

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

**PREVISÃO DE SAFRA DE ARROZ NO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE MODELAGEM
NUMÉRICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Michel Rocha da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2015

PREVISÃO DE SAFRA DE ARROZ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA

Michel Rocha da Silva

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração em modelagem de processos de crescimento e de desenvolvimento de plantas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Silva, Michel Rocha da
Previsão de safra de arroz no estado do Rio Grande do Sul através de modelagem numérica / Michel Rocha da Silva.-2015.
101 f.; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2015

1. Oryza sativa 2. SimulArroz 3. RegCM4 4. Acompanhamento de safra 5. Época de entrada da água I. Streck, Nereu Augusto II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Michel Rocha da Silva. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Rua Amélia Rodrigues, n.213, Bairro Nossa Senhora do Rosário, Santa Maria, RS. CEP: 97010-020

Fone: (055)55 96215308; E-mail: michelrs@live.com

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

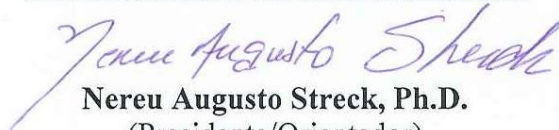
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PREVISÃO DE SAFRA DE ARROZ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA**

elaborada por
Michel Rocha da Silva

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Nereu Augusto Streck, Ph.D.
(Presidente/Orientador)


Simone Erotildes Teleginski Ferraz, Dra. (UFSM)


Silvio Steinmetz, Dr. (EMBRAPA)

Santa Maria, 19 fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do trabalho de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa– CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Nereu Augusto Streck, por ter orientado e participado do processo de elaboração e execução deste trabalho sempre com muita dedicação, incentivo, compreensão e, principalmente, amizade.

A AGRUM por ter disponibilizado a área para a execução deste trabalho.

Aos agricultores e amigos “Chico” e “Pisca” que disponibilizaram suas lavouras para coleta de dados nos municípios de Restinga Seca e Itaqui, respectivamente.

Ao Grupo de Agrometeorologia que contribuiu para a realização deste trabalho, em especial ao Ary, a Giovana e ao Moisés.

Aos amigos de Itaqui, principalmente ao Géter, pela hospitalidade com que nos recebeu e ao Professor Cléber Maus Alberto pela grande colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

A minha família pelo amor, compreensão e apoio durante o mestrado, principalmente a minha mãe “Dona Gringa” e a minha namorada Larissa.

A todos os amigos pelo apoio.

“Aprender não é saber; há sabidos e sábios; é a memória que faz os primeiros, é a filosofia que faz os outros.”

Alexandre Dumas

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

PREVISÃO DE SAFRA DE ARROZ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA

AUTOR: MICHEL ROCHA DA SILVA
ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK
Santa Maria, 19 de fevereiro de 2015.

O objetivo deste trabalho foi definir uma metodologia para acompanhamento e previsão de safra de arroz irrigado para o Rio Grande do Sul, e avaliar o efeito da época de inundação sobre variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado. Foram conduzidos dois experimentos durante o ano agrícola 2013/14, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos no Experimento 1 foram: inundação em V3, V5, V8 e V9, e no Experimento 2 os tratamentos foram: inundação em V5, V8, V9 e V10. A época de inundação não influenciou a emissão de folhas, o número final de folhas, o número final de perfilhos e o desenvolvimento da cultura. A taxa de crescimento foliar quando a precipitação foi menor que a evapotranspiração da cultura do arroz. Não é clara se a produtividade de grãos é ou não afetada pela época de inundação do solo. Para definir uma metodologia para acompanhamento e previsão de safra de arroz irrigado para o Rio Grande do Sul, foi utilizado como modelo de arroz o SimulArroz, acoplado ao modelo climático regional RegCM4 para geração dos dados meteorológicos diários da previsão sazonal. Foram utilizados nove membros do modelo RegCM4, com diferentes parametrizações (01, 07, 10, 13, 19, 22, 31, 34 e 37), e quatro inicializações (01, 02, 03 e 04) por mês, com dados diários de temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar. Três pontos de resolução de 45 km de grade foram utilizados para geração dos dados de temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), abrangendo os municípios de Restinga Seca, Itaquí e Uruguaiana. As previsões foram comparadas com o acompanhamento de safra do SimulArroz rodado com dados das estações meteorológicas automáticas do INMET, e com dados observados em 3 lavouras em Restinga Seca e 2 em Itaquí. As variáveis comparadas foram emissão de folhas (Haun Stage - HS), número final de folhas, estágio de desenvolvimento (COUNCE et al., 2000) e produtividade (Mg ha^{-1}). As melhores previsões para realizar previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foram: temperatura mínima do membro 31, temperatura máxima do membro 34 e radiação solar do membro 01 (M31M34M01); temperatura mínima, máxima e radiação solar da inicialização 01 do membro 19 (M19S01) e; temperatura mínima, máxima e radiação solar da inicialização 03 do membro 01 (M01S03). A previsão sazonal gerada pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo de arroz SimulArroz possibilitou a previsão numérica de safra de arroz para o Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. SimulArroz. RegCM4. Acompanhamento de safra. Época de entrada da água.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Agronomy
Universidade Federal de Santa Maria

PREVISÃO DE SAFRA DE ARROZ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA

AUTHOR: MICHEL ROCHA DA SILVA
ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK
Santa Maria, February 19th, 2015.

The objective of this study was to define a methodology for monitoring a flooded rice crop forecast for Rio Grande do Sul, and to evaluate the effect of the flood time on growth, development and rice productivity. Two experiments were conducted during the 2013/14 growing season, using a randomized blocks design with four replications. The treatments in Experiment 1 were flooding in V3, V5, V8 and V9, and in Experiment 2 the treatments were flooding in V5, V8, V9 and V10. The onset of flooding did not influence the emission of leaves, the final leaf number, the final number of tillers and crop development. Leaf growth rate is affected by the onset of flooding when rainfall was less than the crop evapotranspiration. It is not clear if kernel yield is or not affected by the time that flooding starts. To define a methodology for monitoring a flooded rice crop forecast for Rio Grande do Sul, the SimulArroz rice model were coupled to regional climate model RegCM4 for generation the daily seasonal forecast. Nine members of RegCM4 model were used, with different parameterization (01, 07, 10, 13, 19, 22, 31, 34 and 37) and four boots (01, 02, 3:04) per month, with daily data of minimum temperature, maximum temperature and solar radiation. Three points with 45 km resolution grid were used for generating data of the minimum temperature (°C) maximum temperature (°C) and solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), covering the municipalities of Restinga Seca, Itaqui and Uruguaiana. The predictions were compared with SimulArroz crop monitoring with INMET automatic weather stations data and data collected in three cropping areas in Restinga Seca and 2 in Itaqui. The compared variables were leaf emission (Haun Stage - HS), final leaf number, development stage (COUNCE et al., 2000) and productivity (Mg ha^{-1}). The best predicting irrigated rice crop forecast in Rio Grande do Sul were: member 31 minimum temperature, member 34 maximum temperature and a member 01 solar radiation (M31M34M01); minimum and maximum temperature and solar radiation boot 01 member 19 (M19S01) and; minimum and maximum temperature and solar radiation boot 03 member 01 (M01S03). The seasonal forecast generated by RegCM4 model coupled to SimulArroz rice model made possible the numerical prediction of rice crop in Rio Grande do Sul.

Keywords: *Oryza sativa*. SimulArroz. RegCM4. Crop monitoring. Flood time.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1. Caracterização química do solo em que foram conduzidos os Experimentos 1 e 2, em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.31
- Tabela 2. Taxa de crescimento foliar do colmo principal de arroz entre os estádios V5-V8, V8-V9 e V9-V10, em plantas inundadas em V5, V8, V9 e V10, no Experimento 2, em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.39
- Tabela 3. Número Final de Folhas (NFF) e Número Final de Perfilhos (NFP) em plantas de arroz inundadas em V3, V5, V8, V9 no Experimento 1 e V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.41
- Tabela 4. N° de grãos panícula⁻¹ (NGP), N° de panículas m⁻² (NP) e matéria seca de mil grãos (PMG) de arroz em plantas inundadas em V3, V5, V8 e V9 no Experimento 1 e em V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.43

CAPÍTULO II

- Tabela 1. Data de semeadura, cultivar ou grupo de maturação e nível tecnológico utilizado nas simulações com o modelo SimulArroz, para dez lavouras no município de Restinga Seca, RS, durante o período de 2008 a 2012.53
- Tabela 2. Data de semeadura e emergência, cultivar ou grupo de maturação e nível tecnológico observado nas lavouras e simulado pelo SimulArroz, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado, nos municípios de Restinga Seca e Itaqui, RS.54
- Tabela 3. Caracterização química dos solos nas lavouras acompanhadas durante a safra 2013/14 de arroz irrigado, nos municípios de Restinga Seca e Itaqui, RS.55

Tabela 4. Ocorrência de falhas em estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas em municípios produtores de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. 58

Tabela 5. Estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no acompanhamento de safra com o modelo SimulArroz para as seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado. 60

Tabela 6. Data de semeadura, ciclo ou cultivar, nível tecnológico e produtividade observada e simulada pelo SimulArroz, em dez lavouras, nos anos 2008/09, 2009/10, 2010/11 e 2011/12, em Restinga Seca, RS. 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Níveis de tecnologia potencial, alto, médio e baixo, considerados no SimulArroz para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.....22

CAPÍTULO I

Figura 1. Distribuição da precipitação durante o período Emergência - V9. Setas em vermelho indicam o dia de inundação no Experimento 1 em V3, V5, V8 e V9 da escala de Counce et al. (2000), no município de Santa Maria, RS.33

Figura 2. Distribuição da precipitação durante o período Emergência - V10. Setas em vermelho indicam o dia de inundação no Experimento 2 em V5, V8, V9 e V10 da escala de Counce et al. (2000), no município de Santa Maria, RS.34

Figura 3. Haun Stage (HS) em arroz irrigado nos estádios V3, V5, V8 e V9 (COUNCE et al.; 2000), respectivamente aos 23, 35, 55 e 61 dias após a semeadura (09/10/2013), no Experimento 1.35

Figura 4. Haun Stage (HS) em arroz irrigado nos estádios V5, V8, V9 e V10 (COUNCE et al.; 2000), respectivamente aos 21, 30, 36 e 45 dias após a semeadura (16/12/2013), no Experimento 2.37

Figura 5. Área foliar no colmo principal em arroz inundado nos estádios V3, V5, V8 e V9 (COUNCE et al.; 2000) aos 23, 35, 55 e 61 dias após semeadura no Experimento 1(A) e inundado nos estádios V5, V8, V9 e V10 aos 21, 30, 36 e 45 dias após semeadura no Experimento 2 (B), em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.38

Figura 6. Evolução do número de folhas (HS) (A e C) e do número de perfilhos (B e D) em plantas de arroz inundadas em V3, V5, V8, V9 no Experimento 1 e em V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.40

Figura 7. Perfilamento de arroz inundado em V3, V5, V8 e V9 no Experimento 1 (A) e em V5, V8, V9, V10 no Experimento 2 (B), em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado. Letras a e b indicam diferença significativa entre tratamentos a 5% pelo teste de Tukey.41

CAPÍTULO II

Figura 1. As seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, Brasil: 1) Fronteira Oeste, 2) Campanha, 3) Depressão Central, 4) Planície Costeira Interna, 5) Planície Costeira Externa e 6) Zona Sul.57

Figura 2. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) (COUNCE et al., 2000) observado e simulado pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas no município de Itaqui, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.64

Figura 3. Massa seca total, de folhas, colmos e panícula observado e simulado pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas no município de Itaqui, durante a safra 2013/14.66

Figura 4. Produtividade de grãos observada e simulada pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas lavouras município de Itaqui, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.....68

Figura 5. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) (COUNCE et al., 2000) observado pelo IRGA e simulado pelo modelo SimulArroz em seis regiões orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14.71

Figura 6. Relação entre a duração do R1 (COUNCE et al.,2000) simulado pelo método dos graus-dia e simulada pelo modelo SimulArroz, em seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.....72

Figura 7. Produtividade de grãos observada e simulada pelo SimulArroz, em seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.73

Figura 8. Temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar observada e simulada em quatro inicializações pelo modelo RegCM4 para os municípios de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana, de 01/09/2013 a 30/04/2014..... 75

Figura 9. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) prevista pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo SimulArroz, gerado em três inicializações, para nove membros, nos município de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana, para o ano agrícola 2013/14 de arroz irrigado. 78

Figura 10. Produtividade observada, simulada e prevista pelo RegCM4 acoplado ao SimulArroz, gerado em três inicializações, para nove membros, nos município de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana, para a safra 2013/14 de arroz irrigado..... 81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	- Companhia Nacional de Abastecimento.
DAS	- Dias Após Semeadura.
DC	- Depressão Central, região orizícola do Rio Grande do Sul.
DVS	- Estádio de Desenvolvimento.
EUR	- Eficiência do Uso de Radiação.
FO	- Fronteira Oeste, região orizícola do Rio Grande do Sul.
GM	- Grupo de Maturação.
HS	- Escala de Haun.
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia.
IRGA	- Instituto Rio Grandense do Arroz.
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MS	- Matéria Seca.
NFF	- Número Final de Folhas.
NFP	- Número Final de Perfilhos.
NGP	- Número de Grãos por Panícula
NP	- Número de Panículas m ⁻² .
NPK	- Fertilizante com Nitrogênio, Fósforo e Potássio.
NT	- Nível Tecnológico.
PCE	- Planície Costeira Externa, região orizícola do Rio Grande do Sul.
PCI	- Planície Costeira Interna, região orizícola do Rio Grande do Sul.
PMG	- Peso de mil Grãos.
R0	- Iniciação da panícula.
R1	- Diferenciação da panícula.
R2	- Formação do colar na folha bandeira.
R4	- Antese.
R9	- Maturidade completa dos grãos na panícula.
Rad Sol	- Radiação Solar.
ROLAS	- Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.
SOSBAI	- Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado.
Tmax	- Temperatura máxima.
Tmin	- Temperatura mínima.
V3	- Colar formado na terceira folha do colmo principal.
Vn	- Colar formado na enésima folha do colmo principal.
ZS	- Zona Sul, região orizícola do Rio Grande do Sul.

APÊNDICES

- Apêndice 1. Relação entre produtividade de arroz irrigado observada e simulada pelo modelo SimulArroz, nas safras 2008/09, 2009/10, 2010/11 e 2011/12, em dez lavouras localizadas em Restinga Seca, RS.96
- Apêndice 2. Melhor Membro (MM) e Melhor Inicialização (MI) da temperatura mínima, temperatura máxima e da radiação solar previsto pelo modelo RegCM4.97
- Apêndice 3. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 01.97
- Apêndice 4. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 07.98
- Apêndice 5. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 10.98
- Apêndice 6. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 13.99
- Apêndice 7. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 19.99

Apêndice 8. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 22. 100

Apêndice 9. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 31. 100

Apêndice 10. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 34. 101

Apêndice 11. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 37. 101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 A cultura do arroz	20
2.2 Níveis tecnológicos no cultivo do arroz irrigado.....	21
2.3 Início da irrigação em arroz irrigado	23
2.4 Modelagem matemática em agricultura e previsão de safra.....	24
3 CAPITULO I - Época de inundação e sua influência no crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz.....	26
1 INTRODUÇÃO	29
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4 CONCLUSÕES.....	44
5 REFERÊNCIAS	45
4 CAPITULO II - Previsão de safra de arroz no estado do rio grande do sul através de modelagem numérica	48
1 INTRODUÇÃO	51
2 MATERIAL E MÉTODOS	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4 CONCLUSÕES.....	82
5 REFERÊNCIAS	83
5 DISCUSSÕES	86
6 CONCLUSÕES.....	88
7 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	89
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICES	96

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo e o principal alimento de mais de três bilhões de pessoas, sendo fundamental para segurança alimentar do planeta (SOSBAI, 2014). No Brasil, sexto produtor mundial, o arroz desempenha papel importante, com produção de 12,5 milhões de toneladas (SOSBAI, 2014), o maior produtor fora do continente asiático. Do total produzido no País, os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina são responsáveis por 70% da produção (CONAB, 2014), devido ao cultivo irrigado por inundação, que propicia a planta melhores condições para expressar o potencial genético e atingir elevadas produtividades. Em ambiente de solo alagado é possível alcançar produtividades de 12 a 15 t ha⁻¹, devido à adaptação da planta a essa condição (MENEZES et al., 2012).

No Rio Grande do Sul, o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) conduz o Projeto 10, que visa melhorar a transferência de tecnologia da pesquisa ao agricultor, aumentando a produtividade através de ajustes no manejo das lavouras (MENEZES et al., 2012). No entanto, um dos pontos a ser melhorado é o momento de entrada de água na lavoura que, segundo SOSBAI (2014), deve ocorrer em V3-V4, ou seja, quando a planta de arroz possui de três a quatro folhas com o colar formado no colmo principal (COUNCE et al., 2000). A entrada da água está associada a outras práticas de manejo como a adubação nitrogenada em cobertura, o controle de plantas invasoras e o perfilhamento das plantas de arroz. O estabelecimento da lâmina de água no período recomendado desempenha papel importante para elevar a produtividade em áreas com arroz irrigado (FURLANI JUNIOR et al., 1995).

Conhecer parâmetros de crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz e a forma como o manejo influencia a planta é muito importante. Uma ferramenta que vem sendo utilizada com esse objetivo são os modelos matemáticos baseados em processos (*Process-based model*). Para a cultura do arroz existem modelos de simulação do rendimento de grãos mais complexos, como o CERES-rice (SINGH et al., 1993), o ORYZA1 (KROPFF et al., 1994) e o ORYZA 2000 (BOUMAN et al., 2004), e outros mais simplificados, como o InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006) e o SimulArroz (STRECK et al., 2013). O modelo SimulArroz é um modelo ecofisiológico baseado em processos (process-based model), desenvolvido para simular efeitos do clima, do solo, do manejo da cultura, inclusive da quantificação do impacto ambiental (emissão de gases de efeito estufa). Este modelo requer

dados de entrada facilmente disponíveis pelas estações meteorológicas automáticas do INMET. O SimulArroz tem como propósito auxiliar agricultores a decidir o manejo a ser aplicado, servir como ferramenta aos professores para facilitar o ensino de processos ecofisiológicos que ocorrem na planta, e realizar acompanhamento da safra para o Rio Grande do Sul.

Nos Estados Unidos, modelos baseados em processos são utilizados para acompanhamento e previsão de safra para culturas como o amendoim e o milho (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010). No Brasil, o acompanhamento e previsão de safra são realizados através de entrevista a agricultores por técnicos e engenheiros agrônomos, obtendo resultados empíricos de produtividade esperada (MONTEIRO et al., 2013). Deste modo, uma alternativa para realizar o acompanhamento e previsão de safra para culturas agrícolas no Brasil é através de modelos matemáticos.

