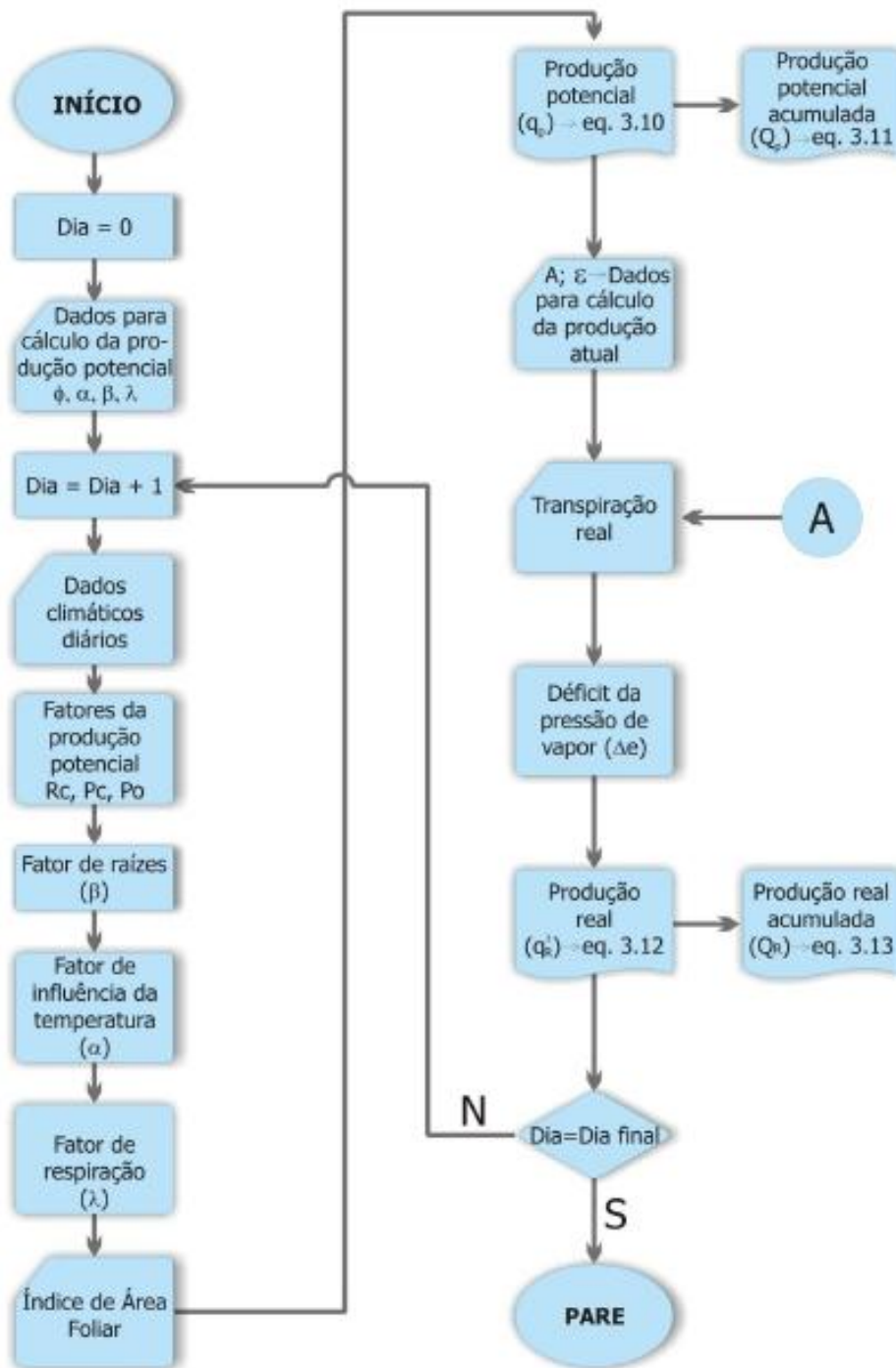


Figura 2.2 - Representação esquemática simplificada do modelo RSAP (ROBAINA, 1992). Adaptada de Gomes (2011).

2.4. Calibração, validação e avaliação do desempenho dos modelos de simulação

A calibração e a validação consistem em duas formas possíveis de testar a adequação dos modelos, para a aptidão destes em preverem os fenômenos observados. Na calibração, a melhoria do ajustamento entre dados previstos e observados, é conseguida por alteração dos

parâmetros do modelo ou mesmo por modificação do próprio código fonte deste (BOOTE, 1996).

De acordo com Hunt e Boote (1998) a calibração de um modelo satisfaz dois objetivos. Sendo eles: assegurar que as constantes e as funções-resposta dos modelos sejam apropriadas para as espécies utilizadas no desenvolvimento do modelo, e o desempenho seja adequado para as cultivares implantadas numa determinada região.

Hunt e Boote (1998) elaboraram uma lista de aspectos do desempenho das culturas que se têm demonstrado úteis para a calibração de vários modelos: (1) data de ocorrência dos principais estádios de desenvolvimento das plantas; (2) peso seco dos órgãos mais importantes, em determinadas datas, durante a estação de crescimento; (3) produtividade final e as suas componentes; (4) número de ramos, folhas, frutos e outros órgãos; (5) caule principal e altura das ramificações. Para avaliar os efeitos do déficit hídrico e nutritivo pode ser vantajoso o registro da distribuição das raízes, da água e do N inorgânico no perfil de solo durante o crescimento da cultura.

Na validação, pelo contrário, nenhum parâmetro ou código do modelo é alterado, sendo o modelo corrido com dados independentes, isto é, dados recolhidos em anos e locais diferentes dos utilizados quando do desenvolvimento do modelo original (BOOTE, 1996).

A validação exige numa primeira etapa a avaliação do modelo, e, posteriormente, a verificação - fidelidade e exatidão - das saídas para uma aplicação concreta ou para um determinado local. Depois de estar validado, o modelo poderá ser utilizado para essa mesma aplicação e/ou local, mas não é correto extrapolar o seu uso para outras aplicações ou regiões (HUNT, 2005).

Na avaliação de desempenho, no caso dos dados de entrada dos ensaios contemplarem uma gama alargada de situações (ex. sequência de temperatura), poder-se-á simplesmente contrastar o desempenho do modelo com os dados observados. Quando não é possível assegurar um conjunto vasto de observações é sempre aconselhável executar uma análise de sensibilidade, de forma a compreender a resposta do modelo à variação de um fator, sem recorrer a dados reais (HUNT, 2005).

2.5. Engenharia Econômica Aplicada ao Agronegócio

O agronegócio brasileiro, segundo Contini (2011), compreende atividades econômicas ligadas, basicamente a: insumos para a agricultura, como fertilizantes, defensivos, corretivos;

produção agrícola, compreendendo lavouras, pecuária, florestas e extrativismo; agroindustrialização dos produtos primários; transporte e comercialização de produtos primários e processados.

O estudo da viabilidade de se produzir um dado bem quer seja ele na indústria quer seja na propriedade agrícola, passa por uma série de passos, dentre os quais cita-se a necessidade de estudos de custos, necessidades de capital, produção mínima e máxima esperada, construção de fluxos de caixa de empreendimento e empreendedor, além da definição de uma série de parâmetros que nos permitem definir se a opção por investir em uma dada atividade ou produção apresenta-se ou não atrativa economicamente (NANTES, 1997).

De acordo com Teixeira e Gomes (1994), determinar os custos tem várias finalidades. Para o agricultor, serve como elemento auxiliar de sua administração na escolha das culturas, criações e práticas a utilizar. Pode fornecer também subsídios à formulação das políticas agrícolas no que se refere, por exemplo, ao cálculo das necessidades de crédito e fixação de preços mínimos.

É importante ao produtor estimar seu custo de produção antes do processo ou após o encerramento do mesmo. Na situação pré-produção, as estimativas de custos (orçamentos) são realizadas sobre o capital investido em bens produtivos de longa duração. Trata-se de uma forma possível da empresa recuperar o bem de capital, repondo-o, quando este se tornar economicamente obsoleto ou não seja mais possível utilizá-lo.

De acordo com Floss (2004) um dos principais objetivos da administração rural é estabelecer claramente os resultados de uma atividade ou da propriedade como um todo, sendo que a análise consiste, em geral, na comparação da receita com o custo de produção.

2.6. Rentabilidade em sistemas irrigados

O desenvolvimento tecnológico da agricultura, nos últimos tempos, tem feito que o risco econômico da atividade agrícola possa ser decomposto em dois componentes: variabilidade de produção e de preços. Com a irrigação, reduzem-se ou eliminam-se as perdas causadas por déficit hídrico, no entanto, os riscos econômicos e de perdas por excesso de chuvas, principalmente no período de colheita, ainda permanecem (FILHO e GONZAGA, 1991).

Segundo Melo (1993) e Cardoso (1994), a irrigação é uma tecnologia que requer investimentos consideráveis e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando-se imprescindível à análise dos componentes de custos dos sistemas empregados.

Para que o sistema de irrigação seja economicamente viável, é necessário que os benefícios econômicos líquidos gerados pelo seu uso sejam positivos e superiores aos provenientes da produção não irrigada, ou seja, que o benefício monetário gerado pela elevação da produtividade seja maior que a elevação no custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização do sistema de irrigação (ARÊDES et al., 2009).

Assim sendo, a agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água; além de gastos com energia e mão de obra para operação do sistema, que representam importantes custos adicionais, os quais devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pelo fornecimento de água às plantas (CLARK et al., 1993). Logo, a viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção entre os agricultores do manejo da irrigação na atividade agrícola (FRIZZONE et al., 1994).

2.7. Riscos em projetos agrícolas

A agricultura constitui-se em uma das atividades econômicas mais complexas e sujeita a aleatoriedade dos vários fenômenos climáticos e biológicos e ao grande número de variáveis envolvidas na comercialização do produto e lucro do agricultor, fazendo com que as decisões quase sempre sejam tomadas, sem que se conheçam, com exatidão, suas implicações e consequências (RODRIGUES, 1987).

A variabilidade final da produção agrícola é causada, principalmente, devido ao suprimento limitado de água, suprimento distribuído desfavoravelmente ao longo da estação de crescimento e distribuição temporal e quantitativa do suprimento hídrico com alta variabilidade estocástica de ano para ano (SAUNDERS et al., 1997).

Analisar o risco envolvido em projetos agrícolas irrigados é um processo que envolve o uso de procedimentos racionais para selecionar a melhor alternativa, dentre um conjunto de alternativas possíveis para a escolha por um investimento. Marchetti (1995) distingue o risco da incerteza pela possibilidade do risco designar situações em que a distribuição de resultados num grupo de casos é conhecida.

Para se optar pela realização de um dado investimento é fundamental o estudo de seus

riscos e incertezas. Uma técnica de simulação muito utilizada para este processo é através do método de Monte Carlo, que obtém como resultado não um valor, mas uma distribuição de frequências dos valores simulados para o risco (FRIZZONE e SILVEIRA, 2000).

A análise de risco é uma das técnicas utilizadas na análise de decisão pela opção pelo plantio. Sendo uma técnica cuja utilização possibilita o estudo das possíveis variações na renda do produtor, em função das alterações dos preços relativos dos insumos e da produção. Essa variação ocorre em consequência das incertezas e dos riscos a que estão submetidos à produção e a comercialização rural. A elaboração de diferentes cenários facilita a tomada de decisão em condições de risco, indicando a margem bruta mais provável (DOSSA et al., 2000).

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (1998), as três alternativas para a solução de problemas sob condições de incerteza são: uso de regras de decisão às matrizes de decisão; análise de sensibilidade; e a simulação. Citando ainda que, uma importante alternativa para dar suporte à tomada de decisão: transformar as incertezas em riscos através do processo de simulação, ou seja, apontar as possibilidades futuras a partir de mudanças nas variáveis que mais influenciam a tomada de decisão. A transformação das incertezas em riscos é condição para a criação de cenários que subsidiam as simulações.

Neste contexto, a decisão sobre o uso da irrigação deve ser realizada com base em informações técnicas e viabilidade econômica. Segundo Marques e Frizzone (2005) a irrigação justifica-se como recurso tecnológico indispensável ao aumento da produtividade das culturas em regiões onde a insuficiência ou a má distribuição das chuvas inviabiliza a exploração agrícola.

Metodologias que auxiliem técnicos e agricultores nas tomadas de decisões quanto à agricultura irrigada, torna-se a cada dia mais necessários (SOUZA e FRIZZONE, 2003). Estudos econômicos que envolvam a opção pelo uso da irrigação com diversas culturas foram realizados, Sousa et al. (2012) para o melão, Marques e Coelho (2003) para a pupunha e Santos et al. (2006) para o citros.

3. ARTIGO 1: DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-SOYBEAN PARA O MANEJO DE SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS

3.1. RESUMO

A cultura da soja apresenta elevada representatividade econômica no cenário agrícola mundial, com sua produção fortemente condicionada à variabilidade climática, sendo os modelos de simulação ferramentas eficazes para a previsão da resposta produtiva da cultura. O objetivo deste trabalho consiste em realizar a calibração, validação e avaliação do desempenho do modelo Cropgro-Soybean para a região de Santiago, RS. O estudo foi desenvolvido com a cultivar de soja Coodetec 219, utilizando-se seis tratamentos baseados em variação da disponibilidade hídrica, sendo o T_0 (sequeiro) utilizado na calibração, que consistiu na modificação dos coeficientes genéticos característicos da fenologia e morfologia da cultivar. A validação e verificação do desempenho do modelo foi efetuada pela comparação entre as respostas obtidas via experimento e à campo para a produção de grãos (PG), matéria seca máxima (MSM) e índice de área foliar (IAF), e pelo uso de indicadores estatísticos, utilizando os seis tratamentos propostos. Observou-se que as variações de PG e de MSM encontraram-se entre -13,83% e 5,88% e - 6,99% e 0,06%, respectivamente, sendo as menores variações obtidas no tratamento 1 ($T_1= 43,44$ mm). Os valores de Índice de desempenho (Id) enquadraram as simulações de PG e de MSM como muito boa e ótima, respectivamente. Conclui-se que modelo obteve sucesso na predição das variáveis respostas PG, MSM e IAF, apresentando-se como ferramenta promissora para simulações com a cultura da soja, no local em estudo.

Palavras-chave: modelo de simulação, coeficientes genéticos, calibração.

PERFORMANCE MODEL CROPGRO-SOYBEAN FOR THE MANAGEMENT OF IRRIGATION SYSTEMS IN THE REGION OF SANTIAGO-RS.

3.2. ABSTRACT

Soybean has high participation in the economic scenario world agricultural production with its strongly dependent on climate variability, and the simulation models effective tools for predicting the response of crop production. The objective of this work is to perform calibration of Cropgro-Soybean for the region of Santiago, RS. The study was conducted with the cultivar Coodetec 219, using six treatments based on variation of water availability, with Cropgro-Soybean. The calibration of this was accomplished by modifying the genetic coefficients characteristic of the cultivar phenology and morphology. The performance verification of the model was done by plotting LAI, determining the percentage change of PG and MSM, and the values of LM, RSEM, Iw, reo Id. observed that the variations of PG and MSM met and between 5.88 and -13.83 - 6.99 and 0.06, respectively, and the smaller variations in T_1 obtained. The values of Id framed PG simulations and MSM as very good or excellent, respectively. We conclude that model succeeded in predicting the response variables PG, MSM and IAF, presenting itself as a promising tool for simulations with soybean at the site under study.

Keywords: simulation model, genetic coefficients, calibration.

3.3. INTRODUÇÃO

A cultura da soja [*Glycine max (L.) Merrill*] constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira, com alto potencial produtivo e valor nutritivo, o que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação humana e/ou animal, com relevante

papel socioeconômico, constituindo-se em matéria-prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais (GOMES, 2007).

Globalmente, a cultura apresenta-se sob condições de cultivo diversas, sendo que 90% da produção desta ocorre em regiões tropicais e subtropicais, regiões estas que caracterizam-se pela alta temperatura e baixa e/ou irregular precipitação (THUZAR, 2010). O fator clima, caracterizado pela variabilidade sazonal e interanual, agindo na relação solo-planta-atmosfera, causa incerteza na obtenção do rendimento das culturas, modificando o retorno advindo da produção.

Segundo Gomes et al. (2006), na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul, a aleatoriedade do comportamento climático provoca instabilidade na produção agrícola, tornando-a uma atividade de alto risco. Exemplo a ser destacado refere-se à cidade de Santiago, onde nas safras de 2003/2004 e 2004/2005 ocorreram perdas de produção de aproximadamente 70% e 55% respectivamente.

A utilização de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas baseados em processos podem contribuir no monitoramento e na previsão de produtividade, auxiliando na compreensão dos mecanismos envolvidos nas respostas da cultura ao ambiente, avaliando a variabilidade e os riscos relativos às estratégias de gestão simulada (MARIN et al., 2011).

As previsões agrícolas via modelo de simulação constituem um meio importante de servir a agricultura, possibilitando a realização de análises econômicas e de riscos associadas a cada estratégia de gestão simulada (NASSIF, 2012). Borges Júnior et al. (2008) citam que a utilização de modelos de simulação propicia ganhos em termos de tempo e economia de recursos materiais e financeiros podendo ser, também, eficazes instrumentos de difusão de agrotecnologias.

O DSSat (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), consiste em um sistema computacional que inclui um conjunto de modelos de crescimento de culturas, testado nas mais diversas condições climáticas e de solo, constituindo-se em uma ótima alternativa para obtenção de informações que auxiliam no planejamento e no manejo agrícola. No DSSat, encontram-se modelos para as diferentes culturas: milho (Ceres-Maize), soja (Cropgro-Soybean), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice), cevada (Ceres-Barley), girassol (Ceres-Sunflower).

O modelo de simulação Cropgro-Soybean, foi desenvolvido para as leguminosas permitindo simulações dos principais processos físicos e fisiológicos de diversas culturas, tais como o feijão, feijão caupi, amendoim, e soja (OLIVEIRA et al., 2012).

Exemplos da eficiência no uso do Cropgro-Soybean foram apresentados por Ruíz-Nogueira et al. (2001), que calibrou o modelo para simulações de crescimento e produção de três cultivares de soja, cultivadas sob condições de restrição hídrica no noroeste da Espanha e Faria et al. (1997) que obtiveram resultados considerados satisfatório em simulações com Cropgro-Drybean na avaliação de estratégias de manejo da irrigação de feijão no Estado do Paraná.

Nassif (2012) cita que a utilização de modelos de crescimento de plantas em condições diferentes do local onde eles foram desenvolvidos requer testes e adaptações, em virtude das diferenças de solo, clima e características genéticas das culturas. Alguns modelos de simulação, dentre eles, o modelo DSSat, em seus diversos módulos, utilizam os coeficientes genéticos das cultivares como dados de entrada, possibilitando a simulação do desempenho de cultivares em diferentes condições. Sendo, realizado o ajuste dos coeficientes genéticos para que dados simulados concordem com os experimentais, durante a calibração do modelo (DALLACORTE, 2008).

De acordo com Hunt e Boote (1998) a calibração de um modelo deve satisfazer dois objetivos, sendo eles, assegurar que as constantes e as funções-resposta sejam apropriadas para as espécies utilizadas no desenvolvimento do modelo, e verificar se o desempenho do mesmo é adequado para as cultivares em estudo.

O objetivo do presente trabalho consiste em realizar a calibração, validação e avaliação do desempenho do modelo Cropgro-Soybean para a região de Santiago, RS.

3.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseia-se em duas etapas, a primeira experimental, através de experimentação à campo realizada por Gomes (2011) e, a segunda, através do uso de modelo de simulação. A etapa experimental foi desenvolvida para o município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul, sendo que o campo experimental localiza-se junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba, município de Santiago (29°09'50" latitude sul e 54°51'32" longitude oeste).

O município de Santiago encontra-se a 439 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 21°C, com média térmica de 17,9 °C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km.h⁻¹ e precipitação pluviométrica de 1.919 mm.ano⁻¹ (GOMES, 2011).

Para a realização do estudo foi utilizada a cultura da soja, cultivar Coodetec 219 (CD 219). Sendo coletados dados relativos a resposta produtiva da cultura em experimento realizado à campo, com aplicação de seis tratamentos baseados em diferentes lâminas de irrigação, a precipitação pluviométrica ocorrida durante o ciclo da cultura foi de 413 mm. A Tabela 01 apresenta as lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos.

Tabela 01 - Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Gomes (2011).

Manejo de Irrigação	Tratamentos propostos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Lâmina aplicada (mm)	0,00	43,44	86,89	130,33	173,77	217,22
Disponibilidade fornecida (%)	0	20	40	60	80	100

Na etapa de simulação, foi utilizado o modelo Cropgro-Soybean, incluído no sistema DSSat, versão 4.0.2.0. A construção dos arquivos necessários para a simulação foi descrito em detalhe por Boote et al. (2003), sendo estas informações referentes ao sistema solo-planta-atmosfera.

Os dados referentes ao clima foram obtidos junto a estação instalada na área de estudo e, constam de: temperatura máxima e mínima (°C); umidade relativa (%); velocidade do vento (m.s^{-1}); radiação solar ($\text{Mj. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); precipitação pluvial (mm). Os dados de solo foram obtidos junto ao experimento realizado à campo, sendo estes: umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$); umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$); textura do solo (%); profundidade das camadas do solo (m); classificação do solo; declividade média (%); potencial de escoamento; fator de produtividade; potencial de drenagem; carbono orgânico (%); pH; capacidade de troca catiônica; densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); condutividade hidráulica ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Os dados da cultura foram obtidos durante a realização do experimento à campo, sendo estes: profundidade do sistema radicular (m); duração dos estágios de desenvolvimento (dias); fator de depleção de água no solo relativo a cada estágio de desenvolvimento; plantas por m^2 ; plantas por metro linear.

Após a inserção das informações relativas ao sistema solo-planta-atmosfera no modelo, foram executados os processos de cálculo dos parâmetros culturais relativos aos tratamentos propostos utilizando cultivares disponíveis no modelo. Testando-se então até encontrar um cultivar disponível no modelo com respostas produtivas próximas as encontradas à campo. Selecionando-se as três com respostas produtivas mais próximas as obtidas à campo,

passando-se para a calibração. A calibração foi realizada com a alteração dos parâmetros culturais da cultivar em estudo (CD 219), realizando análise de sensibilidade para cada um dos parâmetros e realizando novas simulações até se encontrar a máxima aproximação entre os valores obtidos à campo com os obtidos via modelo de simulação.

A validação e avaliação do desempenho foram realizadas pela comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e via simulação, sendo determinado o percentual de variação entre estes (Δ_{var}) (1) e pelos indicadores estatísticos erro médio (ME) (2) e raiz quadrada do erro médio (RSEM) (3) (BARBOZA, 2011).

O Δ_{var} , o ME e o RSEM foram obtidos através das seguintes equações:

$$\Delta_{var} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (1)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i) \quad (2)$$

e

$$RSEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i)^2} \quad (3)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Sendo que o ME é um indicador da exatidão da estimativa, revelando a tendência do modelo de superestimar os valores (se positivo) ou de subestimar (se negativo). Quanto mais próximo de zero for o ME, maior será a acurácia do modelo. E a RSEM quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da linha 1:1. Quando o valor de RSEM é igual a zero, indica que houve ajuste perfeito entre os dados estimados e observados.

Com o mesmo conjunto de dados foi determinado o índice de concordância de Willmott (I_w) (4), calculado por:

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (E_i - E + O_i - O)^2} \quad (4)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;
 O_i = valor da observação medida;
 E = média dos valores da observação estimada;
 O = média da observação medida.

O coeficiente de correlação (r) (5) permitirá quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise, podendo ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2}} \quad (5)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;
 O_i = valor da observação medida;
 E = média dos valores da observação estimada;
 O = média da observação medida.

O campo de variação do coeficiente de correlação é de -1 a 1 e quanto maior o seu valor absoluto maior o grau de associação.

Foi determinado o índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_w$). O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho utilizadas neste trabalho foi feito de acordo com Costa (1977) e pode ser vista pela Tabela 02.

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977).

Critério de interpretação do índice de desempenho				Classes de desempenho	
0,85	>	I_d			Ótimo
0,76	>	I_d	>	0,85	Muito Bom
0,66	>	I_d	>	0,76	Bom
0,61	>	I_d	>	0,66	Mediano
0,51	>	I_d	>	0,61	Ruim
0,41	>	I_d	>	0,51	Muito Ruim
		I_d	>	0,41	Péssimo

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 03 são apresentados os valores dos coeficientes genéticos da cultivar CD 219, calibrados utilizando os dados de campo para o tratamento T₀ (sequeiro), obtidos nas condições de solo e clima da região de Santiago, RS.

Tabela 03 - Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de soja CD 219, na região de Santiago, RS.

	CSDL	PPSEN	EM-FL	FL-SH	FL-SD	SD-PM	FL-LF	LFMAX
Coefficientes	12.33	0.303	30.5	7.9	12.5	27.6	19	1.030
Genéticos	SLAVAR	SIZLF	XFRT	WTPSD	SFDUR	SDPDV	PODUR	
	400	140	1	0.115	14	2.1	8	

CSDL = comprimento crítico do dia acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSSEN = inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL = Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (R1); FL-SH = Período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (R3) (dias fototermais); FL-SD = Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (R5) (dias fototermais); SD-PM = Período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (R7) (dias fototermais); FL-LF = Período entre o aparecimento da primeira flor (R1) e final da expansão foliar; LFMAX = Taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura 30 °C; SLAVARN = Área foliar específica sob condições padrão de crescimento; SIZLF = Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm²); XFRT = Máxima fração do crescimento diário que é particionada entre a semente mais a vagem; WTPSD = Peso máximo por semente (g); SFDUR = Duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); SDPDV = média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); PODUR = Tempo necessário para o cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais).

Comparando os valores encontrados para a cultura da soja, cultivar Coodetec 219 com os encontrados por Dallacort et. al (2008), com as cultivares Coodetec 202, 204, 206 e 210, em Palotina, PR, aponta-se que os parâmetros CSDL, EM-FL, FL-SH, SD-PM, FL-LF, SIZLF, SFDUR, SDPDV possuem valores diferenciados, apontando particulares específicas as condições de estudo (local, cultivar e condições climáticas).

Cita-se que o Cropgro-Soybean apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, representando realisticamente a variação existente com a mudança dos coeficientes, o que demonstra a variabilidade de resposta produtiva entre diferentes cultivares considerando condições ambientais semelhantes.

A Tabela 04 apresenta os valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura da soja, cultivar CD 219, obtidos via simulação e experimento e variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , para Santiago, RS.

Tabela 04 - Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura da soja, cultivar CD 219, obtidos via simulação e experimento e variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , para Santiago, RS, Brasil.

Tratamento		Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Matéria seca máx. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Valores de Δ Produção de Grãos (%)	Valores de Δ Matéria seca Max. (%)
Trat. T_0	Campo	2277	7748	5,88	-1,73
	DSSat	2143	7882		
Trat. T_1	Campo	2904	8374	3,75	0,06
	DSSat	2795	8369		
Trat. T_2	Campo	3022	8988	-6,32	-0,99
	DSSat	3213	9077		
Trat. T_3	Campo	3119	9198	-10,07	-6,19
	DSSat	3433	9767		
Trat. T_4	Campo	3123	9545	-13,83	-6,99
	DSSat	3555	10212		
Trat. T_5	Campo	3427	9781	-5,69	-5,19
	DSSat	3622	10289		

Analisando a Tabela 04, nota-se que em geral foram obtidos valores próximos entre os resultados de PG e de MSM obtidos via experimentação em comparação com os obtidos via modelo de simulação, gerando pequenas variações. Nota-se também que os coeficientes de variação entre experimentação à campo versus experimentação via modelo de simulação foram inferiores à 10,07%, com exceção do tratamento 4 ($T_4=173,77$ mm), onde a variação para produção de grãos foi de superestimada em 13,83% via modelo de simulação em relação aos valores encontrados à campo.

Ainda na Tabela 04 observa-se que as menores variações entre os resultados obtidos via modelo em comparação com os obtidos na experimentação à campo, foram para PG nos tratamentos T_1 , T_0 , T_5 , T_2 , T_3 , T_4 , sendo que nos dois primeiros tratamentos as variações foram positivas, isto é o modelo de simulação subestimou a produção de grãos, e nos 4

tratamentos seguintes a variação foi negativa, indicando que o modelo superestimou a produção de grãos.

Para a MSM, observa-se que as variações foram menores, sendo que, com exceção do tratamento 1 ($T_1=43,44$ mm), todos os valores de MSM foram superestimados pelo modelo, sendo que as menores variações foram encontradas para os tratamentos T_1 , T_2 , T_0 , T_5 , T_3 , T_4 sequencialmente. Assim, constata-se que a variação nos valores de produção obtidos via experimento a campo quando comparados com os obtidos via modelo de simulação encontraram-se entre -13,83% e 5,88% e a produção de matéria seca máxima apresenta variação entre -6,99% e 0,06%.

Estes valores de variação da produção de grãos obtidos experimentalmente quando comparados aos obtidos via modelos de simulação são inferiores as variações encontradas por Filho e Souza (2011), que utilizando modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair para estimativa da produção de grãos da cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observou subestimativas de aproximadamente 40%. Do mesmo modo, as variações de produção de grãos encontram-se inferiores as determinadas por Cavalcante et al. (2010) e Vasconcelos et al. (2010), que utilizando o modelo Cropgro-Soybean obtiveram variações entre 0,3 e 20,2.

A Tabela 05 apresenta os valores de erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Soybean, com a cultura da soja, cultivar CD 219, na região de Santiago, RS.

Tabela 05 - Valores de erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Soybean, com a cultura da soja, cultivar CD 219, na região de Santiago, RS.

Produção de grãos					Produção de matéria seca máxima				
ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	R	Id	ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id
148,16	254,80	0,912	0,917	0,837	327,00	418,85	0,931	0,965	0,898

Analisando a Tabela 05 vimos que os valores de erro médio (ME) e de raiz quadrada do erro médio (RSEM) para produção de grãos foram de 148,16 e 254,80 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Estes valores estão próximos aos obtidos por Wang et al. (2003) que encontram para simulações utilizando o modelo Cropgro-Soybean valores de ME e RSEM de 64 e 112 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

Nota-se na Tabela 05 que o coeficiente de correlação para produção de grãos e de matéria seca é de 0,917 e 0,965, respectivamente, indicando uma forte correlação positiva entre as variáveis. Quanto aos valores de índice de desempenho verifica-se que estes são de 0,837 e 0,898 para produção de grãos e matéria seca respectivamente, o que segundo a Tabela 02, indica que a determinação via modelo de simulação da produção de grãos obteve um desempenho muito bom e ótimo para a produção de matéria seca máxima.

Na Figura 01 é apresentada a evolução do índice de área foliar (IAF) obtido via experimentações à campo versus os obtidos via modelo de simulação para os seis tratamentos propostos.

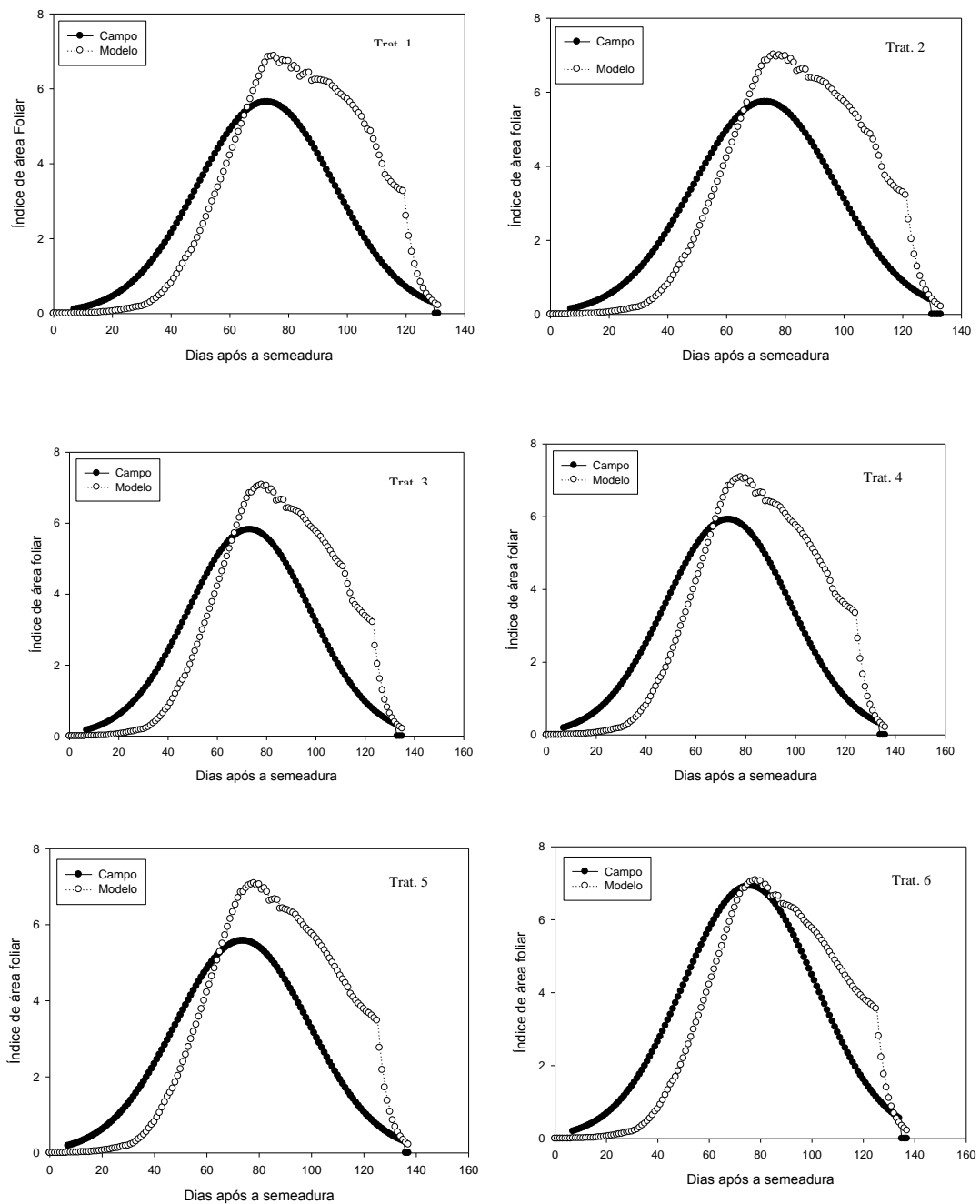


Figura 01 - Evolução do índice de área foliar (IAF) obtido via experimentações à campo versus os obtidos via modelo de simulação para os seis tratamentos propostos.

Nota-se na Figura 01, que desde o início do ciclo da cultura até aproximadamente o 60º dia após a semeadura o modelo de simulação subestimou o índice de área foliar em todos os tratamentos simulados, após este momento o modelo subestimou os valores de índice de área foliar. Observa-se ainda, que o tratamento 6 ($T_6=217,22$ mm) foi o que apresentou maior proximidade entre os valores de IAF obtidos à campo e via modelo de simulação.

Relacionando o índice de área foliar com a produção máxima de matéria seca e de produção de grãos (Tabela 04), vimos que a variação destes comparando valores obtidos à campo com valores simulados foi baixa, o que indica que o comportamento do IAF foi próximo ao ocorrido à campo, haja visto que este reflete os demais resultados produtivos da cultura.