Para o estado do Rio Grande do Sul, o modelo SimulArroz pode ser utilizado para este fim, porém, é necessário definir uma metodologia para realizar previsão de safra de arroz irrigado para o estado. Recentemente, foi implantado um sistema de previsões sazonais de precipitação e temperatura para o Rio Grande do Sul, utilizando o Modelo Climático Regional (RegCM4), pelo Grupo de Pesquisas em Clima da UFSM. Com base neste novo cenário de previsão sazonal, o acoplamento de modelos agrícolas aos modelos climáticos é mais realístico, e conseqüentemente uma previsão de safra pode ser mais precisa e útil para os agricultores, pois o modelo SimulArroz funciona no passo de tempo de um dia. Assim, a atual previsão do tempo (5 a 7 dias) aliada à previsão sazonal (3 meses) fornecem as bases que faltavam para realizar a previsão de safra para o estado. Para isso, esta dissertação é dividida em dois capítulos, que tem como objetivos:

1. Avaliar a influência da época de inundação no crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado.
2. Desenvolver e testar uma metodologia de previsão numérica de safra para arroz no estado do Rio Grande do Sul.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é uma planta aquática megatérmica, de cultivo anual, porte ereto, com altura que varia entre 60 e 150 cm, pertencente a subfamília Oryzoideae, tribo Oryzeae, gênero *Oryza* (BOLDRINI et al., 2005). Devido a ampla adaptabilidade, o arroz é produzido em latitudes que variam de 50°N (Checoslováquia) a 35°S (Uruguai), desde o nível do mar até em elevadas altitudes (2000 m de altitude no Nepal) (CASTRO et al., 1987).

A produção mundial de arroz é de aproximadamente 746,7 milhões de toneladas do grão em casca, produzidos em uma área de 158 milhões de hectares, correspondente a 29% da produção total de grãos utilizados na alimentação humana (SOSBAI, 2014). O volume da produção compõe a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas, com papel fundamental para a segurança alimentar mundial (SOSBAI, 2014). Apesar disso, o comércio internacional é pequeno, pois o maior consumo e a maior produção de arroz estão localizados no continente asiático (aproximadamente 90%).

O Brasil conta com uma produção total de arroz que oscila entre 11 e 13 milhões de toneladas por ano. Segundo a CONAB (2014), a produção da região Sul (Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina) corresponde a 77% da produção de arroz e a maior produtividade nacional (7,2 t/ha), sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor, com estimativa de produção na safra 2014/15 de 8,5 milhões de toneladas, em 1,11 milhões de hectares (CONAB, 2014). Devido ao grande volume produzido pelos estados sulinos, estes são responsáveis pela estabilidade e suprimento da produção brasileira.

A evolução da produtividade de arroz nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina se deve principalmente as entidades responsáveis pela pesquisa e experimentação da cultura do arroz irrigado. O desenvolvimento de cultivares adaptadas as condições climáticas locais, que atendem as exigências do mercado e com maior tolerância aos estresses bióticos e abióticos, gerou cultivares de arroz denominadas "modernas", com alto teto produtivo (COMISSÃO DE AGRICULTURA PECUÁRIA E COOPERATIVISMO, 1999). Com cultivares mais responsivas ao manejo do solo e da cultura, o investimento financeiro e tecnológico se torna economicamente viável.

2.2 Níveis tecnológicos no cultivo do arroz irrigado

Níveis tecnológicos (NT) podem ser definidos a partir do potencial produtivo de uma cultivar, expresso em ambiente de crescimento sem limitações de água e nutrientes e livre de infestação por doenças e insetos e de competição por plantas invasoras (CASSMAN et al., 2003). A diferença entre o potencial produtivo e o nível tecnológico aplicado em lavouras representa o rendimento explorado pelos agricultores ou nível tecnológico (Figura 1). A constante evolução do manejo cultural de acordo com a aplicação de novas tecnologias, principalmente do melhoramento genético, torna os limites entre os níveis tecnológicos variáveis. Bueno et al. (2010) compararam a produtividade de um híbrido de arroz sobre uma cultivar tradicional e encontraram incremento significativo na produtividade, ou seja, elevou-se o potencial produtivo do arroz irrigado com a introdução de híbridos em lavouras de arroz. A literatura indica que há tendência de novo aumento do potencial produtivo em arroz irrigado com o projeto de desenvolvimento do arroz C4 (MITCHELL e SHEEHY, 2000; VON CAEMMERER et al., 2012) e do “Green Super Rice” (ZHANG, 2007).

Para expressar o aumento do potencial produtivo em arroz irrigado são necessárias adaptações nos sistemas e ferramentas de manejo e nas práticas culturais. Cassman (1994) define alguns fatores principais:

- Aumentar a eficiência do uso de nutrientes, principalmente Nitrogênio (N), pois o aumento do potencial produtivo requer novas formulações, novos meios de aplicação e ajuste do tempo entre cada aplicação.
- Adequar o espaçamento entre plantas ao genótipo utilizado.
- Desenvolvimento de ferramentas que permitam a rápida diagnose de condições de solo e planta, principalmente do aporte de N.
- Uso eficiente da água, com controle da qualidade e quantidade aplicada sobre a cultura.
- Monitoramento sobre efeitos do manejo no solo, nos mananciais hídricos e na emissão de gases de efeito estufa, como óxido nitroso e metano.

No Rio Grande do Sul, foi elaborada uma proposta visando o aumento gradual da produtividade média do estado, por meio de práticas culturais ideais, conhecida como “Projeto 10” (CUNHA e FORSIN, 2011; MENEZES et al., 2012). Algumas práticas são definidas como base para o alcance da produtividade média acima de 8 t ha⁻¹, como o uso de

sementes certificadas e semeadura com data limite em 10 de novembro, manejo da adubação de acordo com análise de solo e nos períodos de maior necessidade nutricional da planta, práticas que concordam com o definido por Cassman (1994).

No modelo agrícola SimulArroz são definidos três níveis tecnológicos em lavouras de arroz, de acordo com o potencial produtivo da cultura (Figura 1). O nível tecnológico potencial permite simular a produtividade potencial (teto produtivo), situação que geralmente só se consegue em nível experimental, com pequenas parcelas, na qual as plantas não sofrem nenhum estresse biótico (pragas, doenças e plantas daninhas) ou abiótico (falta de água e nutrientes), não acamam e estão na densidade populacional recomendada (CASSMAN et al., 2003). O nível tecnológico alto representa lavouras bem manejadas e que se enquadram na proposta do Projeto 10 do IRGA. O nível baixo representa lavouras com pouca tecnologia de insumos, as plantas sofrem com estresse por fatores bióticos (pragas, doenças e alta competição com plantas daninhas) e abióticos (adubação de NPK não é feita ou é feita com baixa quantidade, falta água durante as fases críticas) a ponto da lavoura comercial não ser viável economicamente no Rio Grande do Sul. O nível tecnológico médio representa lavouras com uma tecnologia intermediária entre os níveis alto e baixo, sendo sub-dividido em nível intermediário superior e inferior (Figura 1).

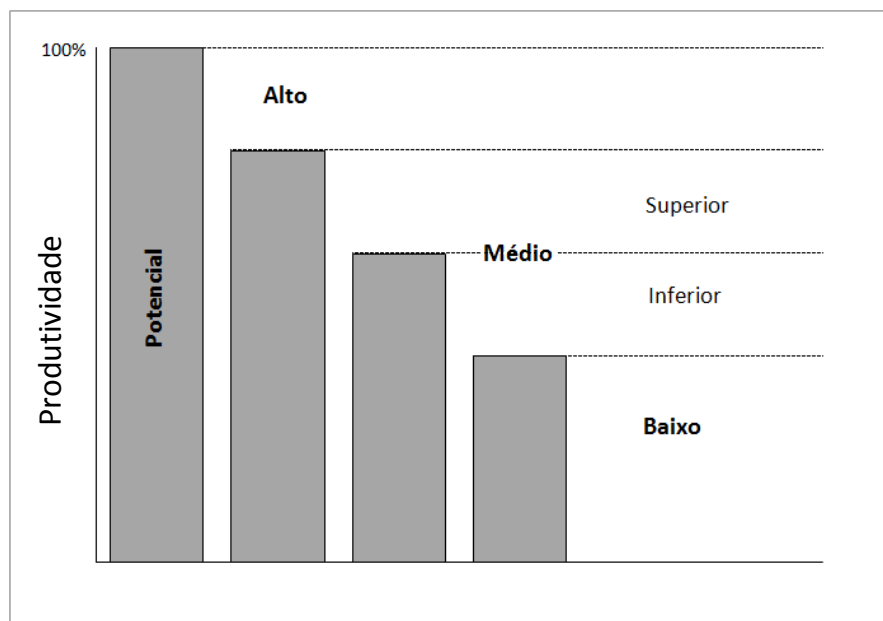


Figura 1. Níveis de tecnologia potencial, alto, médio e baixo, considerados no SimulArroz para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

2.3 Início da irrigação em arroz irrigado

O início da irrigação constitui um dos fatores mais importantes na cultura do arroz irrigado, visando alta produtividade. Os sistemas de cultivo mínimo (movimentação mínima do solo) e de cultivo convencional (com revolvimento do solo) consistem na semeadura do arroz em solo seco, com o início da irrigação por inundação no momento em que a cultura atingir o estágio V3-V4 (COUNCE et al., 2000). No Rio Grande do Sul são cultivados anualmente cerca de um milhão de hectares com arroz em sistema irrigado por inundação, com predomínio do cultivo mínimo (63,7%), do cultivo convencional (25,6%) e do pré-germinado (10,7%) (SOSBAI, 2014).

A altura da lâmina de água a ser mantida sobre o solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura deve ser de aproximadamente 2,5 a 7,5 cm (SOSBAI, 2012). Furlani Junior et al. (1995a) verificaram que alturas de lâmina de água de 5, 10 e 15 cm não afetaram a produtividade de arroz, apenas a altura da lâmina de água de 15 cm reduziu o perfilhamento, e a uma altura de lâmina da água de 10 cm houve maior controle de plantas daninhas, principalmente do capim arroz (FURLANI JUNIOR et al., 1995b; AGOSTINETTO et al., 2007). A altura da lâmina de água constitui um fator importante no manejo, porém a produtividade de grãos de arroz responde melhor ao início da inundação da lavoura (FURLANI JUNIOR et al., 1995a).

A época de inundação da lavoura é uma etapa importante na manutenção do teto produtivo da cultura de arroz. A antecipação da época de inundação eleva a absorção de nutrientes pela planta e aumenta a produção de matéria seca (WIELEWICKI et al., 1998). Em lavouras comerciais de arroz, a época de inundação está associada a outras práticas de manejo como a adubação nitrogenada (N), o controle de plantas invasoras e o perfilhamento das plantas de arroz. Marcolin et al. (2005) verificaram a maior eficiência do uso da água e a maior produtividade com o início da inundação em V3, penalizando a produtividade em até 1800Mg ha⁻¹ com a inundação apenas em V5. A eficiência da adubação nitrogenada é afetada pelo período de início da inundação, pois o solo inundado diminui a perda de N por volatilização e aumenta a incorporação do N ao solo, que pode ser mais bem aproveitado pela cultura (SCIVITTARO et al., 2010). Avila et al. (2009) demonstraram que a aplicação de N seguida pela inundação do solo, reduz a fitotoxicidade em plantas de arroz, ocorrida pela aplicação de herbicidas do grupo das imidazolinonas.

2.4 Modelagem matemática em agricultura e previsão de safra

Modelos matemáticos são uma simplificação da realidade que nos permite descrever complexas interações entre agroecossistemas e, assim, torna-se possível realizar previsões de produtividade das culturas, acoplando modelos agrícolas com modelos climáticos. Os modelos matemáticos aplicados a agricultura são ferramentas cada vez mais usadas em estudos científicos, para tomada de decisões e mais recentemente para previsão de safra (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010).

Os modelos utilizados para simular a produtividade de culturas agrícolas podem ser divididos em dois grupos: empíricos e mecanísticos. Nos modelos matemáticos empíricos, a produtividade da cultura é simulada a partir de dados de produtividade observados e do ajuste empírico da equação. Monteiro et al. (2013) propõem a utilização de um modelo estatístico para estimar a produtividade de arroz de sequeiro no Brasil, de acordo com o nível tecnológico aplicado, penalizando a produtividade máxima da cultura com o aumento do déficit hídrico. Em modelos matemáticos mecanísticos, modelo é a representação do sistema através de uma linguagem, matemático, pois modelos complexos são simplificados em equações matemáticas representadas por variáveis, parâmetros e funções, e mecanístico, pois o modelo matemático é utilizado para explicar conceitos estabelecidos pelo conhecimento científico (SILVA e BERGAMASCO, 2001).

Existem modelos matemáticos mecanísticos desenvolvidos para simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade de várias culturas agrícolas, como o CANEGRO para cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER e THOMPSON, 1989), o GUMCAS para mandioca (MATTHEWS e HUNT, 1994), o ORYZA1 para arroz (KROPFF et al., 1994), o SOYDEV para soja (SEYTIONO et al., 2007), entre outros. Para a aplicação de um modelo agrícola em um determinado local, devem ser realizados testes e a calibração do modelo para cultivares utilizadas na região. Uma vez calibrado, o modelo simula a interação entre a cultura e o ambiente, fornecendo uma ferramenta para o planejamento da condução da lavoura e da venda do produto, no caso do produtor, de previsão de safra para o estado e de monitoramento de cenários climáticos para a pesquisa (HOOGENBOOM, 2000).

Nos Estados Unidos, modelos matemáticos agrícolas têm sido utilizados para a previsão de safra, acoplados a modelos sazonais de previsão climática. No estado da Flórida o modelo climático regional FSU com seis esquemas convectivos, desenvolvido pela Universidade do Estado da Flórida, foi acoplado ao modelo climático global comum (FCUc),

gerando previsão climática de maior precisão acoplada ao modelo agrícola CROPMGRO - Peanut (cultura do amendoim) (SHIN et al., 2006). Em outro trabalho realizado no mesmo estado norte americano, nove esquemas de previsão climática sazonal foram testados junto com os modelos CERES – Maize, para milho, e CROPMGRO – Peanut, para amendoim, para substituir a metodologia de previsão de safra baseada no fenômeno El Niño Oscilação Sul (SHIN et al., 2010).

Para a cultura do arroz existem modelos de simulação do rendimento de grãos mais complexos, como o CERES-rice (SINGH et al., 1993) e o ORYZA1 (KROPFF et al., 1994), e outros mais simplificados, como o InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006) e o SimulArroz (STRECK et al., 2013). O modelo SimulArroz (STRECK et al., 2013) é um modelo ecofisiológico baseado em processos (*process-based model*), desenvolvido para simular os efeitos do manejo, do clima, inclusive da quantificação do impacto ambiental (emissão de gases de efeito estufa), sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado no sistema por inundação (*flooded rice*) para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esse modelo foi resultado da utilização de partes do código dos modelos ORYZA2000 (BOUMAN et al., 2004) e InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006), e da calibração de algumas cultivares de arroz irrigado em Santa Maria, na condição potencial (WALTER et al., 2012).

O SimulArroz calcula os principais processos ecofisiológicos de um ecossistema de arroz, como a acumulação de biomassa de raízes, folhas, caule e panículas, o desenvolvimento da cultura através da escala fenológica de Counce et al. (2000) e a emissão de folhas pela escala de Haun (1973) no passo de tempo de um dia. Na versão 1.0, o SimulArroz simula a produtividade potencial da cultura, e a produtividade em três níveis tecnológicos da lavoura (alto, médio e baixo).

3 CAPITULO I

TRABALHO A SER ENVIADO PARA PUBLICAÇÃO:

Época de inundação e sua influência no crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz

Época de inundação e sua Influência no crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da época de inundação sobre variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz. Foram conduzidos dois experimentos durante o ano agrícola 2013/14, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos no Experimento 1 foram: inundação em V3, V5, V8 e V9, e no Experimento 2 os tratamentos foram: inundação em V5, V8, V9 e V10. A época de inundação não influenciou a emissão de folhas, o número final de folhas, o número final de perfilhos e o desenvolvimento da cultura. A taxa de crescimento foliar quando a precipitação foi menor que a evapotranspiração da cultura do arroz. Não é clara se a produtividade de grãos é ou não afetada pela época de inundação do solo.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Fenologia. Haun Stage. Componentes de rendimento.

Flood time and its influence on growth, development and rice yield

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effect of the flooding time on growth, development and productivity of rice. Two experiments were conducted during the 2013/14 growing season, using a randomized blocks design with four replications. The treatments in Experiment 1 were flooding in V3, V5, V8 and V9, and in Experiment 2 the treatments were flooding in V5, V8, V9 and V10. The onset of flooding did not influence the emission of leaves, the final leaf number, the final number of tillers and crop development. Leaf growth rate is affected by the onset of flooding when rainfall was less than the crop evapotranspiration. It is not clear if kernel yield is or not affected by the time that flooding starts.

Keywords: *Oryza sativa*. Phenology. Haun Stage. Yield components.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo e um dos mais importantes do Brasil, atualmente sexto produtor mundial, com uma produção de 12,5 milhões de toneladas do grão em casca (SOSBAI, 2014). Os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são responsáveis por 70% da produção (CONAB, 2014), devido ao uso do sistema de cultivo irrigado por inundação, que propicia à planta melhores condições para expressar o potencial genético e, assim, atingir elevadas produtividades. Por exemplo, em sistema de cultivo de arroz em solo alagado é possível alcançar produtividades de 12 a 15 t ha⁻¹ (MENEZES et al., 2012) enquanto que no cultivo de arroz sequeiro a produtividade alcançada é de 4 a 6 t ha⁻¹ (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004).

Existem três sistemas de cultivo de arroz irrigado por inundação mais utilizados no Rio Grande do Sul: o sistema convencional, o cultivo mínimo e o pré-germinado. No cultivo mínimo (movimentação mínima do solo) e no cultivo convencional (com revolvimento do solo), a semeadura é realizada em solo seco, com inundação da área quando a cultura atinge o estágio V3-V4 (COUNCE et al., 2000). No sistema de semeadura pré-germinado, a semeadura é realizada com a semente pré-germinada, sob lâmina de água pré-estabelecida. Cada sistema apresenta vantagens e desvantagens que dependem muito das condições climáticas e da experiência do agricultor ao utilizar um dos sistemas.

A semeadura em solo seco exige precisão na época de inundação da lavoura. O início da inundação em V3 eleva a absorção de nutrientes pela planta e aumenta a produção de matéria seca (WIELEWICKI et al., 1998). Em lavouras de arroz, a época de inundação está associada a outras práticas de manejo como a adubação nitrogenada em cobertura, o controle de plantas invasoras e o perfilhamento das plantas de arroz. Marcolin et al. (2005) verificaram a maior eficiência do uso da água e a maior produtividade com o início da inundação em V3, havendo penalização na produtividade em até 1800Mg ha⁻¹ com o início da inundação em V5.

Muitos outros trabalhos foram realizados, relacionando o atraso da época de inundação com a produtividade (SCIVITTARO et al., 2010; FURLANI JUNIOR et al., 1995a,b; AGOSTINETTO et al., 2007; PANOZZO et al., 2009; MARCOLIN et al., 2005), com o peso de matéria seca (WIELEWICKI et al., 1998) e com a eficiência do uso da água (MARCOLIN et al., 2005). Entretanto, nesses trabalhos não foram avaliadas variáveis de crescimento foliar e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do arroz. Essas variáveis são importantes para definir características desejáveis em programas de melhoramento genético de arroz e para a

calibração de modelos matemáticos baseados em processos (*process-based models*), como o SimulArroz (STRECK et al., 2013).

O modelo SimulArroz (STRECK et al., 2013) é um modelo ecofisiológico baseado em processos, calibrado para algumas cultivares de arroz irrigado para o estado do Rio Grande do Sul. Este modelo calcula as variáveis de crescimento e desenvolvimento da lavoura de arroz no passo de tempo de um dia e, no final do ciclo, a produtividade de grãos. Apesar da boa produtividade média de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, fatores bióticos e abióticos impedem a cultura de alcançar as condições potenciais, ou teto produtivo. Por isso, é necessário incorporar ao modelo SimulArroz opções de manejo que impactam de forma mais acentuada na produtividade final da cultura, como época de inundação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da época de inundação sobre variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de campo durante o ano agrícola 2013/14 em uma área experimental privada distante aproximadamente 10 km do campus da UFSM, no município de Santa Maria, RS (latitude de 29°43' S; longitude de 53°43' W e altitude 95 m). O solo local é um Argissolo pertencente à Unidade de Mapeamento Santa Maria (STRECK et al., 2008). O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida. Foi utilizada neste estudo a cultivar IRGA 424, de ciclo médio, que se destaca por apresentar alto potencial produtivo e alta resposta a adubação (SOSBAI, 2014).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos aplicados no Experimento 1 foram: inundação em V3, inundação em V5, inundação em V8 e inundação em V9, e no Experimento 2 os tratamentos aplicados foram: inundação em V5, inundação em V8, inundação em V9 e inundação em V10. O critério utilizado para aplicar os tratamentos foi a Escala de Haun - HS (HAUN, 1973), medido semanalmente em seis plantas marcadas por parcela.

Amostragens de solo foram realizadas na área antes da semeadura e enviadas para laboratório credenciado ao ROLAS para caracterização química do solo (Tabela 1). A semeadura foi realizada sob sistema convencional de preparo do solo, com uma semeadora de

11 linhas. O Experimento 1 foi semeado no dia 09/10/2013, no período recomendado pelo zoneamento agroclimático para a cultura do arroz irrigado (MAPA, 2013). O Experimento 2 foi semeado no dia 18/12/2013, após o período recomendado pelo zoneamento (MAPA, 2013) para cultivares de ciclo médio. O espaçamento entre linhas foi de 0,17 m e o comprimento das parcelas foi de 4 m, com parcelas de 7,5 m².

Tabela 1. Caracterização química do solo em que foram conduzidos os Experimentos 1 e 2, em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.

Parâmetro	Época 1	Época 2
pH	4,6	5,0
Matéria Orgânica (%)	0,7	1,0
P (mg dm ⁻³)	1,5	6,0
K (mg dm ⁻³)	64,0	68,0

A adubação foi realizada de acordo com a interpretação da análise de solo e seguiu as recomendações para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2014). Os fertilizantes foram aplicados no sulco, no momento da semeadura. A aplicação de nitrogênio foi realizada em cobertura, em V3 e R1 (SOSBAI, 2014). Durante a condução do Experimento 1 surgiram sintomas de deficiência nutricional nas plantas. Por isso, foram realizadas mais duas adubações em cobertura, uma na dose de 50 Kg ha⁻¹ de 00-20-20 em V7-V8 e a outra na dose de 50 Kg ha⁻¹ de 30-00-20 em V10.

Os tratamentos fitossanitários foram realizados de forma preventiva, com uma aplicação de inseticida e fungicida em R2 e outra em R4 (COUNCE et al., 2000). O controle de plantas daninhas foi realizado com herbicidas e através do arranque manual e capina sempre que necessário, a fim de evitar a competição entre o arroz e as plantas daninhas.

Para determinar a data de emergência foi contado o número de plantas em três linhas de meio metro em cada parcela, diariamente, até que o número de plantas emergidas estabilizasse. Foi considerada emergida a planta visível ao olho humano no momento da observação, ou seja, a plântula acima do nível do solo. A data de emergência foi determinada no dia em que pelo menos 50% das plântulas estivesse acima do nível solo. Após a emergência, seis plantas em cada parcela foram identificadas com arames coloridos para avaliação das variáveis de crescimento e desenvolvimento. As variáveis medidas

semanalmente foram: emissão de folhas (Haun Stage - HS), através da contagem do número de folhas visíveis no colmo principal e do comprimento da última e da penúltima folha (cm) (HAUN, 1973; STRECK et al., 2008) (Equação 1) e número de perfilhos.

$$HS = NF + \frac{Cult}{Cpnult} \quad (1)$$

em que HS é o Haun Stage ou Escala de Haun, NF é o número de folhas com o colar formado ou Vn da escala de Counce et al. (2000), Cult é o comprimento (cm) da última folha, sem o colar formado, e o Cpnult é o comprimento (cm) da última folha com o colar formado.

A área foliar foi medida nas datas em que foram aplicados os tratamentos, sendo quatro avaliações em cada experimento. Foram medidos o comprimento e a maior largura de cada folha do colmo principal com uma régua de 30 cm. Também foi observada a data de ocorrência dos estádios R4 e R9, segundo escala de Counce et al. (2000), nas seis plantas marcadas de cada parcela.

A produtividade de grãos ($Mg\ ha^{-1}$) foi estimada a partir dos componentes de rendimento (nº de panículas m^{-2} , nº de grãos panícula $^{-1}$ e peso de mil grãos). Foi contado o número de panículas em 1 m^2 , coletado 15 panículas aleatoriamente para a contagem do número de grãos panícula $^{-1}$ e, posteriormente, foi realizada a seleção de mil grãos, descartando os abortados e com danos ocasionados pelo ataque de pragas ou doenças. O material foi armazenado em estufa de circulação forçada a 60°C, por aproximadamente 3 semanas, até o peso dos mil grãos estabilizar. A partir dos componentes de rendimento avaliados foi feita uma estimativa da produtividade em $Mg\ ha^{-1}$:

$$Prod = NP \times NGP \times \frac{PG}{1000} \quad (2)$$

em que NP é o número de panículas m^{-2} , NGP é o número de grãos panícula $^{-1}$ e o PMG é o peso de mil grãos em g.

As variáveis meteorológicas radiação solar, temperatura mínima e máxima, e precipitação, utilizadas para auxiliar na interpretação dos resultados, foram obtidas da estação meteorológica automática do INMET, localizada a aproximadamente 10 km da área experimental.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram contrastadas pelo teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade de erro, utilizando o software Microsoft Excel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução do Experimento 1 ocorreu grande volume de precipitações (Figura 1), acima da média histórica para os meses de outubro (159,1 mm) e novembro (120,1 mm) (BURIOL et al., 2006). Entre a emergência e a inundação em V3, a precipitação acumulada foi de 104,4 mm em 12 dias (média de 8,7 mm dia⁻¹). Entre o tratamento inundado em V3 e inundado em V5 ocorreu o maior volume de chuva acumulada (209,4 mm), 17,45 mm dia⁻¹. Entre os tratamentos V5 e V8 o acumulado foi de 111,0 mm e entre V8 e V9 o acumulado foi de 44 mm, com precipitação média diária de 5,6 mm e 7,3 mm respectivamente. Durante o período V3 a V9 (50 dias) o total acumulado foi de 468,8 mm, 9,4 mm dia⁻¹, volume de chuva superior a média histórica durante a primavera (439,0 mm) no município de Santa Maria (BURIOL et al., 2006) e superior a evapotranspiração da cultura do arroz (4 a 7 mm dia⁻¹).

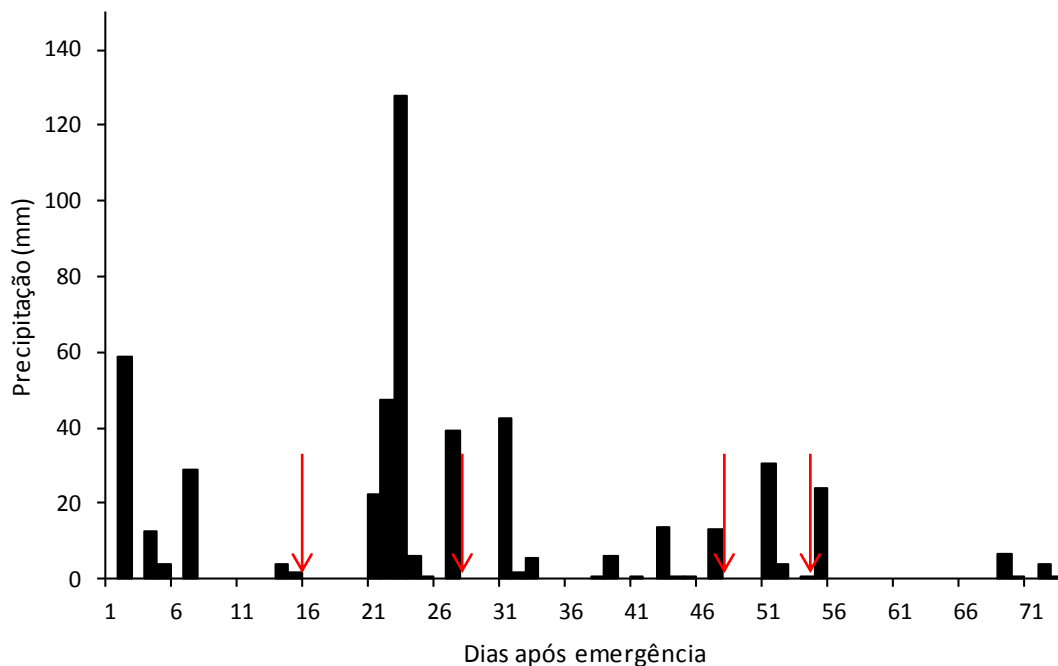


Figura 1. Distribuição da precipitação durante o período Emergência - V9. Setas em vermelho indicam o dia de inundação no Experimento 1 em V3, V5, V8 e V9 da escala de Counce et al. (2000), no município de Santa Maria, RS.

Durante a condução do Experimento 2, as precipitações ocorreram de forma bem distribuída, porém em menores volumes do que no Experimento 1 (Figura 2). Da emergência ao tratamento V5, a precipitação acumulada foi de 28,8 mm durante 14 dias, 2,1 mm dia⁻¹. Entre V5 a V8 a precipitação acumulada foi de 84,2 mm e 9,4 mm dia⁻¹. Entre V8 e V9 o acumulado foi de 0,6 mm e entre V9 e V10 de 36,8 mm, com precipitação média diária de 0,1 mm e 4,1 mm respectivamente. Durante os 38 dias o acumulado foi de 150,4 mm, com média de 4,0 mm dia⁻¹.

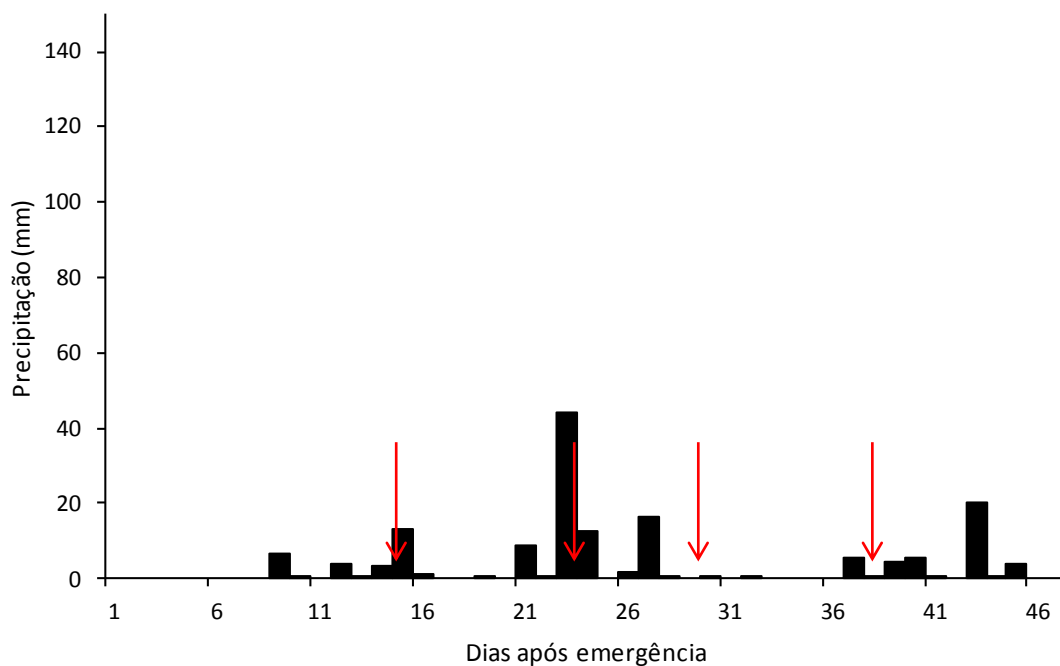


Figura 2. Distribuição da precipitação durante o período Emergência - V10. Setas em vermelho indicam o dia de inundação no Experimento 2 em V5, V8, V9 e V10 da escala de Counce et al. (2000), no município de Santa Maria, RS.

A Figura 3 contém o Haun Stage (HS) quando foram implantados os quatro tratamentos do Experimento 1. A inundação em V3 ocorreu 23 dias após a semeadura (DAS), e o HS médio das plantas, medido nesse dia, foi de 4,2 folhas nas parcelas inundadas em V3, e 3,8, 3,6 e 3,4 folhas nas parcelas inundadas em V5, V8 e V9, respectivamente. A inundação em V5 ocorreu 35 DAS. O HS médio nesse momento foi de 5,6 folhas nas parcelas inundadas em V3, 5,3 folhas nas inundadas em V5, e 5,4 e 5,3 folhas nas parcelas inundadas em V8 e em V9 respectivamente. No momento da inundação em V8, 55 DAS, o HS médio nas

parcelas inundadas em V3 foi de 8,5 folhas, em V5 foi de 8,1 folhas, em V8 foi de 8,2 folhas e em V9 foi de 8,1 folhas. A inundação em V9 ocorreu 61 DAS quando o HS medido nas parcelas inundadas em V3 foi de 9,4 folhas, em V5 de 9,0 folhas, em V8 de 9,3 folhas e em V9 de 9,0 folhas. O HS médio entre as épocas de inundação foi semelhante.

A ocorrência do R4 no Experimento 1 foi no dia 10/02/2014 para a inundação em V3, no dia 12/02 para a inundação em V5, no dia 10/02 para a inundação em V8 e no dia 12/02 para a inundação em V9. O R9 foi observado no dia 17/03/2014. Não houve diferença no desenvolvimento da planta de arroz entre épocas de inundação no Experimento 1.

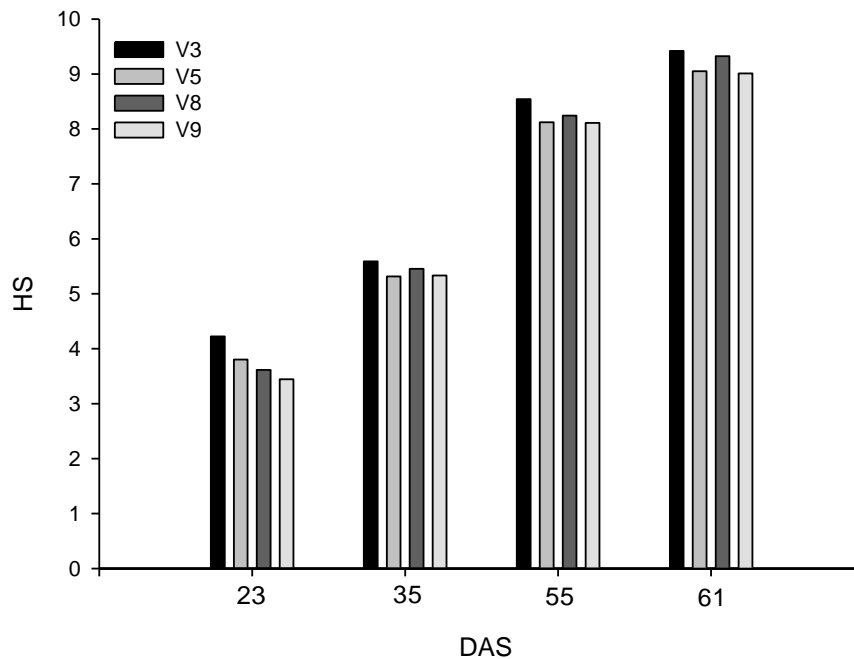


Figura 3. Haun Stage (HS) em arroz irrigado nos estádios V3, V5, V8 e V9 (COUNCE et al.; 2000), respectivamente aos 23, 35, 55 e 61 dias após a semeadura (09/10/2013), no Experimento 1.

A Figura 4 contém o HS nos quatro momentos de inundação do Experimento 2. O crescimento e desenvolvimento inicial das plantas no Experimento 2 foi mais acelerado devido a ocorrência de temperaturas mais elevadas nos meses de dezembro e janeiro. Entre a emergência-V1, que ocorreu no dia 24/12/13, e o V5, ocorrido no dia 05/01/14, a soma térmica acumulada foi de 143,3°C dia⁻¹. No Experimento 1, durante o mesmo período de onze

dias, a soma térmica foi de $105,5^{\circ}\text{C dia}^{-1}$, e o estágio de desenvolvimento verificado foi de V2 a V3. Por isso, a inundação em V3 no Experimento não foi realizada, e a primeira época de inundação foi feita em V5. Na inundação em V5, 21 DAS, o HS médio foi de 5,1 folhas nas parcelas inundadas em V5, 4,9 folhas em V8, 5,0 folhas em V9 e 5,3 folhas em V10. Na inundação em V8, 30 DAS, o HS médio foi de 8,0 folhas nas parcelas inundadas em V5, 8,1 folhas em V8 e 7,8 e 8,4 folhas nas parcelas inundadas em V9 e V10 respectivamente. Na inundação em V9, 36 DAS, o HS médio foi de 9,4 folhas nas parcelas inundadas em V5, 9,9 folhas em V8, 9,4 folhas em V9 e 9,9 folhas em V10. Na inundação em V10, 45 DAS, o HS foi de 10,9 folhas nas parcelas inundadas em V5, 11,0 folhas em V8, 10,4 folhas em V9 e 10,9 folhas em V10.