3.6. CONCLUSÃO

- As menores variações nos valores totais de produção de grãos e matéria seca máxima foram obtidas para os tratamentos T_0 (sequeiro) e T_1 (43,44 mm);
- O modelo subestimou os valores de índice de área foliar até aproximadamente o 60º dia após a semeadura, passando então a superestimá-lo;
- Os valores de coeficiente de desempenho enquadraram como muito bom os valores obtidos via modelo de simulação para o parâmetro produção de grãos e ótimo para o parâmetro matéria seca máxima;
- O modelo apresentou-se como uma ferramenta útil para avaliar as respostas produtivas da cultura da soja, cultivar Coodetec 219, sobre condições diversas de disponibilidade hídrica.

3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOZA, F. da S. **Funções de pedotransferência para solos do Sul do Uruguai**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

BORGES JÚNIOR, J. C. F. et al. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n.1, p. 3-11, 2008.

BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 32-51, 2003.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.1, p.89-97, 1997.

CAVALCANTE, A. K. et al. Variabilidade genética de genótipos de soja de ciclo precoce no município de Uberaba-MG. **Revista Verde**, Pombal, v. 5, p.115-119, 2010.

COSTA, P. O. Correlação e regressão. In:_____. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. p. 178-228,

DALLACORT, R. et al. Níveis de probabilidade de rendimento de quatro cultivares de soja em cinco datas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p.261-266, 2008.

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

FILHO, W. R. L. L. e SOUZA, P. J. de O. P. de. Calibração de um modelo agrometeorológico da soja para simular a produtividade do feijão caupi no nordeste paraense para uso futuros em cenários de mudanças climáticas. In: 9º Seminário Anual de Iniciação Científica. 2011. **Anais...** 2011.

GOMES, A. C. et al. Modelagem da Precipitação Diária na Região de Santiago, RS. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006. **Anais...** Florianópolis. 2006.

GOMES, A. C. S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill) na região de Santiago, RS**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2007.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HUNT, L. A.; BOOTE, K. J. Data for model operation, calibration and evaluation. IN: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORTON, P. K. **Understanding options for agricultural production**. Dordrech: Kluwer Academic Publishers, p. 9-40. 1998.

MARIN, F.R. et al. Parameterization and evaluation of predictions of DSSat/CANEGRO for sugarcane Brazilian production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 100-110, 2011.

NASSIF, D. S. P. et al. Parametrização e avaliação do modelo DSSat/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.3, p.311-318, 2012.

OLIVEIRA, E. et al. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

RUIZ-NOGUEIRA, B. et al. Calibration and use of Cropgro-Soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. **Agricultural Systems**, Wallingford, v. 68, n. 2, p. 151-173, 2001.

THUZAR, M. et al. The Effects of Temperature Stress on the Quality and Yield of Soya Bean [(*Glycine max* L.) Merrill.]. **Journal of Agricultural Science**, Belgrade, v. 2, n. 1., p 172-179, 2010.

VASCONCELOS, E.S. et al. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 411-415, 2010.

WANG, F.; FRAISSEB, C. W.; KITCHENC, N. R.; SUDDUTH, K. A. Site-specific evaluation of the Cropgro-Soybean model on Missouri claypan soils. **Agricultural Systems**, Wallingford, v. 76, n. 3, p. 985-1005, 2003.

4. ARTÍCULO 2: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA CULTURA DE LA SOYA IRRIGADA

Performance assessment of model simulation of growth of the soybean irrigated

4.1. Resumen

La soya forma parte de las principales culturas agrícolas que producen granos en el Estado de Rio Grande do Sul, en Brasil. Un gran porcentaje de su producción es llevada a través de la cultura de secano, siendo por consiguiente susceptible a las variabilidades climáticas. En este sentido, los modelos de simulación se presentan como herramientas útiles para el análisis de sistemas y de la estimación de respuesta productiva de los cultivos bajo diversas condiciones de disponibilidad hídrica. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar la respuesta productiva del cultivo de soya sometido a diversos regímenes hídricos. El estudio fue desarrollado para la región de Santiago, RS, Brasil, con el cultivo de soya variedad Coodetec 219 (CD 219), utilizando seis tratamientos basados en la variación de la disponibilidad hídrica. Los modelos usados en las simulaciones fueron la Cropgro-Soybean y RSAP, siendo calibrado y validado para el lugar del estudio. Las simulaciones realizadas en ambos modelos permitieron determinar los valores referentes de materia seca máxima (MSM) y la producción de los granos (PG), probando las diferentes estrategias de disponibilidades hídricas. La verificación del funcionamiento del modelo fue efectuada por análisis gráfico y por la línea recta de tendencia, determinando la variación porcentual (Δvar) y los coeficientes de la correlación (r) y determinación (r^2). Se observó que el modelo RSAP presentó, en promedio, valores menores de Δvar para PG y el modelo de DSSat para MSM, cuando se comparan con los valores obtenidos en el campo. Para los factores de la producción analizados (PG y MSM) los valores más grandes del coeficiente de correlación de Pearson (r) y coeficiente de determinación (r^2) están vinculados al modelo RSAP, siendo que el modelo de DSSat presentó tendencia a subestimar los valores de la PG y de MSM hasta 2.614,63 y 7.707,24 kg.ha⁻¹, respectivamente. Partiendo de una sobreestimación de los valores del modelo RSAP, todos los valores de la PG y de MSM habían sido subestimados. Se puede concluir que los modelos de simulación evaluados habían conseguido capacidad satisfactoria predictiva en la simulación de las respuestas productivas de la cultura para las diversas condiciones de la disponibilidad hídrica probada, indicando que el uso de éstos es promisorio para las condiciones del presente estudio.

Palabras clave: Comparación; DSSat; RSAP; Glycine max. L.

4.2. Abstract

The culture is among the major grain-producing crops in Rio Grande do Sul, and almost in its entirety, this culture is conducted without irrigation and consequently their incomes and production are dependent on rainfall. In this sense, the simulation models are likely to serve as important tools for systems analysis and estimation of response cultivated crop production under different agroclimatic conditions. The objective of this work is to

perform a comparison and evaluation of responses productive cultural soy, regarding productive responses obtained via the field trial. The study was developed in the region of Santiago, RS, with the cultivar Coodetec 219 (CD 219), using six treatments based on variation of water availability. The models used in the simulations were the Cropgro-Soybean and RSAP, already calibrated and validated for the study site. We performed simulations with both models in order to determine the values for maximum dry matter (MSM) and yield (PG) at different strategies simulated water availability. The performance verification of the model was evaluated by graphical analysis and trend line, determining the percentage change, and the correlation coefficients (r) and determination (r^2) between observed and simulated PG and MSM. Note that the model presented RSAP on average lower values of Δvar for PG, and DSSat model for MSM. In both parameters, the lowest standard deviations of the model RSSAP Δvar occurred. For the production factors (PG and MSM) higher values of coefficient of correlation (r) and coefficient of determination (R^2) are linked to the model RSAP, the model DSSat tended to underestimate the values of PG and MSM to values of 2614.63 and 7707.24 kg.ha⁻¹, respectively, then leaving them to overestimate, while the model RSAP all values of PG and MSM were underestimated. We conclude that the simulation models tested achieved satisfactory predictive ability in the simulation of crop production responses to different water availability conditions tested, indicating that the use of these appears as a promising.

Key words: Comparison; DSSat; RSAP; efficiency; Glycine max. L.

4.3. Introducción

Al extremo sur de Brasil, en el Estado Rio Grande do Sul, el sector agrícola tiene gran importancia económica, existiendo condiciones pluviométricas favorables. En este Estado se produce aproximadamente 20% de los granos del país (MELO et al., 2003). También Fepagro (2012), la soya y el maíz son los principales cultivos agrícolas de granos producidos en el Estado, representando 70% del área cultivada, y 60,7% de la producción total de granos.

En este contexto, puede afirmarse que las oscilaciones productivas afectan significativamente la economía, siendo que la variabilidad de las rentas año a año queda representada arriba con significativo nivel de frustración de las cosechas agrícolas, ocurridas debido a la variabilidad interanual de la precipitación pluvial (BERLATO e CORDERO, 2005). Matzenauer et al. (1995) cita la existencia de diversos trabajos, destacando la alta correlación entre las condiciones meteorológicas en el Estado de Rio Grande do Sul durante el período del crecimiento de desarrollo de las culturas y de la producción final conseguida.

Según Gomes et al. (2011), en la frontera oeste de Rio Grande do Sul la aleatoriedad del comportamiento de la precipitación pluvial provoca inestabilidad y se convierte en agricultura no irrigada, una actividad de alto riesgo. Un ejemplo a ser destacado es la ciudad de Santiago, en donde las cosechas de 2003-2004 y 2004-2005 las pérdidas de producción habrían sido aproximadamente de 70% y 55%, respectivamente.

Para la evaluación y la gerencia de los riesgos asociados a la agricultura, el uso de las herramientas de precisión llega a ser excelente. Entre las técnicas disponibles para el pronóstico de los resultados productivos de las culturas bajo diversas condiciones de disponibilidad hídrica, los modelos de simulación son herramientas excepcionales. Los modelos se presentan como una simplificación de la realidad que, debidamente adaptados y probado en diversos ambientes, permite describir las interacciones entre la planta o cultivos, y el ambiente (WALTER et al., 2012).

Según Souza y Gomes (2008), en los últimos años puede verificarse el aumento del desarrollo y del uso de modelos de simulación dirigidos a las actividades agrícolas. En Brasil los ejemplos del uso de modelos agrícolas en estudios numéricos para simular los rendimientos de los cultivos agrícolas y otros procesos del crecimiento y del desarrollo vegetal son frecuentes en la literatura (LAGO, 2008; GROHS et al., 2009; MERCANTE et al., 2010).

Diversos trabajos citan la utilización de modelos de simulación para determinar las respuestas del cultivo de soya sometido a diferentes condiciones de disponibilidad hídrica. Entre éstos, Martorano (2007) verificó que el modelo de la Cropgro-Soybean fue eficiente en las simulaciones del crecimiento del desarrollo y rendimiento de la soya irrigada. Eldorado do Sul fue eficiente en las simulaciones del crecimiento del desarrollo y rendimiento de la soya irrigada en Eldorado. Gomes (2011) obtuvo un funcionamiento clasificado como óptimo,

utilizando el modelo RSAP en la simulación con el cultivo de la soya irrigada para la región de Santiago. Ambos trabajos fueron realizados en el Estado de Rio Grande do Sul.

La DSSat (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) Jones et al. (1998) es una de las más conocidas y difundidas aplicaciones de los modelos de simulación del crecimiento y desarrollo de los cultivos, siendo constituido por diversos submodelos proyectados para aplicaciones globales, realizando simulaciones independientemente del lugar, estación o cultivar (VERHAGEN et al., 2001). En la DSSat encontramos modelos para diferentes cultivos: maíz (Ceres-Maíz), soya (Cropgro-soya), trigo (Ceres-Trigo), sorgo (Ceres-Zahína), arroz (Ceres-Arroz), cebada (Ceres-Cebada), girasol (Ceres-Girasol). (IBSNAT, 1989).

El RSAP fue desarrollado por Robaina (1992), caracterizándose como un modelo de simulación del desarrollo cultural, de acceso libre, que utiliza la ecuación de Richards para la resolución del flujo de agua en el suelo. Siendo construido y validado a través de estudio experimental y de simulación numérica. El modelo RSAP permite realizar estudios de manejo de irrigación, siendo utilizado en la gerencia de las áreas irrigables, en especial en aquellas con disponibilidad limitada del agua, con módulos que permiten la simulación con los cultivos de soya, habas y maíz.

De acuerdo con Naylor et al. (1971), aunque existen diversos modelos aplicados a la simulación del desarrollo de los cultivos, un modelo útil para ser considerado debe incluir dos cualidades contradictorias: el realismo y la simplicidad. El modelo debe servir como una aproximación precisa del sistema verdadero, y contener la mayor parte de los aspectos importantes del mismo. La comprensión y manipulación del modelo van a depender de su grado de complejidad, por lo tanto, es ideal que los modelos no sean tan complejos, sino de fácil aplicación.

Chwif (1999) menciona, de una manera general, que el modelo de simulación bueno es aquel que permite alcanzar los objetivos de la simulación con un mínimo costo. Harrel y Tumay (1994) señalan que los modelos de la simulación deben poseer ciertas características, como ser válido; representar satisfactoriamente la realidad, y ser mínimo (en el sentido de incluir solamente los elementos que influyen significativamente en el problema a ser solucionado).

Así, considerando la posibilidad de utilización de modelos de simulación para el pronóstico de los resultados de cultivos, el presente trabajo persigue el objetivo de evaluar el funcionamiento de dos modelos de simulación, Cropgro-Soybean y RSAP, para la determinación de respuestas productivas del cultivo de soya, variedad Coodetec 219 (CD 219), sometido a diferentes regímenes hídricos.

4.4. Material y métodos

El estudio se basa en dos etapas, una primera etapa experimental y otra con el uso de los modelos de simulación. La etapa experimental fue desarrollada en el municipio de Santiago, Estado Rio Grande do Sul, situado el campo experimental en la granja Libertad, 4° distrito Tupantuba, entrada Chica Correia.

El municipio de Santiago está ubicado en las coordenadas geográficas 29°09'50" de latitud sur y 54°51'32" de longitud oeste, encontrándose a 439 m.s.n.m. Presenta un clima predominante subtropical húmedo, con temperaturas que varían entre 13° y 21° C, con un promedio de 17,9 °C, así como vientos predominantes en dirección este, con velocidades medias entre 25 y 30 km.h⁻¹, y promedio de precipitación pluviométrica de 1.919 mm.año⁻¹ (GOMES, 2004).

Para la realización del estudio fue utilizado el cultivo de soya variedad Coodetec 219 (CD 219), siendo colectados datos relativos con el rendimiento del cultivo en experimento

realizado en campo, con la aplicación de seis tratamientos basados en diversas láminas de irrigación. En la Tabla 1 se presentan las láminas totales y los porcentajes totales de irrigación utilizados en los seis tratamientos considerados.

Tabla 01

En la etapa de simulación fueron utilizados dos modelos de simulación del crecimiento de cultivos, siendo éstos los modelos siguientes: CROPGRO- Soybean, que incluyó el sistema DSSat, versión de 4.0.2.0 (HOOGENBOOM et al., 2004), y el modelo RSAP (ROBAINA, 1992).

La información necesaria para la simulación en el modelo Cropgro-Soybean está descrito detalladamente por Boote et al. (1998a, 1998b y 2003), y para el modelo RSAP en Parizi (2010) y Gomes (2011). Ambos modelos utilizan como información de entrada referente al sistema la relación suelo-planta-atmósfera. Las Figuras 1 y 2 representan la descripción de la información necesaria de los procedimientos de la simulación en los modelos CROPGRO- Soybean y RSAP, respectivamente.

Figura 01

Figura 02

Los datos que se referían al clima fueron obtenidos en la estación instalada en el área de estudio. Los datos referentes al suelo y al cultivo se obtuvieron en el experimento realizado en campo. Después de la organización de tablas en los formatos relativos a cada estándar de entrada de los modelos, los datos fueron insertados en éstos y ejecutado los procedimientos del cálculo de los parámetros del cultivo a los tratamientos considerados.

La calibración en ambos modelos fue realizada a través de la alteración de los parámetros del cultivo en estudio, realizando análisis de sensibilidad para cada uno de los parámetros y realizando nuevas simulaciones hasta que se encontró la máxima aproximación entre los valores conseguidos en campo, con los obtenidos con los modelos de simulación

(JONES, 2002; IGLESIAS y MÍNGUEZ, 1995, y MAVROMATIS et al., 2002). En el modelo RSAP también se realizó la calibración para los parámetros del balance hídrico.

Luego, a partir de los modelos DSSat y RSAP, calibrados y validados, fueron obtenidos los resultados relativos a las respuestas productivas del cultivo, siendo éstos: producción de granos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y producción de materia seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

La comparación entre los resultados obtenidos de cada uno de los modelos con los obtenidos del experimento en campo, fue realizada para la determinación de variación entre éstos (Δ al var) (ecuación 1).

$$\Delta_{\text{var}} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (1)$$

donde:

n= número de simulaciones

e_i = valore estimados para el modelo para la variable del interés

m_i = valor medido en campo para una variable de interés

Se realizó el análisis gráfico de 1:1, siendo que la línea recta fue convertida concomitante, indicando la comparación de los datos obtenidos de los modelos de simulación con los observados experimentalmente para el cultivo en estudio, donde para un ajuste perfecto formaría un ángulo de 45° entre la línea recta y el eje X y Y, determinando la regresión lineal $Y = ax + b$, donde está el coeficiente angular de línea recta e b y su intercepción con el eje Y (el coeficiente linear).

También se determinó el coeficiente de corrección de Pearson (r), que mide el grado de correlación entre dos variables de escala métrica, donde 1 significa una correlación perfecta positiva entre las dos variables, 0 indica que las dos variables no dependen linealmente una de la otra, y -1 indica una correlación negativa perfecta entre las dos variables, es decir, si una aumenta, la otra siempre disminuye. El coeficiente de la

determinación (R^2), que indica cuánto la variancia de la variable respuesta es explicada por la variación de las variables explicativas, siendo su valor entre 0 y 1 cuanto más grande y explicativo es el modelo.

4.5. Resultados y discusión

La proximidad entre los valores encontrados a partir del uso de los modelos de simulación y de la experimentación en campo, es factor fundamental para elevar la confianza en los resultados de pronóstico obtenidos por los modelos. Cuanto más grande es la proximidad, más representativa es la realidad que éstos presentan.

Tabla 02

Al analizar la Tabla 02, nótese que los valores de producción de materia seca máxima (MSM) y la producción de granos (PG) obtenida en la experimentación en campo se encuentran próximos a los valores de la simulación para ambos modelos usados en el estudio. Para la experimentación en campo se obtuvo una media promedio de producción de 8.939,70 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MSM, mientras que en el modelo de DSSat y el RSAP fueron encontrados valores de MSM de 9.266,60 y 8.490,50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, que señala en la media que el modelo DSSat sobrestimó los valores de MSM, mientras que el modelo RSAP los subestimó.

Para PG, en el experimento en campo fueron obtenidos, en promedio, 2.979 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los valores de PG de 3.126,80 y 2.871,80 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para los modelos DSSat y RSAP indican súper estimativa y subestimativa, respectivamente.

En cuanto a los valores de la desviación estándar se observa a través de la Tabla 02 que los valores mayores de desviación para ambos factores analizados (MSM y PG) fueron obtenidos en las simulaciones realizadas con los modelos DSSat, y consecuentemente los menores valores de la desviación estándar habían sido obtenidos en las simulaciones que usaron el modelo RSAP.

La desviación estándar de la PG en kg.ha⁻¹ encontrada por DSSat, RSAP fueron de aproximadamente tres veces inferiores a los valores de la desviación estándar encontrados por Dallacort et al. (2005), que utilizaron el modelo Cropgro-Soybean para la simulación con el cultivo de soya, variedad Coodetec 202, 204, 206 y 210, para la ciudad de Palotina-PR, en el período de 1974 a 2002, encontrándose varios desvíos de 731,42 y 1.034,84 kg.ha⁻¹.

Tabla 03

En la Tabla 03 se observa que para la PG, el menor valor de Δvar (-0,2) presente en el tratamiento 4, con utilización del modelo RSAP, simultáneo al valor mayor de Δvar (-13,8) también se asocia al tratamiento 4 con uso del modelo DSSat (Cropgro-Soybean). Para MSM, el menor valor de Δvar (0,1) se encontró asociado al T(1) con uso del modelo DSSat, y el mayor valor de Δvar (-7,0) para el tratamiento 4 que usó el mismo modelo.

En general, se observa que las variaciones en la producción final de los granos (PG) se encontraron en el modelo DSSat, entre -13,9 y 5,9, y en el modelo RSAP, entre -0,2 y 6,7. Luego, las variaciones totales que se encontraron en ambos modelos fueron inferiores a los encontrados por Klosowski (1997), que utilizó el modelo SOYGRO, para la simulación con tres variedades del cultivo de soya, en Londrina-Paraná, encontrando diferencias entre los valores estimados para el modelo entre -20% y +19% con relación a las observadas en campo.

También se observa en la Tabla 03 que las variaciones media de PG se encuentran entre -4,4% y 3,5%, para los modelos DSSat y RSAP, indicando subestimación y súper estimación, respectivamente, de los valores de PG encontrados en la simulación en relación con los encontrados en el campo.

Con relación a la producción de MSM, se observa que las variaciones media se encuentran entre -3,5% y 5,0%, para los modelos DSSat y RSAP, indicando subestimación y superestimación de los valores de MSM, encontradas en la simulación con relación a las halladas en campo, respectivamente.

En la Figura 03 se presenta la comparación entre la producción de grano (PG) observada en el experimento en campo, con la producción de grano (PG) estimada en los modelos de simulación para los seis tratamientos propuestos. Se observa en la misma Figura los coeficientes de correlación de Pearson (r) para la PG, que son 0,958 y 0,976, para los modelos DSSat y RSAP, respectivamente, indicando una buena correlación entre los valores observados y la estimada por ambos modelos.

En cuanto a los valores del coeficiente de determinación (R^2), el modelo DSSat presentó 0,917 R^2 y el modelo RSAP 0,952, lo que indica que el último presenta menor dispersión, es decir, 95,2% de la variación de la producción final (PG) simulada se explica por la variación de producción observada. Estos valores de coeficientes de determinación son superiores a los encontrados por Fontana et al. (2001), que utilizó modelos considerados completa y reducida, para la simulación con el cultivo de la soya, sujeta a déficit hídrico, en los municipios de Cruz Alta, Iraí, Marcelino Ramos, Santa Rosa, São Luiz Gonzaga y Passo Fundo, encontrando coeficientes de determinación de 0,85 y 0,79, respectivamente.

Comparando la línea de la tendencia con el indicativo de la relación de 1:1, se observa que en el modelo DSSat hasta los valores de PG de 2.614,63 kg.ha⁻¹ tendieron a la subestimación, pasando entonces a superestimación (sobre producción). Se realizó el mismo análisis para el modelo RSAP, y es posible afirmar que todos los valores de la producción de los granos (PG) encontrados habían sido subestimados.

Figura 03

Figura 04

Analizando los valores de los coeficientes de correlación de Pearson (0,982; 0,992) se percibe que para ambos modelos utilizados en las simulaciones éstas se encuentran próximos a 1,0, indicando correlación positiva entre los valores MSM simulados y estimados. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) son de 0,965 y 0,985 para los modelos DSSat y

RSAP, respectivamente, lo que indica que el último mayor porcentaje de la varianza del modelo se explica por la experimentación en campo.

Comparando la línea de tendencia como indicativo de la relación 1:1, se observa que para el modelo DSSat a los valores de $7.707,24 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, el modelo tiende a subestimar los valores de producción de granos, y desde éste tiende a sobrestimar. Al hacerse el mismo análisis para el modelo RSAP, es posible afirmar que todos los valores de materia seca máxima encontrados fueron subestimados.

4.6. Conclusiones

Para las condiciones donde el estudio fue realizado, el modelo RSAP presentó un promedio de valores más pequeños de Δvar para la PG y el modelo DSSat para MSM. En ambos parámetros evaluados (PG y MSM), las más pequeñas desviaciones estándar de Δvar ocurrieron en el modelo RSAP, así como los mayores valores de coeficiente de correlación de Pearson (r) y del coeficiente de determinación (R^2).

En general el modelo RSAP fue levemente más adecuado para las simulaciones con la variedad CD 219, para el área en estudio; siendo que para ambos modelos, DSSat (Cropgro-Soybean) y RSAP, se observó aproximaciones entre los valores de PG y MSM, considerándose satisfactorios, lo que indica que el uso de estas herramientas es prometedora para los pronósticos de las respuestas productivas del cultivo de soya, para las condiciones presentadas en este estudio.

4.7. Referencias bibliográficas

BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. 2003. **Agronomy Journal**, 95 (1): 32-51.

BOOTE, K. J.; et al. **Simulation of crop growth: CROPGRO model**. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). 1998a . Agricultural systems modeling and simulation. New York: M. Dekker. 651-691.

BOOTE, K. J.; et al. **The CROPGRO model for grain legumes**. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). Understanding options for agricultural production. 1998b. Dordrecht: Kluwer. 99-128.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discrETps na sua concepção: uma abordagem causal**. 1999. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica.

DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo Cropgro-Soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. 2006. **Acta Scientiarum Agronomy**, 28 (4): 583-589.

FEPAGRO. **Reunião técnica anual. Indicações técnicas 2011/2012**. Porto Alegre, 2012.

FONTANA, D.C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. 2001. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 36 (3): 399-403.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 164 p.

GOMES, A. C. **Caracterização climática de Santiago, RS para fins agrícolas**. 2004. 25f. Monografia (Especialização em Ciências Ambientais) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santiago, RS.

GROHS, D.S et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. 2009. **Engenharia Agrícola**, 29:101-112.

HARREL, C.; TUMAY, K. Simulation Made Easy. **Engineering & Management press**, 1994.

HOOGENBOOM, G. et al. **Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, Pnutgro, and BEANGRO: a review**. 1992. Transactions of the ASAE, 35 (6) 2043-2055.

HOOGENBOOM, G. et al.. **Decision support system for agrotechnology transfer: version 4.0**. Honolulu: University of Hawaii, 2004.

IBSNAT. **International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer – project** 1989a. Documentation for IBSNAT Crop Models Input & Output Files Version 1.1: for the decision support system for agrotechnology transfer (DSSat v. 2.1). IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 61p. 1989.

IGLESIAS, A.; MINGUEZ, M. I. **Prospects for maize production in Spain under climate change**. In: ROSENZWEIG, C. (Ed.). 1995. Climate change and agriculture: analysis of potential international impacts. Madison: American Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho, 259-273.

JONES, J. W.; RITCHIE, J. T. **Crop growth models**. In: Hoffman, G. J.; Howel, T.A.; Solomon, K. H. 1990. Management of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 63-89.

JONES, J.W. et al. **Decision support system for agrotechnology transfer; DSSat v3**. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), 1998. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, 157-177.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2002, 421-443.

KLOSOWSKI, E.S. Estimativa da produtividade de cultivares de soja por meio do modelo soygro para Londrina, Estado do Paraná. 1997. **Revista UNIMAR**. 751-765.

LAGO, I. **Desenvolvimento do arroz e do arroz-vermelho: modelagem e resposta à mudança climática**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSat**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. 2002. Porto Alegre: Fepagro, 105p.

MAVROMATIS, T. et al. El Nino-Southern Oscillation effects on peanut yield and nitrogen leaching. Climatic Resource, [S.l.], 2002, p. 129-140.

MELO, R.W.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** 2003. Belo Horizonte. SELPER. 173-179.

MERCANTE, E. et al. **Modelos de regressão lineares para estimativa de produtividade da soja no oeste do Paraná, utilizando dados espectrais**. 2010. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 30 (3) 504-517.

NAYLOR, T.H et al. **Técnicas de Simulação de Computadores**. 1971. São Paulo, EDUSP, 402p.

NASSIF, D. S. P. et al. Parametrização e avaliação do modelo DSSat/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. 2012. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. 47 (3) 311-318.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROBAINA, A. D. Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas. 1992. 144 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

Tabla 1. Las láminas totales y los porcentajes de láminas totales de irrigación que se utilizaron en las simulaciones para los seis tratamientos considerados. Adaptado de Gomes (2011).

Tratamiento	Láminas (mm)	Irrigación (%)
T ₀	0,0	0
T ₁	43,44	20
T ₂	86,89	40
T ₃	130,33	60
T ₄	173,77	80
T ₅	217,22	100

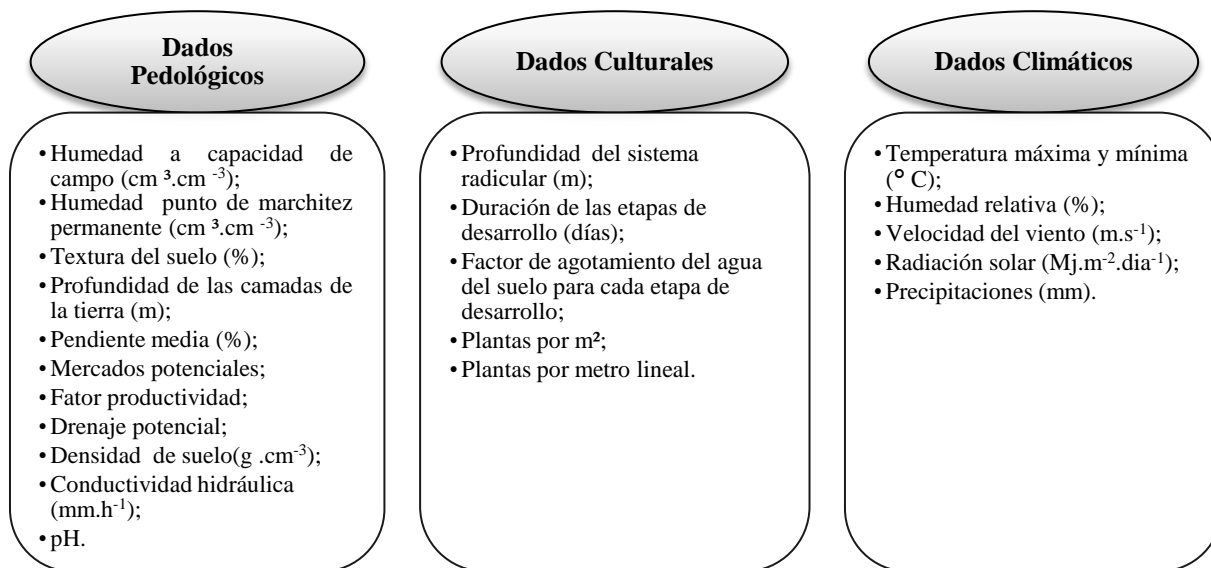


Figura 1. Datos de entrada, referente al suelo-planta-atmósfera necesaria para las simulaciones con el modelo Cropgro-Soybean.



Figura 2. Datos de entrada, referente al suelo-planta-atmósfera necesaria para las simulaciones con el modelo RSAP-Soya.

Tabla 02. Los valores de materia seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y la producción de granos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtenido a través de la experimentación en campo y de los modelos de simulación DSSat y RSAP para el cultivo de la soya, variedad Coodetec 219, en la región de Santiago, Rio Grande do Sul.

Tratamiento	Experimentación		DSSat		RSAP	
	Prod. Granos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Granos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Granos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
T ₀	2277,1	7748,5	2143,0	7882,0	2247,2	7490,7
T ₁	2904,2	8374,8	2795,0	8369,0	2730,4	7918,2
T ₂	3022,2	8989,0	3213,0	9077,0	2894,2	8393,3
T ₃	3119,5	9197,8	3433,0	9767,0	3032,6	8794,5
T ₄	3123,3	9546,2	3555,0	10212,0	3128,9	9073,9
T ₅	3427,9	9781,9	3622,0	10289,0	3197,4	9272,4
Desv. Media	2979,0	8939,7	3126,8	9266,0	2871,8	8490,5
Desv. Estándar	385,3	759,5	567,0	994,8	348,9	690,0

Tabla 03. Valores de Δ var obtenidos en la experimentación en campo en relación con los obtenidos en los modelos de simulación para el cultivo de soya.

Tratamiento	Experimento X DSSat		Experimento X RSAP	
	Prod. Granos (%)	Prod. MSM (%)	Prod. Granos (%)	Prod. MSM (%)
T ₀	5,9	-1,7	1,3	3,3
T ₁	3,8	0,1	6,0	5,5
T ₂	-6,3	-1,0	4,2	6,6
T ₃	-10,0	-6,2	2,8	4,4
T ₄	-13,8	-7,0	-0,2	4,9
T ₅	-5,7	-5,2	6,7	5,2
Desv. Media	-4,4	-3,5	3,5	5,0
Desv. Estándar	7,7	3,0	2,7	1,1

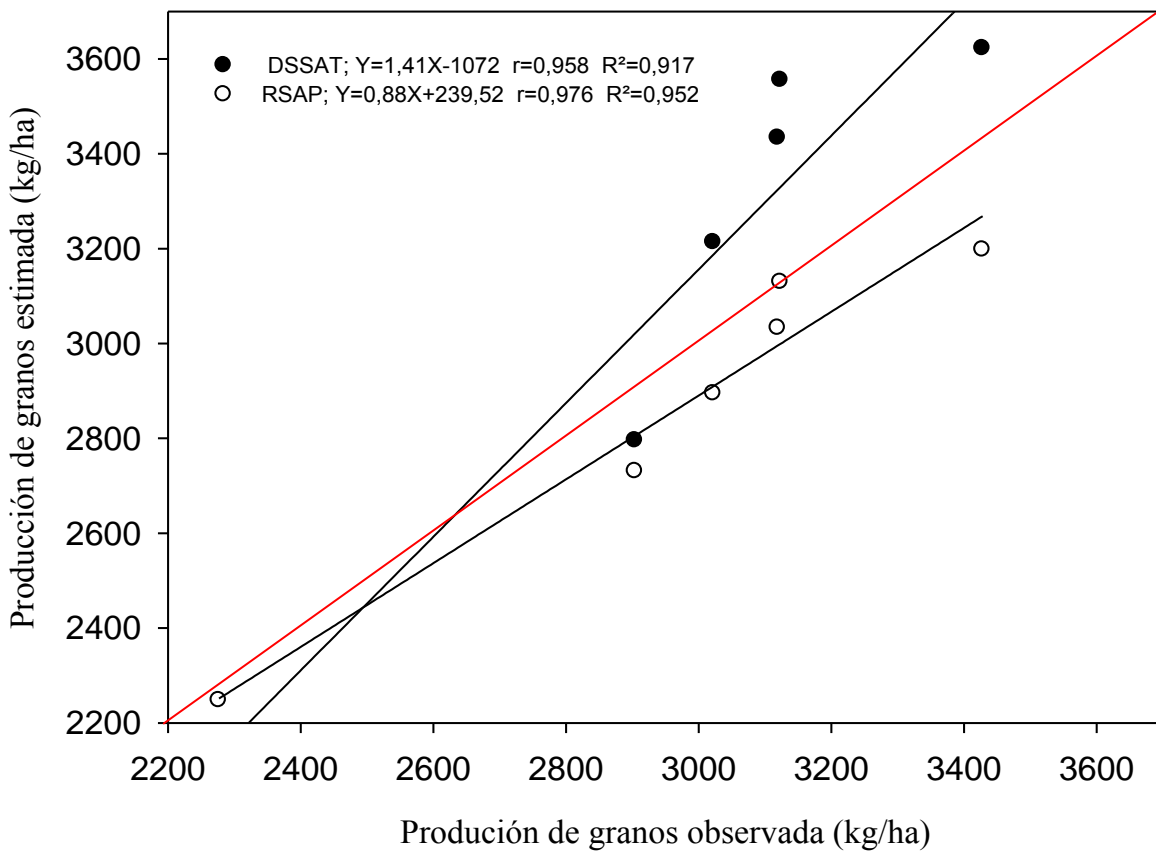


Figura 03 - Comparación entre la producción de grano (PG) observada en el experimento en campo, con la producción de grano (PG) estimada en los modelos de simulación para los seis tratamientos propuestos.