A ocorrência do R4 no Experimento 2 foi no dia 20/03/2014 para a inundação em V5, no dia 21/03 para a inundação em V8, no dia 24/03 para a inundação em V9 e no dia 20/03 para a inundação em V10. O R9 foi observado no dia 28/04/2014. Não houve diferença no desenvolvimento da planta de arroz entre épocas de inundação no Experimento 2.

Da semeadura ao V9 a diferença entre o Experimento 1 e o Experimento 2 foi de 25 dias. A soma térmica acumulada até a inundação em V9 no Experimento 1 foi de $532,4^{\circ}\text{C dia}^{-1}$, e no Experimento 2 a soma térmica acumulada até o V9 foi de $317,2^{\circ}\text{C dia}^{-1}$. Provavelmente a menor soma térmica para emissão de nove folhas no Experimento 2 ocorreu devido a semeadura ter sido realizada fora do período recomendado (MAPA, 2013), quando as temperaturas são mais elevadas desde a emergência da cultura.

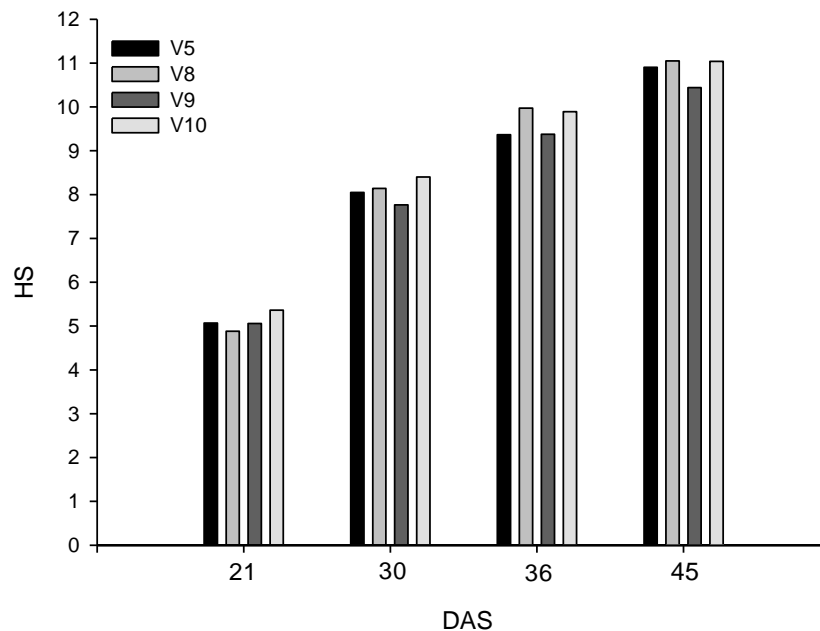


Figura 4. Haun Stage (HS) em arroz irrigado nos estádios V5, V8, V9 e V10 (COUNCE et al.; 2000), respectivamente aos 21, 30, 36 e 45 dias após a semeadura (16/12/2013), no Experimento 2.

Na inunda o em V3, no Experimento 1 (Figura 5A), a área foliar do colmo principal variou de 4,58 a 5,02 cm² entre as épocas de inunda o. Na inunda o em V5 a área foliar média do colmo principal foi de 9,3, 9,6, 7,6 e 9,9 cm², para as parcelas inundadas em V3, V5, V8 e V9 respectivamente. Na inunda o em V8, a área foliar do colmo principal nas parcelas inundadas em V3, V5, V8 e V9 foi de 24,6, 21,1, 18,6 e 17,8 cm² respectivamente. Na inunda o em V9, a área foliar média medida no colmo principal foi de 26,6, 21,9, 32,9 e 27,9 cm² nas parcelas inundadas em V3, V5, V8 e V9 respectivamente. No Experimento 1 não foi verificada resposta da época de inunda o sobre a área foliar. O decréscimo na produ o de área foliar   uma das primeiras respostas da planta ao déficit hídrico (TAIZ e ZAIGER, 2013). Com a precipita o média maior que a evapotranspira o estimada para a cultura do arroz durante o período, não houve déficit hídrico e a área foliar não foi alterada pelas épocas de inunda o.

No Experimento 2, durante a inunda o em V5, a área foliar medida no colmo principal foi de 11,9, 10,9, 8,5 e 10,6 cm² nas parcelas inundadas em V5, V8, V9 e V10 respectivamente (Figura 5B). Na inunda o em V8, a área foliar média do colmo principal foi de 26,8, 21,7, 23,8 e 20,7 cm² nas parcelas inundadas em V5, V8, V9 e V10 respectivamente.

Na inunda o em V9, a área foliar nas parcelas inundadas em V5, V8, V9 e V10 foi, respectivamente, de 39,1, 36,1, 27,6 e 23,1 cm². Nesse momento foi verificado que as parcelas inundadas em V5 e V8 apresentaram 30% a mais de área foliar do que nas parcelas V9 e V10. Na inunda o em V10, a área foliar média do colmo principal foi de 66,5, 61,8, 51,8 e 27,8 cm² nas parcelas inundadas em V5, V8, V9 e V10 respectivamente.

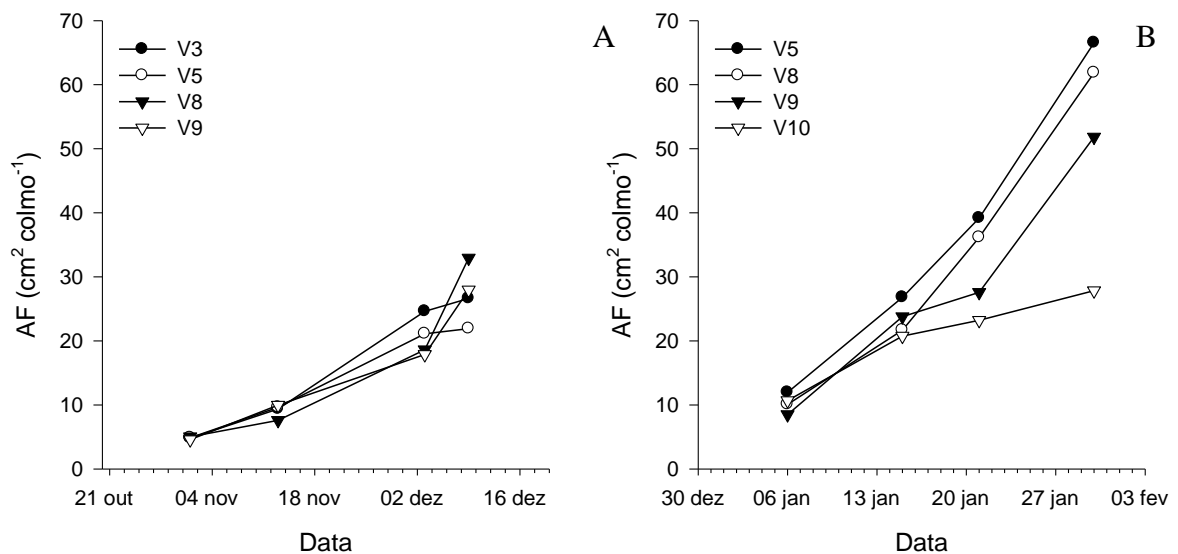


Figura 5.  rea foliar no colmo principal em arroz inundado nos estádios V3, V5, V8 e V9 (COUNCE et al.; 2000) aos 23, 35, 55 e 61 dias após sementeira no Experimento 1(A) e inundado nos estádios V5, V8, V9 e V10 aos 21, 30, 36 e 45 dias após sementeira no Experimento 2 (B), em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.

Entre a inunda o em V5 e em V8 no Experimento 2, observou-se que a taxa de crescimento (Tabela 2) entre as épocas de inunda o variou pouco, devido às precipita es ocorridas entre o período (Figura 2). Entre a inunda o feita em V8 e em V9, a taxa de crescimento observada nas parcelas inundadas (V5 e V8) foi de 3 a 4 vezes maior que nas parcelas não irrigadas (V5 e V8). Entre a inunda o feita em V9 e em V10, a taxa de crescimento diário das parcelas inundadas em V5, V8 e V9 foi semelhante e seis vezes maior que as parcelas inundadas em V10. No Experimento 2, a precipita o média diária foi de 4,0 mm dia⁻¹, menor que a evapotranspira o estimada para a cultura do arroz no mês de janeiro (SOUZA, et al. 2013). Assim, foi possível observar que a taxa de crescimento foliar diminuiu com o atraso na época de inunda o (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de crescimento foliar do colmo principal de arroz entre os estádios V5-V8, V8-V9 e V9-V10, em plantas inundadas em V5, V8, V9 e V10, no Experimento 2, em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado.

Inundação	Taxa de crescimento (cm ² dia ⁻¹)		
	V5-V8	V8-V9	V9-V10
V5	1.6496	2.0615	3.043
V8	1.2878	2.4121	2.855
V9	1.7003	0.6298	2.6939
V10	1.1209	0.4101	0.5142

Durante o Experimento 1 (Figura 6A), o filocrono observado nas parcelas inundadas em V3 foi de 77,5°C dia folha⁻¹, nas parcelas inundadas em V5 o filocrono foi de 79,4°C dia folha⁻¹ e nas parcelas inundadas em V8 e em V9 o filocrono foi de 76,3°C dia folha⁻¹.

No Experimento 2 (Figura 6C), o filocrono foi de 63,2°C dia folha⁻¹ com a inundação em V5, 59,5°C dia folha⁻¹ com a inundação em V8, 68,9°C dia folha⁻¹ com a inundação em V9 e 66,6°C dia folha⁻¹ com a inundação em V10. O filocrono é uma variável de desenvolvimento da planta, que responde principalmente a temperatura. A presença de lâmina de água sobre o solo altera a temperatura através da redução da amplitude térmica (BUCKMAN e BRADY; 1974). Apesar da temperatura do ar e da água ser o principal elemento meteorológico responsável pela velocidade do desenvolvimento do arroz até a diferenciação do primórdio floral (R1) (SOSBAI, 2014), nos Experimento 1 e 2, não foi verificada a influência das épocas de inundação sobre a velocidade de emissão de folhas em arroz.

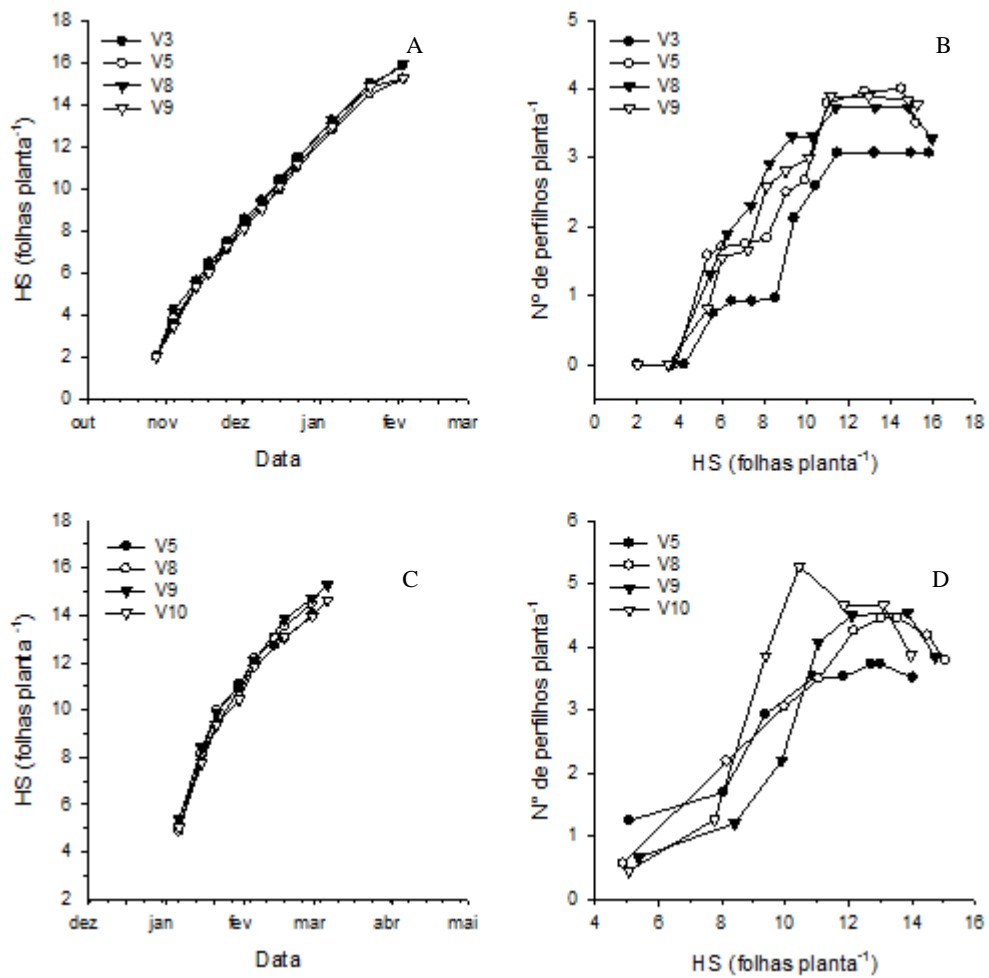


Figura 6. Evolução do número de folhas (HS) (A e C) e do número de perfilhos (B e D) em plantas de arroz inundadas em V3, V5, V8, V9 no Experimento 1 e em V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.

No Experimento 1, o Número Final de Folhas (NFF) nas parcelas inundadas em V3 foi de 15,7 folhas, variando entre 14 e 17 folhas (Tabela 3). Nas parcelas inundadas em V5 o NFF foi de 15,6, variando entre 14 e 17 folhas. Com a inundação em V8, o NFF foi de 15,7 folhas, variando entre 15 e 16 folhas. Com a inundação em V9, o NFF médio foi de 15,3, variando de 14 a 16 folhas.

No Experimento 2 verificou-se nas parcelas inundadas em V5 que o NFF foi igual a 14,8 folhas, variando entre 13 a 16 folhas (Tabela 3). Com a inundação em V8, o NFF foi de 15,4, variando de 14 a 16 folhas. Com a inundação em V9, o NFF foi de 15,6, variando entre 14 e 17 folhas. Inundando em V10, o NFF médio foi de 15,9, variando de 15 a 17 folhas nas plantas observadas. O NFF não foi alterado pelas épocas de inundação nos dois experimentos.

Tabela 3. Número Final de Folhas (NFF) e Número Final de Perfilhos (NFP) em plantas de arroz inundadas em V3, V5, V8, V9 no Experimento 1 e V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.

	NFF		NFP	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 1	Experimento 2
V3	15,7		3,1	
V5	15,6	14,8	3,7	3,3
V8	15,7	15,4	3,3	3,8
V9	15,3	15,6	3,7	3,8
V10		15,9		3,8
CV (%)	2,7	2,6	17,0	15,8

Os valores não diferiram estatisticamente a 5% do teste de Tukey. (CV%)

O início do perfilhamento nos experimentos um e dois ocorreu no momento em que as plantas estavam com 4 a 5 folhas no colmo principal, mesmo momento verificado por Poletto et al. (2009). O número máximo de perfilhos ocorreu quando a planta estava, em média, com 12 folhas, próximo ao período de diferenciação da panícula (R1) (YOSHIDA, 1981).

No Experimento 1, após a inundação em V5, verificou-se que o menor número de perfilhos ocorreu nas parcelas que foram inundadas em V3 (Figura 7A). A diferença se manteve até a inundação das parcelas em V9 e, a partir daí, o número de perfilhos entre os tratamentos foi igual estatisticamente. No Experimento 2, o perfilhamento não apresentou resposta ao momento de estabelecimento da lâmina de água (Figura 7B).

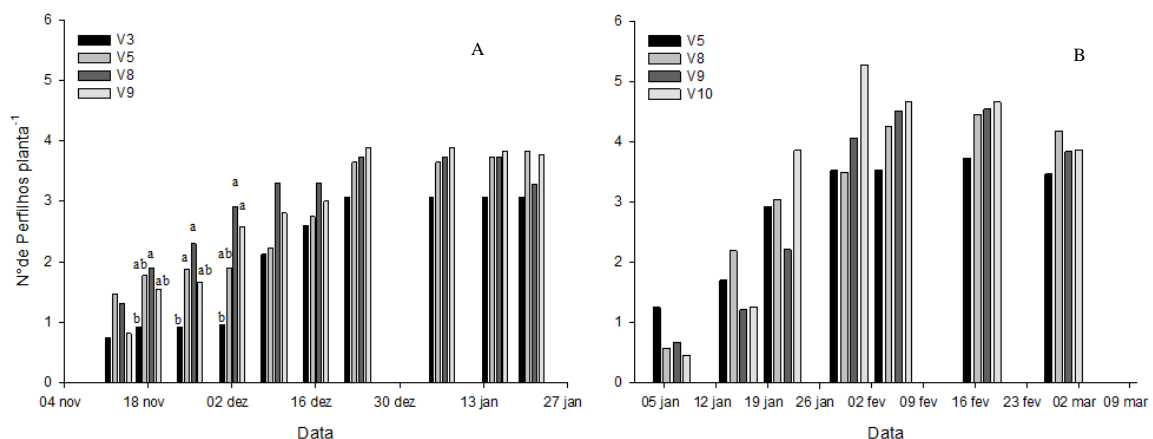


Figura 7. Perfilhamento de arroz inundado em V3, V5, V8 e V9 no Experimento 1 (A) e em V5, V8, V9, V10 no Experimento 2 (B), em Santa Maria, RS, safra 2013/14 de arroz irrigado. Letras a e b indicam diferença significativa entre tratamentos a 5% pelo teste de Tukey.

No Experimento 1, os componentes de rendimento N° de panículas m⁻² (NP) e peso de mil grãos (PMG) apresentaram resposta à época de inundação, enquanto que o N° de grãos panícula⁻¹ (NGP) não apresentou resposta (Tabela 4).

O fechamento do dossel mais lento permite que haja maior incidência de luz entre as plantas, induzindo a produção do ácido giberélico, hormônio responsável pelo perfilhamento em plantas de arroz (GROHS et al., 2012). No Experimento 1, o crescimento da área foliar foi lento (Figura 5A), verificando-se que houve menor perfilhamento nas parcelas inundadas em V3 (Figura 6B). Porém, na maturação (R9), o número de perfilhos por planta não diferiu e, por isso, foi concluído que o maior NP verificado entre as parcelas inundadas em V9 ocorreu devido a maior densidade de plantas m⁻² (aproximadamente 110 em V3, 95 em V5, e 120 em V8 e V9).

O PMG é um fator pouco variável entre genótipos de arroz (SOSBAI, 2014), porém foi alterado com o atraso da inundação (Tabela 4). A resposta não apresentou tendência de aumento ou diminuição do PMG, sendo maior quando a inundação ocorreu em V3, V5 e V8, porém, o PMG com inundação em V9 não diferiu do PMG em V3.

O NGP é definido quando ocorre a iniciação (R0) e diferenciação da panícula (R1) SOSBAI (2014). No momento de ocorrência desses estádios, as parcelas já haviam sido inundadas e o efeito da adubação nitrogenada aplicada em R1 agiu de forma semelhante entre os tratamentos.

Nas parcelas inundadas em V3, V5 e V8, as produtividades foram semelhantes (Tabela 1), ou seja, a época de início de irrigação por inundação não afetou a produtividade de grãos de arroz nas duas épocas de semeadura. Estes resultados discordam dos encontrados por MARCOLIN et al. (2005), que encontraram redução de 1800 Mg ha⁻¹ com a inundação de V3 para V5. Acredita-se que no Experimento 1, a ocorrência de precipitações acima da média durante o período, tenha suprido a demanda hídrica das plantas e diminuído o efeito das épocas de inundação sobre a produtividade. WIELEWICKI et al. (1998) relataram que a antecipação da irrigação aumenta a absorção de nutrientes pela planta, mas como no Experimento 1 não houve deficiência hídrica, provavelmente não houve efeito da época de inundação sobre a disponibilidade de nutrientes entre os tratamentos.

Tabela 4. N° de grãos panícula⁻¹ (NGP), N° de panículas m⁻² (NP) e matéria seca de mil grãos (PMG) de arroz em plantas inundadas em V3, V5, V8 e V9 no Experimento 1 e em V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, no município de Santa Maria, RS.

	NGP	NP	PMG (g)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
Experimento 1				
V3	106,3	378,8 b	18,1 ab	7469,9
V5	94,3	372,5 b	21,2 a	7454,8
V8	90,4	414,0 ab	20,3 a	7550,7
V9	84,4	449,8 a	16,9 b	6354,2
CV(%)	12,6	9,5	7,1	18,5
Experimento 2				
V5	131,7	590,0	16,9	13237,2
V8	154,3	588,3	12,8	11465,4
V9	150,0	578,3	12,5	10856,3
V10	105,9	519,3	17,4	9396,9
CV(%)	10,3	8,1	11,6	14,9

Valores seguidos de letras diferem a 5% pelo teste de Tukey.

Já no Experimento 2, não houve influência das épocas de inundação sobre os componentes de rendimento, mas houve tendência das médias de produtividade decrescerem com o atraso do início da irrigação por inundação. A ocorrência do R4 após a segunda quinzena de março no Experimento 2, período em que a radiação incidente encontra-se em menor disponibilidade que no meses de janeiro e fevereiro (WREGGE et al., 2011), pode ser a causa do PMG ter sido menor no Experimento 2.

Não houve influência da época de inundação sobre a produtividade (Tabela 4). As produtividades observadas no Experimento 2 foram superiores as observadas no Experimento 1, apesar da semeadura ter sido realizada fora da época recomendada (MAPA, 2013). Isso pode ser explicado pela ocorrência de temperaturas muito elevadas no entre os estádios R2 e R4 durante o Experimento 1 (COUNCE et al. 2000), período em que a temperatura crítica para a cultura do arroz é de 35°C (YOSHIDA, 1981; SOSBAI, 2014). Entre os dias 28/01 e 12/02/14 ocorreram onze dias com temperaturas acima dos 35°C, chegando a até 40°C no dia 07/02/14. É possível que as temperaturas elevadas durante o período R2-R4, tenham gerado alta esterilidade de espiguetas no Experimento 1 (Tabela 4), sendo a justificativa para a maior produtividade observada no Experimento 2.

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento vegetativo e reprodutivo e o número final de perfilhos do arroz não são influenciados pelo atraso na época de inundação.

A taxa de crescimento foliar é influenciada pelo atraso na época de inundação quando a precipitação foi menor que a evapotranspiração da cultura do arroz.

A produtividade de grãos ser ou não influenciada pelo atraso na inundação do solo ainda não é clara a resposta.

5 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; TIRONI, S. P.; DAL MAGRO, T.; VIGNOLO, G. K. Interferência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.4, p. 689-696, 2007.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 3º ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, p. 594, 1974.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 11, p. 89-97, 2006.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.12, p.1213-1218, dez, 2004.

CONAB [Companhia Nacional do Abastecimento]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_11_13_09_19_35_boletim_graos_novembro_2014.pdf> Acesso em 04 de dezembro de 2014. 2014.

COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

FURLANI JUNIOR, E.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. Épocas de início de inundação do solo e altura da lâmina de água em arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, 54(2): 413-418, 1995a.

FURLANI JUNIOR, E.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas em arroz irrigado mediante o momento da admissão e da altura da lâmina de água. **Bragantia**, Campinas, 54(2): 343-351, 1995b.

GROHS, M.; MARCHESAN, E.; ROSO, R.; FORMENTINI, T. C.; OLIVEIRA, M. L. de. Desempenho de cultivares de arroz com uso de reguladores de crescimento, em diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.776-783, jun. 2012.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.116-119, 1973.

MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. Disponível em: <<http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/07/Portaria-n%C2%B0-22-de-8-de-julho-de-2013-Zoneamento-Agr%C3%ADcola-Arroz-irrigado-RS-Ano-safra-2013.14-DOU-11.07.13.pdf>> Acesso em 04 de dezembro de 2013. 2013.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JUNIOR, S. A. Volume de água usado na lavoura de arroz em função das épocas de início de irrigação por inundação. In: IV Congresso brasileiro de arroz irrigado e XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria, Editora Órium. v1. p.365-367, 2005.

MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; SILVA, P. R. F. da; MACEDO, V. R. M.; PETRY, C.; GROHS, D. S.; FREITAS, T. F. S. de; VALENTE, L. A. L. Projeto 10 - Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: avanços e novos desafios. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Cachoeirinha. 2012. 104p.

PANOZZO, L. E.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; PINTO, J. J. O.; NEVES, R. Métodos de manejo de *Cyperus esculentus* na lavoura de arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.1, p. 165-174, 2009.

POLETTI, N.; MUNDSTOCK, M. C.; GROHS, D. S.; PIANA, A. T.; MAZURANA, M. Desenvolvimento foliar e sincronismo dos afilhos na cultivar de arroz 'IRGA 417'. **Ciência Rural**, v.39, n.8, nov, 2009.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p. 1283-1289, jun, 2010.

SOSBAI [Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado]. 2014. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 189p.

SOUZA, V. A.; ALVEZ, R. C. M.; ROBERTI, D. R.; KLERING, E. V. Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de arroz irrigado utilizando dados meteorológicos e de vegetação. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p.347-349, dez 2013.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p

WIELEWICKI, A. P.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.1, p.17-21, 1998.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1981. p. 269.

4 CAPITULO II

TRABALHO A SER ENVIADO PARA PUBLICAÇÃO:

**Previsão de safra de arroz no estado do Rio Grande do Sul através de
modelagem numérica**

Previsão de safra de arroz no estado do Rio Grande do Sul através de modelagem numérica

Resumo - O objetivo deste trabalho foi definir uma metodologia para acompanhamento e previsão de safra de arroz irrigado para o estado do Rio Grande do Sul, utilizando como modelo de arroz o SimulArroz, acoplado ao modelo climático regional RegCM4 para geração dos dados meteorológicos diários da previsão sazonal. Foram utilizados nove membros do modelo RegCM4, com diferentes parametrizações de formação de nuvens (01, 07, 10, 13, 19, 22, 31, 34 e 37), e quatro inicializações (01, 02, 03 e 04) por mês, com dados diários de temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar. Três pontos foram utilizados para geração dos dados de temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), abrangendo os municípios de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana. As previsões foram comparadas com o acompanhamento de safra realizado com o SimulArroz, utilizando como *inputs* dados observados do INMET e com dados medidos em 3 lavouras em Restinga Seca e 2 em Itaqui. As variáveis comparadas foram emissão de folhas (Haun Stage - HS), número final de folhas, estágio de desenvolvimento (COUNCE et al., 2000) e produtividade (Mg ha^{-1}). As melhores previsões para realizar previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foram: temperatura mínima do membro 31, temperatura máxima do membro 34 e radiação solar do membro 01 (M31M34M01); temperatura mínima, máxima e radiação solar da inicialização 01 do membro 19 (M19S01) e; temperatura mínima, máxima e radiação solar da inicialização 03 do membro 01 (M01S03). A previsão sazonal gerada pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo de arroz SimulArroz possibilitou a previsão numérica de safra de arroz para o Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: SimulArroz. RegCM4. Simulação. Acompanhamento de safra.

Rice crop forecast in Rio Grande do Sul State through mathematical model

Abstract - The objective of this study was to define a methodology for monitoring a flooded rice crop forecast for the State of Rio Grande do Sul, using as a rice model the SimulArroz coupled to regional climate model RegCM4 for generation of the daily seasonal forecast. Nine members of RegCM4 model were used, with different parameterization (01, 07, 10, 13, 19, 22, 31, 34 and 37) and four boots (01, 02, 03 and 04) per month, with daily data of minimum temperature, maximum temperature and solar radiation. Three points were used for generating data of the minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$) maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$) and solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), covering the municipalities of Restinga Seca, Itaqui and Uruguaiana. The predictions were compared with SimulArroz crop monitoring with INMET observed data and data collected in three cropping areas in Restinga Seca and 2 in Itaqui. The compared variables were leaf emission (Haun Stage - HS), final leaf number, development stage (COUNCE et al., 2000) and productivity (Mg ha^{-1}). The best predicting irrigated rice crop forecast in Rio Grande do Sul were: member 31 minimum temperature, member 34 maximum temperature and a member 01 solar radiation (M31M34M01); minimum and maximum temperature and solar radiation boot 01 member 19 (M19S01) and; minimum and maximum temperature and solar radiation boot 03 member 01 (M01S03). The seasonal forecast generated by RegCM4 model coupled to SimulArroz rice model made possible the numerical prediction of rice crop in Rio Grande do Sul.

Keywords: SimulArroz. RegCM4. Simulation. Crop monitoring.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo e uma das culturas mais importantes do Brasil, sexto produtor mundial, produzindo 12,5 milhões de toneladas ano⁻¹ (SOSBAI, 2014). Os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são responsáveis por 70% da produção (CONAB, 2014), devido ao uso de sistemas de cultivo irrigado, que propiciam a planta condições para atingir elevadas produtividades.

Atualmente, o acompanhamento e previsão de safra de arroz no Brasil são realizados através de entrevistas com agricultores por técnicos e engenheiros agrônomos, obtendo resultados empíricos de produtividade esperada (MONTEIRO et al., 2013). Nos Estados Unidos, a previsão de safra de algumas culturas, como o milho e o amendoim, é realizada utilizando-se modelos matemáticos (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010). Os modelos matemáticos aplicados à agricultura são ferramentas muito utilizadas em estudos científicos e mais recentemente para previsão de safra (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010).

Para a cultura do arroz, existem modelos matemáticos de simulação do rendimento de grãos mais complexos, como o CERES-rice (SINGH et al., 1993), o ORYZA1 (KROPFF et al., 1994) e o ORYZA 2000 (BOUMAN et al., 2004), e outros mais simplificados, como o InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006). Esses modelos foram desenvolvidos para simular o desenvolvimento da cultura do arroz em ecossistemas asiáticos, e por isso não podem ser utilizados no Rio Grande do Sul. Com o objetivo de suprir essa demanda, em 2013 foi lançado o modelo SimulArroz (STRECK et al., 2013). O SimulArroz é um modelo ecofisiológico baseado em processos (*process-based model*), desenvolvido para simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. O modelo é de fácil manejo e para ser utilizado requer dados diários de temperatura mínima e máxima e radiação solar, que estão facilmente disponíveis no site do INMET (STRECK et al., 2013).

Recentemente foi implantado um sistema de previsões sazonais de precipitação e temperatura para o Rio Grande do Sul, utilizando o Modelo Climático Regional (RegCM4) (GIORGI et al., 2012), pelo Grupo de Pesquisas em Clima da UFSM. Com base neste novo cenário de previsão sazonal, o acoplamento de modelos agrícolas aos modelos climáticos é mais realístico e, conseqüentemente, uma previsão de safra pode ser mais precisa. Assim, a atual previsão do tempo (5 a 7 dias) aliada à previsão sazonal (3 meses) fornecem as bases que faltavam para realizar a previsão de safra para o estado do Rio Grande do Sul.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo definir e testar uma metodologia para acompanhamento e previsão de safra de arroz irrigado para o Rio Grande do Sul, utilizando como modelo de arroz o SimulArroz, acoplado ao modelo climático regional RegCM4 para geração dos dados meteorológicos diários da previsão sazonal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Validação do modelo SimulArroz em lavouras comerciais

Foram utilizados dados meteorológicos da estação meteorológica automática do INMET, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM, em Santa Maria, RS (29°43'S, 53°42'W, 95m), para realizar as rodadas com o modelo SimulArroz. Foram simuladas algumas rodadas utilizando dados oriundos de lavouras localizadas no município de Restinga Seca, durante o período de 2008 a 2012, submetendo o modelo a anos com ocorrência de El Niño, La Niña e Neutralidade.

Os dados de produtividade observados foram fornecidos pelo agricultor, bem como a cultivar utilizada, quantidade de fertilizante aplicado e tratos culturais realizados em cada uma das áreas. Com base nessas informações, foi definido o nível tecnológico (NT) para cada uma das lavouras, de acordo com o Projeto 10 do IRGA (MENEZES et al., 2012). O modelo foi rodado com a cultivar semeada, quando a cultivar estava calibrada no modelo, ou com o grupo de maturação, quando a cultivar não estava calibrada no modelo (Tabela 1). Os dados de produtividade observados nas lavouras e simulados pelo SimulArroz foram comparados pelas estatísticas Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) (JANSEEN; HEUBERGER, 1995), Índice BIAS (LEITE; ANDRADE, 2002):

$$RQME = [\sum(Si-Oi)^2/n]^{0,5} \quad (1)$$

$$BIAS = (\sum Si - \sum Oi) / \sum Oi \quad (2)$$

em que Si são os valores simulados, Oi são os valores observados e n é o número de observações.

Tabela 1. Data de semeadura, cultivar ou grupo de maturação e nível tecnológico utilizado nas simulações com o modelo SimulArroz, para dez lavouras no município de Restinga Seca, RS, durante o período de 2008 a 2012.

Ano/Lavoura	Data de semeadura	Cultivar/GM	Nível tecnológico
2008/09 L1	28/09	Precoce	Médio
2008/09 L2	01/10	Tardio	Médio
2008/09 L3	30/09	Tardio	Alto
2008/09 L4	22/11	IRGA 424	Baixo
2009/10 L1	07/11	IRGA 424	Médio
2010/11 L1	12/10	Tardio	Médio
2010/11 L2	26/09	Tardio	Médio
2010/11 L3	26/09	Tardio	Médio
2011/12 L1	18/10	Tardio	Baixo
2011/12 L2	29/09	Tardio	Baixo

Acompanhamento de safra em lavoura comercial

Foram conduzidos experimentos em lavouras comerciais no estado do Rio Grande do Sul, em três áreas localizadas no município de Restinga Seca, região orizícola da Depressão Central, e em duas áreas no município de Itaqui, região orizícola da Fronteira Oeste, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado (Tabela 2). O solo das lavouras localizadas em Restinga Seca é classificado como um Argissolo da Unidade de Mapeamento Santa Maria (STRECK et al., 2008), e o solo das lavouras em Itaqui é classificado como um Plintossolo Háplico (EMBRAPA, 2006). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida.

Tabela 2. Data de semeadura e emergência, cultivar ou grupo de maturação e nível tecnológico observado nas lavouras e simulado pelo SimulArroz, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado, nos municípios de Restinga Seca e Itaqui, RS.

Local	Data de semeadura	Data de emergência	Cultivar	Nível tecnológico
OBSERVADO				
Restinga Seca				
Lavoura 1	10/10/2013	19/10/2013	IRGA 427	Alto
Lavoura 2	10/10/2013	19/10/2013	IRGA 427	Médio
Lavoura 3	26/11/2013	02/12/2013	Puitá-INTA-CI	Médio
Itaqui				
Lavoura 1	26/11/2013	03/12/2013	IRGA 417	Médio
Lavoura 2	27/11/2013	03/12/2013	IRGA 417	Alto
SIMULADO				
Restinga Seca				
Lavoura 1	13/10/2013	19/10/2013	GM Médio	Alto
Lavoura 2	13/10/2013	19/10/2013	GM Médio	Médio
Lavoura 3	28/11/2013	03/12/2013	GM Precoce	Médio
Itaqui				
Lavoura 1	28/11/2013	03/12/2013	IRGA 417	Médio
Lavoura 2	28/11/2013	03/12/2013	IRGA 417	Alto

O nível tecnológico das lavouras foi definido pelo critério de expectativas de rendimento em cada lavoura. Na Lavoura 1 de Restinga Seca definiu-se a área como de alto rendimento, sendo uma área sistematizada há mais de 20 anos, com pouca variabilidade de solo e bons níveis de fertilidade (Tabela 3). A Lavoura 2 foi classificada como de médio rendimento devido a área ter sido sistematizada há menos de 10 anos e, por isso, ainda com fertilidade do solo variável, com locais de solo mais fértil e outros com horizonte B superficial. A Lavoura 3 foi classificada como de médio nível tecnológico, com boa fertilidade pois a área foi sistematizada há cerca de 20 anos, porém, de acordo com o Projeto 10 do IRGA (MENEZES et al., 2010), a semeadura não foi realizada no período preferencial para alcançar elevadas produtividades.

As Lavouras 1 e 2 localizadas no município de Itaqui foram irrigadas sob sistema de taipas em curvas de nível, o que caracterizou um sistema de menor potencial produtivo quando comparado com áreas sistematizadas. Os solos amostrados nas lavouras em Itaqui, possuíam excelentes níveis de fertilidade (Tabela 3) e clima mais favorável para atingir altas produtividades, devido a alta disponibilidade de radiação solar (WREGGE et al., 2011) e a baixa umidade do ar (menor incidência de doenças). A lavoura 1 foi definida como médio

nível tecnológico devido a alta infestação de capim arroz e arroz vermelho resistente, e a lavoura 2 foi classificada como alto nível tecnológico. As sementeiras foram realizadas sob sistema de cultivo mínimo nas Lavouras 1 e 2 em Itaqui e 1 e 2 em Restinga Seca, e sob sementeira direta na Lavoura 3 em Restinga Seca.

Tabela 3. Caracterização química dos solos nas lavouras acompanhadas durante a safra 2013/14 de arroz irrigado, nos municípios de Restinga Seca e Itaqui, RS.