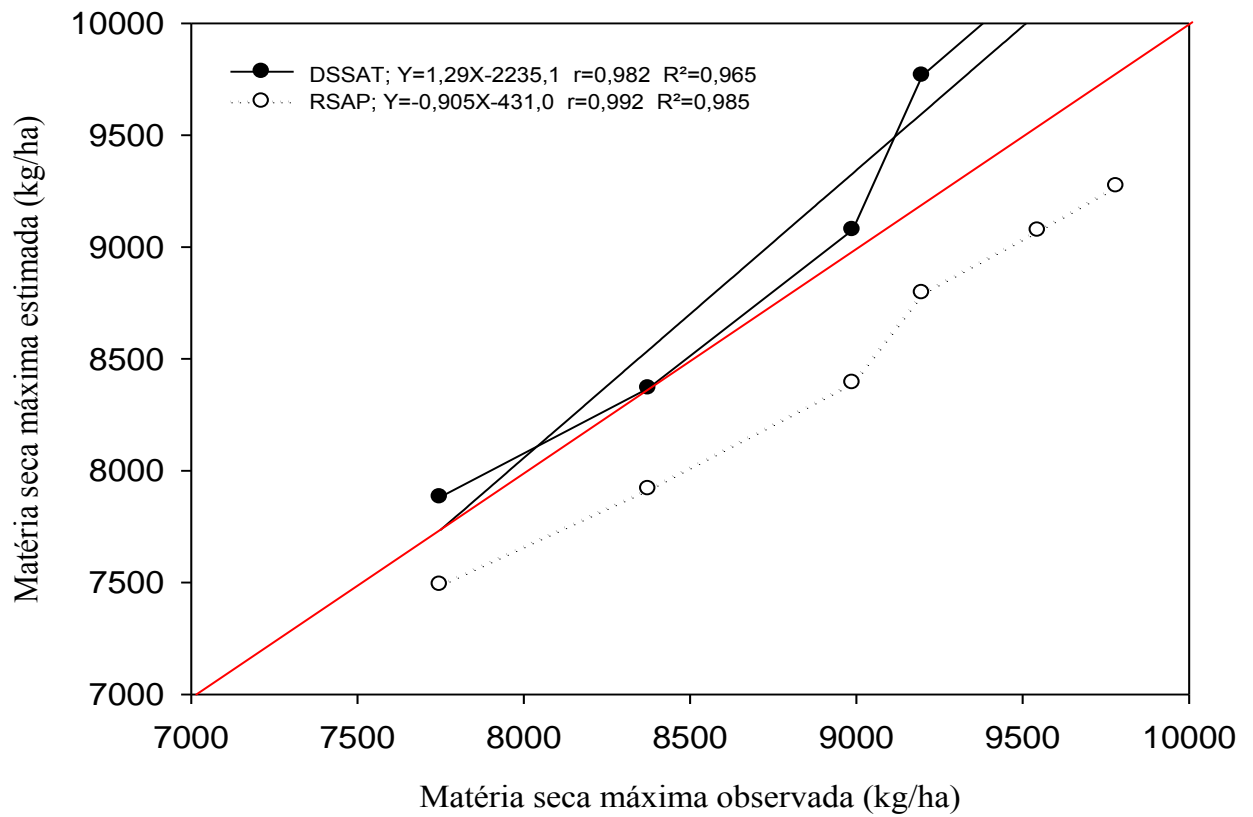


Figura 04 - Comparación entre la producción de materia seca máxima (MSM) observada en la experimentación en campo con las producciones de materia seca máximos (MSM) de las estimaciones de la simulación para seis tratamientos propuestos.

5. ARTIGO 3: CAPACIDADE PREDITIVA DO MODELO CERES-MAIZE PARA O MANEJO DE SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS

5.1. RESUMO

O milho apresenta-se como cultura estratégica para o Brasil, sendo matéria-prima para diversos produtos que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Cita-se que a cultura é fortemente dependente das condições climáticas, e os modelos de simulação apresentam-se como ferramenta útil na previsão dos efeitos climáticos e de manejo sobre a resposta produtiva desta. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a aplicabilidade de utilização do modelo Ceres-Maize para a determinação das respostas produtivas da cultura do milho, submetido a diferentes condições de disponibilidade hídrica, para a Região de Santiago, RS. O estudo foi desenvolvido com a cultivar de milho Pioneer 32R22, sendo aplicados seis tratamentos baseados em variação da disponibilidade hídrica. Foi utilizado nas simulações o modelo Ceres-Maize, sendo a calibração deste realizada pelo ajuste dos coeficientes genéticos para a condição de sequeiro (T_0). A verificação de desempenho foi efetuada pela determinação da variação percentual de produção de grãos (PG) e matéria seca máxima (MSM) entre experimento de campo e simulação, e pelo uso valores de indicadores estatísticos. Observou-se que as variações de PG e de MSM encontraram-se entre -2,2% e 33,2% e 3,2% e 35,7%, respectivamente, sendo as menores variações obtidas no tratamento 0 ($T_0 = 0$ mm), ocorrendo significativa elevação da variação quando aplicadas maiores lâminas de irrigação. Os valores de índice de desempenho (Id) enquadraram as simulações de PG e de MSM como muito boa e ótima, respectivamente. O modelo Ceres-Maize apresentou-se como ferramenta útil em simulações das respostas produtivas da cultura do milho (Pioneer 32R22), sendo necessários novos testes com relação a sua utilização em simulações com determinação das respostas produtivas para diferentes disponibilidades hídricas.

Palavras-chave: *Zea mays L.*; Simulações; Disponibilidade hídrica.

PREDICTIVE CAPACITY MODEL CROPGRO-MAIZE FOR IRRIGATION MANAGEMENT SYSTEMS IN THE REGION OF SANTIAGO-RS

5.2. ABSTRACT

Corn is presented as strategic for Brazil culture, being raw material for many products ranging from animal feed to the high-tech industry . It read that culture is heavily dependent on the weather , and simulation models are presented as a useful tool in predicting climate effects and management on the production of this response . The objective of this study is to assess the applicability of using the Ceres -Maize model to determine the yield response of corn subjected to different conditions of water availability for the Region of Santiago. The study was conducted with maize cultivar Pioneer 32R22 six treatments being applied based on variation in water availability. Ceres -Maize model was used in the simulations being performed this calibration by adjusting the genetic for upland (T0) coefficients. The performance verification was performed by determining the percentage variation in grain yield (GY) and maximum dry matter (MSM) between field experiment and simulation, and the use values of statistical indicators. It was observed that the variations of PG and MSM were between -2.2% and 3.2 % and 33.2 % and 35.7 % , respectively, smaller variations obtained in the treatment 0 (T0 = 0 mm) , and a significant elevation change when larger irrigation applied . The values of the performance index (Id) framed the PG simulations and MSM as very good and excellent , respectively. The Ceres - Maize model was presented as a useful tool in simulations of yield response of corn (Pioneer 32R22) , new tests with respect to their use in simulations to determine the yield response to different water availability is required .

Key-words: *Zea mays L.*; Simulation; water availability.

5.3. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de milho, apresentando produtividade crescendo de cerca de 4% ao ano (AGRIANUAL, 2008). Sendo a maior parte da produção de milho no Brasil realizada em condições de sequeiro, estando assim, sujeita às instabilidades climáticas (SOUSA e PERES, 1998). Alves et al (2012) cita que para a cultura do milho, a água é fator determinante da produção, logo é fundamental o conhecimento de suas necessidades hídrica e da suscetibilidade a esta nos diferentes estádios de desenvolvimento (SILVA et al., 2010).

Segundo Bergamaschi et al. (2004), reduções nas colheitas são frequentes e intensas, no Rio Grande do Sul. Sendo que a maior parte do Rio Grande do Sul apresenta fortes restrições ao cultivo do milho em decorrência do déficit hídrico, que abrange toda a metade sul e o extremo oeste do Estado. Mesmo nas regiões mais ao norte, onde se encontram as áreas consideradas preferenciais pelo zoneamento climático, as médias de precipitação não atendem às necessidades da cultura, e a ocorrência de estiagens também afeta a produção de milho, embora com menor intensidade e frequência (MATZENAUER et al., 2002).

Gomes et al. (2006) verificaram que na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul, a aleatoriedade do comportamento climático provoca instabilidade na produção agrícola, tornando-a uma atividade de alto risco, onde no município de Santiago, nas safras de 2003/2004 e 2004/2005 ocorreram perdas de produção de aproximadamente 70% e 55% respectivamente.

Cruz et al. (2010) afirmam que a ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho pode ocasionar danos em todas as fases de desenvolvimento da cultura. Bergamaschi et al. (2006) observaram em trabalho conduzido ao longo de 10 anos de cultivo de milho, no Estado do Rio Grande do Sul, que a produtividade média da cultura atingiu $10,4 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, sob manejo irrigado e, em 50% dos anos, a produtividade média não atingiu $6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, sob manejo de

sequeiro, constatando uma grande variabilidade interanual, nestas condições, com os rendimentos.

O estudo do potencial de rendimento de grãos de milho, em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura, possibilita a identificação dos fatores ambientais que limitam seu cultivo, em cada época de semeadura. Como há interação entre os diversos fatores que afetam o desenvolvimento e a produtividade das culturas, a individualização do efeito é difícil de ser quantificada, podendo ser facilitada, todavia, com o uso da modelagem (ALVES et al., 2011).

Os modelos de simulação de culturas apresentam-se com ferramentas capazes de prever o rendimento final das culturas, sendo que estes têm sido estudados intensivamente em várias partes do mundo, sendo capazes de prever resultados produtivos para diferentes condições de manejo (RECH, PAVAN e HÖLBIG, 2009). Segundo Nassif (2012) as previsões agrícolas via modelo de simulação constituem um meio importante de servir a agricultura, possibilitando a realização de análises econômicas e de riscos associadas a cada estratégia de gestão simulada.

Atualmente, existe uma grande disponibilidade de modelos desenvolvidos para a simulação de crescimento de diversas culturas, cuja eficiência já fora comprovada em várias situações. Dentre estes, destaca-se o modelo Cropping System Model Ceres-Maize , do sistema DSSat (Decision Support System for AgrotechnologyTransfer) (HOOGENBOOM et al., 2009).

O modelo Cropping System Model (CSM)-Ceres-Maize pode ser utilizado para simular a produtividade das culturas e auxiliar na definição de estratégias que permitam um melhor aproveitamento dos recursos naturais (ANDRADE et al., 2009). Segundo Cardoso, Faria e Folegatti (2004), uma característica importante deste modelo é sua capacidade para incluir informação de uma cultivar específica, sendo possível a predição das variações na

fenologia da planta e características de componentes do rendimento e as suas interações com o clima, conseguindo prever o efeito das alterações climáticas sobre a resposta produtiva da cultura.

Andrioli e Sentelhas (2009) afirmam que o uso de modelos de produção bem calibrados resulta em estimativas aceitáveis de produtividade, e tem potencial para ser usado como preditor de produtividade, para o zoneamento de culturas e para uma melhor determinação de épocas de semeadura.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a aplicabilidade de utilização do modelo Ceres-Maize para a determinação das respostas produtivas da cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, submetida a diferentes condições de disponibilidade hídrica, para a região de Santiago, RS.

5.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseia-se em duas etapas, a primeira experimental, através de experimentação à campo realizada por Parizi (2010) e, a segunda, através do uso de modelo de simulação. A etapa experimental foi desenvolvida para o município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul, sendo que o campo experimental localiza-se junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba.

O município de Santiago apresenta coordenadas geográficas 29°09'50" de latitude sul e 54°51'32" de longitude oeste. O local encontra-se a 439 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 21°C, com média térmica de 17,9°C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km.h⁻¹ e precipitação pluviométrica de 1.919 mm.ano⁻¹ (GOMES, 2011).

Para a realização do estudo foi utilizada a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22. Sendo coletados dados relativos a resposta produtiva da cultura em experimento realizado à

campo (PARIZI, 2010), com aplicação de seis tratamentos baseados em diferentes lâminas de irrigação, a precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura foi de 413 mm. A Tabela 01 apresenta as lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos.

Tabela 01 - Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010).

Manejo de Irrigação	Tratamentos propostos					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lâmina aplicada (mm)	0,00	43,44	86,89	130,33	173,77	217,22
Disponibilidade fornecida (%)	0	20	40	60	80	100

Na etapa de simulação, foi utilizado o modelo Ceres-Maize, incluído no sistema DSSat, versão 4.0.2.0. A construção dos arquivos necessários para a simulação encontra-se descrita em detalhe em Boote et al. (2003), sendo estas informações referentes ao sistema solo-planta-atmosfera.

Os dados referentes ao clima foram obtidos junto a estação instalada na área de estudo e, constam de: temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa (%); velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); radiação solar ($\text{Mj}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$); precipitação pluvial (mm). Os dados de solo foram obtidos junto ao experimento realizado à campo, sendo estes: umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$); umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$); textura do solo (%); profundidade das camadas do solo (m); classificação do solo; declividade média (%); potencial de escoamento; fator de produtividade; potencial de drenagem; carbono orgânico (%); pH; capacidade de troca catiônica; densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); condutividade hidráulica ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$). Os dados da cultura foram obtidos durante a realização do experimento à campo, sendo estes: profundidade do sistema radicular (m); duração dos estágios de desenvolvimento (dias); fator de depleção de água no solo relativo a cada estágio de desenvolvimento; plantas por m^2 ; plantas por metro linear.

Após a organização das tabelas de dados, estas foram inseridas no modelo e, executados os processos de cálculo dos parâmetros culturais relativos aos tratamentos propostos utilizando cultivares disponíveis no modelo. Testando-se, até encontrar cultivar disponível no modelo com respostas produtivas similares às encontradas experimentalmente. Selecionando-se as três com respostas produtivas que apresentam valores próximos aos obtidos no experimento realizado a campo, passando-se então para a calibração.

A calibração foi realizada através do ajuste dos coeficientes genéticos da cultivar em estudo (Pionner 32R22), para o tratamento T_0 (condição de sequeiro), realizando análise de sensibilidade para cada um dos coeficientes e, novas simulações até se encontrar a máxima aproximação entre os valores obtidos à campo com os obtidos via modelo de simulação, método da tentativa-erro, proposto por Jones (2002).

A validação e avaliação do desempenho do modelo foram realizadas a partir da comparação entre os valores obtidos via modelo de simulação versus os obtidos via experimento, sendo determinado o percentual de variação entre estes (Δ_{var}) (1) e por meio dos indicadores estatísticos, dentre estes: erro médio (ME) (2) e raiz quadrada do erro médio (RSEM) (3).

O Δ_{var} , o ME e o RSEM foram obtidos através das seguintes equações:

$$\Delta_{var} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (1)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i) \quad (2)$$

e

$$RSEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i)^2} \quad (3)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Com o mesmo conjunto de dados foi determinado o índice de concordância de Willmott

(Iw) (4), calculado por:

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (E_i - E + O_i - O)^2} \quad (4)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

O coeficiente de correlação (r) (5) permitirá quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise, podendo ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2}} \quad (5)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

Foi determinado o índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_w$). O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho utilizadas neste trabalho foi feito de acordo com Costa (1977) e pode ser vista pela Tabela 02.

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977).

Critério de interpretação do índice de desempenho				Classes de desempenho	
0,85	>	Id			Ótimo
0,76	>	Id	>	0,85	Muito Bom
0,66	>	Id	>	0,76	Bom
0,61	>	Id	>	0,66	Mediano
0,51	>	Id	>	0,61	Ruim
0,41	>	Id	>	0,51	Muito Ruim
		Id	>	0,41	Péssimo

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 03 são apresentados os coeficientes genéticos para a cultivar de milho Pionner 32R22, calibrados utilizando os dados de campo obtidos nas condições de solo e clima da região de Santiago, RS.

Tabela 03 - Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de milho Pionner 32R22, na região de Santiago, RS.

Coeficientes Genéticos	P1	P2	P5	G2	G3
	220,0	0,700	850,0	907,0	9,90

P1: graus-dia entre a emergência das plantas e o final do estágio juvenil; P2: coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo; P5: graus dia entre o florescimento e o ponto de maturidade fisiológica (PMF); G2: número potencial de grãos por planta; e G3: taxa potencial de crescimento de grãos.

Os valores dos coeficientes genéticos apresentados na Tabela 03 encontram-se próximos aos encontrados por Braga, Cardoso e Coelho (2004), que testando 6 cultivares de milho (FAO 700, FAO 600, FAO 500, FAO 400, FAO 300 e FAO 200, sendo as 3 primeiras de ciclo longo e as demais de ciclo curto), em Portugal, encontraram valores de P1 entre 270,0 e 145,0; P2 0,300 e 0,800; P5 680,0 e 820,00; G2 580,4 e 820,4 e G3 6,20 e 8,50. Observou-se que os valores dos parâmetros P1 e P5 são diretamente proporcionais a duração do ciclo da cultura de P2 varia entre cultivares em função da sensibilidade diferenciada ao fotoperíodo.

A Tabela 04 apresenta os valores de saída de matéria seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) do modelo de DSSat após a calibração, seguidos dos valores de variação dos resultados obtidos via modelo em relação ao experimento a campo para cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, nos seis tratamentos propostos.

Tabela 04- Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, obtidos via simulação e experimento e variação entre estes para os tratamentos T₀ (calibração), T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅, para Santiago, RS.

Tratamento		Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Matéria seca máx. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Valores de Δ Produção de Grãos (%)	Valores de Δ Matéria seca Max. (%)
Trat. T0	Campo	8376,3	18773,0	-2,2	3,2
	DSSat	8563,0	18176,0		
Trat. T1	Campo	9243,6	21743,5	-2,6	11,9
	DSSat	9484,0	19163,0		
Trat. T2	Campo	12113,7	26225,3	16,6	24,6
	DSSat	10100,0	19786,0		
Trat. T3	Campo	14096,2	29350,1	27,3	32,0
	DSSat	10254,0	19947,0		
Trat. T4	Campo	14707,5	29950,0	30,4	33,5
	DSSat	10240,0	19921,0		
Trat. T5	Campo	15550,9	31215,7	33,2	35,7
	DSSat	10385,0	19947,0		

Nota-se, através da Tabela 04, que os valores encontrados de produção de grãos (PG) à campo encontram-se inferiores aos obtidos pelo modelo nos tratamentos 0 (T₀=sequeiro) e 1 (T₁=43,44 mm), a partir deste tratamento o modelo inicia a subestimar os valores de PG obtidos à campo, sendo que para o tratamento 5 (T₅=217,22 mm) a variação entre modelo e experimento chega à 33, 2%, isto é, o modelo subestima em mais de 1/3 a produção de grãos obtida à campo.

Quando analisada a produção de matéria seca máxima (MSM), nota-se que os valores de MSM obtidos à campo são em todos os tratamentos superiores aos obtidos via modelo de simulação. Sendo, a variação entre MSM obtida à campo versus obtida via modelo de simulação entre 3,2 e 35,7 %, demonstrando que para todos os tratamentos o modelo tendeu a

subestimar a MSM. Afirma-se que as variações de PG e MSM foram elevando-se no transcorrer dos tratamentos, o que significa que o modelo não conseguiu manter seu poder preditivo com o aumento da lâmina de irrigação aplicada.

Neste sentido, Alves et.al. (2011) observaram, em simulações com a cultura do milho, cultivar BRS 1030, submetida a sistemas de cultivo, sequeiro e irrigado, em Janaúba-MG, que houve uma variação estacional e interanual da produtividade de grãos, mesmo com a cultura mantida em condições adequadas de umidade no solo, com alterações consideráveis entre as produtividades máximas e mínimas, indicando, que outros fatores, além de estresse hídrico, afetam significativamente o rendimento da cultura do milho.

Tal fato foi também observado por Andrade et al. (2009), quando avaliaram a produtividade do milho em diferentes datas de semeadura, para a região de Sete Lagoas, MG, destacando a hipótese de que fatores como temperatura e radiação podem influenciar no comprimento do ciclo da cultura, na produção de fotoassimilados e no acúmulo de massa seca, afetando diretamente a produtividade da cultura submetida a diferentes disponibilidades hídricas.

A Tabela 05 apresenta os valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Ceres-Maize, com a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, na região de Santiago, RS.

Tabela 05- Valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Ceres-Maize, com a cultura do milho, cultivar Pioneer 32R22, na região de Santiago, RS.

Produção de grãos					Produção de matéria seca máxima				
ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id	ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id
-2510,33	3305,43	0,974	0,83	0,813	-6669,24	7764,51	0,966	0,898	0,867

Na Tabela 05 pode-se observar valores de erro médio (EM) de -2.510,33 e -6.669,24 kg.ha⁻¹, para produção de grãos e matéria seca máxima, respectivamente, indicando que o modelo apresenta tendência de superestimar os valores de ambos os parâmetros produtivos analisados. Quanto aos valores de raiz quadrada do erro médio, percebe-se que estes encontram-se elevados, indicando a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da linha 1:1.

Os valores de índice de concordância de Willmontt foram de 0,974 e 0,966, para produção de grãos e produção de matéria seca, respectivamente, indicando precisão considerável entre os valores estimados e observados. Esses resultados corroboram com os obtidos por Soler (2004) que, ao avaliar o modelo Ceres-Maize na previsão de safra de milho safrinha na região de Piracicaba-SP, encontrou valores do índice de concordância de Willmontt (Iw) entre 0,84 e 0,99. E com os encontrados por Pereira et al. (2010) que obtiveram valores de índice de concordância de Willmontt entre 0,80 e 0,99, em simulações com Ceres-Maize, realizadas com cinco híbridos de milho, em Lavras-MG.

Os valores de índice de desempenho enquadraram a determinação da produção de grãos via modelagem como boa e como ótima a determinação da matéria seca máxima via simulações. Cabe salientar, que os indicadores estatísticos utilizam para sua determinação todos os tratamentos, gerando, assim, respostas gerais sobre a determinação da PG e MSM via modelagem, já na Tabela 04 são apresentados valores de variação entre simulação e experimentação por tratamento, possibilitando visualizar que nos tratamentos com aplicação de menores lâminas o modelo conseguiu representar com melhor acurácia a realidade (experimento).

5.6. CONCLUSÃO

- As menores variações nos valores totais de produção de grãos e matéria seca máxima foram obtidas para os tratamentos T₀ (sequeiro), que obtiveram variação de -2,2 e 3,2, para produção de grãos e de matéria seca máxima, respectivamente;

- As variações entre as respostas produtivas obtidas experimentalmente e via modelo de simulação elevaram-se com o suprimento da demanda hídrica da cultura via irrigação, indicando que o modelo não demonstrou acurácia nas simulações com tratamentos com maiores doses de lâmina de irrigação;

- Os valores de índice de desempenho enquadraram como bom os valores obtidos via modelo de simulação para o parâmetro produção de grãos e ótimo para o parâmetro matéria seca máxima;

- O estudo evidenciou a importância da realização de novas avaliações do modelo em ambientes variados, que integrem situações diversificadas de manejo, a fim de identificar seu comportamento.

5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: Instituto FNP, 2008. 520p.

ALVES, M. E. B. et al. **Épocas de semeadura de milho em Minas Gerais: utilização do modelo DSSat para análise do risco climático.** In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. 2012. p. 3591-3597.

ALVES, M. E. B. et al . Identificação e quantificação do efeito de fatores ambientais na produtividade da cultura do milho na região de Janaúba, MG. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, Fortaleza, v. 5, p. 188-201, 2011.

ANDRADE, C. L. T. et al. Utilização do Modelo Ceres-Maize como Ferramenta na Definição de Estratégias de Semeadura de Milho: 1 - Sistema de Produção de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBA. 2009.

ANDRIOLI, K. G.; SENTELHAS, P.C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 653-660, 2009.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2004.

BRAGA, R. P., M. J. CARDOSO, J. P. COELHO. Otimização da produção de silagem de milho no Nordeste de Portugal com recurso a modelos de simulação. In: 1º Congresso Luso Brasileiro de tecnologias de informação e comunicação na agropecuária. Santarém. **Anais...** Santarém. 2004.

BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 32-51, 2003.

CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em londrina - PR, utilizando o modelo Ceres-Maize. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 24, n.2, p.291-300, 2004.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

COSTA, P. O. Correlação e regressão. In:_____. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. p. 178-228

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do Milho**. Sistemas de Produção 2, Embrapa Milho e Sorgo. 2010.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GOMES, A. C. et al. Modelagem da Precipitação Diária na Região de Santiago, RS. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

HOOGENBOOM, G. et al. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer**. Version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2009. CD-ROM.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2002, p 421-443.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

NASSIF, D. S. P. et al. Parametrização e avaliação do modelo DSSat/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.3, p.311-318, 2012.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEREIRA, A. M. de A. R. et al. Eficiência do modelo Ceres-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.4, p. 486-493, 2010.

RECH, G.; PAVAN, W.; HÖLBIG, A. C. Modelo de Simulador Aplicado ao Desenvolvimento de Culturas. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo, v. 1, n. 1, p. 15-29, 2009.

SILVA, D. F. et al. Avaliação da produtividade de Milho (Zeamays L.) sob condições de três regimes hídricos em Sete Lagoas, MG. Pereira L.S., Victoria F.R.B., Paredes P., Garcia M., Palacios E., Torrecillas A. (eds) 2010. **Tecnologias para o Uso Sustentável da Água em Regadio**. Edições Colibri e CEER, Lisboa. 2010.

SOLER, C.T. Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”. 2004. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo. 2004.

SOUSA, S. A. V.; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1951-1956, 1998.

6. ARTIGO 4: DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-DRYBEAN EM SISTEMAS IRRIGADOS NA REGIÃO DE SANTIAGO-RS

6.1. Resumo

A cultura do feijão, no Brasil, apresenta-se sob cultivo em diferentes condições edafoclimáticas e de manejo, sendo afetada pelas oscilações climáticas, que em muitos anos, comprometem a safra. O presente trabalho objetiva calibrar, validar e avaliar o desempenho do modelo Cropgro-Drybean para simulações com a cultura do feijão, submetido a variabilidade hídrica, na região de Santiago, RS. O estudo foi desenvolvido com a cultivar Uirapuru 88, com seis tratamentos baseados na variação da disponibilidade hídrica. A calibração do modelo foi realizada pelo método da tentativa-erro, através do tratamento T₀ (sequeiro), e a validação e verificação do desempenho pela determinação da variação percentual entre valores observados e simulados e por indicadores estatísticos de desempenho. Observou-se expressiva variação entre os valores de produção de grãos (PG) e matéria seca máxima (MSM) simulados e observados, em especial nos tratamentos T₀ e T₅ (184,22 mm). Os valores de PG e MSM simulados encontram-se superestimados até T₃ (110,53 mm), tornando-se, então, constantes, indicando que a aplicação de lâminas de irrigação superiores às aplicadas em T₃ não resultaram em respostas produtivas semelhantes. Conclui-se, que o modelo, após, calibrado e validado, apresentou desempenho bom e ótimo, para a determinação via simulação da PG e MSM, respectivamente.

Termos para indexação: Coeficientes genéticos; Simulação; Irrigação; *Phaseolus vulgaris* L..

Performance Cropgro-Drybean in irrigated systems in the region of Santiago-RS

6.2. Abstract

The bean crop in Brazil presents under cultivation in different environmental conditions and management, being highly affected by climate oscillations, especially water deficits, which in

years to undertake crop. This paper aims to calibrate and verify the performance of Cropgro-Drybean for simulations with the bean crop, subjected to water variability in the region of Santiago, RS. The study was conducted with the bean cultivar Uirapuru with six treatments based on variations in water availability. The calibration of Cropgro-Drybean was performed by trial and error, and verification of performance by determining the percentage change between observed and simulated values and the values of ME, RSEM, Iw, re Id. There was a significant variation between PG values and MSM simulated and observed, particularly in T0 and T5. It was further found that the values of simulated and MSM PG are overestimated to T3, from which they become constant, indicating that the application of irrigation higher than those applied to T3 did not result in productive responses similar between simulation and field. We conclude that the simulations fit the model as good or very good, for the determination of PG and MSM, respectively.

Index terms: Genetic coefficients; Simulation; Irrigation; *Phaseolus vulgaris L.*

6.3. Introdução

O feijão [*Phaseolus vulgaris L.*] é a mais produzida e consumida espécie do gênero *Phaseolus* no mundo (FREYTAG e DEBOUCK, 2002). No Brasil a cultura do feijoeiro é disseminada em todo território nacional sendo cultivada sobre as mais variadas condições edafoclimáticas e semeada principalmente como cultura de subsistência, podendo também ser encontrada em cultivos altamente tecnificados (YOKOYAMA et al., 1996).

Apesar de sua grande importância para a maioria da população brasileira, a produção de feijão é variável entre os anos e comumente se observam perturbações e inconstância no seu cenário comercial. A variação anual da produção está fortemente atrelada ao desconhecimento em relação às condições meteorológicas ao longo do período produtivo e nos locais de produção, gerando muitas vezes déficits hídricos acentuados nas fases mais críticas da cultura (EMBRAPA, 2003).

Segundo Maluf et al. (2001), o rendimento médio do feijoeiro no Brasil, em particular no Rio Grande do Sul, é considerado baixo e seguramente pode ser incrementado com o entendimento das variáveis ambientais que limitam o potencial de rendimento, o zoneamento de riscos climáticos e a adoção de práticas culturais que possibilitem melhor aproveitamento das condições disponíveis.

O estresse hídrico é a principal causa do baixo rendimento do feijoeiro. Essa leguminosa consome aproximadamente 300 mm de água durante o ciclo (MATZENAUER et al., 2004) e é uma espécie muito sensível a ambientais extremos, sobretudo durante o florescimento em relação à temperatura (SILVA et al., 2007) e deficiência hídrica (EMBRAPA, 2003).

A ocorrência de deficiência hídrica no RS para o feijoeiro é frequente, podendo se esperar redução no rendimento de grãos desta cultura, em duas a cada dez safras (MATZENAUER et al., 2004). Gomes et al. (2011) verificaram que na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul, a aleatoriedade do comportamento climático provoca instabilidade na produção agrícola, tornando-a uma atividade de alto risco, onde no município de Santiago, nas safras de 2003/2004 e 2004/2005 ocorreram perdas de produção de aproximadamente 70% e 55%, respectivamente.

Neste sentido, a previsão de produção do feijoeiro apresenta-se como fator de interesse para o governo, os agricultores e empresas ligadas ao agronegócio, haja visto sua importância social e econômica tanto a nível de Brasil, como de Estado. Assim, visando melhorar a estratégia de previsão de rendimento das culturas, novos métodos de previsão vêm sendo adotados, métodos estes que visam incorporar fatores quantitativos para melhorar a precisão da estimativa (OLIVEIRA et al., 2012).

Modelos computacionais de simulação podem ser aplicados para estimativa da produtividade das culturas, em resposta a déficits hídricos, salinidade e excesso de água na

zona radicular, resultantes de diferentes estratégias de manejo de irrigação e configurações de sistemas de drenagem (GARCIA, MANGUERRA e GATES, 1995).

Cita-se que as duas últimas décadas foram marcadas pelo desenvolvimento de modelos mais sofisticados de colheita. Estes modelos incluem representações melhoradas de fenologia da cultura em função da temperatura acumulada (graus-dia) (por exemplo, os CERES e modelos EPIC) e processos biogeoquímicos do solo relativamente detalhadas para carbono e nitrogênio (por exemplo, Century, e DNDC EPIC) (OLIVEIRA et al., 2012). Modelos recentes baseados em processos com diferentes níveis de complexidade foram desenvolvidos para estimar a produtividade de culturas em diferentes regiões (BETTS, 2005; COSTA et al, 2009).

O Sistema de Apoio à Decisão para Agrotecnologia Transfer (DSSat) inclui um conjunto de modelos de crescimento das culturas e tem sido largamente utilizado nos últimos anos como ferramenta computacional útil na avaliação de opções de manejos agrícolas. A estrutura modular do DSSat inclui o modelo Cropgro, este modelo genérico para as leguminosas permite a simulação do crescimento e desenvolvimento de diversas culturas, tais como o feijão, feijão caupi, amendoim, e soja (HOOGENBOOM et al., 2003).

Exemplos da utilização de simulação do Cropgro-Drybean foram apresentados por Ruíz-Nogueira et al. (2001), que utilizaram o modelo para avaliação do crescimento e produção de três cultivares de soja, cultivadas sob condições de limitação de água, no nordeste da Espanha. No Brasil, Faria et al. (1997) utilizaram o Cropgro-Drybean para avaliar diferentes estratégias para o manejo da irrigação de feijão no Estado do Paraná. Meireles et al. (2003) calibrou o modelo Cropgro-Drybean para comparar o rendimento de 3 cultivares de feijão semeadas em 36 datas de semeadura, em Santo Antônio de Goiás, GO. Também em estudo realizado em Maringá, PR, Dallacort et al. (2005) utilizaram o modelo de simulação

para determinar o crescimento e desenvolvimento do feijão (cultivar IAPAR 57), semeado em diferentes épocas do ano e mantido sob condições ambientais variadas.

Segundo Jones et al. (2003) e Costa et al. (2009) o modelo Cropgro vem se mostrando satisfatório para avaliação do efeito de variáveis meteorológicas no desenvolvimento, crescimento e produção de grãos, podendo contribuir para o aprimoramento das práticas de gestão e para a melhor compreensão das interações entre clima e plantas.

O presente trabalho objetiva realizar a calibração, validação e avaliação do desempenho do modelo Cropgro-Drybean para a cultura do feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88), cultivada sob diferentes regimes hídricos, na região de Santiago, RS.

6.4. Materiais e métodos

O estudo baseia-se em duas etapas, a primeira experimental, através de experimentação à campo realizada por Parizi (2010) e, a segunda, através do uso de modelo de simulação. A etapa experimental foi desenvolvida para o município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul, sendo que o campo experimental localiza-se junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba.

O município de Santiago encontra-se a 439 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 21°C, com média térmica de 17,9°C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km.h⁻¹ e precipitação pluviométrica de 1.919 mm.ano⁻¹ (GOMES, 2011).

Para a realização do estudo foi utilizada a cultura do feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88). Sendo coletados dados relativos a resposta produtiva da cultura em experimento realizado à campo (PARIZI, 2010), com aplicação de seis tratamentos baseados em diferentes lâminas de irrigação, a precipitação pluviométrica ocorrida durante o ciclo da cultura foi de 398 mm. Os principais parâmetros produtivos avaliados foram produção final de grãos (PG) e matéria seca

máxima (MSM). Na Tabela 01 são apresentadas as lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos.

Tabela 01 - Lâminas de irrigação aplicadas e seus respectivos percentuais para os 6 tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010).

Manejo de Irrigação	Tratamentos propostos					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lâmina aplicada (mm)	0,00	36,84	73,69	110,53	147,37	184,22
Disponibilidade fornecida (%)	0	20	40	60	80	100

Na etapa de simulação foi utilizado o modelo Cropgro-Drybean, incluído no sistema DSSat, versão 4.0.2.0. A construção dos arquivos necessários para a simulação encontra-se descrita em detalhe em Boote et al. (2003), sendo estas informações referentes ao sistema solo-planta-atmosfera. Na Figura 01 esta apresentada a janela inicial do DSSat, com seus sub módulos, dentre estes o Cropgro-Drybean em destaque.