Parâmetro	Rest. Seca L1	Rest. Seca L2	Rest. Seca L3	Itaqui L1	Itaqui L2
pH	5,0	4,4	4,9	5,1	5,2
Matéria Orgânica (%)	2,1	1,2	2,1	4,9	4,8
P (mg dm ⁻³)	6,8	2,2	9,3	141,0	126,0
K (mg dm ⁻³)	88,0	68,0	88,0	304,0	302,0

Variáveis de crescimento e desenvolvimento foram avaliadas nas lavouras semanalmente, em Restinga Seca, e a cada quinze dias em Itaqui. As Lavouras foram divididas em quatro quadrantes, e em cada quadrante foi coletado a Matéria Seca (MS) da parte aérea e dos compartimentos (folhas, caule e panículas), em 3 linhas de 0,6 m de comprimento, totalizando 0,3 m². As coletas foram realizadas com a utilização de uma faca serrilhada, em que as plantas foram cortadas ao nível do solo. Posteriormente as plantas foram levadas para laboratório, onde foi realizada a separação dos compartimentos, armazenagem e secagem em estufa sob ventilação forçada a 60°C, até a estabilização do peso do material. As amostras foram pesadas semanalmente até o momento em que o peso medido foi constante. Após, o material foi pesado em uma balança de precisão (0,001g) obtendo o peso da Matéria Seca (MS) de cada um dos compartimentos da planta.

Em cada dia de coleta, foi medido o Haun Stage (HS) (HAUN, 1973) em dez plantas marcadas. O HS é a contagem do número de folhas visíveis no colmo principal (NF) mais o comprimento da última folha, sem o colar formado (Cult.), dividido pela penúltima folha (Cpnult.), última com o colar formado, em cm (Equação 3).

$$HS = NF + (C_{ult}/C_{pnult}) \quad (3)$$

Também foram observadas as datas de ocorrência do R1 (através de amostragem de plantas), e do R4 e R9, que foram observados nas dez plantas marcadas, de acordo com a escala de Counce et al. (2000).

Simultaneamente a coleta de dados, foi simulado o crescimento e desenvolvimento das lavouras, com a utilização do software SimulArroz e dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para realizar o acompanhamento de safra em lavouras comerciais (Tabela 2).

Os dados diários de temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar diária, necessários para rodar o SimulArroz, foram coletados da estação meteorológica automática do INMET, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM em Santa Maria, RS (29°43'S, 53°42'W, 95m), e da estação meteorológica automática do INMET do município de Uruguaiana, RS (29° 50'S, 57° 4'W, 74m). A distância entre as lavouras de Restinga Seca e a Estação Climatológica de Santa Maria é de 50 km e entre as lavouras de Itaqui e a meteorológica automática de Uruguaiana é de 80 Km. Posteriormente, os dados simulados de Fenologia (DVS), número de folhas (HS) e matéria seca acumulada nos compartimentos foram comparadas com os dados observados.

Acompanhamento de safra regional

O acompanhamento de safra para as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul durante o ano agrícola 2013/2014 foi realizado rodando o SimulArroz com dados das estações meteorológicas automáticas do INMET. O SimulArroz foi rodado para as cidades do Rio Grande do Sul com dados das estações meteorológicas automáticas do INMET disponíveis e sem falhas (Tabelas 4 e 5), que formaram os *ensambles* por região orizícola (Figura 1). A fenologia semanal e a produtividade de arroz dos *ensambles* foram comparados com os dados de fenologia semanal e a produtividade de arroz observada pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).



Figura 1. As seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, Brasil: 1) Fronteira Oeste, 2) Campanha, 3) Depressão Central, 4) Planície Costeira Interna, 5) Planície Costeira Externa e 6) Zona Sul.

Tabela 4. Ocorrência de falhas em estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas em municípios produtores de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

Cidades		Falha horária	Falha na temperatura máxima	Falha na temperatura mínima	Estação desativada	Estação não atualizada
Alegrete		X				
Chuí		X				
Dom Pedrito		X				
Encruzilhada do Sul	Com					X
Mostardas	Falhas	X				
Rio Pardo		X	X	X		
Santana do Livramento					X	
São Borja		X	X	X		
Bagé						
Caçapava do Sul						
Camaquã						
Canguçu						
Jaguarão						
Quaraí	Sem					
Rio Grande	Falhas					
Santa Maria						
São Gabriel						
Torres						
Tramandaí						
Uruguaiana						

As rodadas foram realizadas de acordo com os dados observados pelos escritórios municipais do IRGA. Os dados acompanhados foram: evolução da semeadura, em porcentagem de área semeada sobre área prevista, estágio de desenvolvimento da cultura (vegetativo, reprodutivo, enchimento de grãos), evolução da área colhida e produtividade média. De acordo com o acompanhamento de safra do IRGA foram feitas as seguintes rodadas com o SimulArroz:

Fronteira Oeste

- Datas de semeadura: 27/09, 04/10, 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11, 06/12, 13/12, 20/12 e 27/12.

- Grupos de maturação: médio, precoce e muito precoce.

- Níveis tecnológicos: alto e médio.

- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha^{-1}).

Campanha:

- Datas de semeadura: 27/09, 04/10, 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11, 06/12, 13/12 e 20/12.

- Grupos de maturação: médio, precoce e muito precoce.

- Níveis tecnológicos: alto e médio.

- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha^{-1}).

Depressão Central

- Datas de semeadura: 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11, 06/12, 13/12 e 20/12.

- Grupos de maturação: tardio, médio e precoce.

- Níveis tecnológicos: alto e médio.

- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha^{-1}).

Planície Costeira Interna

- Datas de semeadura: 27/09, 04/10, 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11, 06/12 e 13/12.

- Grupos de maturação: tardio, médio e precoce.

- Níveis tecnológicos: alto e médio.

- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha^{-1}).

Planície Costeira Externa

- Datas de semeadura: 15/09, 27/09, 04/10, 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11 e 06/12

- Grupos de maturação: tardio, médio e precoce.

- Níveis tecnológicos: alto e médio.

- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha^{-1}).

Zona Sul

- Datas de semeadura: 15/09, 27/09, 04/10, 11/10, 18/10, 25/10, 01/11, 08/11, 15/11, 22/11, 29/11 e 06/12.
- Grupos de maturação: tardio, médio, precoce.
- Níveis tecnológicos: alto e médio.
- Variáveis usadas no monitoramento: estágio de desenvolvimento (DVS), número de folhas (HS) e produtividade (Mg ha⁻¹).

Tabela 5. Estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no acompanhamento de safra com o modelo SimulArroz para as seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.

Região Orizícola	Município
Fronteira Oeste	Quaraí, Uruguaiana
Campanha	Bagé, São Gabriel
Depressão Central	Caçapava do Sul, Santa Maria
Planície Costeira Interna	Camaquã, Canguçu
Planície Costeira Externa	Torres, Tramandaí
Zona Sul	Jaguarão, Rio Grande

Previsão de safra de arroz: estudo de caso em três municípios do Rio Grande do Sul

A previsão de safra foi realizada utilizando dados meteorológicos gerados pelo Grupo de Pesquisas em Clima da UFSM, a partir do modelo regional RegCM versão 4 (GIORGI et al., 2012). Para avaliar cada cidade, foi calculada no modelo uma área centrada na região de interesse. Cada área possui nove pontos de grade, sendo a distância entre eles de 45 Km. O modelo RegCM versão 4 utiliza as previsões climáticas sazonais elaboradas pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Coupled Forecast System model version 2 (CFSv2) como condição de fronteira, através da técnica de downscaling. Foram utilizados nove membros do modelo regional, com diferentes parametrizações de nuvem, gerando quatro inicializações de cada membro por mês, sendo uma por semana, de dados diários de temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar.

Três pontos foram utilizados para geração dos dados meteorológicos, abrangendo os municípios de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana. No município de Uruguaiana não foram

monitoradas lavouras, mas foram geradas previsões pelo modelo, pois em Itaqui não há estação meteorológica automática do INMET.

Para os três pontos foram gerados pelo modelo RegCM4 dados de temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), necessários para rodar o modelo SimulArroz. Cada membro foi comparado com os dados observados nas estações meteorológicas automáticas do INMET dos municípios de Uruguaiiana e Santa Maria. As previsões geradas pelo modelo para o município de Itaqui foram comparadas com os dados da estação de Uruguaiiana.

As previsões foram geradas semanalmente com dois meses de antecedência, para a safra 2013/14 de arroz irrigado. Por exemplo, para a previsão do mês de outubro de 2013 foram geradas quatro inicializações, com dados de temperatura mínima e máxima e radiação solar. Assim, a previsão de cada membro foi composta pela média das quatro inicializações.

As quatro inicializações de cada membro e a média das quatro inicializações (membro) foram acopladas ao modelo SimulArroz para geração da previsão de safra. As previsões de safra foram comparadas com o acompanhamento de safra, realizado utilizando o modelo SimulArroz com dados observados em estações meteorológicas automáticas do INMET e com as variáveis medidas nas lavouras comerciais. As variáveis comparadas foram emissão de folhas (Haun Stage - HS), número final de folhas (NFF), estágio de desenvolvimento de acordo com a escala de Counce et al. (2000) (DVS) e produtividade (Mg ha^{-1} a 13% de umidade). A previsão comparada com o acompanhamento de safra simulado gerou o erro da previsão, e o acompanhamento de safra simulado comparado com as variáveis observadas nas lavouras gerou o erro do modelo SimulArroz.

De acordo com a análise foram escolhidos os melhores membros para serem acoplados ao modelo SimulArroz e realizar a previsão de safra de arroz para o estado do Rio Grande do Sul.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Validação do modelo SimulArroz em lavouras

As produtividades simuladas pelo modelo SimulArroz apresentaram a mesma tendência das produtividades observadas nas lavouras comerciais (Tabela 6). O índice BIAS

apresentou valor positivo, indicando que o modelo SimulArroz superestimou a produtividade nas lavouras analisadas, mas com o índice muito próximo de zero. Quanto mais próximo de zero o valor de BIAS, maior é a precisão do modelo. O RQME foi 721,9 Mg Ha⁻¹ para o conjunto de lavouras analisado. A menor diferença entre a produtividade simulada e observada foi de 5,0 Mg Ha⁻¹ e a maior foi de 1050,0 Mg ha⁻¹. O erro do modelo para o conjunto de lavouras analisado variou entre 0% e 15%, valores que se aproximam de outros modelos mecanísticos, como o CropSyst (STÖCKLE et al., 2003), que para simular a produtividade em trigo, apresentou erros que variam de 7 a 14%.

Tabela 6. Data de semeadura, ciclo ou cultivar, nível tecnológico e produtividade observada e simulada pelo SimulArroz, em dez lavouras, nos anos 2008/09, 2009/10, 2010/11 e 2011/12, em Restinga Seca, RS.

	Semeadura	Ciclo/cultivar	NT	Simulado (Mg ha⁻¹)	Observado (Mg ha⁻¹)	Sim - Obs (Mg ha⁻¹)
2008/09 L1	28/09	Precoce	Médio	6735,0	6990,0	-255,0
2008/09 L2	01/10	Tardio	Médio	6460,0	6520,0	-60,0
2008/09 L3	30/09	Tardio	Alto	7425,0	7430,0	-5,0
2008/09 L4	22/11	IRGA 424	Baixo	4275,0	4675,0	-400,0
2009/10 L1	07/11	IRGA 424	Médio	5625,0	5000,0	625,0
2010/11 L1	12/10	Tardio	Médio	8500,0	8115,5	384,5
2010/11 L2	26/09	Tardio	Médio	8575,0	8115,5	459,5
2010/11 L3	26/09	Tardio	Médio	8575,0	8065,0	510,0
2011/12 L1	18/10	Tardio	Baixo	8165,0	7115,0	1050,0
2011/12 L2	29/09	Tardio	Baixo	8065,0	7550,0	515,0
					BIAS	0,04
					RQME	721,9

Atualmente o levantamento da produtividade das lavouras de arroz é realizado, no Rio Grande do Sul, por órgãos estaduais e privados, responsáveis pela assistência técnica e extensão rural. Com erros de até 15%, torna-se viável a utilização do modelo SimulArroz para auxiliar o corpo técnico responsável pelo acompanhamento de safra, a estimar a produtividade de lavouras comerciais com o uso do modelo. Para isso, é preciso que o técnico tenha o conhecimento da época de semeadura aproximada, da cultivar, e que defina o nível tecnológico aplicado na lavoura de acordo com a sua experiência.

Acompanhamento de safra em lavoura comercial

O ciclo (DVS igual a 2) observado na cultivar IRGA 427, nas Lavouras 1 e 2 de Restinga Seca, foi de 129 dias, e o simulado foi de 140 dias (Figura 2A). Essa diferença deve-se, em parte, à distância entre a lavoura e os dados meteorológicos utilizados para a simulação das rodadas. De acordo com a SOSBAI (2014), os limites estabelecidos para cultivares de ciclo médio variam entre 121 e 135 dias. No modelo a cultivar se comportou como uma cultivar de ciclo tardio (maior que 135 dias). Foi observado que a diferença de ciclos entre o simulado e o observado foi maior durante o período R1 e R4 (COUNCE et al, 2000), em que a duração do período simulado, 48 dias, foi 50% mais longo que o observado na lavoura 1 (32 dias) e 60% na lavoura 2 (30 dias). Acredita-se que a diferença tenha ocorrido devido às temperaturas máximas (média das máximas maior que 32°C). Durante o período R1-R4 ocorreram 17 dias com a temperatura máxima superior a temperatura crítica para a cultura, de 35°C para o estágio R4 (SOSBAI, 2014). Com isso o modelo penalizou a velocidade de desenvolvimento da planta. A duração do período Emergência-R1 simulado e observado foi igual, de 58 dias.

A duração do ciclo observado em Restinga Seca na Lavoura 3, cultivar Puitá, foi de 120 dias e o simulado pelo SimulArroz foi de 124 dias (Figura 2B). A cultivar Puitá é classificada pela SOSBAI (2014) como uma cultivar de ciclo precoce (106 a 120 dias). A duração do ciclo observado ficou no limite de 120 dias, e o valor simulado acima do limite para cultivares do ciclo precoce em 4 dias. Diferente do ocorrido nas lavouras 1 e 2, a duração do período R1 - R4 observado e simulado pelo SimulArroz na lavoura foi muito precisa, sendo a duração do observado de 33 dias e do simulado de 36 dias. Durante esse período as temperaturas máximas foram mais amenas, e a ocorrência de máximas acima de 35°C foi baixa, permitindo ao modelo simular o desenvolvimento da planta sem penalização do desenvolvimento.

Nas áreas avaliadas em Itaquí, o ciclo da cultivar IRGA 417 foi de 115 dias na lavoura 1, e o simulado foi de 123 dias (Figura 2C). Nesse caso, a distância entre a lavoura e a estação meteorológica automática é de cerca de 80 km. É possível que a influência da distância da estação sobre o erro entre o ciclo observado e o simulado seja maior para o município de Itaquí. Observou-se que o ciclo da cultivar na simulação foi superior ao limite estabelecido pela SOSBAI (2014) para cultivares de ciclo precoce (106 a 120 dias). O período Emergência-R1 foi o que apresentou maior diferença de duração entre simulado (54 dias) e observado (42 dias), com um erro de 28%. Acredita-se que a distância entre a estação

meteorológica automática e a lavoura tenha sido o principal fator a incidir sobre a diferença entre ciclo simulado e observado. Foi observada que a variação do ciclo observado e simulado entre os períodos R1-R4 foi de 10% e entre R4-R9 de 22%.

O número final de folhas observado em Restinga Seca foi de aproximadamente 13 folhas nas Lavouras 1 e 2 e o simulado foi de 16. Na Lavoura 3 o número de folhas observado e simulado foi de 15 folhas. Nas lavouras 1 e 2 de Itaqui, o número final de folhas variou entre 13 e 14, e o número de folhas simulado foi de 16 folhas (Figura 2). Verificou-se que o modelo SimulArroz é mais sensível a variação térmica do que o que foi verificado nas lavouras. Acredita-se que o microclima existente em ambientes de terras baixas diminua a amplitude térmica incidente sobre a planta, o que não ocorre nas estações meteorológicas automáticas do INMET, que geralmente são instaladas em áreas altas, para impedir a influência de microclimas e ser representativa de uma área maior (INMET, 2014). Como a velocidade da emissão de folhas é ditada pela temperatura do ar, no modelo SimulArroz a emissão de folhas é mais rápida do que o verificado nas lavouras.

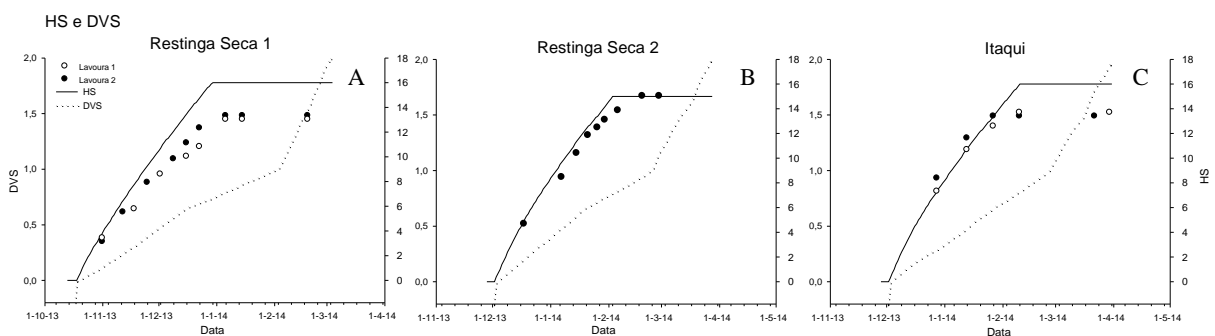


Figura 2. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) (COUNCE et al., 2000) observado e simulado pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas no município de Itaqui, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.

Em Restinga Seca, a massa seca (MS) total de plantas observado na lavoura 1 foi de 1900 g m^{-2} e o simulado de 1470 g m^{-2} , e na lavoura 2, o observado foi de 1360 g m^{-2} e o simulado de 1240 g m^{-2} (Figura 3A). A MS simulada foi menor que a observada nas duas lavouras, 430 g m^{-2} na lavoura 1 e 120 g m^{-2} na lavoura 2. A Figura 3A mostra que, durante o período avaliado, desde a primeira até a última coleta, o modelo subestimou a biomassa acumulada total. Acredita-se que o motivo da subestimativa tenha sido a Eficiência de Uso da Radiação (EUR) do modelo SimulArroz, que é de $2,39 \text{ g MJ}^{-1}$ (KINIRY et al., 2001). As novas cultivares de arroz, através de melhoramento genético, possivelmente aumentaram a

EUR. Apesar de subestimar o acúmulo de massa seca, o aumento da MS ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta foi semelhante entre o observado e o simulado. O coeficiente angular do acúmulo da MS observada na lavoura 1 foi de 18,4 e na lavoura 2 de 11,2, enquanto que o coeficiente angular gerado pelo acúmulo da MS simulada pelo modelo SimulArroz foi de 14,5, sendo representativo para as duas lavouras.