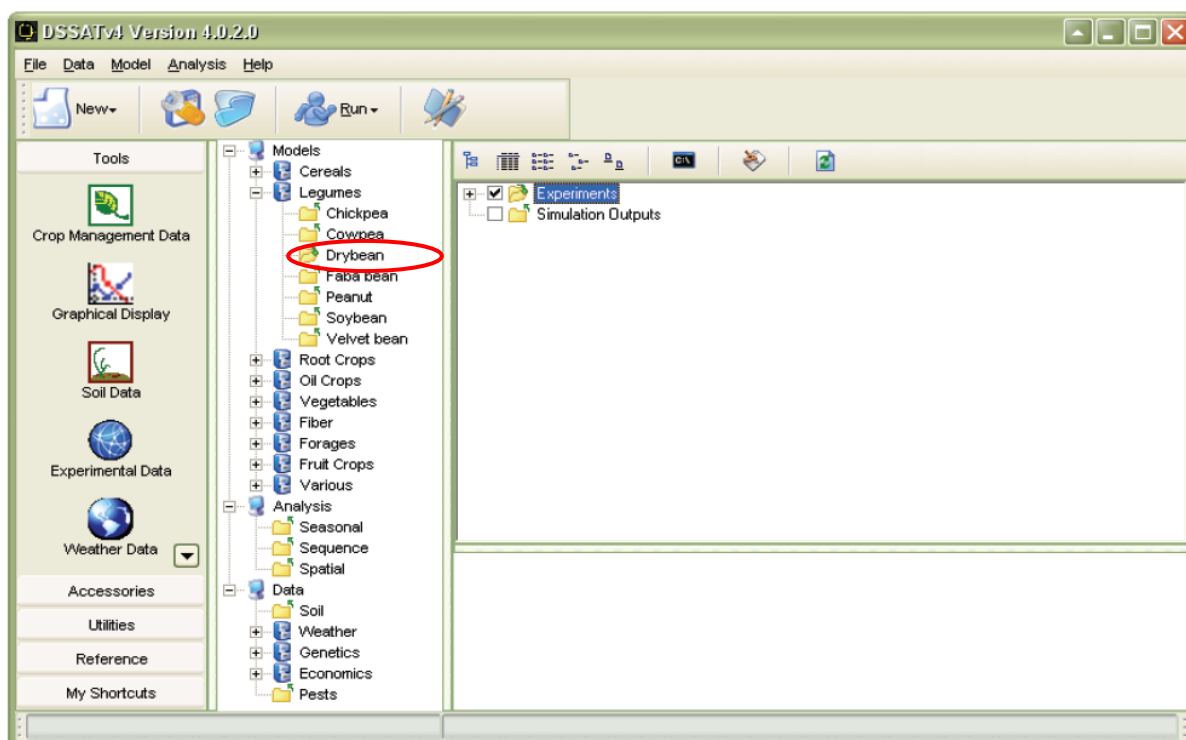


Figura 01- Janela inicial do DSSat, com seus sub módulos, Cropgro-Drybean em destaque.

Os dados referentes ao clima foram obtidos junto a estação agroclimatológica instalada na área de estudo e, constam de: temperatura máxima e mínima (°C); umidade

relativa (%); velocidade do vento (m.s^{-1}); radiação solar ($\text{Mj.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); precipitação pluvial (mm). Os dados de solo foram obtidos junto ao experimento realizado à campo (PARIZI, 2010), sendo estes: umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$); umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$); textura do solo (%); profundidade das camadas do solo (m); classificação do solo; declividade média (%); potencial de escoamento; fator de produtividade; potencial de drenagem; carbono orgânico (%); pH ; capacidade de troca catiônica; densidade do solo (g.cm^{-3}); condutividade hidráulica (mm.h^{-1}). Os dados da cultura foram obtidos durante a realização do experimento à campo (PARIZI, 2010), sendo estes: profundidade do sistema radicular (m); duração dos estágios de desenvolvimento (dias); fator de depleção de água no solo relativo a cada estágio de desenvolvimento; plantas por m^2 ; plantas por metro linear.

Após a organização das tabelas de dados, estas foram inseridas no modelo e, executados os processos de cálculo dos parâmetros culturais relativos aos tratamentos propostos, utilizando cultivares disponíveis no modelo. Testando-se, até encontrar a cultivar disponível no modelo com respostas produtivas similares às encontradas experimentalmente, passando-se então para a calibração.

A calibração foi realizada utilizando o tratamento T_0 , que representa o cultivo sob condição de sequeiro, sendo realizada através da alteração dos coeficientes genéticos relativos a cultivar em estudo, realizando análise de sensibilidade para cada um dos coeficientes e, novas simulações até se encontrar a máxima aproximação entre os valores obtidos à campo com os obtidos via modelo de simulação, pelo método da tentativa-erro (JONES, 2002).

A validação e a avaliação do desempenho do modelo foram realizadas para todos os tratamentos simultaneamente, através da comparação entre os valores obtidos via modelo versus os obtidos experimentalmente, sendo determinada a variação entre estes (Δvar) (1) e os indicadores estatísticos erro médio (ME) (2) e raiz quadrada do erro médio (RSEM) (3).

O Δ_{var} , o ME e o RSEM foram obtidos através das seguintes equações:

$$\Delta_{\text{var}} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (1)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i) \quad (2)$$

e

$$RSEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i)^2} \quad (3)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Com o mesmo conjunto de dados foi determinado o índice de concordância de Willmott (I_w) (4), calculado por:

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (E_i - E + O_i - O)^2} \quad (4)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

O coeficiente de correlação (r) (5) permitirá quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise, podendo ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E) (O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2}} \quad (5)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

Foi determinado o índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_w$). O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de

desempenho utilizadas neste trabalho foi feito de acordo com Costa (1977) e pode ser vista pela Tabela 02.

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977).

Critério de interpretação do índice de desempenho				Classes de desempenho	
0,85	>	Id			Ótimo
0,76	>	Id	>	0,85	Muito Bom
0,66	>	Id	>	0,76	Bom
0,61	>	Id	>	0,66	Mediano
0,51	>	Id	>	0,61	Ruim
0,41	>	Id	>	0,51	Muito Ruim
		Id	>	0,41	Péssimo

6.5. Resultados e discussão

Na Tabela 03 são apresentados os coeficientes genéticos do feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88), calibrados utilizando os dados de campo obtidos nas condições de solo e clima da região de Santiago, RS. Segundo Boote et al. (2003), para a cultura do feijão, no modelo DSSat os valores de CSDL, PPSEN, EM-FL, FL-SH, FH-SD, SD-PM, FL-LH definem desenvolvimento da cultura, LFMAX, SLAVAR e SIZLF a expansão vegetativa; e XFRT, WTPSD, SFDUR, SDPDV e PODUR a reprodução.

Tabela 03- Coeficientes genéticos calibrados para a cultivar de feijão IPR 88, na região de Santiago, RS.

	CSDL	PPSEN	EM-FL	FL-SH	FL-SD	SD-PM	FL-LF	LFMAX
Coefficientes	12,17	0,000	37,00	9,0	18,0	15,00	21,00	1,00
Genéticos	SLAVAR	SIZLF	XFRT	WTPSD	SFDUR	SDPDV	PODUR	
	350,	100,0	1,00	0,246	8,8	6,20	9,0	

CSDL = comprimento crítico do dia acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSEN = inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL = Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (R1); FL-SH = Período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (R3) (dias fototermais); FL-SD = Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (R5) (dias fototermais); SD-PM = Período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (R7) (dias fototermais); FL-LF = Período entre o aparecimento da primeira flor (R1) e final da expansão foliar; LFMAX = Taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura 30 °C; SLAVARN = Área foliar específica sob condições padrão de crescimento; SIZLF = Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm²); XFRT = Máxima fração do crescimento diário que é particionada entre a semente mais a vagem; WTPSD = Peso máximo por semente (g); SFDUR = Duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); SDPDV = média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão (sementes/vagem); PODUR = Tempo necessário para o cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais).

Didonet e Silva (2004) citam que as cultivares de feijão no Brasil são geralmente insensíveis ao fotoperíodo ($PPSEN = 0$), ou seja, seu desenvolvimento e crescimento são controlados apenas pela temperatura do ar, graus dia acumulados (GDA).

Os valores dos coeficientes CDSL, PPSEN, LFMAX, SIZLF, XFRT, WTPSD foram iguais e dos coeficientes EM-FL, SD-PM, SFDUR muito próximos aos obtidos por Oliveira (2007), que realizou a calibração do modelo Cropgro-Drybean, para a microregião de Viçosa, MG, utilizando 3 cultivares de feijão (Pérola, Ouro-Negro e Ouro-Vermelho).

Durante a realização das interações para determinações dos coeficientes genéticos, verificou-se que o modelo possui alta sensibilidade à variação destes, sendo que, em testes que visam determinar a resposta produtiva referente à tratamentos baseados em diferentes níveis de um fator (irrigação, fertilizante,...), o processo de calibração torna-se mais complexo, pois a medida que ocorre a calibração para o tratamento inicial (T_0), a simulação para os demais tratamentos tende a não apresentar o mesmo nível de acurácia. Visto a interação entre os fatores inerentes a planta, na natureza, que, muitas vezes, não consegue ser representada com total exatidão pelo modelo.

Deste modo, a calibração do modelo, para a cultura do feijão (Uirapuru), foi realizada utilizando todos os tratamentos simultaneamente, a fim de que os valores dos coeficientes obtidos pudessem representar da melhor forma possível todos os tratamentos simulados, com a menor variação geral entre respostas obtidas à campo e as respostas simuladas.

A Tabela 04 apresenta os valores referentes às repostas produtivas matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, obtidos via simulação e experimento, variação entre estes para os tratamentos T_0 (calibração), T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , variação média e desvio padrão, para Santiago, RS, Brasil.

Tabela 04- Valores de matéria seca máxima ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, obtidos via simulação e experimento, variação entre estes para os tratamentos T₀ (calibração), T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅, variação média e desvio padrão, para Santiago, RS, Brasil.

Tratamento		Prod. de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Mat. seca máx. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Δ Produção de Grãos (%)	Δ Matéria seca Max. (%)
Trat. T0	Campo	2176	6539	-23,3	-27,0
	DSSat	2682	8306		
Trat. T1	Campo	2681	7682	-9,9	-13,4
	DSSat	2946	8690		
Trat. T2	Campo	3117	8632	-0,7	-2,8
	DSSat	3139	8923		
Trat. T3	Campo	3560	9100	12,1	5,3
	DSSat	3131	8929		
Trat. T4	Campo	4090	9489	23,4	10,2
	DSSat	3131	8928		
Trat. T5	Campo	4098	9902	23,6	13,1
	DSSat	3131	8929		
Média	Campo	3286,8	8752,3	4,2	-2,5
	DSSat	3026,7	8784,2		
Desvio Padrão	Campo	775,5	1432,7	18,9	15,4
	DSSat	184,7	252,8		

Analisando a Tabela 04, nota-se que em geral ocorreu expressiva variação entre os resultados obtidos pelo modelo, quando comparados com os obtidos à campo. Sendo as maiores variações relativas aos tratamentos T₀ (sequeiro) e T₅ (184,22 mm). Observa-se também que os coeficientes de variação entre experimentação à campo versus experimentação via modelo de simulação encontraram-se entre -23,3% e 23,6% para produção de grãos e -27% e 13,1% para a produção de matéria seca máxima.

As variação entre os dados observados e simulados foram superiores às encontrados por Oliveira et al. (2012), que obteve percentual de variação entre -5,58 e 6,24%, estudando a eficiência do modelo Cropgro-Drybean para simulações com 3 cultivares de feijão (Pérola, Ouro Negro e Ouro vermelho), em Maringá, PR. No entanto, as variação encontradas na presente estudo foram inferiores às obtidas por Filho e Souza (2011) que utilizando modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair (2002) para estimativa da produção de grãos da

cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observou subestimativas de aproximadamente 40%.

Ainda na Tabela 04 observa-se que as menores variações entre os resultados obtidos via modelo em comparação com os obtidos na experimentação à campo, foram para PG nos tratamentos T₂, T₁, T₃, T₀, T₄, T₅, respectivamente e para a MSM T₂, T₃, T₄, T₅, T₁, T₀, respectivamente. Logo, o tratamento 2 (T₂=73,69 mm) foi o que apresentou menores variações nas suas respostas produtivas, quando comparados valores obtidos à campo com valores obtidos via modelo de simulação.

Quanto aos valores médios de variação, estes foram de 4,2% para produção de grãos, indicando que de forma geral o modelo tendeu a subestimar os valores de produção de grãos, e de -2,5% para matéria seca total, indicando que o modelo tendeu a superestimar os valores de matéria seca máxima. Pode-se afirmar que os valores médios de variação tanto para PG, como para MSM foram baixos, no entanto os valores de desvio padrão para estes foi elevado (18,9%; 15,4%, respectivamente).

Em ambas as respostas produtivas analisadas (PG e MSM) os valores simulados foram superestimados em relação ao modelo até o tratamento 3 (T₃=110,53 mm), passando a ocorrer subestimativas. Nota-se também, que os valores de PG e MSM tornam-se praticamente constantes a partir do tratamento 3, indicando que a aplicação de lâminas de irrigação superiores às aplicadas em T₃ não resultaram em respostas produtivas semelhantes através da simulação às encontradas à campo.

A Tabela 05 apresenta os valores de erro médio (ME) em kg.ha⁻¹, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em kg.ha⁻¹, coeficiente de Wilcoxon (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Drybean, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

Tabela 05- Valores de erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelo de simulação Cropgro-Drybean, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

Produção de grãos					Produção de matéria seca				
ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id	ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id
-260,17	627,79	0,99	0,72	0,72	226,50	958,64	1,00	0,86	0,86

Analisando a Tabela 05 vimos que os valores de erro médio (ME) para produção de grãos e matéria seca máxima foram de -260,17 e 31,82 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, indicando a tendência do modelo de subestimar e superestimar, respectivamente os valores de PG e MSM.

Os valores de coeficiente de concordância de Wilmont encontrados no presente estudo (0,99 para PG e 1,00 para MSM) são superiores aos encontrados por Júnior (2007), que utilizou o modelo Cropgro-Drybean em simulações de produtividade da cultura do feijão sob cenários de mudanças climáticas, em Minas Gerais (Viçosa, Zona da Mata e Sul/Sudeste) e encontrou valores de coeficiente de concordância de Wilmont de 0,14; 0,03 e 0,53, para as três regiões estudadas, respectivamente.

Verifica-se que os valores de índice de desempenho encontrados são de 0,72 e 0,82 para PG e MSM respectivamente, enquadrando a determinação das repostas produtivas da cultura via modelo de simulação como **boa** para produção de grãos e **ótima** para matéria seca máxima. Os valores de Id encontrados para MSM encontram-se próximos aos encontrados por Meireles et al. (2002), que em simulações com a cultura do feijão, cultivar carioca, obteve índices de desempenho entre 0,82 e 0,99 para produção de MSM, com tratamentos baseados em diferentes doses de fertilizante e espaçamentos entre linhas, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Cabe salientar, que os indicadores estatísticos, presentes na Tabela 05, utilizam para sua determinação todos os tratamentos, gerando, assim, respostas gerais sobre a determinação da PG e MSM via modelagem, já na Tabela 04 são apresentados valores de variação entre

simulação e experimentação por tratamento, possibilitando visualizar que nos tratamentos com aplicação de menores lâminas o modelo conseguiu representar com melhor acurácia a realidade (experimento).

6.6. Conclusão

1. Ocorreu expressiva variação entre os valores de produção de grãos e matéria seca máxima obtidos pelo modelo, quando comparados com os obtidos à campo, analisando os tratamentos individualmente, sendo que as maiores variações estão atreladas aos tratamentos 0 (T_0 =sequeiro) e 5 (T_5 =184,22 mm);
2. Para as respostas produtivas analisadas (PG e MSM) os valores simulados foram superestimados em relação aos obtidos à campo até o tratamento 3 (T_3 =110,53 mm), tornando-se praticamente constantes, o que indica que a aplicação de lâminas de irrigação superiores não resultaram em respostas produtivas semelhantes;
3. Apesar das elevadas variações individuais, entre resultados experimentais e simulados, ocorridas nos tratamentos com maiores lâminas de irrigação, a avaliação dos indicadores estatísticos enquadram o modelo Cropgro-Drybean como bom para a determinação via simulação da produção de grãos e, como ótimo, para a matéria seca máxima.

6.7. Referências bibliográficas

- BETTS, R. A. Integrated approaches to climate–crop modelling: needs and challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 360, n. 1463, p. 2049-2065, 2005.
- BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 32-51, 2003.
- CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- COSTA, P. O. Correlação e regressão. In:_____. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. p. 178-228

COSTA, L. C. et al. Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) yields in the southern part of Brazil. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 14013-14023, 2009.

DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo Cropgro-Soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, local, v. 28, n. 4, p. 583-589, 2006.

DIDONET, A. D.; SILVA, S. C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223., p.13-19, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Feijão: O produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília. **Embrapa Informação Tecnológica**. 2003. 203p.

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

FREYTAG, G.F.; DEBOUCK, D.G. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. **Fort Worth: Botanical Research Institute of Texas**, 300p., 2002.

FILHO W. R. L. L. e SOUZA, P. J. de O. P. de. Calibração de um modelo agrometeorológico da soja para simular a produtividade do feijão caupi no nordeste paraense para uso futuros em cenários de mudanças climáticas. In: 9º Seminário Anual de Iniciação Científica. 2011. **Anais...** 2011.

GARCIA, L. A.; MANGUERRA, H. B.; GATES, T. K. Irrigation-drainage design and management model: development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, v.121, n.1, p.71- 82, 1995.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HOOGENBOOM, G. et al. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0**. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI. 2003.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2003, p. 421-443.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2002, p. 421-443.

JÚNIOR, J.L.C. da S. **Simulações da cultura do milho e feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais**. 2007. 91 f. Tese. (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, p.468-476, 2001.

MATZENAUER, R et al. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1363-1369, 2004.

MEIRELES, E.J.L. et al. Risco Climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003.

MEIRELES, E. J. L. et al. Calibration and test of the CROPGRO-dry bean model for edaphoclimatic conditions in the savanas of Central Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 723-729, 2002.

OLIVEIRA, E. **Desempenho do modelo Cropgro-Drybean em estimar a data de semeadura e a produtividade do feijoeiro**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

OLIVEIRA, E. et al. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

RUÍZ-NOGUEIRA, B. et al. Calibration and use of Cropgro-Soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. **Agricultural Systems**, Madison, v. 68, n. 2, p. 151-173, 2001.

SILVA, J. C et al. Risco de estresse térmico para o feijoeiro em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.643-648, 2007.

SINCLAIR, T.R. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. **Field crop research**, Amsterdam, p. 149-158, 2002.

YOKOYAMA, L. P. et al Aspectos socioeconômicos da cultura. ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, p. 1-21, 1996.

7. ARTIGO 5: RESPOSTAS PRODUTIVAS DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

7.1. RESUMO

A cultura do feijão apresenta elevada variabilidade produtiva em decorrência do clima, em especial dos déficits hídricos, que, muitas vezes comprometem as safras. A modelagem computacional apresenta-se como ferramenta útil na determinação das respostas das culturas à diferentes manejos. O presente trabalho objetiva analisar o desempenho dos modelos Cropgro-Drybean e RSAP-feijão na determinação das respostas produtivas da cultura do feijão, cultivado sob diferentes regimes hídricos. O estudo foi desenvolvido para a região de Santiago, RS, com a cultivar de feijão Uirapuru, submetida a seis tratamentos baseados em variação da disponibilidade hídrica. Sendo determinados via simulação os valores referentes a matéria seca máxima (MSM) e produção de grãos (PG) referente a cada tratamento. O desempenho do modelo foi verificado pela determinação da variação percentual (Δvar) e de indicadores estatísticos de desempenho. Observou-se que o modelo RSAP-feijão apresentou, em média, menores valores de Δvar para PG e MSM, neste modelo, no geral, os valores de PG foram subestimados, e os de MSM superestimados, os maiores valores de coeficiente de correlação (r), determinação (r^2) e índice de concordância de Wilmont (I_w) também estão atrelados à este modelo. No modelo Cropgro-Drybean os valores de PG e MSM foram superestimados até T_3 (110,53 mm), onde tornam-se praticamente constantes. Os valores de I_d encontrados para PG nos modelos Cropgro-Drybean e RSAP-feijão enquadraram as simulações como **boa** e **ótima** e, para MSM **como ótima e ótima**, respectivamente. Conclui-se que os modelos avaliados obtiveram capacidade preditiva satisfatória nas condições do estudo, indicando a utilização destes modelos como promissora.

Palavras-chave: Irrigação; Simulação; Uirapuru; Comparação.

PRODUCTIVES RESPONSES BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.). IRRIGATED BY COMPUTER MODELING

7.2. ABSTRACT

The bean crop production has high variability due to the weather, especially the water deficits, which often undertake crops. Computational modeling is presented as a useful tool in determining crop response to management. This study aims to analyze the performance of the models Cropgro-Drybean and RSAP in determining the productive response of the bean, grown under different water regimes. The study was developed in the region of Santiago, RS, with the bean cultivar Uirapuru, subjected to six treatments based on variation of water availability. Being determined via simulation the values for maximum dry matter (MSM) and yield (PG) for each treatment. The model performance was verified by determining the percentage change (Δvar), statistical indicators ME and RSEM, the coefficients r , r^2 and I_w and I_d was observed that the model presented RSAP, on average, smaller values for Δvar PG and MSM, in this model, in general, the values of PG were underestimated and overestimated the MSM, the highest values of r , R^2 , I_w are also linked to this model. In CROPGRO

drybean-PG values were overestimated by MSM and T3, where they become almost constant. Id values found for PG-drybean CROPGRO models and simulations RSAP fit as good and very good and MSM as very good and good respectively. It is concluded that the predictive models evaluated had satisfactory conditions of the study, indicating the use of these models as promising.

Key-words: Irrigation; Simulation; Uirapuru; Comparison.

7.3. INTRODUÇÃO

A cultura do feijão destaca-se no Brasil por sua importância econômica e social, sendo uma das principais fontes proteicas da dieta alimentar dos diversos extratos sociais da população (JOBIM, 2007). No Estado do Rio Grande do Sul, a cultura do feijão também apresenta elevada expressividade, sendo cultivada em duas épocas do ano, na safra, semeada de agosto a novembro, e na safrinha, semeada de janeiro a fevereiro (IBGE, 2006).

Segundo Jobim (2007) os rendimentos médios da cultura do feijão em nível de Brasil estão acima dos reportados para os anos 90 (média de 717 kg.ha⁻¹) e 2000 (média de 865 kg.ha⁻¹), elevações de rendimentos estas que estão aliadas a tecnificação das propriedades produtoras, com a adoção da irrigação complementar, da fertilização e de práticas conservacionistas. No entanto, a análise dos rendimentos médios obtidos com a cultura do feijoeiro no Rio Grande do Sul indica elevada variabilidade de rendimento de safra para safra ao longo da última década (IBGE, 2012).

Segundo Berlato (1992) o fator determinante na variabilidade produtiva é a oscilação interanual da disponibilidade hídrica do solo, determinada pela instabilidade do regime pluviométrico. Maluf et al. (2001) afirmam ainda que o rendimento da cultura do feijoeiro no Estado do Rio Grande do Sul pode ser seguramente incrementado com o entendimento das variáveis ambientais que limitam o potencial de rendimento.

Matzenauer et al. (2004) cita que o estresse hídrico é a principal causa do baixo rendimento do feijoeiro, que possui consumo de aproximadamente 300 mm de água durante o

ciclo, sendo uma espécie muito sensível a fatores ambientais extremos, como a temperatura (SILVA et al., 2007) e deficiência hídrica (EMBRAPA, 2003).

A ocorrência de deficiência hídrica no RS para o feijoeiro é frequente, podendo se esperar redução no rendimento de grãos da cultura do feijão, em duas a cada dez safras (MATZENAUER et al., 2004). Gomes et al. (2011) verificaram que na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul, conhecida produtora de feijão, a aleatoriedade do comportamento climático provoca instabilidade na produção agrícola, tornando-a uma atividade de alto risco.

O suprimento artificial de água via irrigação apresenta-se como a principal alternativa para minimizar o efeito do déficit hídrico sobre as culturas. Dilly (2006) cita que o uso da irrigação em lavouras de feijão, visando minimizar os efeitos do déficit hídrico, vem ocorrendo em algumas regiões produtoras do Rio Grande do Sul, entre elas, nas áreas da grande lavoura do Planalto Médio, como alternativa de rotação na produção de semente de milho híbrido, em sistema de plantio direto, irrigado por pivô central.

No contexto de elevada importância socioeconômica da cultura do feijão e da variabilidade de rendimento desta em função da aleatoriedade climática a previsão de produção da cultura apresenta-se como fator de interesse para o governo, os agricultores e empresas ligadas ao agronegócio. Assim, visando melhorar a estratégia de previsão de rendimento das culturas, novos métodos preditivos vêm sendo adotados, métodos estes que visam incorporar fatores quantitativos para melhorar a precisão da estimativa (OLIVEIRA et al., 2012).

Modelos computacionais de simulação podem ser aplicados para estimativa da produtividade das culturas, em resposta a déficits hídricos, salinidade e excesso de água na zona radicular, resultantes de diferentes estratégias de manejo de irrigação e configurações de sistemas de drenagem (GARCIA, MANGUERRA e GATES, 1995).

Muitos relatórios publicados mostram a validade do uso modelos de culturas para estudar os efeitos das restrições sobre a produtividade agrícola (EGLI e BRUENING, 1992), para avaliar a gestão adequada (STOCKLE e JAMES, 1989) e de design de irrigação sistemas (HEERMANN et al., 1974).

As duas últimas décadas foram marcadas pelo desenvolvimento de modelos mais sofisticados de colheita. Estes modelos incluem representações melhoradas de fenologia da cultura em função da temperatura acumulada (graus-dia) (por exemplo, o CERES e modelos EPIC) e processos biogeoquímicos do solo relativamente detalhadas para carbono e nitrogênio (por exemplo, Century, e DNDC EPIC) (OLIVEIRA et al., 2012). Modelos baseados em processos com diferentes níveis de complexidade foram desenvolvidos para estimar a produtividade de culturas em diferentes regiões (COSTA et al., 2009).

O Sistema de Apoio à Decisão para Agrotecnologia Transfer (DSSat) inclui um conjunto de modelos de crescimento das culturas e tem sido largamente utilizado nos últimos anos como ferramenta computacional útil na avaliação de opções de manejos agrícolas. A estrutura modular do DSSat inclui o modelo Cropgro, este modelo genérico para as leguminosas permite a simulação do crescimento e desenvolvimento de diversas culturas, tais como o feijão, feijão caupi, amendoim, e soja (HOOGENBOOM et al., 2003).

Exemplos da utilização de simulação com o Cropgro-Drybean foram apresentados por Ruíz-Nogueira et al. (2001), que usou o modelo para avaliação do crescimento e produção de três cultivares de soja, cultivadas sob condições de limitação de água, no nordeste da Espanha. Meireles et al. (2003) calibrou o modelo Cropgro-Drybean para comparar o rendimento de 3 cultivares de feijão semeadas em 36 datas de semeadura, em Santo Antônio de Goiás, GO. Também em estudo realizado em Maringá, PR, Dallacort et al. (2006) utilizaram o modelo de simulação para determinar o crescimento e desenvolvimento do feijão

(cultivar IAPAR 57) semeado em diferentes épocas do ano e mantido sob condições ambientais variadas.

Segundo Jones et al. (2003) e Costa et al. (2009) o modelo Cropgro vem se mostrando satisfatório para avaliação do efeito de variáveis meteorológicas no desenvolvimento, crescimento e produção de grãos, podendo contribuir para o aprimoramento das práticas de gestão e para a melhor compreensão das interações entre clima e plantas.

O RSAP foi desenvolvido por Robaina (1992), caracterizando-se como um modelo de simulação de desenvolvimento cultural, de acesso livre, que utiliza a equação de Richards para a resolução do fluxo de água no solo. Sendo construído e validado através de estudo experimental e de simulação numérica. O modelo RSAP permite a realização de estudos de manejo de irrigação, sendo utilizado no gerenciamento de áreas irrigáveis, em especial naquelas com disponibilidade de água limitada, com módulos que permitem simulações com as culturas da soja (GOMES, 2011), feijão e milho (PARIZI, 2010).

O modelo RSAP apresentou resultados satisfatórios quando utilizado na região de Santiago, para simulações com a cultura da soja, cultivares Coodetec 219 (CD 219) e Altona 55 (AL 55) (GOMES, 2011) e com as culturas do milho, cultivar Pioneer 32R22 e feijão, cultivar Uirapuru (PARIZI, 2010), ambos os trabalhos desenvolvidos sob variação da disponibilidade hídrica ofertada às culturas. Robaina (1992) cita também a eficiência no uso do modelo RSAP com a cultura do feijão.

De acordo com Naylor et al. (1971), apesar de existirem diversos modelos aplicados a simulação do desenvolvimento cultural, um modelo para ser considerado útil, deve abranger dois atributos conflitantes, o realismo e a simplicidade. Harrel e Tumay (1994) citam que os modelos de simulação devem possuir certas características, como: ser válido; no sentido de representar satisfatoriamente a realidade e, ser mínimo; no sentido de incluir somente elementos que influenciam significativamente no problema a ser solucionado.

O presente trabalho objetiva analisar o desempenho dos modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão na determinação da resposta produtiva da cultura do feijão, cultivado sob diferentes regimes hídricos, na região de Santiago, RS, Brasil.

7.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseia-se em duas etapas, a primeira experimental, através de experimentação à campo realizada por Gomes (2011) e, a segunda, através do uso de modelo de simulação. A etapa experimental foi desenvolvida para o município de Santiago, estado do Rio Grande do Sul, sendo que o campo experimental localiza-se junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba.

Neste estudo foi utilizada a cultura do feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88), submetida a seis tratamentos baseados em variação da disponibilidade hídrica. Os principais parâmetros produtivos avaliados a campo foram produção final de grãos (PG) e matéria seca máxima (MSM). A Tabela 01 apresenta as lâminas totais e os percentuais das lâminas totais de irrigação utilizadas nos seis tratamentos propostos. A precipitação pluviométrica ocorrida durante o ciclo da cultura do feijão foi de 398 mm.

Tabela 01 - Lâminas totais e os percentuais das lâminas totais de irrigação utilizadas nas simulações para os seis tratamentos propostos. Adaptada de Parizi (2010).

Tratamento	Lâmina (mm)	% de irrigação
T ₀	0,0	0
T ₁	36,84	20
T ₂	73,69	40
T ₃	110,53	60
T ₄	147,37	80
T ₅	184,22	100

Na etapa de simulação, foram utilizados dois modelos, que entre outras funcionalidades permitem a simulação do desenvolvimento cultural, sendo estes os modelos Cropgro-Drybean, incluído no sistema DSSat, versão 4.0.2.0 (HOOGENBOOM et al., 2004) e o modelo RSAP-feijão, incluído no sistema RSAP (ROBAINA, 1992).

As informações necessárias para a simulação no modelo Cropgro-Drybean constam descritos em detalhe em Boote et al. (1998a, 1998b e 2003) e para o modelo RSAP em Parizi (2010) e Gomes (2011). Ambos os modelos utilizam como informações de entrada dados referentes ao sistema solo-planta-atmosfera.

Os dados referentes ao clima foram obtidos junto à estação agroclimatológica instalada na área de estudo; os referentes ao solo e a cultura foram obtidos junto ao experimento realizado à campo, e encontram-se descrito em detalhes em Parizi (2010). Após a organização das tabelas, os dados foram inseridos e executados os procedimentos de cálculo dos parâmetros culturais relativos aos tratamentos propostos.

A calibração, do modelo Cropgro-drybean, foi realizada com a alteração dos coeficientes genéticos da cultivar em estudo, realizando análise de sensibilidade individual e novas simulações até encontrar a máxima aproximação entre os valores obtidos a campo e os obtidos via modelo de simulação (IGLESIAS e MÍNGUEZ, 1995 e MAVROMATIS et al., 2002). O modelo RSAP-Feijão encontrava-se calibrado e validado através de estudos realizados por Parizi (2010).

Logo, a partir dos modelos DSSat e RSAP, calibrados e validados, foram obtidos os resultados relativos a resposta produtiva da cultura, sendo estes: produção de grãos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de matéria seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), parâmetros estes obtidos, igualmente, na experimentação à campo. A comparação entre os resultados obtidos pelos modelos com os obtidos via experimentação foi realizada pela determinação da variação entre estes (Δ_{var}) (Equação 01).

$$\Delta_{\text{var}} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (01)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Dos indicadores estatísticos erro médio (ME) (2) e raiz quadrada do erro médio (RSEM) (3).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i) \quad (2)$$

e

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - m_i)^2} \quad (3)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Do índice de concordância de Willmott (I_w) (4), calculado por:

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (E_i - E + O_i - O)^2} \quad (4)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

Do coeficiente de correlação (r) (5) que permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise, sendo estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E) (O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2}} \quad (5)$$

em que:

E_i = valor da observação estimada;

O_i = valor da observação medida;

E = média dos valores da observação estimada;

O = média da observação medida.

Por fim, foi determinado o índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_w$). O critério de interpretação do índice de desempenho e das

respectivas classes de desempenho utilizadas neste trabalho foi feito de acordo com Costa (1977) e pode ser visto pela Tabela 02.

Tabela 02 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho. Adaptado de Costa (1977).

Critério de interpretação do índice de desempenho				Classes de desempenho	
0,85	>	Id			Ótimo
0,76	>	Id	>	0,85	Muito Bom
0,66	>	Id	>	0,76	Bom
0,61	>	Id	>	0,66	Mediano
0,51	>	Id	>	0,61	Ruim
0,41	>	Id	>	0,51	Muito Ruim
		Id	>	0,41	Péssimo

Após as determinações dos parâmetros e índices citados realizou-se ampla revisão bibliográfica a fim de verificar a similaridade entre os valores encontrados no presente estudo com os disponíveis na literatura.

7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 03 apresenta os valores de matéria seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e de produção de grãos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos através de experimentação a campo e dos modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão, para a cultura do feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88), na região de Santiago, RS.

Tabela 03 - Valores de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos através de experimentação a campo e dos modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão para a cultura do feijão, nos 6 tratamentos propostos, na região de Santiago, RS.

Trat.	Experimentação		Cropgro-Drybean		RSAP-feijão	
	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. MSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. MSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
T0	2175,8	6539,1	2682,0	8306,0	2172,2	6547,6
T1	2680,9	7682,3	2946,0	8690,0	2642,2	7660,6
T2	3116,6	8632,5	3139,0	8923,0	3103,5	8677,8
T3	3560,5	9100,3	3131,0	8929,0	3468,0	9427,9
T4	4089,7	9489,3	3131,0	8928,0	3731,1	9939,1
T5	4097,6	9902,5	3131,0	8929,0	3909,0	10269,6
Média	3286,8	8752,3	3026,7	8784,2	3171,0	8753,8
Desvio Padrão	775,5	1432,7	184,7	252,8	667,6	1430,0

Analisando a Tabela 03 percebe-se que o modelo RSAP possui comportamento próximo a experimentação a campo, sendo que os valores de produção de grãos são levemente subestimados em relação aos encontrados na experimentação a campo, em relação a produção de matéria seca máxima (MSM) percebe-se que os valores encontram-se superestimados, com exceção do tratamento 2 ($T_2=73,69$ mm), onde ocorre pequena subestimativa.

Já no modelo Cropgro-Drybean os valores de PG e MSM encontrados não foram tão próximos quanto no RSAP, sendo que ambas as respostas produtivas analisadas apresentaram valores superestimados até o tratamento 3 ($T_3=110,53$ mm), passando a ocorrer subestimativas. Nota-se também, que os valores de PG e MSM tornam-se praticamente constantes a partir do tratamento 3, indicando que a aplicação de lâminas de irrigação superiores às aplicadas em T_3 não resultaram em respostas produtivas semelhantes através da simulação às encontradas à campo.

A Tabela 04 apresenta os valores de variação (Δvar) obtidos na experimentação à campo em relação aos obtidos via modelos de simulação, para os seis tratamentos propostos, para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

Tabela 04 - Valores de variação (Δvar) obtidos na experimentação à campo em relação aos obtidos via modelos de simulação, para os seis tratamentos propostos, para a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

Tratamento	Experimento X DSSat		Experimento X RSAP	
	Prod. Grãos (%)	Prod. MSM (%)	Prod. Grãos (%)	Prod. MSM (%)
T0	-23,3	-27,0	0,2	-0,1
T1	-9,9	-13,1	1,4	0,3
T2	-0,7	-3,4	0,4	-0,5
T3	12,1	1,9	2,6	-3,6
T4	23,4	5,9	8,8	-4,7
T5	23,6	9,8	4,6	-3,7
Média	4,2	-4,3	3,0	-2,1
Desvio Padrão	18,9	13,7	3,3	2,2

Observa-se na Tabela 04 que no Cropgro-Drybean os coeficientes de variação entre experimentação à campo versus experimentação via modelo de simulação encontram-se para produção de grãos entre -0,7% e -23,3% e para produção de matéria seca máxima entre -27,0% e 1,9%, sendo que as menores variações entre experimentação à campo e modelo de simulação estão associadas ao tratamento 2 ($T_2=73,69$ mm) para PG (-0,7%) e ao tratamento 3 ($T_3=110,53$ mm) para MSM (1,9%). Já no modelo RSAP a diferença entre os valores da produção de matéria seca variaram entre 0,1% e -4,7% e os valores de produção de grãos apresentaram variação de 0,2 a 8,8%, sendo o tratamento 0 ($T_0= 0$ mm) o que apresentou menor variação (0,2 e -0,1, para PG e MSM respectivamente).

Quanto aos valores médios de variação, no modelo Cropgro-Drybean foram encontradas variações médias de 4,2% para produção de grãos, indicando que de forma geral o modelo tendeu a subestimar os valores de PG, e de -4,3% para matéria seca total, indicando que o modelo tendeu a superestimar os valores de MSM. No modelo RSAP, as tendências foram semelhantes, sendo as variações médias de 3,0% para PG, e de -2,1% para MSM.

As variações obtidas no presente estudo encontram-se inseridas entre os limites inferiores e superiores dos valores de variação encontrados na literatura para simulações com a cultura do feijão, cultivado em condições semelhantes. Cita-se que Robaina (1992) encontrou diferenças de 10% quando comparou os valores de produção de matéria seca e de grãos da cultura do feijão, utilizando o modelo RSAP-feijão.

Oliveira et al. (2012) obteve percentual de variação entre -5,8 e 6,24%, estudando a eficiência do modelo Cropgro-Drybean para simulações com 3 cultivares de feijão (Pérola, Ouro Negro e Ouro vermelho), em Maringá, PR e Filho e Souza (2011) que utilizou modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair (2003) para estimativa da produção de grãos da cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observando subestimativas de aproximadamente 40%.

De modo geral, verifica-se que as variações entre experimentação e modelo de simulação foram inferiores no modelo RSAP-feijão, indicando que este obteve respostas produtivas mais próximas as encontradas na experimentação à campo. Mesmo assim, percebe-se que, as variações encontradas em ambos os modelos encontram-se próximas às encontradas pelos autores citados, onde as variações encontram-se entre -5,58 e 40%.

A Tabela 05 apresenta os valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

Tabela 05 - valores dos coeficientes estatísticos erro médio (ME) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, raiz quadrada do erro médio (RSEM) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, coeficiente de Wilmont (Iw), coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho (Id) para a determinação da produção de grãos (PG) e produção de matéria seca máxima (MSM) via modelos de simulação Cropgro-Drybean e RSAP-feijão, com a cultura do feijão, cultivar IPR 88, na região de Santiago, RS.

	Produção de grãos					Produção de matéria seca				
	ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id	ME ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	RSEM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Iw	r	Id
DSSat	-260,17	627,79	0,99	0,72	0,72	226,50	958,64	1,00	0,86	0,86
RSAP	-115,84	170,48	1,00	0,99	0,99	196,10	272,94	1,00	0,99	0,99

No modelo Cropgro-Drybean foram encontrados valores de erro médio (ME) para produção de grãos e matéria seca máxima de -260,17 e 226,50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, indicando a tendência do modelo de subestimar e superestimar, respectivamente, os valores de PG e MSM e, valores de coeficiente de correlação de 0,72 para PG e 0,86 para MSM.

Para o modelo RSAP-feijão, os valores de erro médio (ME) para produção de grãos e matéria seca máxima foram de -115,84 e 196,10 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, ambos os valores são menores que os encontrados para o modelo Cropgro-drybean, mesmo assim as tendências do modelo de subestimar e superestimar, respectivamente, os valores de PG e MSM foram às mesmas.

Quanto aos valores de coeficiente correlação para o modelo RSAP estes foram de 0,99 para PG e 0,99 para MSM, assim, pode-se afirmar que em relação aos valores de r o modelo RSAP possui maior grau de associação entre as duas variáveis, sendo estas produção de PG e MSM obtidas à campo e estimadas.

Quanto aos valores de coeficiente de concordância de Wilmont, no modelo Cropgro-drybean, foram encontrados valores de 0,99 e 1,00 para PG e MSM, respectivamente, e no modelo RSAP, os valores de coeficiente de concordância de Wilmont são de 1,00 e 1,00 para PG e MSM, respectivamente.

Os valores encontrados em ambos os modelos encontram-se superiores aos encontrados por Júnior (2007), que utilizou o modelo Cropgro-Drybean em simulações de produtividade da cultura do feijão sob cenários de mudanças climáticas, em Minas Gerais (Viçosa, Zona da Mata e Sul/Sudeste) e encontrou valores de coeficiente de concordância de Wilmont de 0,14; 0,03 e 0,53, para as três regiões estudadas, respectivamente.

Verifica-se ainda na Tabela 05 que os valores de índice de desempenho encontrados no modelo Cropgro-Drybean são de 0,72 e 0,86 para PG e MSM, respectivamente, e no modelo RSAP de 0,99 para PG e MSM. Estes valores de índice de desempenho enquadram as simulações com o modelo Cropgro-Drybean como **boa** para produção de grãos e **ótima** para matéria seca máxima, e com o modelo RSAP-feijão, como **ótima**, para ambas às respostas produtivas analisadas.

Resultados próximos foram encontrados por Meireles et al. (2002), em simulações com a cultura do feijão, cultivar carioca, onde foram obtidos índices de desempenho entre 0,82 e 0,99 para produção de MSM, com tratamentos baseados em diferentes doses de fertilizante e espaçamentos entre linhas, em Santo Antônio de Goiás, GO.

As equações que permitem realizar o ajuste dos dados estimados via modelo com os dados obtidos a campo para a produção de grãos são $y = 3,57 X - 7529,20$ ($r = 0,72$) e $y =$

1,15 X - 371,52 ($r = 0,99$), para os modelos DSSat e RSAP respectivamente. E para a produção de matéria seca $y = 5,12 X - 36.208$ ($r = 0,82$) e $y = 1,14 X - 1003,3$ ($r = 0,99$), para os modelos DSSat e RSAP, respectivamente, onde o termo independente x representa a variável resposta estimada pelo modelo e y representa a resposta produtiva obtida neste experimento à campo (teórica).

7.6. CONCLUSÃO

- No modelo RSAP todos os valores de PG obtidos via simulação foram levemente subestimados, e os de MSM encontram-se superestimados, com exceção do tratamento 2 ($T_2=73,69$ mm) , onde ocorre leve subestimativa;
- No modelo Cropgro-Drybean os valores de PG e MSM simulados apresentam-se superestimados até o tratamento 3 ($T_3=110,53$ mm), onde a partir deste tornam-se praticamente constantes, indicando que a aplicação de lâminas de irrigação superiores às aplicadas no T_3 não resultaram em respostas produtivas semelhantes através da simulação às encontradas a campo;
- As menores variações entre experimentação à campo e modelo de simulação estão associadas no modelo Cropgro-Drybean ao tratamento T_2 para PG e ao tratamento T_3 para MSM , e no modelo RSAP ao tratamento T_0 para PG e MSM;
- Os valores médios de variação indicam ambos os modelos testados apresentaram tendência de subestimar os valores de produção de grãos e superestimar os valores de matéria seca máxima;
- As variações entre experimentação e modelo de simulação encontram-se inferiores no modelo RSAP em relação ao modelo Cropgro-drybean, indicando que este obteve respostas produtivas mais próximas as encontradas na experimentação à campo;

- Os valores de índice de desempenho encontrados no modelo Cropgro-Drybean para PG e MSM enquadram as simulações como **boa** e **ótima**, respectivamente, e no modelo RSAP-feijão, como **ótima**, para ambas às respostas produtivas analisadas;
- Os modelos avaliados no presente trabalho apresentaram-se adequados para simulações com a cultura do feijão, cultivar Uirapuru 88, submetido a diferentes lâminas de irrigação, para as condições locais onde o estudo foi realizado.

7.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, H. M. Relação entre o rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 695-702, 1992.

BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 32-51, 2003.

BOOTE, K. J.; et al. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: M. Dekker, p. 651-691, 1998a.

BOOTE, K. J.; et al. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer, p. 99-128, 1998b.

CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

COSTA, P. O. Correlação e regressão. In:_____. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. p. 178-228

COSTA, L. C. et al. Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) yields in the southern part of Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 1, p. 14013-14023, 2009.

DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo Cropgro-Soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, 2006.

DILLY, P.J. **Custo de produção e rendimento de lavoura de feijão irrigado**. Santa Bárbara do Sul, Fazenda Itaíba, 2006. Comunicação pessoal.

EGLI, D.R.; BRUENING, L. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.62, p. 19-29, 1992.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Feijão: O produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília. **Embrapa Informação Tecnológica**. 203p. 2003.

FILHO W. R. L. L. e SOUZA, P. J. de O. P. de. Calibração de um modelo agrometeorológico da soja para simular a produtividade do feijão caupi no nordeste paraense para uso futuros em cenários de mudanças climáticas. In: 9º Seminário Anual de Iniciação Científica. 2011. **Anais...** 2011.

GARCIA, L. A.; MANGUERRA, H. B.; GATES, T. K. Irrigation-drainage design and management model: development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, v.121, n.1, p.71- 82, 1995.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HARRELL, C.; MOTT, J.; BATEMAN, R.; BOWDEN, R.; GOGG, T. **Simulação: Otimizando Sistemas**. São Paulo. Instituto IMAM, 2002.

HEERMANN, D.F.; SHULL H; MICKELSON, R.H. Center pivot design capacities in Eastern Colorado. **Journal of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE 100 (IR2)**, [S.l.], p. 27-14, 1974.

HOOGENBOOM, G. et al. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0**. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI. 2003.

HOOGENBOOM, G. et al.. **Decision support system for agrotechnology transfer: version 4.0**. Honolulu: University of Hawaii, 2004.

IGLESIAS, A.; MINGUEZ, M. I. Prospects for maize production in Spain under climate change. In: ROSENZWEIG, C. (Ed.). Climate change and agriculture: analysis of potential international impacts. Madison: **Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho**, p. 259-273.1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CENSO AGROPECUÁRIO 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: dez 2013.

_____. CENSO AGROPECUÁRIO 2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: dez 2013.

JOBIM, C.I.P. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos: aplicação ao feijão irrigado no RS**. 2007. 150p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2003, p 421-443.

JÚNIOR, J.L.C. da S. **Simulações da cultura do milho e feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais**. 2007, 91 f. Tese. (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, p.468-476, 2001.

MATZENAUER, R et al. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1363-1369, 2004.

MAVROMATIS, T. et al. El Nino-Southern Oscillation effects on peanut yield and nitrogen leaching. **Climatic Resource**, [S.l.], p.129-140, 2002.

MEIRELES, E.J.L. et al. Risco Climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003.

MEIRELES, E. J. L. et al. Calibration and test of the CROPGRO-dry bean model for edaphoclimatic conditions in the savanas of Central Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 723-729, 2002.

NAYLOR, T.H. et al. **Técnicas de simulação em computadores**. São Paulo: Editora Vozes, 1971.

OLIVEIRA, E. et al. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

ROBAINA, A. D. **Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas**. 1992. 144 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

RUÍZ-NOGUEIRA, B. et al. Calibration and use of Cropgro-Soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. **Agricultural Systems**, Madison, v. 68, n. 2, p. 151-173, 2001.

SILVA, J. C et al. Risco de estresse térmico para o feijoeiro em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.643-648, 2007.

SINCLAIR, T.R. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. **Field crop research**, Amsterdam, p.149-158, 2002.

STOCKLE, CO.; JAMES, L.G. Analysis of deficit irrigation strategies for corn using crop growth simulation. **Irrigation Science**, New York, v.10, p.85-98, 1989.

8. ARTIGO 6: RENTABILIDADE DAS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO CULTIVADO SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO

8.1. RESUMO

O Clima, em especial a disponibilidade hídrica, apresenta-se como fator limitante à obtenção de rendimentos próximos ao potencial produtivo das culturas, constituindo-se na maior causa de variabilidade interanual na produção de grãos e na renda das diversas regiões produtoras brasileiras. O presente trabalho objetiva identificar e caracterizar o efeito da variabilidade climática sobre o rendimento de grãos das culturas da soja, milho e feijão e os dividendos envolvidos nas atividades produtivas, na região de Santiago, RS. Para tanto, inicialmente foi utilizado o modelo DSSat calibrado para as condições de estudo, para as culturas da soja, milho e feijão, sendo inseridos dados climáticos do período de 1961 a 2010 para geração dos dados de produção referentes a cada safra. Os dados foram adimensionalizados tomando como base a produção potencial de cada cultura, sendo construído histograma de frequência, para avaliação do risco de quebra de produção referente a cada safra. Posteriormente foram utilizadas séries de dados históricos de custos e preços de venda destas culturas para realizar análise econômica. Observou-se acentuada variabilidade climática ao longo dos anos, sendo que em termos de produção nota-se que o feijão, o milho e a soja em 65%, 50% e 41% dos anos, respectivamente, obtiveram produções abaixo de 50% do potencial destas culturas. Em termos econômicos, o maior custo; renda bruta e lucro médio estão associado a cultura do milho (R\$ 2.704,00.ha⁻¹; R\$ 3.599,00.ha⁻¹; R\$ 895,00.ha⁻¹); seguidos pela cultura do feijão e da soja, respectivamente. Conclui-se que para as condições de estudo, as três culturas, soja, milho, feijão, apresentaram significativas reduções de produção e conseqüente lucro em função da variabilidade climática.

Palavras-chave: modelagem computacional; disponibilidade hídrica; *Glycine max L.*; *Zea mays L.*; *Phaseolus vulgaris L.*

PROFITABILITY OF SOYBEAN CROP, CORN AND BEAN GROWN UNDER CONDITIONS OF UPLAND

8.2. ABSTRACT

Climate, particularly water availability, presents itself as a limiting factor to obtaining yields near the yield potential, becoming the leading cause of interannual variability in yield and income of the various producing regions of Brazil. This paper aims to identify and characterize the effect of climate variability on the yield of soybean, corn and beans and dividends involved in productive activities in the region of Santiago, RS. Therefore, initially we used the DSSat model calibrated to the study conditions for the crops of soybeans, corn and beans, and new climate data for the period 1961 to 2010 to generate production data for each crop. Data were non-dimensional building on the potential production of each crop, which built frequency histogram for evaluating the risk of loss of production for each crop. Later we used data series cost and selling prices of these crops to perform economic analysis. It was observed sharp climatic variability over the years, and in terms of production it is noted that the bean, corn and soybean in 65%, 50% and 41% of years, respectively, achieved yields below 50% of the potential these cultures. In economic terms, the biggest cost; gross income and average income are associated with corn (R \$ 2.704,00 / ha, R \$ 3.599,00 / ha, R \$ 895,00 / ha), followed by the bean and soybean , respectively. It is concluded that for the conditions of the study, three crops, soybean, corn, beans showed significant reductions in production and consequent gain as a function of climatic variability.

Key-words: computational modeling, water availability, *Glycine max L.*, *Zea mays L.*, *Phaseolus vulgaris L.*

8.3. INTRODUÇÃO

O agronegócio, considerado como todo o conjunto de negócios que se relacionam com a agricultura, dentro de uma visão econômica, é o responsável, segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2008), por cerca de 1/3 do PIB do Brasil, alocando aproximadamente 38% da mão de obra do país e responsabilizando-se por 42% das nossas exportações.

Segundo Tajés Ruas et al. (2008) é clara a vocação e o potencial futuro do Brasil e do Rio Grande do Sul no âmbito do agronegócio, visto a crescente demanda de alimentos no espectro mundial, a utilização de novas tecnologias, os investimentos em produção e em pesquisa e desenvolvimento (P&D), aliadas ainda à potencialidade de áreas agricultáveis inexploradas.

Mesmo assim, o setor do agronegócio apresenta diversos fatores que o tornam uma atividade de alto risco, sendo um dos principais fatores de risco a condição climática. As variáveis climáticas podem influenciar fortemente o resultado final de uma safra, pois a produção é dependente desta, em especial da disponibilidade hídrica, durante seu ciclo de desenvolvimento (OZAKI, 2007).

Trabalhos como os de BERLATO (1992), MOTA et al. (1996), CUNHA et al. (1998) e MATZENAUER, et al. (1998) referem que a baixa disponibilidade hídrica apresenta-se como fator limitante do elevado rendimento de grãos de soja e de milho no Rio Grande do Sul, fato esse que, por analogia e similaridade nas estações de crescimento, pode ser estendido à cultura de feijão (MALUF et al., 2001).

Deste modo, a avaliação do efeito de variações agrometeorológicas sobre a produção das culturas é fator fundamental para a previsão das safras agrícolas. Sendo os modelos agrometeorológicos a principal das técnicas que permitem a interpretação dessa variabilidade climática na produção vegetal (MORAES, 1998).

Atualmente, grande parte dos trabalhos disponíveis na literatura utiliza algum fator ligado à disponibilidade hídrica como variável independente para análise agrometeorológica, como a precipitação pluvial, evapotranspiração potencial e real e a deficiência hídrica (CALVE, 2011).

A escassez hídrica impõe estresses abióticos, que estão entre os fatores mais importantes na limitação da capacidade da planta e a produtividade em todo o mundo, sendo o suprimento artificial de água via irrigação importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola (AMUDHA, 2011).

Segundo FERNANDES (2012) o aumento na produtividade poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, tendo em vista que, muitas vezes, pode não haver um retorno financeiro satisfatório ao investimento executado. Tornar-se, portanto, imprescindível a elaboração de estudos de viabilidade que disponibilizem informações relevantes para a correta tomada de decisão dos produtores, diminuindo as condições de incertezas em relação ao retorno esperado de seu investimento.

Desse modo, o presente trabalho objetiva identificar e caracterizar o efeito da variabilidade climática sobre o rendimento de grãos das culturas da soja, milho e feijão e os rendimentos envolvidos nas atividades produtivas, na região de Santiago, RS.

8.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido para a região de Santiago, RS, sendo que as etapas de experimentações a campo para calibração do modelo para as culturas da soja, milho e feijão, foram realizadas na Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba, estrada Chica Correia e encontra-se descrita em detalhes em Parizi (2010) e Gomes (2011).

Para a modelagem foram utilizadas as culturas: da soja, cultivar Coodetec 219 (CD 219), milho, cultivar Pioneer 32R22 e, feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88), sendo inseridos os

coeficientes genéticos a ser utilizados no sistema DSSat, em seus módulos soja, milho e feijão, disponíveis nos artigos 1, 3 e 4, respectivamente, da presente tese.

Para as simulações foram utilizados dados climáticos referentes a estação automática oficial do INMet de São Luis Gonzaga, visto esta ser a estação oficial com série histórica disponível mais próxima do local de estudo, foi utilizado o período histórico 1961-2010, sendo utilizados os seguintes dados: precipitação (mm.dia^{-1}); temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$); radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e brilho solar (horas).

Os modelos utilizados nas simulações foram para a cultura da soja, o modelo Cropgro-Soybean, para o milho, o modelo Ceres Maize e, para o feijão, o modelo Cropgro-Drybean. Sendo realizadas as simulações e determinados os valores referentes a resposta produtiva produção de grãos (PG) para cada uma das culturas, para as safras do período histórico.

Cita-se que na modelagem desconsiderou-se o período 1978 à 1991 e 2000 à 2001, haja visto as séries de dados de clima apresentarem-se incompletas.

Os valores referentes a produção de grãos (PG) para as três culturas foram adimensionalizados tomando como base a produção potencial da cultura determinada experimentalmente por Parizi (2010) e Gomes (2011), sendo estas para a cultura da soja, milho e feijão, de 3.428; 15.550 e 4098 kg.ha^{-1} , respectivamente. Sendo construídos histogramas de frequência a partir destes dados a fim de avaliar o risco de quebra de produção referente a cada safra.

Posteriormente foram utilizadas séries de dados históricos de custos e preços de venda das culturas da soja, milho e feijão para realização da análise econômica do período histórico em estudo. Para isto foram obtidos os valores referentes aos custos de produção destas culturas junto ao relatório: Tendências dos mercados para 2012/2013 no Brasil e no Mundo (COGO, 2012), sendo utilizado o valor médio de custo no presente ano.

Os preços de venda foram obtidos junto ao relatório da CONAB (2013), sendo realizada a média dos valores de referência para o Rio Grande do Sul, dos meses de janeiro e fevereiro de 2013, para as culturas em estudo.

A determinação do lucro foi obtida pela diferença entre a renda obtida e os custos de produção, conforme apresentado na Equação 1.

$$\text{Lucro } R\$.ha^{-1} = \text{Renda Bruta } R\$.ha^{-1} - \text{Custos Totais } R\$.ha^{-1}$$

8.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisar a relação entre produção potencial das culturas e produção real obtida à campo em uma determinada safra é fator fundamental para a opção pela utilização de novas técnicas de manejo, que maximizem o potencial produtivo das culturas, bem como a rentabilidade advinda da produção.

Neste contexto, a Figura 01 apresenta os histogramas de frequência adimensionalizados para a produção de grãos no período entre safras 1961-2010 para as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c) na Região de Santiago-RS.

Figura 01

Observando na Figura 01 os valores referentes a frequência relativa, nota-se que para a cultura da soja, a maior parte dos dados (20,59%) enquadram-se na classe 2, isto é, a produção estimada para o período entre safras está entre 70 à 79 % da produção potencial da cultura em aproximadamente 7 safras, visto terem sido analisadas 34 safras.

No geral, observa-se que para esta cultura, em 70% dos anos, a produção prevista via modelagem esteve superior a 40% da produção potencial da cultura. Estas reduções de produção advindas da variabilidade climática também são citadas por Berlato e Fontana (2003) que estimam que 93% das perdas nas safras de soja sejam em razão do déficit hídrico.

Cita-se ainda que os 76% dos valores de produção prevista obtidas via simulação para a cultura da soja encontram-se entre os valores de produção observados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), que, entre 1990 a 2008, variaram de 666 a 2.400 kg.ha⁻¹ para o Estado do Rio Grande do Sul.

Para a cultura do milho nota-se que, em 67,64% dos anos estudados, a produção prevista esteve entre 40 e 60% da produção potencial da cultura. Resultados semelhantes foram encontrados por Bergamaschi et al. (2006), que constatou alta sensibilidade ao déficit hídrico, dos hídricos Pioneer 3230, 3063 e 32R22, que apresentaram redução de produtividade na ordem de 44, 29 e 25%, respectivamente, quando comparado a ausência de deficiência hídrica, para estudos realizados com estas cultivares, em Eldorado do Sul, no período de 1994/1995 a 2002/2003.

Bergamaschi et al. (2004) citam ainda que pode ocorrer redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico de desenvolvimento da cultura do milho, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos.

Para a cultura do feijão, na maior parte dos anos (20,59%), a produção prevista esteve entre 10 e 19% da produção potencial da cultura, existindo elevada variabilidade em termos de níveis produtivos desta ao longo dos anos. As elevadas reduções de rendimento ocorridas no presente trabalho, também foram observadas por Aguiar et al. (2008) que trabalhando com avaliação de linhagens de feijoeiro classificadas como moderadamente tolerante ao déficit hídrico, encontraram redução de rendimento de 70,5%, para as plantas do grupo preto (IPR Uirapuru), em Londrina-PR, na safra agrícola 2002/2003.

Assim, dentre as culturas utilizadas no presente, a mais atingida pela variabilidade climática foi a do feijão, onde em aproximadamente 65% dos anos a produção obtida esteve abaixo de 50% da produção potencial; seguida pela cultura do milho onde em 50% dos anos a

cultura obteve produção abaixo de 50% do potencial da cultura e da soja onde, em aproximadamente 41% dos anos, ocorreu mesmo fato.

A Figura 02 apresenta a evolução dos valores de custos de produção, preços e lucro obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudos (1961-2010), na Região de Santiago-RS.

Figura 02

Observa-se na Figura 02 que para a cultura da soja, os custos variaram entre R\$78,00.ha⁻¹ e R\$1.642,00. ha⁻¹, com rendas brutas entre R\$138,00. ha⁻¹ e R\$2.878,00. ha⁻¹ e lucros entre R\$59,00. ha⁻¹ e R\$1.236,00. ha⁻¹. De modo geral, o custo, renda e lucro, foram de: R\$979,00; R\$1.716,00 e R\$737,00; respectivamente. Os valores médios referentes a custo e lucro para o período estudado (1961-2010) estão próximos aos valores encontrados por Hirakuri (2011) que, considerando uma cotação de R\$ 45,00 para a saca de 60 kg, obteve receitas de vendas variando de R\$ 2.070,00. ha⁻¹ a R\$ 2.340,00.ha⁻¹, custos totais entre R\$ 1.299,28. ha⁻¹ e R\$ 1.366,71. ha⁻¹, e lucros líquidos entre R\$ 770,72.ha⁻¹ e R\$ 987,40.ha⁻¹.

Para a cultura do milho, os custos variaram entre R\$ 956,00. ha⁻¹ e R\$ 4.030,00. ha⁻¹, com rendas brutas entre R\$ 1.273,00. ha⁻¹ e R\$ 5.363,00. ha⁻¹ e lucros de R\$ 316,00. ha⁻¹ e R\$1.333,00. ha⁻¹. De modo geral, o custo, renda e lucro, são de: R\$ 2.704,00. ha⁻¹; R\$ 3.599,00. ha⁻¹ e R\$ 895,00. ha⁻¹; respectivamente. Já na cultura do feijão, os custos variaram entre R\$ 160,00. ha⁻¹ e R\$ 4.918,00. ha⁻¹, com rendas brutas entre R\$ 211,00. ha⁻¹ e R\$ 6.485,00. ha⁻¹ e lucros de R\$ 51,00. ha⁻¹ e R\$ 1.567,00 ha⁻¹. De modo geral, o custo, renda e lucro, são de: R\$ 2.332,00. ha⁻¹; R\$ 3.076,00. ha⁻¹ e R\$ 743,00. ha⁻¹; respectivamente.

Com isto, vê-se que das culturas em estudo, a da soja foi a que apresentou os menores custos de produção, enquanto a cultura do milho apresentou custo mínimo significativamente elevado, e a do feijão apresentou maior variação entre custos mínimos e máximos. Quanto a renda bruta e lucro a situação é semelhante, cita-se ainda que para o período histórico em

estudo apresenta-se com menor variação nos lucros a cultura do milho; o que apresenta-se interessante do ponto de vista de segurança para o agricultor.

Assim, se considerada a definição de pequeno agricultor fornecida pelo MDA para concessões do Pronaf, que diz que o pequeno agricultor é aquele que possui até 4 módulos fiscais (MDA, 2013), para a região de Santiago, este são os que possuem até 140 hectares. Com isto, o lucro médio advindo na produção de soja, milho e feijão, considerando a máxima área para um produtor ser considerado pequeno é de R\$103.180,00; R\$125.300,00; R\$104.020,00 anuais, respectivamente.

A cultura que apresentou o maior lucro por hectare foi a do milho, que considerando os 12 meses do ano, retorna em uma renda mensal por propriedade de R\$10.441,66, assim para uma família com 4 pessoas, a renda per capita mensal gerada foi de R\$2.610,41, admitindo a renda per capita média do município de R\$777,06, esta a renda gerada com o cultivo é mais de 3 vezes superior a renda per capita do município.

Cita-se ainda, que, para a cultura da soja, em 29% dos anos em estudo o lucro por hectare foi inferior à R\$451,00; em 24% dos anos esteve entre R\$451,00 e R\$844,00 e em 47% dos anos foi acima de R\$844,00. Para a cultura do milho em 12% dos anos o lucro por hectare foi inferior à R\$655,00; em 53% dos anos esteve entre R\$655,00 e R\$995,00 e em 35% dos anos foi acima de R\$995,00. Na cultura do feijão, em 41% dos anos o lucro por hectare foi inferior à R\$ 557,00; em 32% dos anos esteve entre R\$557,00 e R\$1.062,00 e em 27% dos anos foi acima de R\$1.062,00.

8.6. CONCLUSÕES

1. Ocorreu acentuada variabilidade climática ao longo dos anos, com reduções superiores a 50% da produção potencial de grãos das culturas do feijão, o milho e a soja em mais de 40% dos anos em estudo.

2. Os maiores custos totais; renda bruta e lucro médio estão associado a cultura do milho, seguidos pela cultura do feijão e da soja. Sendo que os custos de produção e renda bruta deste apresentam-se até três vezes superiores aos da soja, e o lucro final não acompanha mesma tendência, indicando maiores riscos de descapitalização das duas primeiras em caso de quebras de produtividade.

3. Para as condições de estudo, as três culturas estudadas, soja, milho, feijão, apresentaram significativas reduções de produção e consequente lucro em função da variabilidade climática.

8.7. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio técnico e financeiro. E ao INMET pela cedência dos dados climáticos.

8.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. S. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.

AMUDHA, J; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 31-58, 2011.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2004.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.

CALVE, L. **Estimativa de perda potencial de soja no Paraná através de métodos agrometeorológicos para fins de seguro agrícola**. 2011, Mestrado (Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

COGO, C. **GRÃOS: SOJA, MILHO, TRIGO e ARROZ. TENDÊNCIAS DOS MERCADOS PARA 2012/2013 NO BRASIL E NO MUNDO**. Disponível em: <http://www.noticiasagricolas.com.br/dbarquivos/gros-relatrio-tendencias-mercados-2012-2013.pdf>. Acesso. set. 2009.

CUNHA, G.R. da, HAAS, J.C., DALMAGO, G.A. et al. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119, 1998.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 42, n. 1, 2012.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HIRAKURI, M. H. **Avaliação do desempenho econômico-financeiro da produção de soja nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, para a safra 2011/12**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 10 p.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2010. Acesso em: mar. 2013. Online. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

MALUF, J.R.T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3 (n° Especial: Zoneamento Agrícola), p.468-476, 2001.

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M. A. et al. Evapotranspiração da cultura do milho. I - Efeito de épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.9-14, 1998.

Ministério do Desenvolvimento Agrário – **MDA** – Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/portal/>. Acesso em: Jan. 2013.

MOTA, F.S. da, AGENDES, M.O. de O., ALVES, E.G.P. et al. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.133-138, 1996.

OZAKI, V. A. O papel do seguro na gestão do risco agrícola e os empecilhos para o seu desenvolvimento. **Revista Brasileira de Risco e Seguro**. Rio de Janeiro, v.2, n.4, p. 75-92, 2007.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010, 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

TAJES RUAS, D. et al. **A Economia e o Agronegócio no Brasil e sul do Brasil. Observatorio de la Economía Latinoamericana**. n. 105, 2008. Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/> > Acesso em: dez 2012

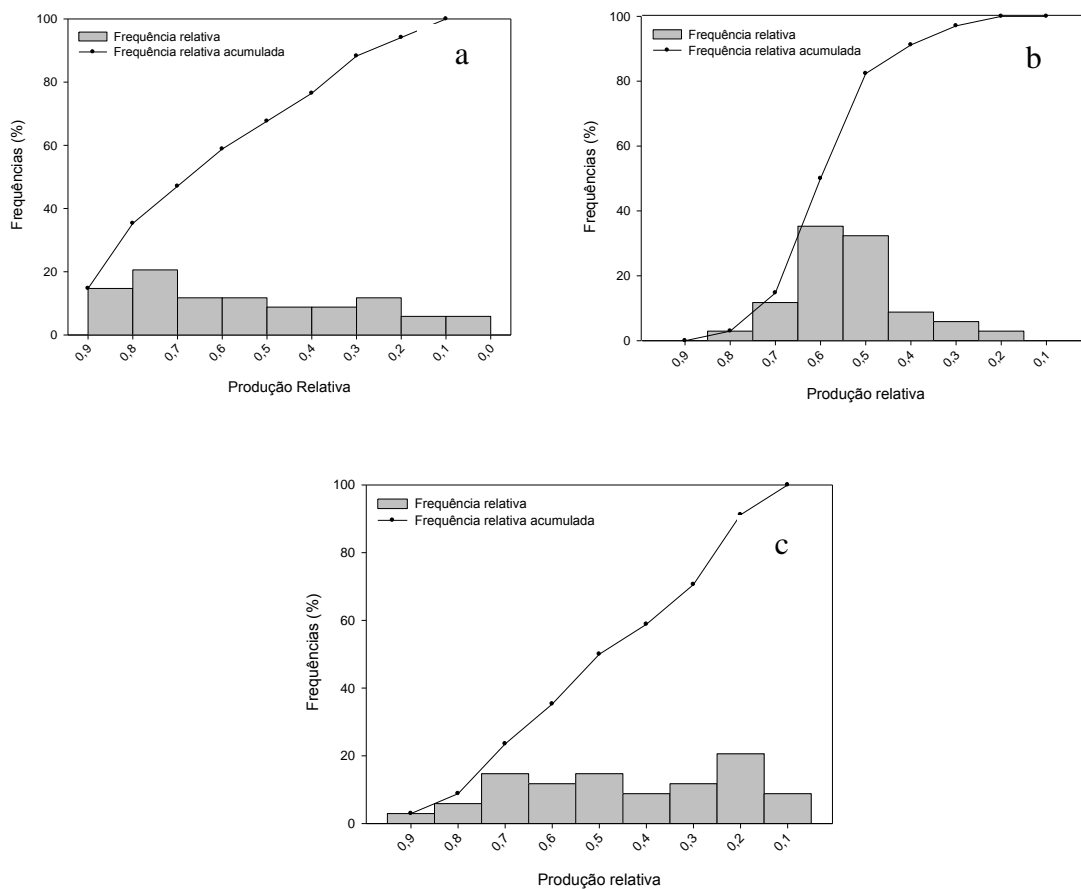


Figura 01 - Histogramas da produção relativa (relação entre produção potencial e produção obtida), no período entre safras 1961-2010 para as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), na Região de Santiago, RS.