A curva de acúmulo de massa seca de folhas observada nas lavouras 1 e 2 de Restinga Seca e simulado pelo SimulArroz foi semelhante (Figura 3D). A maior massa de folhas observada ocorreu no dia 06 de janeiro de 2014, 330 g m^{-2} na lavoura 1 e 296 g m^{-2} lavoura 2, enquanto que no simulado a maior massa de folhas ocorreu apenas no dia 02 de janeiro de 2014, 339 g m^{-2} para a lavoura 1 e 265 g m^{-2} para a lavoura 2. Até próximo ao R1, a MS de folhas aumenta devido a emissão de folhas e de perfilhos. Após o R1 a MS de folhas começa a decrescer devido ao abortamento de perfilhos e a senescência das folhas mais velhas (YOSHIDA, 1981). Para a MS de folhas o modelo foi muito preciso, pois apresentou a curva de MS de folhas com a mesma forma de distribuição da curva gerada pelos dados observados, porém com baixa acurácia, pois a curva observada e simulada não ficaram sobrepostas (Figura 3D).

As curvas de MS de colmos observado e simulado apresentaram acúmulo de massa aumentando exponencialmente até o momento da extrusão da panícula (R3) e do florescimento (R4), com um pequeno decréscimo na MS acumulada após esse momento. Na lavoura 1 a maior MS de colmos ocorreu no dia 20 de janeiro, e na lavoura 2 no dia 03 de fevereiro, enquanto que a maior MS de colmos simulado ocorreu no dia 08 de fevereiro. A diferença entre MS observado e simulado na lavoura 1 foi de 228 g m^{-2} (32% menor que o observado), e entre observado e simulado na lavoura 2 foi de 419 g m^{-2} (51% menor que o observado), sendo que para MS de colmos o modelo subestima a MS observada. Para MS de colmos, o simulado pelo SimulArroz não foi preciso e não foi acurado.

A MS de panículas observada na lavoura 1 foi de 1057 g m^{-2} e o simulado foi de 896 g m^{-2} e na lavoura 2, o observado foi de 830 g m^{-2} e o simulado de 775 g m^{-2} . Nesse caso a diferença entre observado e simulado foi baixa, e pode ser menor, pois as coletas de MS de panículas foram realizadas contabilizando a ráquis da panícula junto com a MS de grãos, enquanto que no modelo SimulArroz a ráquis é considerada parte do colmo da planta. O início do acúmulo de MS de grãos observado ocorreu antes do simulado pelo SimulArroz. Isso foi devido ao critério de coleta de MS, a partir da extrusão da panícula (R3), enquanto que no modelo a MS de grãos passa a ser somada apenas a partir do florescimento (R4). O modelo SimulArroz apresentou boa precisão e acurácia para produção de MS de grãos.

A MS de folhas observada e simulada na lavoura 3 de Restinga Seca não apresentou a mesma tendência verificada nas lavouras 1 e 2, sendo que o acúmulo de MS simulado foi mais rápido do que no observado. A MS total, de colmos e panículas da lavoura 3 e a MS total, de folhas, colmos e panículas das lavouras 1 e 2 de Itaqui apresentaram a mesma tendência verificada nas lavouras 1 e 2 de Restinga Seca (Figura 3).

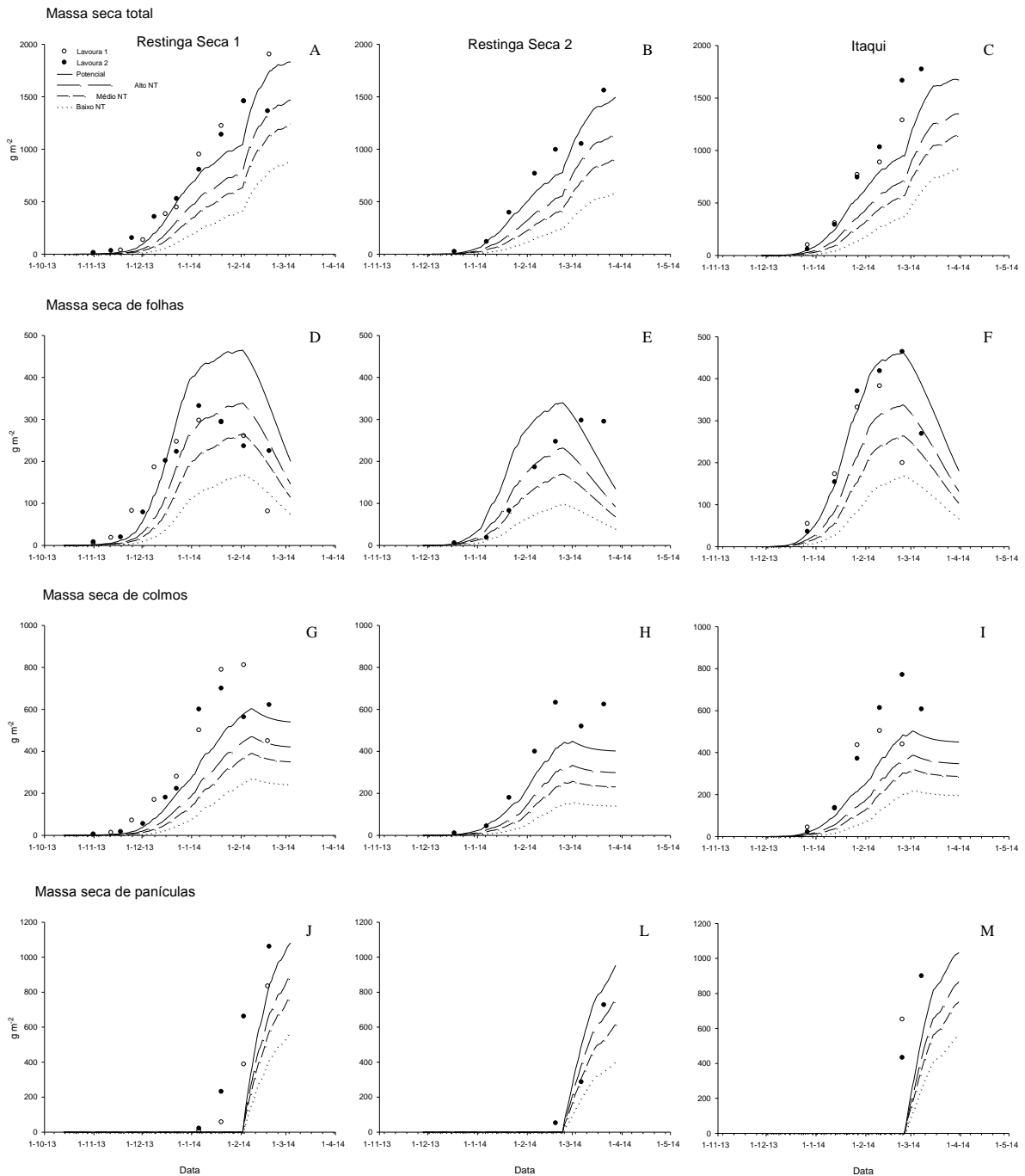


Figura 3. Massa seca total, de folhas, colmos e panícula observado e simulado pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas no município de Itaqui, durante a safra 2013/14.

A produtividade de grãos simulada pelo SimulArroz subestimou as produtividades observadas em quatro das cinco lavouras acompanhadas (Figura 4). Em Restinga Seca, a produtividade da lavoura 1 (L1) foi de 10187 Mg ha⁻¹ e a produtividade simulada foi de 8188 Mg ha⁻¹. Na lavoura 2 (L2), a produtividade observada foi de 9717 Mg ha⁻¹ e a produtividade simulada foi de 7121 Mg ha⁻¹, e na lavoura 3 (L3) a produtividade observada foi de 8508 Mg ha⁻¹ e a produtividade simulada foi de 6770 Mg ha⁻¹. Em Itaquí, as produtividades observadas foram de 6897 Mg ha⁻¹ e 10271 Mg ha⁻¹ para a lavoura 1 e 2, respectivamente, e as produtividades simuladas foram de 8256 Mg ha⁻¹ e 9496 Mg ha⁻¹.

Na validação do SimulArroz para acompanhamento de safra em lavouras, foi verificado que a diferença média entre a produtividade observada e simulada foi de aproximadamente 500 Mg ha⁻¹, diferença menor do que a verificada no acompanhamento das lavouras em 2013/14, que foi de 1500 Mg ha⁻¹. Acredita-se que o método como foi estimado a produtividade nas lavouras, através de coleta de 15 panículas, tenha influenciado nos valores observados. Ao coletar-se 15 panículas inconscientemente coleta-se as panículas que estão na parte superior do dossel que, em geral, são panículas maiores, com maior número de grãos. Enquanto isso, na contagem do número de panículas por m² são contabilizadas as panículas da parte superior do dossel e as panículas que estão mais abaixo, e que apresentam tamanho menor e menor número de grãos. Além disso, na produtividade observada pelo agricultor é considerada a perda na colheita, transporte e o desconto da indústria sobre a impureza dos grãos. A produtividade média obtida pela estimativa das três lavouras de Restinga Seca foi de 9470 Mg ha⁻¹, enquanto que a produtividade colhida pelo produtor foi de 6775 Mg ha⁻¹. Na comparação entre o colhido e o estimado é possível verificar que a estimativa superestimou a colheita em cerca de 25 %.

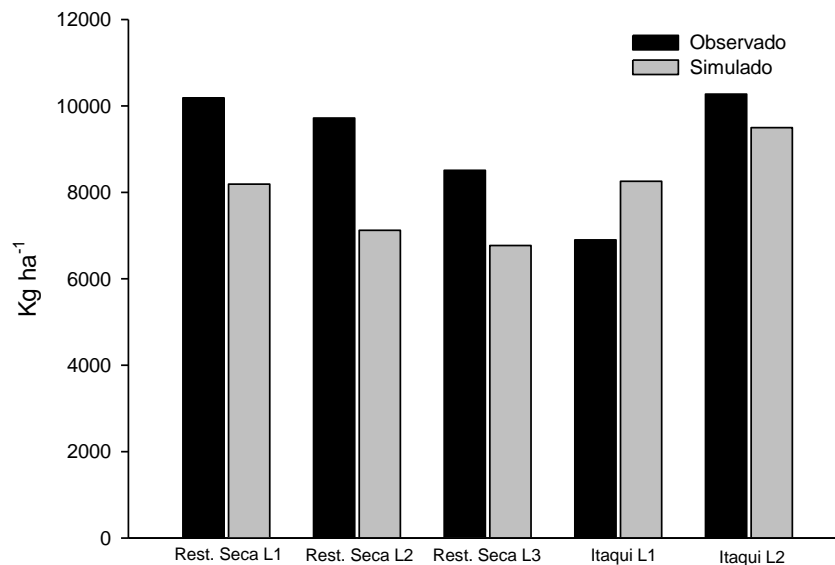


Figura 4. Produtividade de grãos observada e simulada pelo SimulArroz, em três lavouras no município de Restinga Seca e em duas lavouras município de Itaquí, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.

Acompanhamento de safra regional

Na região da Campanha (Figura 1) o início da semeadura para a safra de arroz 2013/14, levantado pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), ocorreu na última semana do mês de setembro até próximo ao dia 20 de dezembro de 2013, quando atingiu 100% da área de arroz semeada (Figura 5). A emergência observada pelo IRGA iniciou por volta do dia 20 de outubro até dia 25 de dezembro, e a emergência simulada pelo SimulArroz iniciou em 05 de outubro, 15 dias mais cedo que o observado, ocorrendo até o dia 25 de dezembro, como no observado. A ocorrência do ponto de algodão (Figura 6), R1 da escala de Counce et al. (2000), iniciou, utilizando o método de graus-dia para estimar a data e ocorrência do R1 (STEINMETZ et al.,2010), na semana do dia 17 de novembro, perdurando até o dia 21 de janeiro de 2014, enquanto que a ocorrência do R1 simulado pelo SimulArroz iniciou em 10 de dezembro de 2013 até 05 de fevereiro de 2014. A colheita iniciou em 15 de janeiro de acordo com o levantamento do IRGA, e o simulado iniciou em 01 de fevereiro, com duração do observado até o dia 10 de abril e do simulado até o dia 05 de abril. O número final de folhas simulado variou de 13 a 17 folhas.

Na Depressão Central (DC) o início da semeadura observado pelo IRGA ocorreu na penúltima semana de setembro, uma semana antes do observado na região da Campanha, com duração até 20 de dezembro (Figura 5). A emergência iniciou por volta do dia 30 de setembro, perdurando até o dia 04 de janeiro de 2014, e a emergência simulada pelo SimulArroz iniciou em 30 de setembro, com duração até o dia 25 de dezembro, 10 dias antes do observado. O R1 simulado pelo método dos graus-dia (STEINMETZ et al.,2010), ocorreu de 20 de novembro 2013 até 20 de fevereiro de 2014, enquanto que a ocorrência do período R1 simulado pelo SimulArroz foi de 15 de dezembro de 2013 a 15 de fevereiro de 2014. A diferença foi de 30 dias entre o método de graus-dias e o simulado pelo SimulArroz. A colheita iniciou, de acordo com o IRGA, em 15 de dezembro, e no simulado em 30 de fevereiro, com duração do observado até o dia 20 de março e do simulado até o dia 20 de abril. O número de folhas simulado variou de 14 a 18 folhas.

Na Fronteira Oeste (FO) não houve registro de acompanhamento de safra pelo IRGA, portanto foram utilizados apenas os dados simulados pelo SimulArroz. O início da semeadura ocorreu na penúltima semana do mês de setembro perdurando até 30 de dezembro (Figura 5). A emergência iniciou no dia 28 de setembro e ocorreu até o dia 01 de janeiro de 2014. O R1 simulado pelo método dos graus-dia (STEINMETZ et al.,2010), ocorreu de 05 de novembro 2013 até 04 de fevereiro de 2014, enquanto que o R1 simulado pelo SimulArroz iniciou dia 01 de dezembro, ocorrendo até o dia 20 de fevereiro, 10 dias de diferença entre os resultados simulados. A colheita ocorreu durante um mes e meio, de dia 20 de fevereiro a 05 de abril. O número de folhas simulado variou de 14 a 18 folhas.

Na Planície Costeira Externa (PCE) o início da semeadura observado pelo IRGA ocorreu na semana do dia 15 de setembro até 10 de dezembro (Figura 5). A emergência ocorreu do dia 19 de outubro a 15 de dezembro, e a emergência simulada pelo SimulArroz iniciou em 30 de setembro, com duração até o dia 15 de dezembro. O R1 simulado pelo método dos graus-dia (STEINMETZ et al.,2010), iniciou dia 08 de novembro, ocorrendo até o dia 06 de fevereiro de 2014, enquanto que o simulado pelo SimulArroz foi de 08 de dezembro de 2013 a 30 de janeiro de 2014. A colheita observada iniciou em 17 de janeiro, enquanto que o simulado iniciou em 27 de janeiro, com duração do observado até o dia 20 de março e do simulado até o dia 25 de março. O número de folhas simulado variou de 14 a 19 folhas.

Na Planície Costeira Interna (PCI) o início da semeadura observado pelo IRGA ocorreu na semana do dia 30 de setembro, com duração até 15 de dezembro. A emergência ocorreu do dia 19 de outubro a 03 de janeiro, e a emergência simulada pelo SimulArroz iniciou em 8 de outubro, com duração até o dia 15 de dezembro. O R1 simulado pelo método

dos graus-dia (STEINMETZ et al.,2010), iniciou dia 10 de novembro, ocorrendo até o dia 06 de fevereiro de 2014, enquanto que a duração do período R1 simulado pelo SimulArroz foi de 14 de dezembro de 2013 a 03 de fevereiro de 2014. A colheita iniciou em 28 de dezembro de 2013, enquanto que o simulado iniciou em 24 de fevereiro de 2014, com duração do observado até o dia 20 de março e do simulado até o dia 5 de abril. O número de folhas simulado variou de 14 a 18 folhas.

Na Zona Sul (ZS) o início da semeadura ocorreu na semana do dia 16 de setembro, com duração até 08 de dezembro. A emergência ocorreu do dia 12 de outubro a 27 de dezembro, e a emergência simulada pelo SimulArroz iniciou em 30 de setembro, com duração até o dia 15 de dezembro. O R1 simulado pelo método dos graus-dia (STEINMETZ et al.,2010), iniciou dia 12 de novembro, ocorrendo até o dia 12 de fevereiro de 2014, e no simulado pelo SimulArroz foi de 10 de dezembro de 2013 a 27 de janeiro de 2014. A colheita iniciou em 21 de dezembro, enquanto que o simulado iniciou em 14 de fevereiro, com duração do observado até o dia 20 de março e do simulado até o dia 27 de março. O número de folhas simulado variou de 14 a 19 folhas.

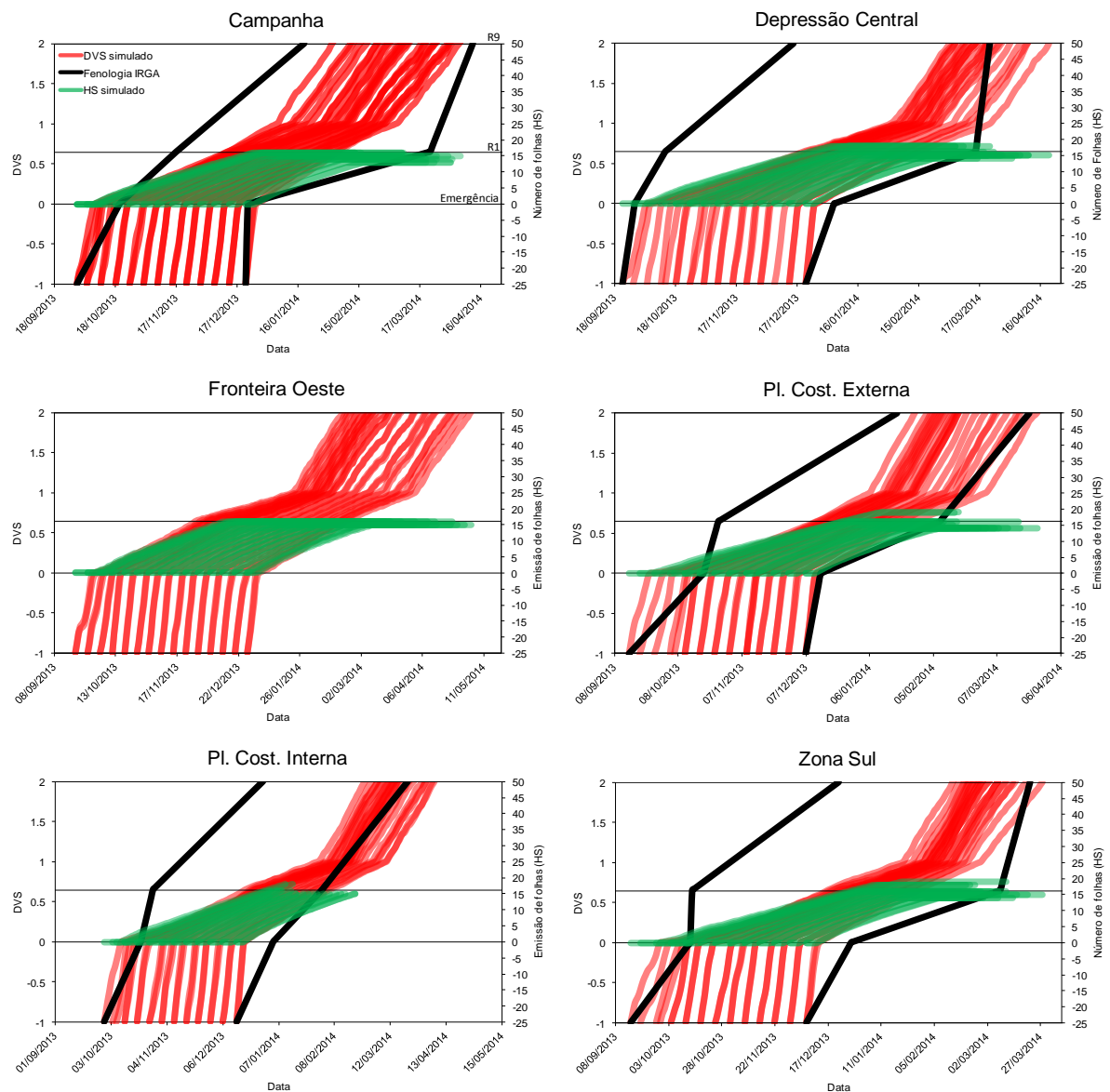


Figura 5. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) (COUNCE et al., 2000) observado pelo IRGA e simulado pelo modelo SimulArroz em seis regiões orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14.