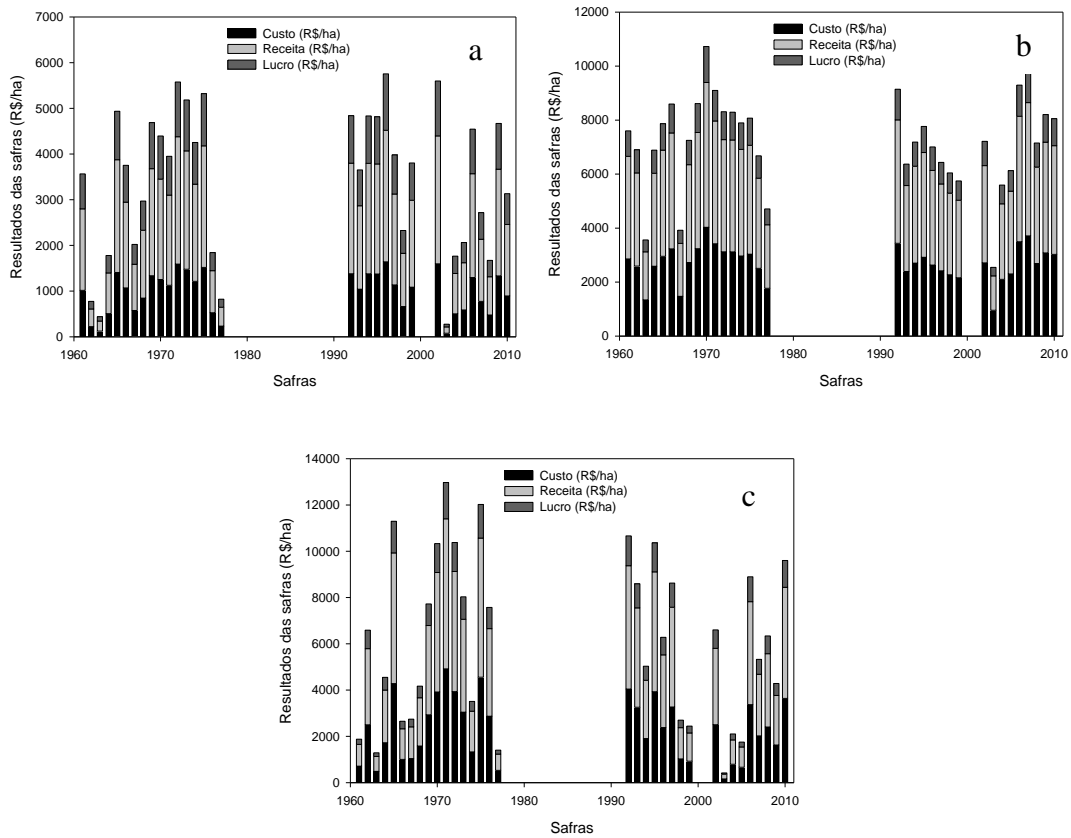


Figura 02- Evolução dos valores de custos de produção, preços e margens de lucro obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudos (1961-2010), na Região de Santiago, RS.

9. ARTIGO 7: NECESSIDADES HÍDRICAS E RENTABILIDADE DAS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO

9.1. RESUMO

O suprimento total ou complementar das necessidades hídricas das culturas, via irrigação, apresenta-se como técnica para elevação da produtividade, podendo gerar incrementos significativos na renda dos produtores, se corretamente otimizada. O presente trabalho objetiva determinar as necessidades hídricas e as respectivas produções das culturas da soja, milho e feijão, bem como os lucros associados à produção. O estudo foi desenvolvido para Santiago, RS, onde foi realizado o balanço hídrico das culturas e determinada a lâmina de irrigação requerida no período de 1961 a 2010, bem como as probabilidades de ocorrência associada às lâminas, sendo inseridas funções de produção para determinação da produção correspondente a cada lâmina aplicada, para análise econômica foi realizado fluxo de caixa simples. Observou-se que devido a maior duração de ciclo, dentre as culturas estudadas, a soja, apresentou valores de precipitação efetiva e evapotranspiração superiores as demais. As lâminas de irrigação computadas considerando a evapotranspiração do cultivo (ETc) foram superiores as que consideraram a evapotranspiração potencial (ETp) para a cultura da soja, e inferiores para a cultura do milho e feijão. Em 40% do período em estudo as probabilidades de ocorrência de lâmina de irrigação acima da média computada foram de 50% e 44%, considerando ETp e ETc, respectivamente. A elevação dos lucros foi superior a 75% com a aplicação de lâmina de irrigação, sendo a cultura do feijão a que apresentou maior resposta econômica ao suprimento hídrico. Concluiu-se que ocorreu necessidade de complementação hídrica para as culturas em estudo e que a utilização da irrigação elevou o lucro advindo da produção, na região de Santiago, RS.

Palavras-chave: balanço hídrico; irrigação suplementar, viabilidade econômica, *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; *Phaseolus vulgaris* L..

WATER NEEDS AND PROFITABILITY OF CULTURES OF SOYBEANS, CORN AND BEAN

9.2. ABSTRACT

The total supply or supplement the water needs of crops by irrigation, is presented as a technique for increasing productivity, which can generate significant increases in farmer income, if properly optimized. The present study aims to determine the water needs and their production of soybean, corn and beans, and profits associated with the production. The study was designed to Santiago, RS, where the water balance of the cultures was performed and determined the water depth required in the period 1961-2010, as well as the probability of occurrence associated with the blades being added production functions to determine production corresponding to each blade applied to economic analysis was performed simple cash flow . It was observed that due to increased cycle time, among cultures studied, soybeans was reported to be effective rainfall and evapotranspiration higher than the other. The water depth computed considering ETc were higher than those considered to ETp for the soybean crop , and lower for corn and beans . In 40 % of the survey period the probability of water depth above the computed average were 50 and 44 %, considering ETp and ETc, respectively. The rise in profits was greater than 75 % with the application of water dept, and the bean crop

that had the best economic response to water supply. That occurred need to supplement water for the crops under study and it was concluded that the use of irrigation increased the profit coming from the production in the region of Santiago, RS.

Key-words: water balance; supplemental irrigation, economic viability, *Glycine max L.*; *Zea mays L.*; *Phaseolus vulgaris L.*.

9.3. INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos assumem importância significativa no cotidiano das sociedades, quer seja por sua frequência e intensidade de ocorrência, quer seja pela vulnerabilidade socioambiental ocasionada por tais (OLIVEIRA et al., 2012). Dentre os eventos climáticos extremos encontram-se as estiagens, que são caracterizadas como períodos de reduções ou mesmo atraso dos níveis de precipitação previstos para uma determinada temporada (KOBAYAMA et al., 2006), que comprometem as reservas hidrológicas e causam prejuízos à agricultura, a pecuária e, conseqüentemente, a sociedade rural e urbana (CASTRO, 2003).

Os impactos econômicos das estiagens geram um efeito cascata, os agricultores deixam de produzir o montante necessário para suprir a demanda municipal. Em muitos casos, torna-se necessária a importação de determinados produtos de fora da área afetada, principalmente de alimentos e matéria prima para indústria; conseqüentemente os produtores se descapitalizam diminuindo seu poder de consumo junto aos fornecedores de insumos. Decorrendo em crise financeira na zona rural e urbana (PONCE, 2012).

No Rio Grande do Sul, a estiagem vem causando severos danos ao setor agrícola. Estudos revelaram que no período de 1987 a 2000, as perdas nas lavouras de soja e milho devido às estiagens no Estado foram na ordem de 19,1 milhões de toneladas. Este montante representa mais que a produção total de todos os grãos produzidos no Estado em um ano sem estiagem (BERLATO e FONTANA, 2004).

Amudha e Balasubramani (2011) cita que o estresse hídrico, característico de período de estiagens, está entre os fatores mais importantes na limitação da capacidade produtiva das plantas em todo o mundo, sendo o suprimento artificial de água via irrigação importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola.

Segundo Saturnino et al. (2010), a irrigação está entre as tecnologias que mais contribuem para o aumento da produtividade, sendo responsável por 50% da produção agrícola mundial, utilizando 18% da área colhida. No entanto, a irrigação, que normalmente possibilita o aumento de produção e, por vezes, o aumento do lucro, incrementa o consumo de

energia no sistema de produção. Assim, necessita de análise dos níveis de produção para verificação de sua sustentabilidade técnica e econômica (GOMES et al., 2013).

Neste sentido, busca-se, constantemente, o ponto de equilíbrio entre a máxima eficiência técnica e econômica, visto que o aumento na produtividade poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, tendo em vista que, muitas vezes, pode não haver um retorno financeiro satisfatório ao investimento executado (FERNANDES, 2012).

O presente trabalho objetiva determinar as necessidades hídricas e as respectivas produções das culturas da soja, milho e feijão, bem como os lucros associados à produção, na região de Santiago, RS.

9.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido para a região de Santiago, RS, com as experimentações à campo realizadas na Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba. As informações referentes à estes experimentos encontram-se descritas em detalhes em Parizi (2010) e Gomes (2011). As culturas utilizadas no estudo foram a soja, cultivar Coodetec 219 (CD 219), o milho, cultivar Pioneer 32R22 e feijão, cultivar Uirapuru (IPR 88).

Para a determinação da lâmina de irrigação requerida pelas culturas, realizou-se o balanço de entradas e saídas de água no sistema solo-planta-atmosfera, sendo que como entrada considerou-se a precipitação efetiva, e como saída a evapotranspiração potencial ou a evapotranspiração da cultura, dependendo da rotina de cálculos adotada, sendo a diferença entre entrada (precipitação efetiva) e saída (evapotranspiração), considerada com necessidade de complementação hídrica.

Para a determinação da precipitação efetiva foi considerada a seguinte equação:

$$Prec. Efetiva = Prec. (1 - c) \dots\dots\dots \text{Equação 01}$$

Onde: Prec = Precipitação (mm.dia⁻¹); c = Coeficiente de escoamento.

Foram utilizados os valores de precipitação referentes ao município de São Luis Gonzaga (estação meteorológica pertencente a rede nacional de monitoramento climático mais próxima à propriedade), para o período 1961-2010, obtidos junto ao INMet. Salienta-se que desconsiderou-se o período 1978 à 1991 e 2000 à 2001, haja visto que as séries de dados apresentam-se incompletas. O valor de coeficiente de escoamento (c) foi obtido a partir de informações relativas ao solo, relevo e cobertura vegetal (MILLAR, 1978).

Para a determinação da evapotranspiração potencial (ETp), foi utilizada a equação de Penann-Monteith. A determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foi realizada pela seguinte equação:

$$Etc = Etp \cdot Kc \dots\dots\dots \text{Equação 02}$$

Onde: ETp = Evapotranspiração potencial (mm.dia⁻¹) e Kc = Coeficiente de cultura.

A definição dos valores de Kc para os diferentes estádios vegetativos da cultura da soja foi realizada de acordo com Berlato et al. (1992) e Doorembos e Kassam (1979), resultando nos seguintes valores em função do estágio de desenvolvimento 0,56; 1,21; 1,50 e 0,9. Segundo Martins et al.(2007), os estádios de desenvolvimento da cultura são: período inicial do 1 até 13 dia após o plantio (DAS); período 2 do 14 DAS até 66, período 3 do 67 ao 101 DAS, e período 4 após o 101 DAS.

Para a cultura do milho a duração dos estádios foi de 0 a 7 DAS; 7 a 30 DAS; 30 a 44 DAS; 44 a 94 DAS e 94 a 120 DAS (FANCELLI, 2001). Sendo os valores de Kc para cada estágio de 0,47; 0,70; 0,93; 0,96 e 0,73, respectivamente (MATZENAUER et al. 1988).

Os valores de Kc da cultura do feijão foram adaptados de Bergamaschi et al. (2004), sendo de 0 a 11 DAS, 0,58; de 12 a 32 DAS, 0,68; de 33 a 54 DAS, 0,94; de 55 a 65 DAS, 1,26; de 66 a 77 DAS, 1,41 e de 78 a 117 DAS, 1,22.

Para a estimativa da produção de grãos correspondente ao atendimento das necessidades hídricas das culturas foram utilizadas as seguintes equações, para a cultura da soja (Equação 3) (GOMES, 2011), do milho (Equação 4) (PARIZI, 2010) e do feijão (Equação 5) (PARIZI, 2010):

$$y = a + x + cx^2 + dx^3 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Sendo: $a = 0$, $b = 9,7514$, $c = - 0,0070$, $d = 2,248 \times 10^{-7}$ e $x =$ consumo hídrico.

$$y = a \times -0,5 \frac{x-b}{c}^d \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

Sendo: $a = 16281,779$; $b = 730,637$; $c = 327,378$, $d = 3,821$ e $x =$ consumo hídrico.

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

Sendo: $a = 1,409 \cdot 10^{-12}$; $b = 5,986 \cdot 10^{-10}$; $c = 2,308 \cdot 10^{-07}$; $d = 6,806 \cdot 10^{-05}$; $e = - 8,009 \cdot 10^{-08}$ e $x =$ consumo hídrico.

Posteriormente, foram utilizadas séries de dados históricos de custos e preços de venda das culturas da soja, milho e feijão para realização da análise econômica do período em estudo. Para isto foram obtidos os valores referentes aos custos de produção junto ao relatório: Tendências dos mercados para 2012/2013 no Brasil e no Mundo (COGO, 2012), sendo utilizado o valor médio de custo no presente ano.

Os preços de venda foram obtidos junto ao relatório da CONAB (2013), com realização da média dos valores de referência para o Rio Grande do Sul, dos meses de janeiro e fevereiro de 2013, para as culturas em estudo. Foi realizado fluxo de caixa simples, com contabilização de custos, receitas brutas e lucro líquido.

9.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 01 são apresentados os valores de precipitação efetiva, evapotranspiração potencial e evapotranspiração do cultivo das culturas da soja, milho e feijão, para o período de 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil.

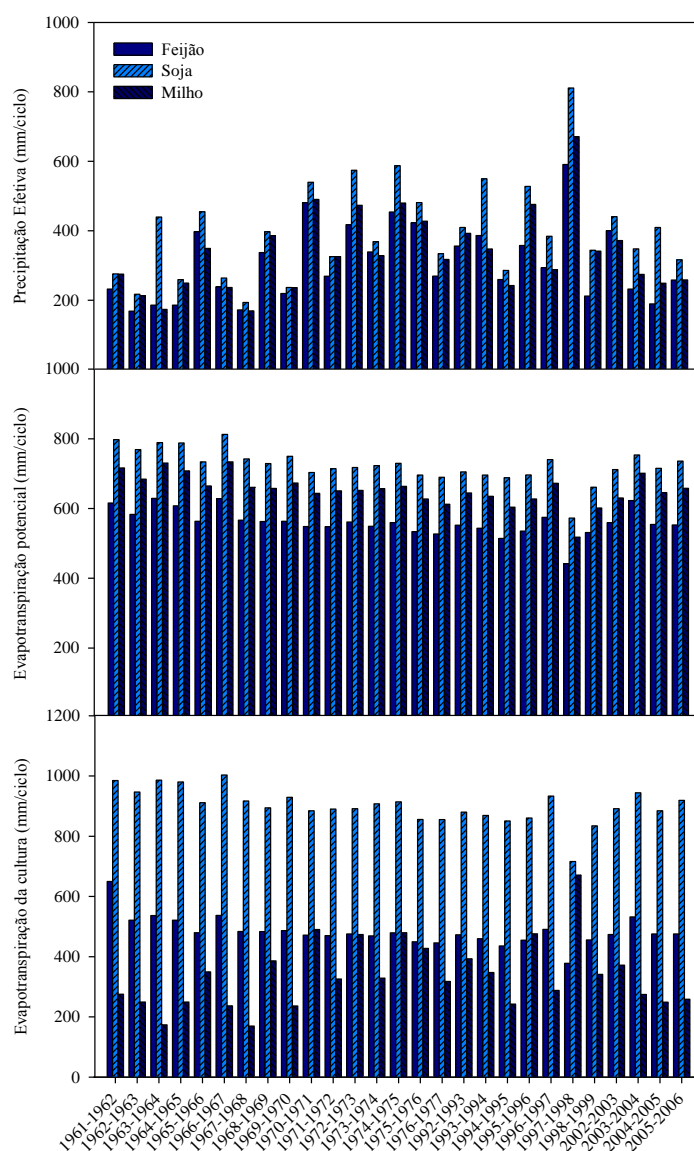


Figura 01- Valores de precipitação efetiva, evapotranspiração potencial e evapotranspiração do cultivo para as culturas da soja, milho e feijão, no período de 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil.

Observa-se na Figura 01 que os maiores valores de precipitação efetiva e evapotranspiração estão associados à cultura da soja, por esta possuir uma maior duração de ciclo, no presente estudo, em relação às demais culturas. As médias de precipitação efetiva foram de $399 \text{ mm.ciclo}^{-1}$ para a cultura da soja, $336 \text{ mm.ciclo}^{-1}$ para a cultura do milho e de $309 \text{ mm.ciclo}^{-1}$ para a cultura do feijão, com desvios de respectivamente 138, 113 e 108 mm.ciclo^{-1} . Os maiores valores de precipitação efetiva durante o período de estudo ocorreram no ciclo 1993-1994, onde, para a cultura da soja, foram encontrados valores de $550 \text{ mm.ciclo}^{-1}$.

Quanto a evapotranspiração da cultura cita-se que foram encontrados valores médios de 901, 506 e 483 mm.ciclo^{-1} , para as culturas da soja, milho e feijão, respectivamente, com desvios associados de 58, 39 e 47 mm.ciclo^{-1} . Tais resultados estão de acordo com Matzenauer et al.(2002), que pesquisando o consumo relativo de água da cultura da soja (0,2), verificou que estes são menores quando comparados à cultura do milho (0,53 - 0,84), pois, os valores menores de consumo relativo encontrados para a cultura da soja, são atribuídos aos valores maiores de consumo hídrico da cultura.

Observa-se ainda, na Figura 01, que os maiores valores de evapotranspiração da cultura, durante o período de estudo, ocorreram no ciclo de cultivo 1966-1967, para a cultura da soja, onde foram contabilizados valores de ET_c de $1003 \text{ mm.ciclo}^{-1}$.

Na Figura 02 são apresentadas as lâminas de irrigação requeridas e a probabilidade de ocorrência associadas às lâminas, para as culturas da soja, milho e feijão, considerando o cômputo do consumo hídrico pela ET_p e pela ET_c , para o período 1961-2006.

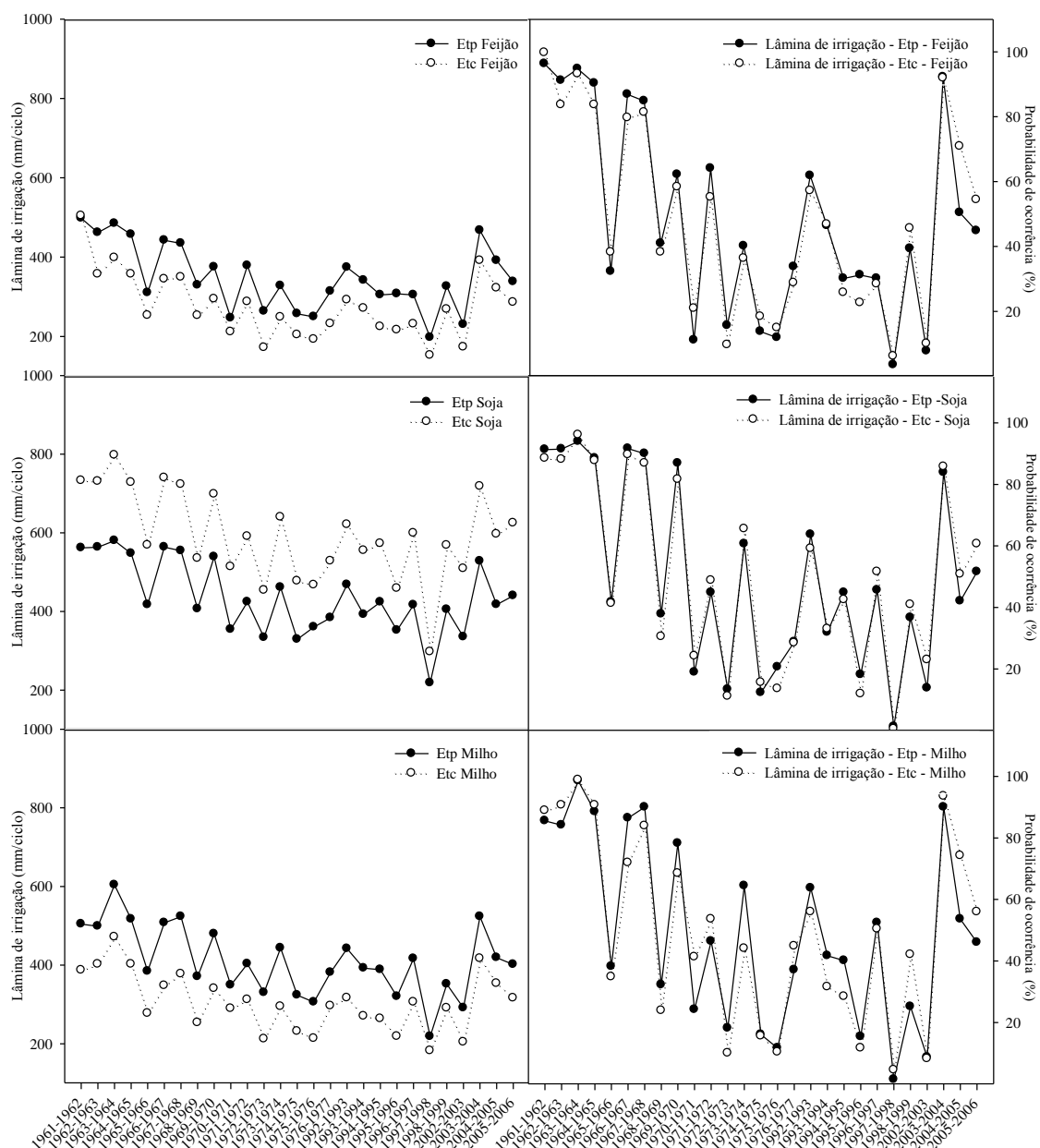


Figura 02- Lâminas de irrigação requeridas e probabilidade de ocorrência destas, para as culturas da soja, milho e feijão, considerando o consumo hídrico pela evapotranspiração potencial (ETp) e do cultivo (ETc), para o período entre ciclo 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil.

Nota-se, na Figura 02, que as lâminas de irrigação requeridas pelas culturas do milho e feijão, quando determinadas considerando a evapotranspiração do cultivo, foram inferiores as calculadas utilizando a evapotranspiração potencial. Para a cultura da soja, esta relação se inverte, sendo, em média, maiores as lâminas de irrigação requeridas pela cultura quando considerado o balanço hídrico utilizando a ETC, visto o valor do coeficiente de cultivo, que, em acentuado período durante o ciclo da cultura da soja, é superior a 1.

Salienta-se que a determinação da lâmina de irrigação, independentemente do método de determinação da evapotranspiração (ETp e ETc) segue um mesmo comportamento ao longo dos anos, visto que a diferença ocorre devido a inserção de valores de coeficiente de cultivo específicos dependentes da cultura e de seu estágio de desenvolvimento.

Os valores médios de lâmina de irrigação encontrados para a cultura da soja, milho e feijão, considerando para o balanço hídrico a ETp foram de 436, 410 e 348 mm.ciclo⁻¹ e considerando a evapotranspiração do cultivo foram de 594, 305 e 277 mm.ciclo⁻¹.

A lâmina de irrigação média encontrada para a cultura da soja, por ambos os métodos de determinação da lâmina via balanço hídrico, foram superiores as encontradas por Vivan et al. (2013), que utilizando o modelo Winisareg para determinação das lâminas de irrigação para a cultura da soja, no período 1993-2006, encontrou lâminas médias para ciclo tardio (140 dias) e semeadura em 15/10 de 238 mm.ciclo⁻¹, em Passo Fundo, RS, o que possivelmente se deve a diferença climática entre tais locais.

Para a cultura do milho, as lâminas de irrigação observadas, em ambos os métodos de determinação do balanço hídrico, estão de acordo com as encontradas por Bergamaschi et al. (2006) que em trabalho realizado com esta cultura no período 1993-2003, encontrou valores de lâmina de irrigação variando de 134 à 401 mm.ciclo⁻¹, com média de 204 mm.ciclo⁻¹.

Quanto a probabilidade de ocorrência associada às lâminas de irrigação, considerando a evapotranspiração potencial, aponta-se que para a cultura da soja, em 30% do período em estudo, a probabilidade de ocorrência de lâminas de irrigação acima da média (média de 436 mm.ciclo⁻¹) foi acima de 80%. Para a cultura do milho e do feijão, em 26% do período em estudo, a probabilidade de ocorrência de lâminas de irrigação acima da média (média 410 e 348 mm.ciclo⁻¹) foi acima de 80%.

Se consideradas probabilidades acima de 50% de ocorrência de lâmina de irrigação acima da média geral citada para período em estudo, observa-se que estas ocorrem em 40,7% para as culturas da soja e feijão e 44% para a cultura do milho.

Considerando o balanço hídrico pela evapotranspiração do cultivo, para a cultura da soja, em 30% do período em estudo, a probabilidade de ocorrência de lâminas de irrigação superiores à média (média 594 mm.ciclo⁻¹), foi acima de 80%. Para a cultura do milho e do feijão, em 22% do período em estudo, a probabilidade de ocorrência de lâminas de irrigação superiores à (média 305 e 207 mm.ciclo⁻¹), foi acima de 80%. Quando consideradas probabilidades superiores à 50% de ocorrência de lâmina de irrigação acima da média geral citada para período em estudo, observa-se que estas ocorrem em 48,2% do período para as culturas da soja e do feijão e 44% do período para a cultura do milho.

Na Figura 03 são apresentadas as produções potenciais para as culturas da soja, milho e feijão, considerando a determinação do consumo hídrico pela evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração do cultivo (ETc), para o período entre ciclos 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil.

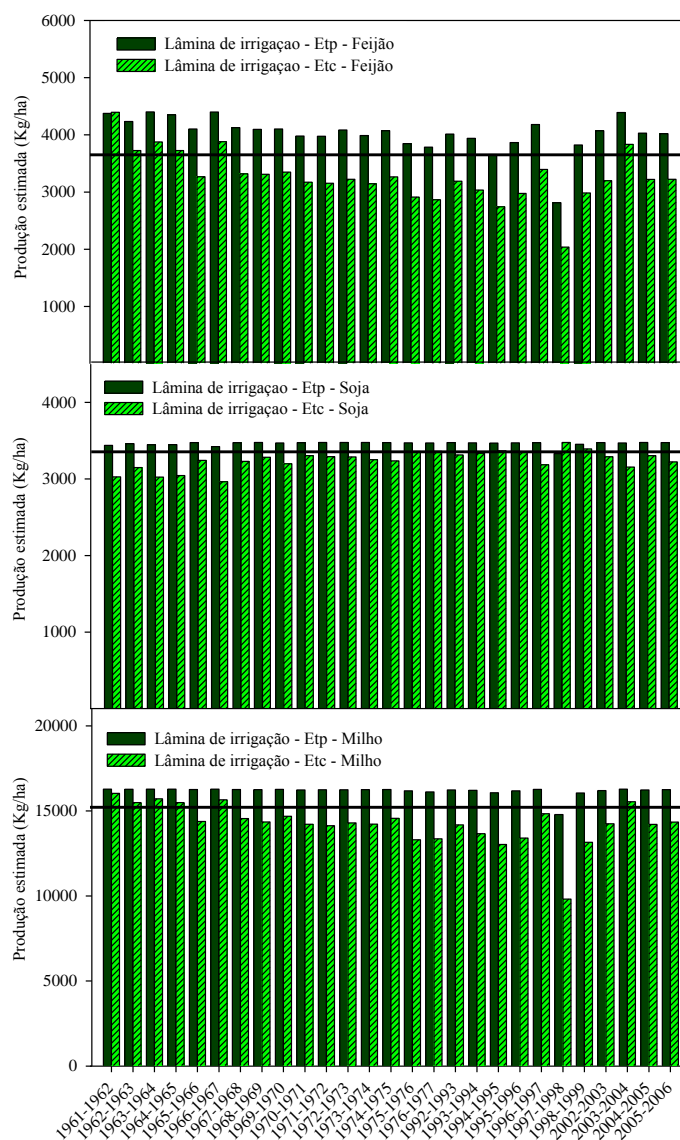


Figura 03 - Produção potencial das culturas da soja, milho e feijão, considerando o cômputo do consumo hídrico pela evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração do cultivo (ETc), para o período entre ciclo 1961-2006, em Santiago, RS, Brasil.

Analisando a Figura 03, observa-se que para o período em estudo, considerando o balanço hídrico com a evapotranspiração potencial, as produtividades obtidas via função de produção foram, na média, para a cultura da soja, de $3.461 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (desvio padrão de $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e coeficiente de variação de 1,76%), para a cultura do milho de $16.176 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (desvio

padrão 284 kg.ha^{-1} e coeficiente de variação de 0,85%) e para a cultura do feijão de 4.026 kg.ha^{-1} (desvio padrão de 311 kg.ha^{-1} e coeficiente de variação de 7,73%).

Quando considerado para o balanço hídrico a evapotranspiração do cultivo, as produtividades obtidas via função de produção foram, na média, para a cultura da soja, de 3.246 kg.ha^{-1} (desvio padrão de 123 kg.ha^{-1} e coeficiente de variação de 3,79%), para a cultura do milho de $14.254 \text{ kg.ha}^{-1}$ (desvio padrão 1.208 kg.ha^{-1}) e coeficiente de variação de 8,48%) e para a cultura do feijão de 3.274 kg.ha^{-1} (desvio padrão de 444 kg.ha^{-1} e coeficiente de variação de 13,56%).

Em ambas as metodologias adotadas (ETp e ETc), os valores de produtividade da cultura do feijão foram superiores aos encontrados por Ribeiro et al. (2009), que, testando cultivares de feijão, no período de 2004-2007, em diversos locais do RS, encontrou rendimento médio para a cultivar Iapar de 1.675 kg.ha^{-1} . Este valor é praticamente a metade do valor encontrado com rendimento potencial no presente estudo, salienta-se que o autor não cita se ocorreu complementação hídrica durante o cultivo.

Para a cultura da soja, os valores de produtividade potencial média encontrados estão muito próximos aos apresentados por Fundação Pró-Sementes (2013), onde no RS, com a mesma cultivar, foi encontrada produtividade média de 3.500 kg.ha^{-1} .

Na Figura 04 é apresentada a evolução dos valores de custos de produção, renda bruta e lucro, obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudo, na Região de Santiago-RS.

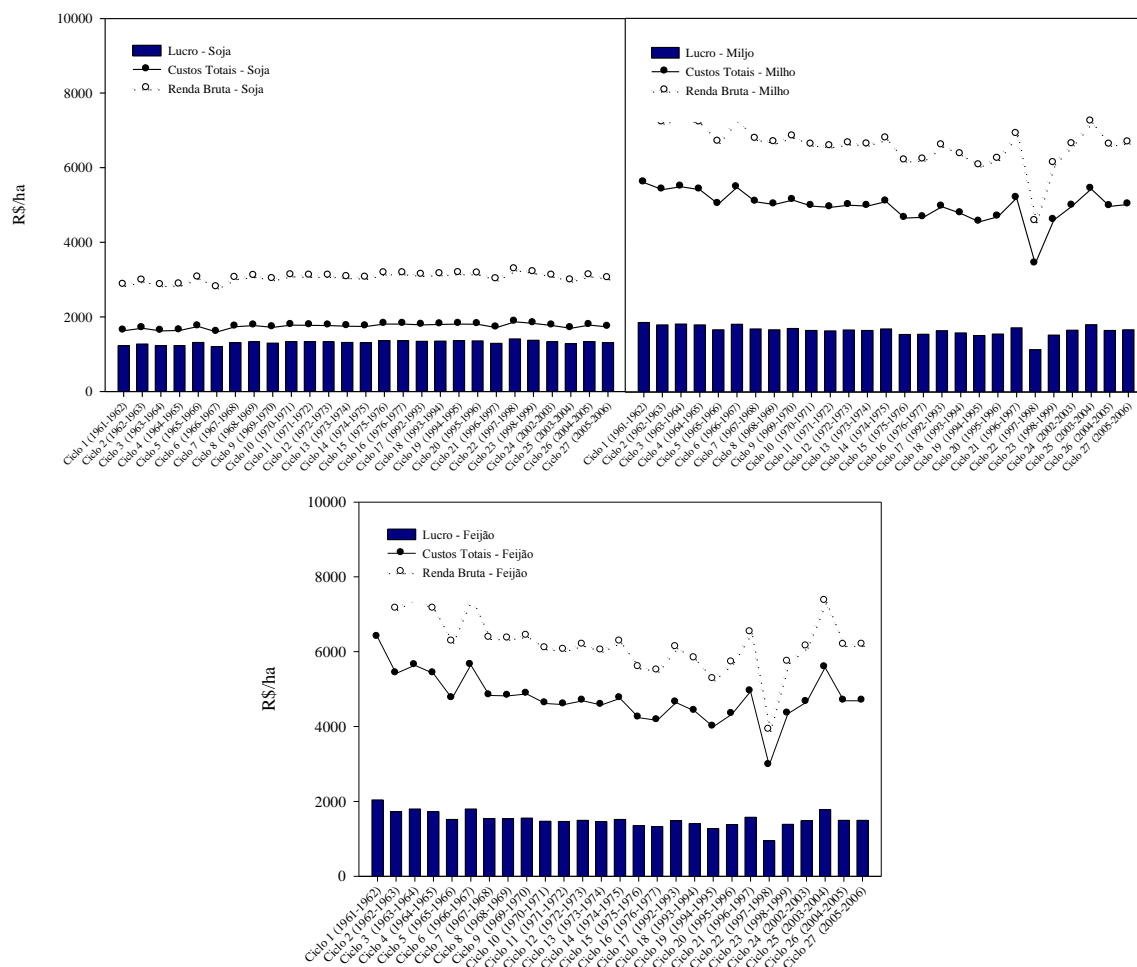


Figura 04 - Evolução dos valores de custos de produção, renda bruta e lucro, obtidos com as culturas da soja (a), milho (b) e feijão (c), no período em estudo, na Região de Santiago-RS.

Analisando a Figura 04, no que tange a viabilidade econômica do cultivo irrigado, onde a lâmina de irrigação foi simulada de modo a suprir a ETc da cultura, nota-se que em todos os ciclos e para as três culturas estudadas, o valor do lucro foi positivo, indicando a não ocorrência de prejuízos econômicos.

Aponta-se na Figura 04 que os maiores lucros estão associados ao milho (R\$1.648,94.ha⁻¹), seguidos pelos obtidos com a cultura do feijão (R\$1.518,66.ha⁻¹) e da soja (R\$1.313,53.ha⁻¹), com valores de desvio padrão de R\$139,77.ha⁻¹; R\$205,95.ha⁻¹ e R\$48,81.ha⁻¹, respectivamente.

No artigo 6 da presente tese, quando estudados cultivos de sequeiro, em Santiago, RS, foram encontrados valores de lucro de R\$ 894,85.ha⁻¹; R\$737,14.ha⁻¹ e R\$743,40.ha⁻¹, para as

culturas do milho, soja e feijão, respectivamente, indicando tendência idêntica de obtenção de lucros, cultura do milho com maior lucratividade, seguida pelas culturas do feijão e soja.

Quando considerados os valores médios de lucro líquido, aponta-se uma elevação no lucro da cultura de sequeiro para a cultura irrigada de 84,06% para a cultura do milho, 78,19% para a cultura da soja e, de 104,28% para a cultura do feijão. O que permite afirmar que a cultura do feijão foi a que apresentou maior resposta econômica a aplicação de lâmina de irrigação complementar.

9.6. CONCLUSÕES

1. As lâminas de irrigação computadas via balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) foram superiores as lâminas determinadas considerando a evapotranspiração potencial (ETp) para a cultura da soja, e inferiores para as culturas do milho e feijão;
2. Em acima de 40% do período em estudo as probabilidades de ocorrência de lâmina de irrigação acima da média computada foram de 50%, considerando a ETp e em acima de 44% do período, considerando ETc;
3. As funções de produção apontaram produções próximas às consideradas produções potenciais das culturas, sendo verificado que quando considerado para o balanço hídrico a ETc as produções foram menores, em relação as que consideraram a ETp, bem como elevaram-se os desvios padrão e os coeficientes de variação;
4. As três culturas estudadas, soja, milho e feijão, apresentaram elevação dos lucros superior a 75% com a aplicação de lâmina de irrigação, sendo a cultura do feijão a que apresentou maior resposta econômica ao suprimento de suas demandas evapotranspirativas via irrigação.

9.7 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio técnico e financeiro. E ao INMET pela cedência dos dados climáticos.

9.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMUDHA, J; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, [S.l], v. 6, n. 2, p. 31-58, 2011.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.831-839, 2004.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, p.11-23, 1992.

COGO, C. **GRÃOS: SOJA, MILHO, TRIGO e ARROZ. TENDÊNCIAS DOS MERCADOS PARA 2012/2013 NO BRASIL E NO MUNDO**. Disponível em: <http://www.noticiasagricolas.com.br/dbarquivos/gros-relatrio-tendencias-mercados-2012-2013.pdf>. Acesso. set. 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, intenção de plantio, segundo levantamento de novembro 2013**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2013.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: Carlesso et al. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, 2001. p.59-73.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 1. 2012.

Fundação Pró-Sementes. 2013. Disponível em: <http://www.fundacaoprosementes.com.br/>. Acesso: out de 2013.

GOMES, E. P. et al. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [online], v.17, n.8, p. 835-842, 2013.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação.** 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

KOBIYAMA, M.. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 124p.

MARTINS, S.R. et al. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p.15-23, 1999.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p.

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Evapotranspiração da cultura do milho. Efeito de épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.9-14, 1998.

MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas.** 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276p.

OLIVEIRA, E. et al. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado.** 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PONCE, V. M. **Three Issues of Sustainable Management in The Ojos Negros Valley Baja California.** México. Disponível em: http://ponce.tv/three_issues_portal.html. Acesso em: out 2012.

RIBEIRO, N. D. et al. Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no Estado do Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 339-346, 2009.

SATURNINO, H. M. et al. Agricultura irrigada: Oportunidades e desafios. **Informe Agropecuário**, Brasília, v.31, p.101-109, 2010.

VIVAN, G. A. et al. . Determinação do rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação aplicada. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, p. 282-292, 2013.

10. DISCUSSÃO GERAL

A proximidade entre os valores encontrados a partir do uso de modelos de simulação de cultivos e da experimentação à campo é fator fundamental quando se pretende fazer uso destes para a realização de previsão de cenários agrícolas. Walter (2010) afirma que os modelos matemáticos devidamente adaptados e testados em diferentes ambientes são ferramentas que permitem descrever as interações entre a planta ou cultura e o ambiente com boa acurácia.

Os modelos de simulação, em muitos casos, permitem a determinação das respostas produtivas com significativas reduções de custos e tempo quando comparados a determinações realizadas a campo. Neste sentido, Silva e Bergamasco (2001), afirmam que a informatização de processos de suporte a decisões, em especial pelo emprego de modelos matemáticos, pode minimizar riscos ambientais, reduzir custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade ao planejamento agrícola, além de contribuir para o melhor conhecimento dos mecanismos fisiológicos da cultura agrícolas.

No presente trabalho, nos artigos 1, 3 e 4 está descrito o processo de calibração dos modelos de simulação Cropgro-Soybean, Ceres-Maize e Cropgro-drybean, sendo estes modelos pertencentes ao sistema DSSat. De modo geral, pode-se afirmar que o modelo Cropgro-Soybean, utilizado para simulações com a cultura da soja, apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, enfatizando a variabilidade de resposta produtiva entre diferentes cultivares considerando condições ambientais semelhantes.

No modelo Ceres-Maize os valores dos parâmetros genéticos encontrados para a calibração encontram-se próximos aos encontrados por Braga, Cardoso e Coelho (2004), que testaram cultivares de milho, em Portugal. Observou-se também, neste modelo, que os valores dos parâmetros P1 e P5 são diretamente proporcionais a duração do ciclo da cultura e que P2 varia entre cultivares em função da sensibilidade diferenciada ao fotoperíodo.

No modelo Cropgro-Drybean, os valores de CSDL, PPSEN, EM-FL, FL-SH, FH-SD, SD-PM, FL-LH definem desenvolvimento da cultura, LFMAX, SLAVAR e SIZLF a expansão vegetativa; e XFRT, WTPSD, SFDUR, SDPDV e PODUR a reprodução. Didonet e Silva (2004) citam que as cultivares de feijão no Brasil são geralmente insensíveis ao fotoperíodo ($PPSEN = 0$), ou seja, seu desenvolvimento e crescimento são controlados apenas pelo parâmetro graus dia acumulados (GDA). Ainda, no modelo, cita-se que durante a realização das iterações para determinações dos coeficientes genéticos, verificou-se alta sensibilidade à variação dos parâmetros de entrada e que muitas vezes seus efeitos sobre a produtividade se inter-relacionam, o que dificulta o processo de calibração.

No geral, os três modelos durante o processo de calibração apresentaram maior complexidade quando se visa determinar a resposta produtiva resultante de tratamentos baseados em diferentes níveis de um dado fator, como diferentes doses de fertilizante, lâminas de irrigação, entre outros. Isto porque a medida que ocorre a calibração para o tratamento inicial simulado, os demais tendem a não apresentar o mesmo nível de acurácia, pois a interação entre os fatores inerentes a planta, na natureza, muitas vezes não consegue ser representada com total exatidão pelos modelos.

Após os modelos estarem calibrados foi realizada a validação destes, apresentadas nos mesmos artigos 1, 3 e 4. Sendo observado que para o modelo Cropgro-Soybean (artigo 1) foram obtidos valores próximos entre os resultados de produção de grãos (PG) e de matéria seca máxima (MSM) obtidos via experimentação em comparação com os obtidos via modelo de simulação, com variações inferiores à 13,83%.

Estas variações encontradas para o modelo Cropgro-Soybean são inferiores as encontradas por Filho e Souza (2011) que utilizando modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair para estimativa da produção de grãos da cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observou subestimativas de aproximadamente 40% e as observadas por Cavalcante

et al. (2010) e Vasconcelos et al. (2010) que utilizando o modelo Cropgro-Soybean obtiveram variações entre 0,3 e 20,2.

Para o modelo Ceres-Maize (artigo 3) observou-se que os valores encontrados de para PG à campo encontram-se inferiores aos obtidos via simulação até T₁, passando a ocorrer subestivas. No T₅ a variação chega à 33,2%, indicando que o modelo subestima em mais de 1/3 a produção de grãos obtida à campo. Analisando a MSM (MSM), nota-se que os valores obtidos à campo são em todos os tratamentos superiores aos obtidos via modelo de simulação, estando a variação entre 3,2 e 35,7.

Afirma-se que as variações de PG e MSM no modelo Ceres-Maize foi elevando-se no transcorrer dos tratamentos, o que significa que o modelo não conseguiu manter seu poder preditivo com o aumento da lâmina de irrigação aplicada. Este fato pode estar relacionado a alta variabilidade da cultivar escolhida para o estudo ou a distorções na modelagem matemática do modelo escolhido, onde os incrementos hídricos não computam proporcionais elevações de produtividade, cita-se que Pionner... (2008) verificou alta variabilidade produtiva da cultivar Pionner 32R22, identificando distorções nos resultados de produtividade da cultivar quando submetida a condições edafoclimáticas próximas em estudos de adaptabilidade realizados no Sul do Brasil.

No modelo Cropgro-Drybean notou-se que em geral ocorreu expressiva variação entre os resultados obtidos pelo modelo, quando comparados com os obtidos à campo. Sendo as maiores variações relativas aos tratamentos T₀ e T₅, com variação entre -0,7 e -27%. Variações estas superiores às encontrados por Oliveira et al. (2012), que obteve percentual de variação entre -5,58 e 6,24%, estudando a eficiência do modelo Cropgro-Drybean para simulações com 3 cultivares de feijão (Pérola, Ouro Negro e Ouro vermelho), em Maringá, PR.. E inferiores às obtidas por Filho e Souza (2011) que utilizando modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair (2003) para estimativa da produção de grãos da

cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observou subestimativas de aproximadamente 40%.

No entanto, para o modelo de simulação da cultura do feijão (Cropgro-drybean) os valores médios de variação foram de 4,2% para produção de grãos, indicando que de forma geral o modelo tendeu a subestimar os valores de produção de grãos, e de -2,5% para matéria seca total, indicando que o modelo tendeu a superestimar os valores de matéria seca máxima. Pode-se afirmar que os valores médios de variação tanto para PG, como para MSM foram baixos, no entanto os valores de desvio padrão para estes foi elevado (18,9; 15,4).

Quando analisados os índices de desempenho dos modelos utilizados no estudo percebe-se que estes foram satisfatórios, enquadrando de forma positiva as simulações realizadas. Para as simulações com a cultura da soja (Cropgro-Soybean) os índices de desempenho verificados foram 0,837 e 0,898, para produção de grãos e matéria seca, respectivamente, o que indica que as determinações da PG e MSM obtiveram um desempenho muito bom e ótimo, respectivamente.

Para a cultura do milho, as simulações obtiveram um índice de desempenho de 0,813 para PG e 0,867 para MSM, índices de desempenho que enquadram as simulações como muito boa para produção de grãos e ótima para matéria seca máxima.

No modelo Cropgro-drybean, as simulações com a cultura da soja apontaram índices de desempenho de 0,72 e 0,86 para PG e MSM respectivamente, enquadrando a determinação das repostas produtivas da cultura via modelo de simulação como **boa** para produção de grãos e **ótimo** para matéria seca máxima. Os valores de Id encontrados para MSM encontram-se próximos aos encontrados por Meireles et al. (2002), que em simulações com a cultura do feijão, cultivar carioca, obteve índices de desempenho entre 0,82 e 0,99 para produção de MSM, com tratamentos baseados em diferentes doses de fertilizante e espaçamentos entre linhas, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Nos artigos 2 e 5 são apresentadas comparações entre os modelos calibrados e validados no presente estudo, para as culturas da soja e feijão e o RSAP, que possui modelos para as mesmas culturas e encontra-se calibrado e validado para as condições do presente estudo, em trabalhos realizados por Parizi (2010) e Gomes (2011).

Para a cultura da soja, os valores das respostas produtivas em estudo (MSM e PG) obtidas à campo, quando comparadas as obtidas via modelagem, encontram-se bastante próximas, sendo percebido que o modelo Cropgro-Soybean superestimou os valores matéria seca máxima e o modelo RSAP-Soja subestimou os mesmos, comportamento semelhante ao encontrado para a produção de grãos. Os valores de desvio padrão obtidos nos modelos simulados foram, aproximadamente, três vezes menores que aos encontrados por Dallacort et al. (2005), que utilizaram o modelo Cropgro-Soybean para simulações com o cultivo da soja, variedades Coodetec 202, 204, 206 e 210, em Palotina-PR, no período de 1974 a 2002.

Para as simulações com a cultura do feijão, utilizando os modelos Cropgro-Drybean e RSAP-feijão, observou-se que o último apresentou comportamento muito próximo a experimentação a campo, sendo que os valores de PG e MSM encontram-se levemente subestimados e superestimados, respectivamente, em relação aos encontrados na experimentação a campo.

De modo geral, o modelo Cropgro-Drybean apresentou valores de PG e MSM com maior discrepância em relação aos encontrados à campo, sendo que ambas as respostas produtivas analisadas apresentaram valores superestimados até o tratamento 3 (T₃), passando a ocorrer subestimativas, sendo que estes tornam-se praticamente constantes, o que indica que a aplicação de lâminas de irrigação superiores às aplicadas neste tratamento não resultaram em respostas produtivas semelhantes através da simulação com o modelo Cropgro-Drybean às encontradas à campo.

As variações entre experimentação à campo versus experimentação via modelo de simulação observadas para o modelo Cropgro-Drybean encontram-se para PG entre -0,7 e -23,3% e para MSM entre -27,0 e 1,9%. E no RSAP-feijão estas variações encontraram-se entre 0,1% e -4,7% para PG e 0,2 a 8,8%, para MSM.

As variações encontradas no presente estudo encontram-se superiores as apresentadas por Robaina (1992) que observou diferenças de 10% quando comparou os valores de produção de matéria seca e de grãos da cultura do feijão, utilizando o modelo RSAP e Oliveira et al. (2012) que obteve percentual de variação entre -5,58 e 6,24%, estudando a eficiência do modelo Cropgro-Dry bean para simulações com 3 cultivares de feijão (Pérola, Ouro Negro e Ouro vermelho), em Maringá, PR, mas inferiores as observadas por Filho e Souza (2011) que utilizou modelo agrometeorológico desenvolvido por Sinclair (2003) para estimativa da produção de grãos da cultura do Feijão Caupi, no nordeste Paraense, observando subestimativas de aproximadamente 40%.

De modo geral, pode-se afirmar que as variações entre experimentação e modelo de simulação foram inferiores no modelo RSAP, indicando que este obteve respostas produtivas mais próximas as encontradas na experimentação à campo. Mesmo assim, percebe-se que, as variações encontradas em ambos os modelos foram reduzidas, quando comparados a possíveis variações que também podem vir a ocorrer a campo e as variações encontradas por outros autores em simulações, que obtiveram variações entre -5,58 e 40%.

A segunda parte do trabalho, onde foi realizada a análise econômica dos presentes cultivos em condições de sequeiro e irrigado para o período 1961 à 2009, trata-se de um fechamento do trabalho a fim de analisar a opção pelo uso da irrigação, no diz respeito a necessidade técnica, determinada via balanço hídrico, e a viabilidade econômica, analisando o lucro referente ao incremento de produção obtido, quando utilizada à irrigação.

Fernandes (2012) cita que busca-se, constantemente, o ponto de equilíbrio entre a máxima eficiência técnica e econômica, visto que o aumento na produtividade poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, tendo em vista que, muitas vezes, pode não haver um retorno financeiro satisfatório ao investimento executado.

Ao analisar as simulações envolvendo condições de sequeiro para as culturas da soja, milho e feijão observou-se que em 70% dos anos em estudo a produção estimada via modelo esteve próximo a 40% da produção potencial da cultura, valor que alerta para a redução de produção devido a restrição hídrica. Berlato e Fontana (2003) estimam que 93% das perdas nas safras de soja sejam em razão do déficit hídrico.

Neste sentido, quando realizadas simulações considerando o suprimento das demandas hídricas das culturas via irrigação, as lâminas requeridas computadas via balanço hídrico considerando a ET_p foram de 436, 410 e 348 mm.ciclo^{-1} , para os cultivos de soja, milho e feijão, respectivamente e considerando a ET_c de 594, 305 e 277 mm.ciclo^{-1} para a região de Santiago, RS, Brasil.

Dentre as culturas estudadas sob regime de sequeiro, a mais atingida pela variabilidade climática foi a do feijão, onde em aproximadamente 65% dos anos a produção estimada esteve abaixo de 50% da produção potencial; seguida pela cultura do milho onde em 50% dos anos a cultura obteve produção abaixo de 50% do potencial da cultura e da soja onde, em aproximadamente 41% dos anos, ocorreu mesmo fato. As produtividades obtidas via função de produção para os cultivos irrigados, foram, na média para a cultura da soja, de 3.246 kg.ha^{-1} , para a cultura do milho de 14.254 kg.ha^{-1} e para a cultura do feijão de 3.274 kg.ha^{-1} , valores estes próximos as produtividades potenciais das mesmas.

Quanto aos lucros obtidos para as culturas da soja, milho e feijão, cultivados sob sistema de sequeiro, estes variaram de R\$ 316,00. ha^{-1} e R\$1.333,00. ha^{-1} (média de R\$ 895,00. ha^{-1}) para a cultura do milho; de R\$ 51,00. ha^{-1} e R\$ 1.567,00. ha^{-1} (média de

R\$ 743,00.ha⁻¹) para a cultura do feijão e de R\$59,00.ha⁻¹ e R\$1.236,00.ha⁻¹ (média de R\$ R\$737,00. ha-1) para a cultura da soja.

Considerando o cultivo irrigado, este foram de R\$1.648,94.ha⁻¹, R\$1.518,66.ha-1 e R\$1.313,53.ha⁻¹, para as culturas do milho, feijão e soja, respectivamente, com desvios associados de R\$139,77.ha⁻¹; R\$205,95.ha⁻¹ e R\$48,81.ha⁻¹.

Salienta-se a tendência idêntica de obtenção de lucros entre cultivos de sequeiro e irrigado, com elevação no lucro da cultura de irrigada para a de sequeiro de 84,06% para a cultura do milho, 78,19% para a cultura da soja e, de 104,28% para a cultura do feijão. O que permite afirmar que a cultura do feijão foi a que apresentou maior resposta econômica a aplicação de lâmina de irrigação complementar.

11. CONCLUSÕES GERAIS

- O modelo Cropgro-Soybean obteve aproximação considerada satisfatória entre os valores referentes às respostas produtivas da cultura obtidos a campo e os obtidos via modelo de simulação. Enquadrando como muito bom e ótimo o desempenho deste na simulação da produção de grãos e matéria seca máxima, respectivamente, para as condições de estudo;
- O modelo Ceres-Maize obteve aproximação considerada satisfatória entre os valores referentes às respostas produtivas da cultura a campo e as obtidas via modelagem. As menores variações nos valores totais de produção de grãos e matéria seca máxima foram obtidas para o cultivo em sequeiro. As simulações realizadas pelo modelo enquadraram-se como muito boa para produção de grãos e ótima para matéria seca máxima. Foi verificada redução de acurácia do modelo com a elevação do suprimento da demanda hídrica da cultura via irrigação;
- No modelo Cropgro-Drybean ocorreu expressiva variação entre os valores de produção de grãos e matéria seca máxima, obtidos nas simulações quando comparados com os obtidos à campo. As respostas produtivas simuladas (PG e MSM) foram superestimadas até o tratamento 3, onde tornaram-se praticamente constantes, indicando que a aplicação de lâminas de irrigação superiores a estas não resultaram em respostas produtivas semelhantes através da simulação às encontradas à campo. As simulações realizadas enquadraram o modelo como **bom** para a determinação da produção de grãos e, como **ótimo** para a matéria seca máxima.
- Os modelos, de modo geral, apresentaram-se como ferramentas úteis para avaliar as respostas produtivas das culturas em estudo, sobre condições diversas de disponibilidade hídrica. Sendo que os estudos evidenciaram a importância da realização de novas avaliações destes em situações ambientais diversas, de modo a tornar-se adequada a generalização dos resultados para uma maior amplitude territorial.
- A comparação entre os resultados obtidos nas simulações pelos modelos disponíveis no sistema DSSat e no RSAP, para as culturas da soja e feijão, apontou que para a cultura da

soja, em geral o modelo DSSat foi levemente mais adequado (maior Id); para a cultura do feijão, o RSAP apresentou melhor desempenho, porém, ambos modelos apresentaram aproximações, entre os valores de PG e MSM, consideradas satisfatórias;

➤ No período em estudo (1961-2010) ocorreu acentuada variabilidade climática, sendo que, com simulações sobre condições de sequeiro, as três culturas estudadas, apresentaram significativas reduções de produção e conseqüente redução de lucro em função desta.

➤ Os maiores valores de custo; renda bruta e lucro médio foram associados a cultura do milho, seguidos pela cultura do feijão e da soja, no milho, os custos de produção e renda bruta apresentam-se até três vezes superiores aos encontrados para a soja, porém, o lucro final não acompanha mesma tendência, indicando maiores riscos de descapitalização em caso de quebras de produtividade;

➤ O lucro dos cultivos irrigados foi superior aos do cultivo de sequeiro, sendo que os maiores acréscimos de lucro ocorreram para a cultura do feijão (dobro de lucro), seguida da cultura do milho e da soja.

12. REFERÊNCIAS GERAIS

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**, 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso: jun 2012.

ANDRADE. C. L. T. et al. **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba**. Embrapa Milho e Sorgo. 2008. p. 151.

ARÊDES, A.F. et al. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia**, Anápolis, v. 5, n. 1, p. 66-86, 2009.

ATLAS SOCIOECONÔMICO. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: jan 2011.

ÁVILA, A.M.H. **Regime de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo**. 1994. 75 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BAIER, W. Noto on the terminology of crop-weather models. **Agricultural Meteorology**, Amsterdã, v. 20, n. 2, p. 137-145, 1979.

BARTH, F.T. et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125, 1999.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.949-956, 2001.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.39, p.831-839, 2004.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência - FEDERACITE. (Org.). **As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevidência?** 1ª ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, 2005, v.1, p. 43-59.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação,** Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.

BORGES JÚNIOR. J. C. F. et al. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v 12, n.1, p. 3-11, 2008.

BORGES, W. G.; RITCHIE, J. T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. **Journal Production Agricultural,** Wisconsin, v. 1, n. 2, p. 116-122, 1998.

BORGES, A.. 2007. O grande desafio do agronegócio no Brasil. Disponível em: <http://www.empreendedorrural.com.br>. Acesso em: dez.2012.

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

BRAGA, R. P., M. J. CARDOSO, J. P. COELHO. Otimização da produção de silagem de milho no Nordeste de Portugal com recurso a modelos de simulação. In: 1º Congresso Luso Brasileiro de tecnologias de informação e comunicação na agropecuária. Santarém. **Anais...** Santarém. 2004.

CARDOSO, A.P.S. **Café: cultura e tecnologia primária.** Lisboa: Silvas, 1994.

CARLESSO, R. et al. **Usos e benefícios da coleta automática de dados meteorológicos na agricultura.** Santa Maria: EDUFMS, 2007.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos.** 8º Edição, São Paulo: Atlas, 1998.

CAVALCANTE, A. K. et al. Variabilidade genética de genótipos de soja de ciclo precoce no município de Uberaba-MG. **Revista Verde,** Pombal, v. 5, p.115-119, 2010.

CLARK, E.; JACOBSON, K.; OLSON, D.C. **Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação**. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Secretaria da Irrigação, 1993. (Manual de irrigação, 3).

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **ITEM**, Brasília, n.69/70, 2006. p. 87-97.

CHRISTOFIDIS, D. **Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos**. Brasília: Garamont, 2005.

CONTINI, E. Dinamismo do agronegócio brasileiro. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br>>. Acesso em: dez 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, intenção de plantio, segundo levantamento de novembro 2013**. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: Conab, 2013.

COSTA, L. C.; BARROS, A. H. C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.

COSTA, L. C. Modelagem e Simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 3-6.

DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo CROPGRO-drybean, na determinação das melhores épocas de semeadura da cultura do feijão, para a região de Maringá-PR. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 353-359, 2005.

DE CASTRO, A.W.P; PEDROZO, E. A. Influência do Sistema Nacional de Inovação nos Modelos de Geração, Difusão e Transferência de Tecnologia dos Institutos Públicos de Pesquisa e Institutos de Pesquisa Mistos, no Agronegócio Florestal da Região Sul do Brasil. 2005. Salvador. In: XI SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GESTION TECNOLOGICA. **Anais...** Salvador. 2005.

DIDONET, A. D.; SILVA, S. C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223., p.13-19, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, **Riego y drenage**, 1980. 212p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Las necesidades de água de los cultivos. Roma, **Riego y drenage** **24**, 1980. 194p.

DOSSA, D. et al. **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grãos**. Colombo: Embrapa – Florestas, 2000.

EMATER – Empresa **Assistência Técnica e Extensão Rural**. Disponível em: http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=site_tpl_paginas_internas&id=12765. Acesso: set. 2012.

ESTIVALETE, V. de F. B. et al. O processo de aprendizagem em redes horizontais do elo varejista do agronegócio: uma análise sob a perspectiva das estratégias, dos métodos e dos estágios evolutivos. READ. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 18, n.1, p. 161-190, 2012.

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.

FAO CROPWAT: **Ferramenta de apoio de decisão desenvolvido pela Água e Terra**. Divisão de Desenvolvimento da FAO. Roma, 2009.

FARIA, R. T.; BOWEN, W. T. Evaluation of DSSat soil-water balance module under cropped and bare soil conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 489-498, 2003.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 1, 2012.

FILHO W. R. L. L. e SOUZA, P. J. de O. P. de. Calibração de um modelo agrometeorológico da soja para simular a produtividade do feijão caupi no nordeste paraense para uso futuros em cenários de mudanças climáticas. In: 9º SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 2011. **Anais...** 2011.

FILHO, J.P.; GONZAGA, M.L. Análise de custos de lavouras irrigadas. In: **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Agricultura, 1991, p.27-57.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: UPF, 2004.

FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FREITAS, H.A.C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em culturas de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, jul. 1994.

FRIZZONE, J.A.; SILVEIRA, S.F.R. **Análise econômica de projetos hidroagrícolas**. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (Ed.) *Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília: Secretaria de Recursos hídricos; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 449-617.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JUNIOR, A.S. de (Eds). **Planejamento da irrigação: Análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626p.

FONTANA, D.C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 399-403, 2001.

GARCIA, L. A. ; MANGUERRA. H. B.; GATES. T. K. Irrigation-drainage desing and anagement model: evelopment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.121, n.1, p. 71-82, 1995.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011, 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HEINZE, B. C. L. B. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região nordeste do Brasil**. Monografia (MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – Fundação Getulio Vargas. 2002.

HOWELL, T. A.; CUENCA, R. H.; SOLOMON, K. H. Crop yield response. In: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (ed.). *Management of farm irrigation of agricultural systems*. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 1992. p. 93-122.

HUNT, L. A.; BOOTE, K. J. Data for model operation, calibration and evaluation. IN: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORTHON, P. K. **Understanding options for agricultural production**, Dordrech: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 9-40.

HUNT. E K. **História do pensamento econômico: uma perspectiva crítica**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

IBGE - SIDRA. **Sistema do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de recuperação de dados automática**. SIDRA. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp>. Acesso em: abr. 2011.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2010. Acesso em: mar. 2013. Online. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>

ICASA, ICASA - **International Consortium for Agricultural Systems Applications**. 2007. Disponível em: <<http://icasa.net>>. Acesso em Out. 2011.

JONES, J.W. et al. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSat v3. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. **Kluwer Academic Publishers**. 1998. p 157-177.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2001, p 421-443.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2003, p. 421-443.

LOURENÇO, J. C. **A evolução do agronegócio brasileiro no cenário atual**. 2008.

Disponível em:

http://www.administradores.com.br/artigos/a_evolucao_do_agronegocio_brasileiro_no_cenario_atual/. Acesso: set 2013

MAGGI, F. **Irrigação na produção de grãos e silagem de milho e sorgo em sucessão ao arroz de sequeiro**. 2003, 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MARCHETTI, V. **Risco e decisão em investimento produtivo**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE J. A. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, p. 725-733, 2005.

MARQUES, P. A. A.; COELHO, R. D. Estudo da viabilidade econômica da irrigação da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Ilha Solteira – SP, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.291-297, 2003.

MELO, R. W. **Parametrização de modelo para estimativa da produtividade da soja nas regiões do Planalto Médio, das Missões e Alto Vale do Uruguai, Rio Grande do Sul.** 2005, 196 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior "Luiz de Queiroz"- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – **MAPA** – Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/portal/>. Acesso em: Jan. 2013.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Evapotranspiração da cultura do milho. I - Efeito de épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.9-14, 1998.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul.** 1994. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MEIRELES, E. J. L. et al. Calibration and test of the Cropgro-drybean model for edaphoclimatic conditions in the savanas of Central Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 723-729, 2002.

MELO, J.F. **Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais.** 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

MOTA, F.S. et al. Análise agroclimática da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.133-138, 1996.

MOTA, F. S. da; AGENDES, M. O. de O. Informação climática para planejamento da irrigação da soja no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p. 348-354.

NANTES, J. F. D. Gerenciamento da Empresa Rural. In: BATALHA, Mário O. (cord.). **Gestão Agroindustrial.** 1. Ed. São Paulo: **Atlas**, 1997. p. 489-514.

NAYLOR, T.H et al. **Técnicas de Simulação de Computadores.** São Paulo, EDUSP, 1971, 402p.

OLIVEIRA, E. et al. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PAZ, V.P.S et al. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PESSOA, M. C. P. Y. et al. Principais Modelos Matemáticos e Simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. Jaguariúna: **Embrapa – CNPMA**, 1997. 83p.

PIONNER. Informativo Pionner Sementes. **A evolução da produtividade na cultura do milho**. Pionner. [S.l.]. Ano XVI, n 33. 2008.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 171 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 2005, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2005/2006**. Passo Fundo: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2005. 157p.

ROBAINA, A.D. **Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas**. 1992. 144 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

RODRIGUES, L.C.E. **Planejamento agropecuário através de um modelo de programação linear não determinista**. 1987, 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ROSENZWEIG, C. et al. Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts. **American Society of Agronomy**, Madison. 1995. 382p.

SAUNDER, C. et al. Achieving success in information systems outsourcing. **Californian Management Review**, p. 63-79, 1997.

SILVA, F.C. da; BERGAMASCO, A. F. **Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de-açúcar**. Campinas. Embrapa Informática Agropecuária, 2001.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campina Grande, p. 387-394, 2001.

SINCLAIR, T.R. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. **Field crop research**, Amsterdam, p. 149-158, 2002.

SANTOS, R.A et al. Análise econômica da implantação de sistemas de irrigação na citricultura do Estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.1, p.66-77, 2006.

SOUSA, M.A. et al. Análise econômica de dois híbridos de melão rendilhado, cultivados em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.6, n.1, p.41-50, 2012.

SOUZA, J. L. M; GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 153-163, 2008.

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, p.103-112, 2003.

SOUZA, J. L. M. de. **Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

TARJUELO, J. M.; JUAN, J. A. Crop water managenent. In: Van LIER, H. N.; PEREIRA, L. S.; STEINER, F. R. (Ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering: land and water engineering**. St. Joseph: **American Society Engineers**. 1999, p. 380-429.

TEIXEIRA, J. L.; PEREIRA, L. S. ISAREG- An irrigation scheduling model. **ICID Bulletin**, New Delhi, v.41, n.2, 1994, p.29-48.

UEHARA, G., TSUJI, G.Y. Overview of IBSNAT. In: Tsuji,G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), **Understanding Options For Agricultural Production**. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands, 1998. p. 1-7.

VASCONCELOS, E.S. et al. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 411-415, 2010.

VAUX, H. J.; PRUITT, W. Crop-water production funciones. In: HILLEL, D. (ed.). **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, v. 2, p. 61-97, 1983.

VERHAGEN, E. et al. The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains. **Clinical Journal of Sport Medicine**. 2001. p. 667-677.

WALTER, L. C. **Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudança climática**. 2010, 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

APÊNDICE 1

“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA CULTURA DE LA SOYA IRRIGADA” (traduzido para língua portuguesa).

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO DA CULTURA DA SOJA IRRIGADA

Resumo

A cultura da soja apresenta-se entre as principais culturas agrícolas produtoras de grãos do Rio Grande do Sul, sendo grande parcela desta produção realizada sob cultivo de sequeiro, estando susceptível a variabilidade climática. Os modelos de simulação apresentam-se como ferramentas úteis para a análise de sistemas cultivados e estimativa da resposta produtiva das culturas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar as respostas produtivas da cultura da soja, submetida a diferentes regimes hídricos, obtidas através dos modelos de simulação Cropgro-Soybean e RSAP. O estudo foi desenvolvido para a região de Santiago, RS, com a cultivar de soja Coodetec 219 (CD 219), utilizando-se seis tratamentos baseados em variação da disponibilidade hídrica. Os modelos utilizados nas simulações foram o Cropgro-Soybean e o RSAP, já calibrados e validados para o local de estudo. As simulações realizadas com ambos os modelos possibilitaram determinar os valores referentes a matéria seca máxima (MSM) e produção de grãos (PG) nas diferentes estratégias de disponibilidades hídricas testadas. A verificação do desempenho do modelo foi efetuada por análise gráfica e da reta de tendência, determinação da variação percentual (Δ_{var}) e dos coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2). Observou-se que o modelo RSAP apresentou, em média, menores valores de Δ_{var} para PG, e o modelo DSSat para MSM quando comparados com os valores obtidos à campo. Para os fatores de produção analisados (PG e MSM) os maiores valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) e de coeficiente de determinação (R^2) estão atrelados ao modelo RSAP, sendo que o modelo DSSat apresentou tendência em subestimar os valores de PG e MSM até valores de 2614,63 e 7707,24 kg.ha⁻¹, respectivamente, partindo então a superestimá-los, enquanto no modelo RSAP todos os valores de PG e MSM foram subestimados. Conclui-se que os modelos de simulação avaliados obtiveram capacidade preditiva satisfatória na simulação das respostas produtivas da cultura para as diferentes condições de disponibilidade hídrica testadas, indicando que a utilização destes apresenta-se promissora para as condições do presente estudo.

Palavras chave: Comparação; DSSat; RSAP; eficiência; Glycine max. L.

PERFORMANCE ASSESSMENT OF MODEL SIMULATION OF GROWTH OF THE SOYBEAN IRRIGATED

Abstract

The culture is among the major grain-producing crops in Rio Grande do Sul, and almost in its entirety, this culture is conducted without irrigation and consequently their incomes and production are dependent on rainfall. In this sense, the simulation models are likely to serve as important tools for systems analysis and estimation of response cultivated crop production under different agro-climatic conditions. The objective of this work is to perform a

comparison and evaluation of responses productive cultural soy, regarding productive responses obtained via the field trial. The study was developed in the region of Santiago, RS, with the cultivar Coodetec 219 (CD 219), using six treatments based on variation of water availability. The models used in the simulations were the Cropgro-Soybean and RSAP, already calibrated and validated for the study site. We performed simulations with both models in order to determine the values for maximum dry matter (MSM) and yield (PG) at different strategies simulated water availability. The performance verification of the model was evaluated by graphical analysis and trend line, determining the percentage change, and the correlation coefficients (r) and determination (r^2) between observed and simulated PG and MSM. Note that the model presented RSAP on average lower values of Δvar for PG, and DSSat model for MSM. In both parameters, the lowest standard deviations of the model RSSAP Δvar occurred. For the production factors (PG and MSM) higher values of coefficient of correlation (r) and coefficient of determination (R^2) are linked to the model RSAP, the model DSSat tended to underestimate the values of PG and MSM to values of 2614.63 and 7707.24 kg.ha⁻¹, respectively, then leaving them to overestimate, while the model RSAP all values of PG and MSM were underestimated. We conclude that the simulation models tested achieved satisfactory predictive ability in the simulation of crop production responses to different water availability conditions tested, indicating that the use of these appears as a promising.

Key words: Comparison; DSSat; RSAP; efficiency; Glycine max. L.

INTRODUÇÃO

Ao extremo Sul do Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul, o setor do agronegócio possui expressividade econômica, sendo que em anos de condições pluviométricas favoráveis são produzidos, neste Estado, aproximadamente, 20% dos grãos do País (MELO et al., 2003). Segundo FEPAGRO (2012), a soja e o milho são as principais culturas agrícolas produtoras de grãos do Estado, representando 70% da área cultivada e 60,7% da produção total de grãos.

Neste contexto, pode-se afirmar que oscilações produtivas afetam significativamente a economia, sendo que a variabilidade dos rendimentos de ano para ano apresenta-se elevada, com significativo nível de frustração das safras agrícolas, ocorridas principalmente devido à variabilidade interanual da precipitação pluvial (BERLATO e CORDEIRO, 2005). Matzenauer et al. (1995) citam a existência de diversos trabalhos salientando a alta correlação entre as condições meteorológicas no Estado do Rio Grande do Sul durante o período de crescimento e desenvolvimento das culturas e a produção final obtida.

Segundo Gomes et al. (2011), na fronteira-oeste do Rio Grande do Sul, a aleatoriedade do comportamento da precipitação pluvial provoca instabilidade e torna a agricultura não irrigada uma atividade de alto risco. Um exemplo a ser destacado refere-se à cidade de Santiago, onde nas safras de 2003/2004 e 2004/2005 ocorreram perdas de produção de aproximadamente 70% e 55%, respectivamente.

Para a avaliação e gerenciamento de riscos associadas à agricultura, torna-se relevante o uso de ferramentas de precisão. Dentre as técnicas disponíveis para previsão de resultados produtivos das culturas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica salientam-se os modelos de simulação. Os modelos apresentam-se como uma simplificação da realidade que, devidamente adaptados e testados em diferentes ambientes, permitem descrever as interações entre a planta ou cultura e o ambiente (WALTER et al., 2012).

Segundo Souza e Gomes (2008), nos últimos anos pode-se verificar o aumento no desenvolvimento e utilização de modelos de simulação voltados às atividades agrícolas. No Brasil, exemplos de uso de modelos agrícolas em estudos numéricos para simular o rendimento das culturas agrícolas e outros processos do crescimento e desenvolvimento vegetal são frequentes na literatura (LAGO, 2008; GROHS et al., 2009; MERCANTE et al., 2010).

Diversos trabalhos citam a utilização de modelos de simulação para determinação das respostas da cultura da soja submetida a diferentes condições de disponibilidade hídrica. Entre estes, Martorano (2007) verificou que o modelo CROPGRO–Soybean foi eficiente nas simulações de crescimento, desenvolvimento e rendimento da soja irrigada, em Eldorado do Sul e Gomes (2011) que obteve um desempenho classificado como ótimo utilizando o modelo RSAP, em simulações com a cultura da soja irrigada, para a região de Santiago, ambos os trabalhos realizados no Estado do Rio Grande do Sul.

O DSSat (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) Jones et al. (1998) é uma das mais conhecidas e difundidas aplicações dos modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo constituído por diversos sub-modelos, projetado para aplicações globais, realizando suas simulações independentemente de local, estação ou cultivar (VERHAGEN et al., 2001). No DSSat, encontram-se modelos para as diferentes culturas: milho (Ceres-Maize), soja (Cropgro-Soybean), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice), cevada (Ceres-Barley), girassol (Ceres-Sunflower) ETc. (IBSNAT, 1989).

O RSAP foi desenvolvido por Robaina (1992), caracterizando-se como um modelo de simulação de desenvolvimento cultural, de acesso livre, que utiliza a equação de Richards para a resolução do fluxo de água no solo. Sendo construído e validado através de estudo experimental e de simulação numérica. O modelo RSAP permite a realização de estudos de manejo de irrigação, sendo utilizado no gerenciamento de áreas irrigáveis, em especial naquelas com disponibilidade de água limitada, com módulos que permitem simulações com as culturas da soja, feijão e milho.

De acordo com Naylor et al. (1971), apesar de existirem diversos modelos aplicados a simulação do desenvolvimento cultural, um modelo para ser considerado útil, deve abranger dois atributos conflitantes, o realismo e a simplicidade. O modelo deve servir como uma aproximação precisa do sistema real e conter a maior parte dos aspectos importantes do mesmo. A compreensão e manipulação do modelo vão depender o seu grau de complexidade, por isso, o ideal é que os modelos não sejam tão complexos, tornando-se de fácil aplicação.

Chwif (1999) cita que o “bom” modelo de simulação, de uma maneira geral, é aquele que permite atingir os objetivos da simulação com o mínimo custo. Harrel e Tumay (1994) citam que os modelos de simulação devem possuir certas características, como: ser válido; no

sentido de representar satisfatoriamente a realidade e, ser mínimo; no sentido de incluir somente elementos que influenciam significativamente no problema a ser solucionado.

Assim, considerando a possibilidade de utilização de modelos de simulação para previsão dos resultados culturais, o presente trabalho objetiva avaliar o desempenho dos modelos de simulação Cropgro-Soybean e RSAP-Soja para a determinação das respostas produtivas da cultura da soja, cultivar Coodetec 219 (CD 219), submetida a diferentes regimes hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo baseia-se em duas etapas, uma primeira etapa experimental e outra através do uso de modelos de simulação. A etapa experimental foi desenvolvida para o município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul, sendo o campo experimental localizado junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba, estrada Chica Correia.

O município de Santiago apresenta coordenadas geográficas 29°09'50" de latitude sul e 54°51'32" de longitude oeste. O local se encontra a 439 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 21 °C, com média térmica de 17,9°C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km.h⁻¹ e precipitação pluviométrica de 1.919 mm.ano⁻¹ (GOMES, 2004).

Para a realização do estudo foi utilizada a cultura da soja, cultivar Coodetec 219 (CD 219). Sendo coletados dados relativos a resposta produtiva da cultura em experimento realizado à campo, com aplicação de seis tratamentos baseados em diferentes lâminas de irrigação. A Tabela 01 apresenta as lâminas totais e os percentuais das lâminas totais de irrigação utilizadas nos seis tratamentos propostos.

Tabela 01

Na etapa de simulação, foram utilizados dois modelos de simulação de crescimento de culturas, sendo estes os modelos Cropgro-Soybean, incluído no sistema DSSat, versão 4.0.2.0 (HOOGENBOOM et al., 2004) e o modelo RSAP-Soja, disponível no sistema RSAP (ROBAINA, 1992).

As informações necessárias para a simulação no modelo Cropgro-Soybean constam descritos em detalhe por Boote et al. (1998a, 1998b e 2003) e para o modelo RSAP-Soja em Parizi (2010) e Gomes (2011). Ambos os modelos utilizam como informações de entrada dados referentes ao sistema solo-planta-atmosfera. As Figuras 01 e 02 apresentam descrição das informações necessárias aos procedimentos de simulação no modelo Cropgro-Soybean e RSAP, respectivamente.

Figura 01 e 02

Os dados referentes ao clima foram obtidos junto a estação instalada na área de estudo, os referentes ao solo e a cultura foram obtidos junto ao experimento realizado à campo. Após a organização das tabelas nos formatos relativos a cada padrão de entrada dos modelos, os dados foram inseridos nestes e executados os procedimentos de cálculo dos parâmetros culturais relativos aos tratamentos propostos.

A calibração, no modelo Cropgro-Soybean, foi realizada com a alteração dos parâmetros culturais da cultivar em estudo, realizando análise de sensibilidade para cada um dos parâmetros e realizando novas simulações até se encontrar a máxima aproximação entre os valores obtidos à campo com os obtidos via modelo de simulação (JONES, 2002; IGLESIAS e MÍNGUEZ, 1995 e MAVROMATIS et al., 2002). O modelo RSAP-Soja encontrava-se calibrado através de estudos realizados por Gomes (2011).

Logo, a partir dos modelos DSSat e RSAP, calibrados e validados, foram obtidos os resultados relativos a resposta produtiva da cultura, sendo estes: produção de grãos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de matéria seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

A comparação entre os resultados obtidos por cada um dos modelos com os obtidos via experimentação a campo foi realizada pela determinação da variação entre estes (Δ_{var}) (Equação 01).

$$\Delta_{\text{var}} = \frac{(m_i - e_i)}{m_i} \quad (01)$$

em que:

n = número de simulações;

e_i = valor estimado pelo modelo para a variável de interesse;

m_i = valor medido à campo para a variável de interesse.

Realizou-se concomitantemente a análise gráfica da reta 1:1, que indica a comparação dos dados obtidos via modelos de simulação com aqueles observados experimentalmente para a cultivar em estudo, onde para ocorrer um ajuste perfeito formar-se-ia um ângulo de 45° entre a reta e o eixo x e y. Determinou-se a regressão linear $Y = ax + b$, onde a é o coeficiente angular da reta e b seu intercepto com o eixo y (ou coeficiente linear).

Realizou-se a determinação do coeficiente de correção de Pearson (r), que mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica, onde 1 significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, 0 indica que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra e -1 indica uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui. E do coeficiente de determinação (R^2), que indica quanto da variância da variável resposta é explicada pela variância das variáveis explicativas, sendo seu valor entre 0 a 1, quanto maior, mais explicativo é o modelo (BARBOZA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proximidade entre os valores encontrados a partir do uso de modelos de simulação e da experimentação a campo é fator fundamental para elevar a confiança nos resultados de

previsão obtidos pelos modelos. Quanto maior a proximidade, mais representativo da realidade estes se apresentam.

A Tabela 02 apresenta os valores de matéria seca máxima (MSM) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos (PG) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos através de experimentação a campo e dos modelos de simulação Cropgro-Soybean e RSAP-Soja, para a cultura da soja, cultivar Coodetec 219, na Região de Santiago, RS.

Tabela 02

Analisando a Tabela 02, nota-se que os valores de produção de matéria seca máxima (MSM) e produção de grãos (PG) obtidos via experimentação a campo encontram-se próximos aos valores obtidos via simulação, para ambos os modelos utilizados no estudo. Para a experimentação a campo obteve-se em média uma produção de MSM de $8939,70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto nos sistemas DSSat e RSAP, foram encontrados valores de MSM de $9.266,60$ e $8.490,50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, o que aponta que em média, o sistema DSSat superestimou os valores de MSM e o modelo RSAP subestimou os valores de MSM.

Para PG, no experimento a campo foram obtidos, em média, $2.979,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto foram encontrados valores de PG de $3.126,80$ e $2.871,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para os sistemas DSSat e RSAP, indicando superestimativa e subestimativa, respectivamente.

Quanto aos valores de desvio padrão, percebe-se através da Tabela 01 que os maiores valores de desvio para ambos os fatores analisados (MSM e PG) foram obtidos nas simulações realizadas com o modelo DSSat, seguido pelos do experimento à campo e, consequentemente os menores valores de desvio padrão foram obtidos nas simulações utilizando o modelo RSAP.

Os valores de desvio padrão da PG em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ encontrados pelo DSSat, RSAP ($567,0$; $348,9$) foram até, aproximadamente, 3 vezes inferiores aos valores de desvio padrão encontrados por Dallacort et al. (2005), que utilizando o modelo Cropgro-Soybean para

simulações com a cultura da soja, cultivares Coodetec 202, 204,206 e 210, para a cidade de Palotina-PR, no período de 1974 à 2002, encontraram desvios variando entre 731,42 à 1.034,84 kg.ha⁻¹.

A Tabela 03 apresenta os valores de Δ_{var} obtidos na experimentação em campo em relação aos obtidos via modelos de simulação para a cultura da soja, na Região de Santiago, RS.

Tabela 03

Observa-se na Tabela 03 que para PG, o menor valor de Δ_{var} (-0,2) apresenta-se no tratamento 4, utilizando-se o modelo RSAP, coincidentemente o maior valor de Δ_{var} (-13,8) está também associado ao tratamento 4 utilizando o modelo DSSat (Cropgro-Soybean). Para MSM o menor valor de Δ_{var} (0,1) encontra-se associada ao tratamento 1 (T₁) utilizando o modelo DSSat, e o maior valor de Δ_{var} (-7,0) para o Tratamento 4, utilizando o mesmo modelo.

De modo geral, observa-se que as variações na produção final de grãos (PG) encontraram-se no modelo DSSat entre -13,9 e 5,9 e, no modelo RSAP entre -0,2 e 6,7. Logo, as variações totais encontradas em ambos os modelos foram inferiores às encontradas por Klosowski (1997), que utilizando o modelo SOYGRO, para simulações com 3 cultivares de soja, em Londrina-Paraná, encontrou as diferenças entre valores estimados pelo modelo e aqueles observados a campo entre -20 a +19%.

Nota-se também na Tabela 03, que as variações média de PG encontram-se em -4,4 e 3,5%, para os modelos DSSat e RSAP, indicando subestimação e superestimação, respectivamente, dos valores de PG encontrados via simulação em relação aos encontrados à campo.

Quanto a produção de MSM, verifica-se que as variações médias encontram-se entre -3,5 e 5,0%, para os sistemas DSSat e RSAP, indicando subestimação e superestimação dos

valores de MSM encontrados via simulação em relação aos encontrados à campo, respectivamente.

Na Figura 03 está apresentada a comparação entre a produção de grão (PG) observada em experimentação à campo com as produções de grãos (PG) estimadas via modelos de simulação para os 6 tratamentos propostos. Observa-se na Figura 03, que os coeficientes de correlação de Pearson (r) para PG, são de 0,958 e 0,976, para os modelos Cropgro-Soybean e RSAP-Soja, respectivamente, indicando uma boa correlação entre os valores observados e estimados via ambos os modelos.

Quanto aos valores de coeficiente de determinação (r^2), o modelo Cropgro-Soybean apresentou r^2 de 0,917 e o modelo RSAP-Soja de 0,952, indicando que o último apresenta menor dispersão, isto é, 95,2% da variância da produção final (PG) simulada é explicada pela variância da produção observada. Estes valores de coeficientes de determinação encontram-se superiores aos encontrados por Fontana et al.(2001), que utilizando modelos considerados completo e reduzido, para simulações com a cultura da soja, sujeita a déficit hídrico, nos municípios de Cruz Alta, Iraí, Marcelino Ramos, Santa Rosa, São Luiz Gonzaga e Passo Fundo, encontraram coeficientes de determinação de 0,85 e 0,79, respectivamente.

Comparando a linha de tendência com a indicativa da relação 1:1, observou-se que o modelo Cropgro-Soybean até valores de PG de 2.614,63 kg.ha⁻¹ tendeu a subestimativas, passando então a superestimativas. Realizando-se a mesma análise para o modelo RSAP-Soja é possível afirmar que todos os valores de produção de grãos (PG) encontrados foram subestimados.

Figura 03

Na Figura 04 está apresentada a comparação entre a produção de matéria seca máxima (MSM) observada em experimentação à campo com as produções de matéria seca máxima (MSM) estimadas via modelos de simulação para os seis tratamentos propostos.

Figura 04

Analisando os valores dos coeficientes de correlação de Pearson (0,982; 0,992) percebe-se que para ambos os modelos utilizados nas simulações estes encontram-se próximos à 1, indicando correlação positiva entre os valores de MSM simulados e estimados. Os valores de coeficiente de determinação (r^2) são de 0,965 e 0,985, para os modelos DSSat e RSAP, respectivamente, indicando que no último maior percentual da variância do modelo é explicada pela variância da experimentação à campo.

Comparando a linha de tendência com a indicativa da relação 1:1, observou-se para o modelo Cropgro-Soybean que até valores de 7.707,24 kg.ha⁻¹ o modelo tende a subestimar os valores de produção de grãos e a partir deste tende a superestimar. Realizando-se a mesma análise para o modelo RSAP-Soja é possível afirmar que todos os valores de matéria seca máxima encontrados foram subestimados.

CONCLUSÕES

Para as condições em que o estudo foi realizado, o modelo RSAP-Soja apresentou em média menores valores de Δ_{var} para PG, e o modelo Cropgro-Soybean para MSM. Em ambos os parâmetros avaliados (PG e MSM), os menores desvios padrão de Δ_{var} ocorreram no modelo RSAP-Soja, bem como os maiores valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) e de coeficiente de determinação (r^2).

No geral o modelo RSAP-Soja, apresentou-se ligeiramente mais adequado para as simulações com a cultivar CD 219, para a área em estudo; sendo que, para ambos os modelos, obteve-se uma aproximação entre os valores de PG e MSM considerada satisfatória, indicando que o uso destes apresenta-se como uma ferramenta promissora para previsões de respostas produtivas da cultura da soja, para as condições apresentadas no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOOTE, K. J. et al. Genetic coefficients in the Cropgro-Soybean Model: links to field performance and genomics. 2003. **Agronomy Journal**, Madison, 95 (1): 32-51.

BOOTE, K. J.; et al. **Simulation of crop growth: CROPGRO model**. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). 1998a . Agricultural systems modeling and simulation. New York: M. Dekker. 651-691.

BOOTE, K. J.; et al. **The CROPGRO model for grain legumes**. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). Understanding options for agricultural production. 1998b. Dordrecht: Kluwer. 99-128.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discrETps na sua concepção: uma abordagem causal**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica.

DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo Cropgro-Soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. 2006. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, 28 (4): 583-589.

FEPAGRO. **Reunião técnica anual. Indicações técnicas 2011/2012**. Porto Alegre, 2012.

FONTANA, D.C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. 2001. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 36 (3): 399-403.

GOMES, A. C. S. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 164 p.

GOMES, A. C. **Caracterização climática de Santiago, RS para fins agrícolas**. 2004. 25f. Monografia (Especialização em Ciências Ambientais) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santiago, RS.

GROHS, D.S et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. 2009. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 29:101-112.

HARREL, C.; TUMAY, K. Simulation Made Easy. **Engineering & Management press**, 1994.

HOOGENBOOM, G. et al. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. 1992. **Transactions of the ASAE**, 35 (6) 2043-2055.

HOOGENBOOM, G. et al.. **Decision support system for agrotechnology transfer: version 4.0**. Honolulu: University of Hawaii, 2004.

IBSNAT. **International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer – project** 1989a. Documentation for IBSNAT Crop Models Input & Output Files Version 1.1:

for the decision support system for agrotechnologytransfer (DSSat v. 2.1). IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 61p. 1989.

IGLESIAS, A.; MINGUEZ, M. I. **Prospects for maize production in Spain under climate change**. In: ROSENZWEIG, C. (Ed.). 1995. Climate change and agriculture: analysis of potential international impacts. Madison: American Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho, 259-273.

JONES, J. W.; RITCHIE, J. T. **Crop growth models**. In: Hoffman, G. J.; Howel, T.A.; Solomon, K. H. 1990. Management of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 63-89.

JONES, J.W. et al. **Decision support system for agrotechnology transfer; DSSat v3**. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), 1998. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, 157-177.

JONES, J.W et al. Approaches to modular model development. **Agricultural Systems**. 2002, 421-443.

KLOSOWSKI, E.S. Estimativa da produtividade de cultivares de soja por meio do modelo soygro para Londrina, Estado do Paraná. 1997. **Revista UNIMAR**. 751-765.

LAGO, I. **Desenvolvimento do arroz e do arroz-vermelho: modelagem e resposta à mudança climática**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSat**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. 2002. Porto Alegre: Fepagro, 105p.

MAVROMATIS, T. et al. El Nino-Southern Oscillation effects on peanut yield and nitrogen leaching. **Climatic Resource**, 2002, p. 129-140.

MELO, R.W.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** 2003. Belo Horizonte. SELPER. 173-179.

MERCANTE, E. et al. Modelos de regressão lineares para estimativa de produtividade da soja no oeste do Paraná, utilizando dados espectrais. 2010. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 30 (3) 504-517.

NAYLOR, T.H et al. **Técnicas de Simulação de Computadores**. 1971. São Paulo, EDUSP, 402p.

NASSIF, D. S. P. et al. Parametrização e avaliação do modelo DSSat/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. 2012. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. 47 (3) 311-318.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROBAINA, A. D. **Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas**. 1992. 144 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

Tabela 01 - Lâminas totais e os percentuais das lâminas totais de irrigação utilizadas nas simulações para os seis tratamentos propostos.

Tratamentos	Lâmina (mm)	% de irrigação
T0	0,0	0
T1	39,4	20
T2	78,8	40
T3	118,2	60
T4	157,6	80
T5	197,0	100

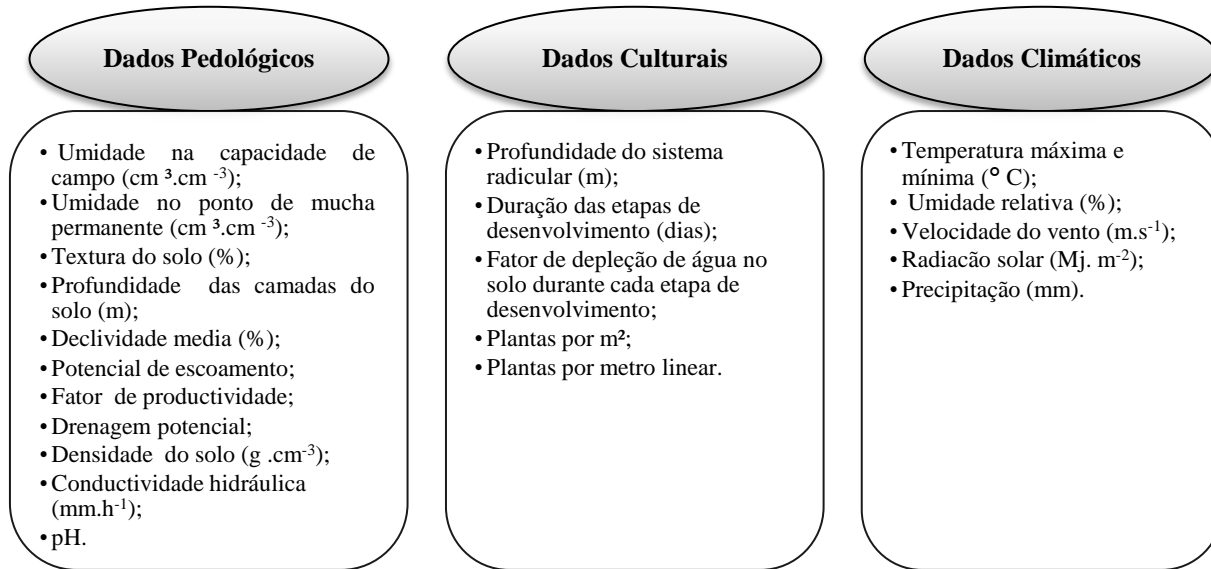


Figura 01 - Dados de entrada referentes ao sistema solo-planta-atmosfera necessários às simulações com o modelo Cropgro-Soybean.

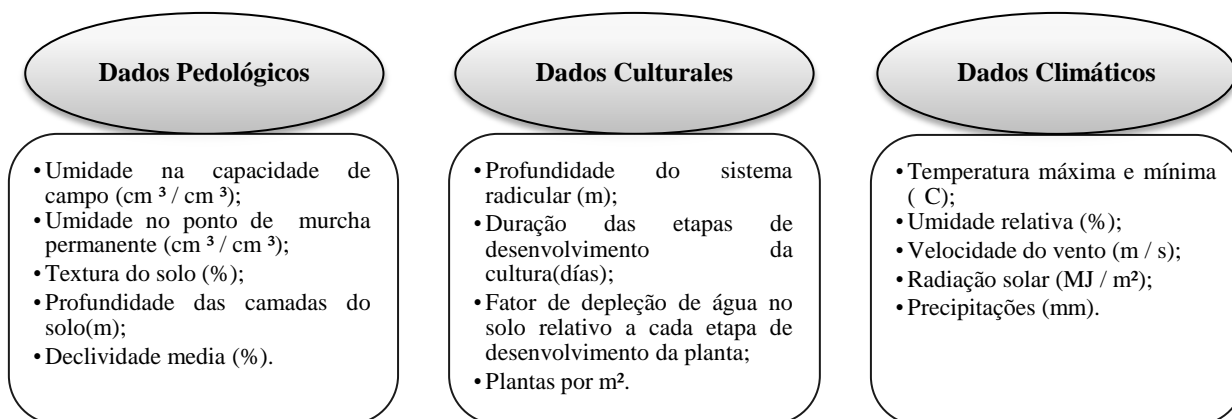


Figura 02 - Dados de entrada referentes ao sistema solo-planta-atmosfera necessários às simulações com o modelo RSAP-Soja.

Tabela 02 - Valores de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos através de experimentação a campo e dos modelos de simulação Cropgro-Soybean (DSSat) e RSAP-Soja (RSAP) para a cultura da soja, na região de Santiago, RS.

Trat.	Experimentação		DSSat		RSAP	
	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. Grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Prod. PMSM ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
T₀*	2277,1	7748,5	2143,0	7882,0	2247,2	7490,7
T₁	2904,2	8374,8	2795,0	8369,0	2730,4	7918,2
T₂	3022,2	8989,0	3213,0	9077,0	2894,2	8393,3
T₃	3119,5	9197,8	3433,0	9767,0	3032,6	8794,5
T₄	3123,3	9546,2	3555,0	10212,0	3128,9	9073,9
T₅	3427,9	9781,9	3622,0	10289,0	3197,4	9272,4
Média	2979,0	8939,7	3126,8	9266,0	2871,8	8490,5
Desvio Padrão	385,3	759,5	567,0	994,8	348,9	690,0

* Tratamento utilizado para a calibração do modelo.

Tabela 03 - Valores de Δ_{var} obtidos na experimentação em campo em relação aos obtidos via modelos de simulação para a cultura da soja.

Tratamento	Experimento X Cropgro-Soybean		Experimento X RSAP-Soja	
	Prod. Grãos (%)	Prod. MSM (%)	Prod. Grãos (%)	Prod. MSM (%)
T ₀	5,9	-1,7	1,3	3,3
T ₁	3,8	0,1	6,0	5,5
T ₂	-6,3	-1,0	4,2	6,6
T ₃	-10,0	-6,2	2,8	4,4
T ₄	-13,8	-7,0	-0,2	4,9
T ₅	-5,7	-5,2	6,7	5,2
Média	-4,4	-3,5	3,5	5,0
Desvio Padrão	7,7	3,0	2,7	1,1

* Tratamento utilizado para a calibração do modelo.

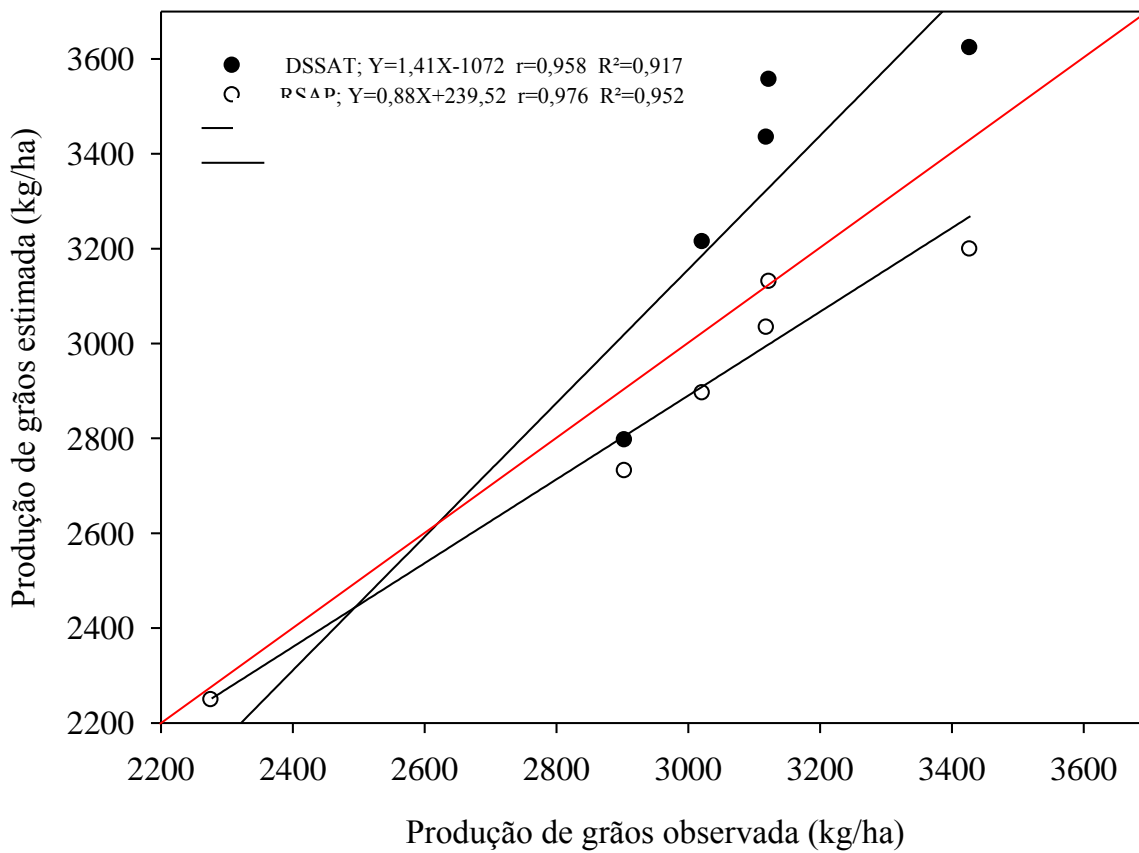


Figura 03 - Comparação entre a produção de grãos (PG) observada em experimentação à campo com as produções de grãos (PG) estimadas via modelos de simulação para os seis tratamentos propostos.

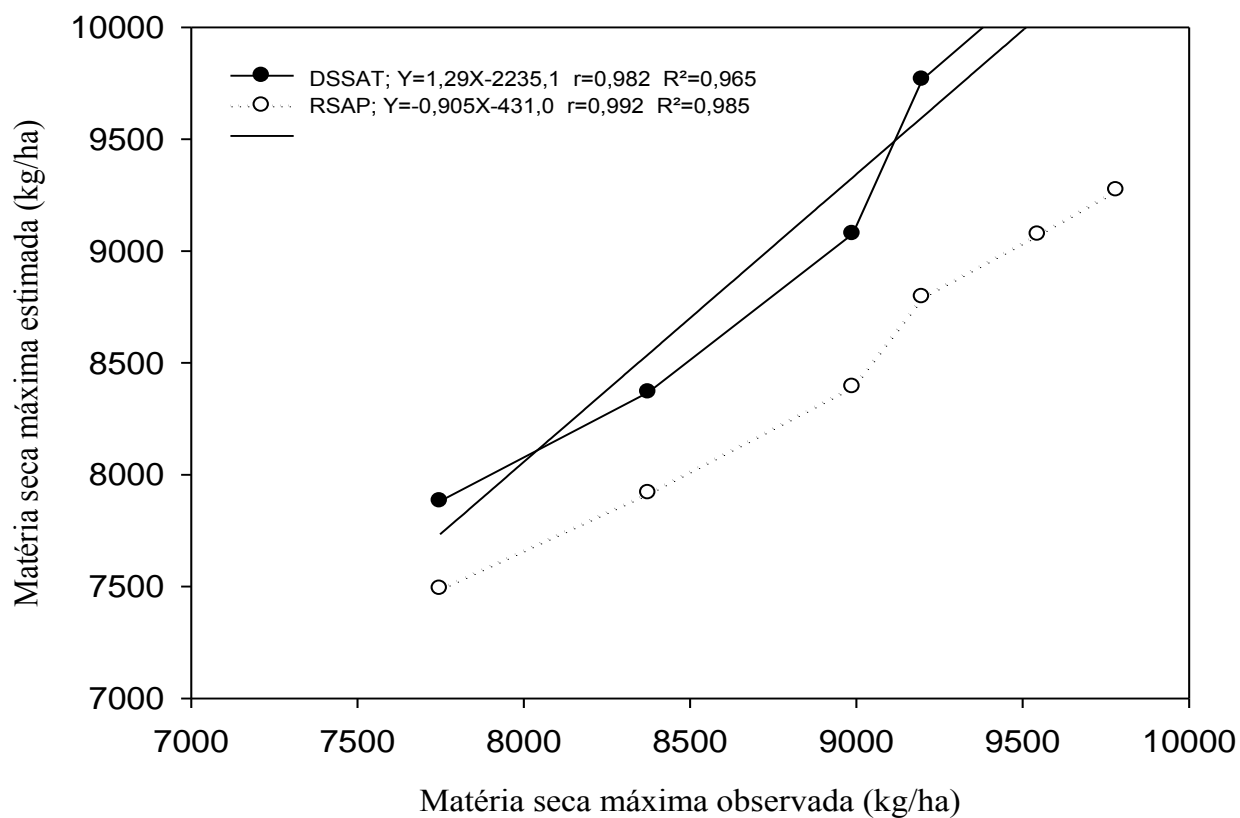


Figura 04 - Comparación entre la producción de materia seca máxima (MSM) observada en la experimentación en campo con las producciones de materia seca máximos (MSM) de las estimaciones de la simulación para seis tratamientos propuestos.

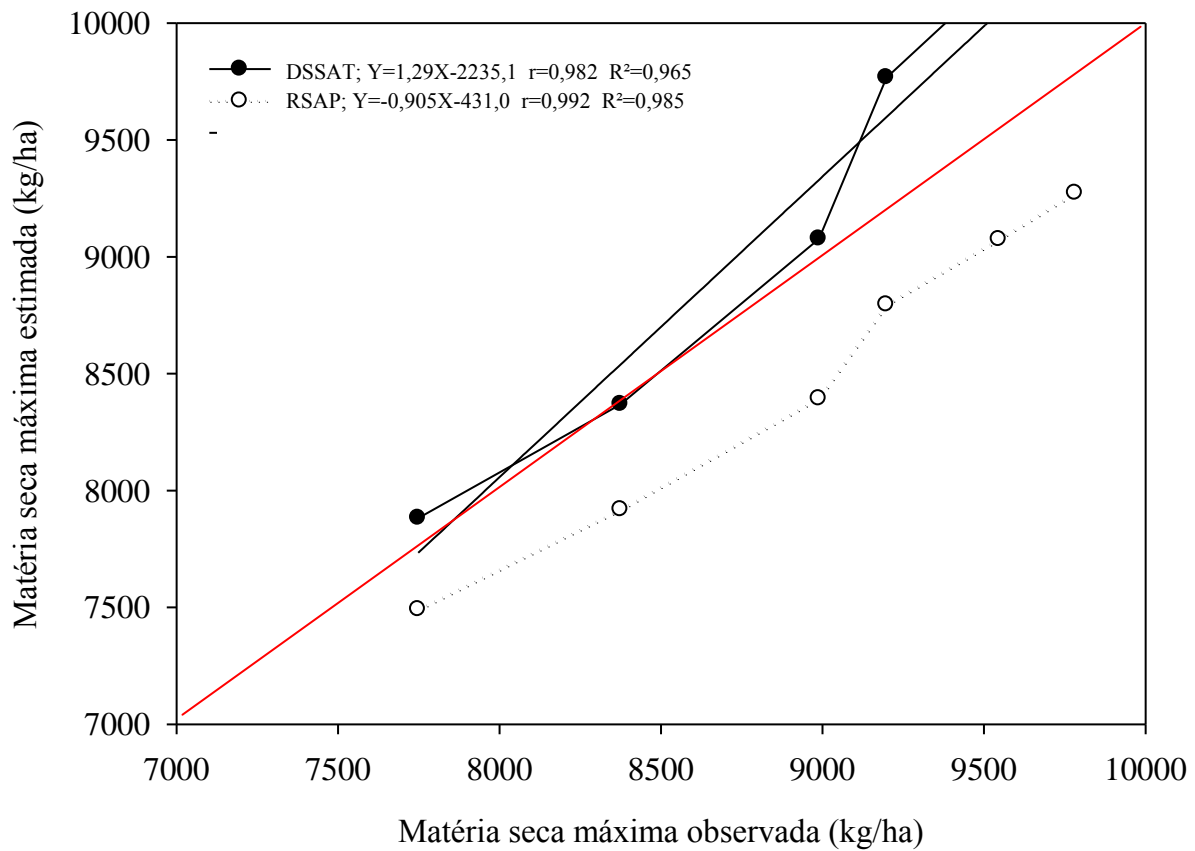


Figura 04 - Comparação entre a produção de matéria seca máxima (MSM) observada em experimentação à campo com as produções de matéria seca máxima (MSM) estimadas via modelos de simulação para os seis tratamentos propostos.