Os resultados mostraram que a duração dos estádios simulada pelo modelo SimulArroz é, em geral, menor que a duração dos estádios observados pelo IRGA. A comparação da duração do período R1 simulado pelo método dos graus-dia e pelo modelo SimulArroz (Figura 6) apresentou-se menor quando simulado com o modelo SimulArroz, como pode-se observar na figura 6, em que os pontos se localizam abaixo da linha 1:1 em cinco das seis regiões.

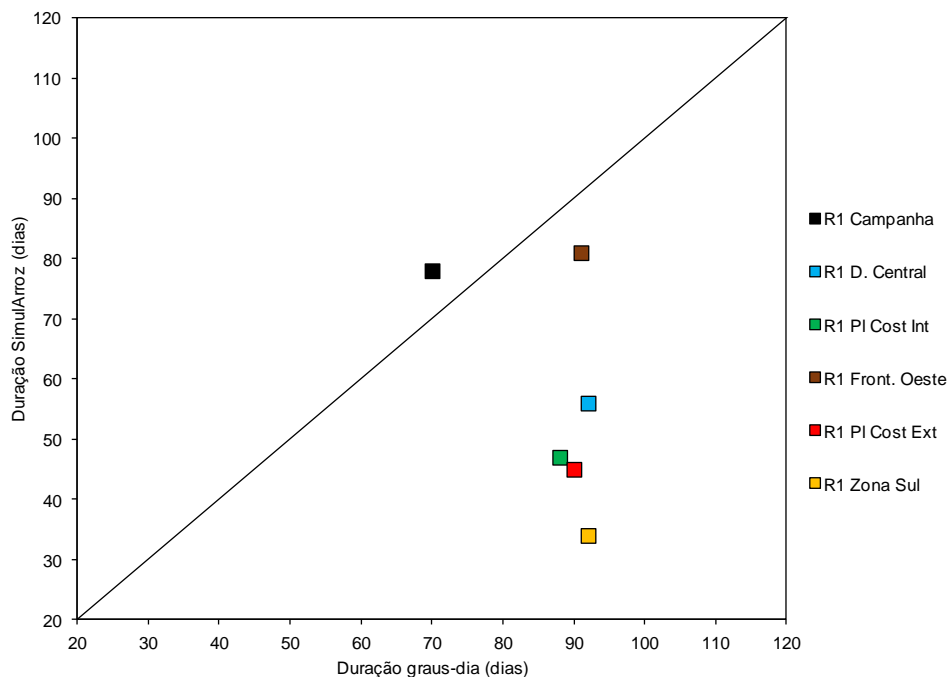


Figura 6. Relação entre a duração do R1 (COUNCE et al.,2000) simulado pelo método dos graus-dia e simulada pelo modelo SimulArroz, em seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.

A produtividade simulada na safra 2013/14 foi menor que a observada em quatro regiões e maior em duas regiões orizícolas (Figura 7). Na região da Campanha a produtividade média observada pelo IRGA foi de 7979 Mg ha^{-1} e a simulada pelo SimulArroz foi de 7466 Mg ha^{-1} . Na Fronteira Oeste a produtividade simulada foi 1443 Mg ha^{-1} maior que a observada (7278 Mg ha^{-1}), pois durante o período de semeadura fortes chuvas ocorreram na região, prejudicando o desenvolvimento inicial da cultura. Na Depressão Central a produtividade observada foi de 7529 Mg ha^{-1} e a simulada de 7742 Mg ha^{-1} , na PCI a produtividade observada foi de 7764 Mg ha^{-1} e simulada foi de 6780 Mg ha^{-1} . Na PCE a produtividade observada foi de 7150 Mg ha^{-1} e simulada foi de 6766 Mg ha^{-1} e na ZS a produtividade média observada foi de 8089 Mg ha^{-1} e a simulada foi de 7203 Mg ha^{-1} .

A produtividade média observada no estado foi de 7631 Mg ha^{-1} e a média simulada pelo SimulArroz foi de 7446 Mg ha^{-1} , 184 Mg ha^{-1} menor que o observado. A menor diferença entre produtividade simulada e observada ocorreu na DC (213 Mg ha^{-1}), e a maior na FO (1443 Mg ha^{-1}), devido à ocorrência de chuvas durante o período preferencial para semeadura, o que diminuiu a produtividade média da região. O modelo apresentou-se sensível

às variações climáticas entre as regiões do RS, e com potencial para ser utilizado no acompanhamento de safra nas seis regiões orizícolas do estado.

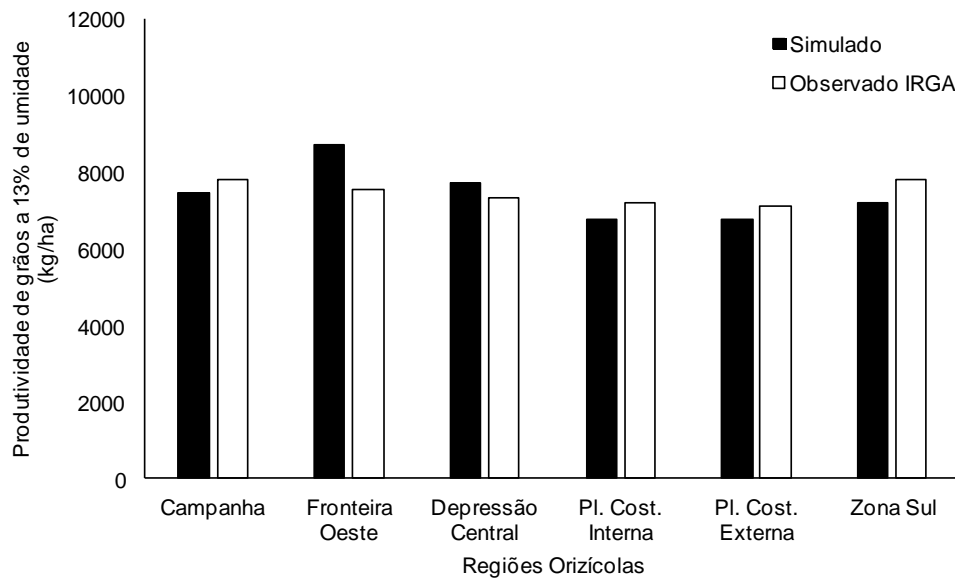


Figura 7. Produtividade de grãos observada e simulada pelo SimulArroz, em seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, durante a safra 2013/14 de arroz irrigado.

Previsão de safra de arroz: estudo de caso em três municípios do Rio Grande do Sul

Os valores de temperatura mínima (T_{min}) observada nas estações meteorológicas automáticas do INMET e prevista nos nove membros gerados pelo modelo RegCM4 na inicialização 01, seguiram a tendência da linha 1:1, dentro dos limites de 10°C acima ou abaixo da linha 1:1, em 95% dos dados (Figura 8). A inicialização 01 gerou dados previstos de T_{min} bem distribuídos, com aproximadamente 50% dos dados abaixo e 50% acima da linha 1:1. Os valores previstos de temperatura máxima (T_{max}) na inicialização 01 seguiram a tendência da linha 1:1, porém com 60% dos dados gerados acima da linha 1:1. A radiação solar (Rad Sol) não seguiu a linha de tendência 1:1 para os membros previstos na inicialização 01. Foi possível observar que o maior adensamento de dados sobre a linha 1:1 é entre os 15 e $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com distribuição aproximada de 50% dos dados acima e 50% abaixo da linha 1:1.

Os dados de T_{min} gerados na inicialização 02 ficaram distribuídos 40% acima da linha 1:1 e 60% abaixo dessa linha. Ocorreram muitas temperaturas previstas próximas a 0°C

enquanto que os valores observados foram de aproximadamente 10°C, mostrando que essa inicialização apresentou tendência de temperaturas mínimas mais baixas que a inicialização 01. A Tmax prevista na inicialização 02 apresentou distribuição de 50% acima e 50% abaixo da linha 1:1, com temperaturas máximas menores que as geradas na inicialização 01. A Rad Sol, como na inicialização 01, não seguiu a linha de tendência 1:1 para os membros previstos na inicialização 02, com distribuição aproximada de 50% dos dados acima e 50% abaixo da linha 1:1 (Figura 8).

Na inicialização 03, os dados gerados de Tmin ficaram distribuídos 50% acima da linha 1:1 e 50% abaixo da linha 1:1. A Tmax prevista também apresentou distribuição de 50% acima e 50% abaixo da linha 1:1, com alguns valores de temperatura máxima observada maiores que os previstos. A Rad Sol não seguiu a linha de tendência 1:1 para os membros previstos na inicialização 03, com distribuição aproximada de 50% dos dados acima e 50% abaixo da linha 1:1.

Na inicialização 04 não foram previstos dados de Tmin menores que 5°C, e a distribuição dos dados foram de 55% acima da linha 1:1 e 45% abaixo, indicando que essa foi uma inicialização com temperatura média maior que as outras. A Tmax prevista pela inicialização 04 também apresentou maior distribuição acima da linha 1:1 (55% aproximadamente), e a Rad Sol não seguiu a linha de tendência 1:1, apresentando distribuição de 50% dos dados acima e 50% abaixo da linha 1:1.

Os membros previstos na inicialização 02 apresentaram temperaturas mais baixas que as observadas nas estações meteorológicas automáticas do INMET, enquanto que a previsão gerada na inicialização 04 apresentou temperaturas mais altas que as observadas. As inicializações 01 e 03 previram temperaturas mais próximas às observadas nas estações meteorológicas automáticas, gerando uma previsão de melhor qualidade. A radiação solar foi a variável com qualidade de previsão mais baixa, pois não seguiu a tendência da linha 1:1, e gerou previsões que divergiram entre previsto e observado em até 30 MJ m⁻² dia⁻¹.

Com a média das quatro inicializações os dados de Tmin previstos apresentaram divisão de 50% acima e abaixo da linha 1:1, com menor amplitude térmica nos dados simulados (de 7 a 27 °C) do que nos dados observados (2 a 29°C) (Figura 8). A Tmax da média das inicializações previstas gerou 55% dos dados acima da linha 1:1, com amplitude térmica menor que a observada (5°C menor). A radiação solar não seguiu a linha de tendência 1:1. Os valores de radiação solar previstos não baixaram de 5 MJ m⁻² dia⁻¹, enquanto que no observado foi verificada a ocorrência de valores de 2 MJ m⁻² dia⁻¹.

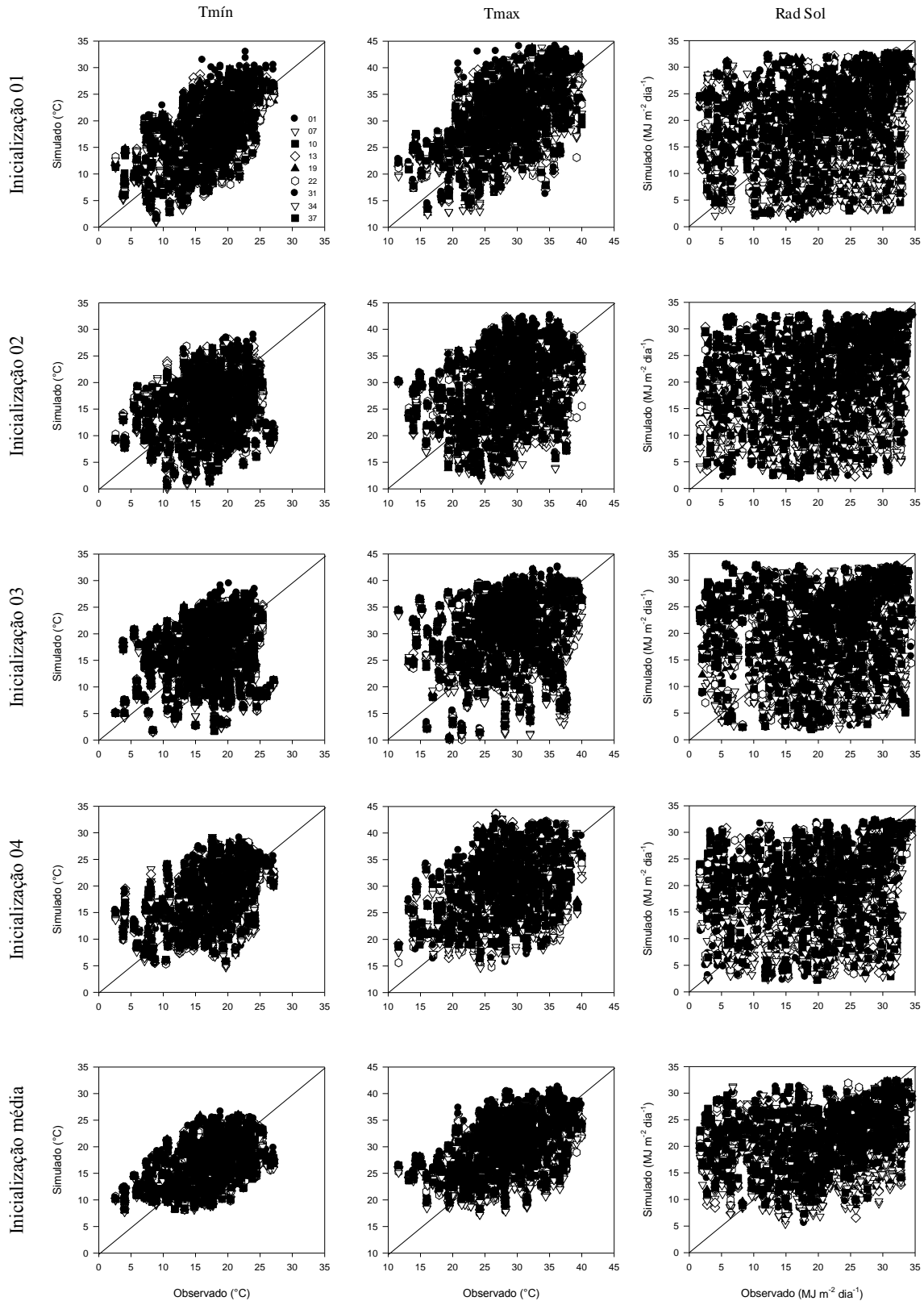


Figura 8. Temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar observada e simulada em quatro inicializações pelo modelo RegCM4 para os municípios de Restinga Seca, Itaqui e Uruguiana, de 01/09/2013 a 30/04/2014.

Os dados de temperatura mínima, máxima e radiação solar gerados pelos nove membros na inicialização 01, 02 e 03 foram utilizados como inputs do modelo SimulArroz para gerar a previsão de safra (Figura 9). A previsão gerada na inicialização 04 não foi utilizada acoplado ao modelo SimulArroz pois não houveram saídas de dados para os meses de outubro e dezembro.

Para a previsão gerada na inicialização 01 acoplada ao SimulArroz, para as lavouras 1 e 2 de Restinga Seca (Figura 9A), a emissão de folhas (HS) foi semelhante para os nove membros e o número final de folhas (NFF) variou de 17 a 18 folhas. O estágio de desenvolvimento (DVS) previsto pelos membros foi semelhante para Emergência e R1. Houve maior diferença entre os membros para o estágio R9, em que o membro 34 foi o mais precoce e o membro 31 foi o mais tardio. Na inicialização 02 (Figura 9B) o HS foi semelhante entre os membros, e o número de folhas variou entre 17 e 19 folhas. O DVS gerado pelo acoplamento da inicialização 02 ao modelo SimulArroz previu para os membros 07, 10, 13, 19 e 37, morte de plantas por geada, que ocorre no modelo SimulArroz quando há ocorrência de quatro dias consecutivos com temperatura média do ar inferior a 12°C (BOUMAN et al., 2004). Os membros 01, 22, 31 e 34 atingiram o R9, sendo o membro 34 o mais precoce e o 31 o mais tardio. A inicialização 03 acoplada ao SimulArroz (Figura 9C) gerou previsão semelhante a obtida com a inicialização 01, com NFF variando entre 17 e 18 folhas. O DVS entre os membros foi semelhante, exceto para o membro 34, que previu o ciclo mais curto.

Para a lavoura 3 de Restinga Seca, as inicializações 01, 02 e 03 + SimulArroz previram HS semelhante entre os membros de cada inicialização e NFF de 16 e 17 folhas (Figura 9D, E, F). O DVS gerado na inicialização 01 apresentou R9 mais precoce no membro 34 e mais tardio no membro 31. Com a previsão da inicialização 02 ocorreu morte das plantas por geada nos nove membros. A inicialização 03 gerou previsão semelhante a inicialização 01.

A previsão gerada na inicialização 01 para as lavouras 1 e 2 de Itaqui (Figura 9G), apresentou emissão de folhas (HS) semelhante entre oito membros e mais lenta para o membro 31. O NFF variou de 16 a 18 folhas. O DVS previsto pelos membros foi semelhante entre eles para Emergência, diferente para R1, que foi mais precoce na rodada 34 e mais tardio na rodada 31, e diferente para R9, que no membro 34 foi mais precoce. Na inicialização 02 (Figura 9H) o HS não diferiu entre os membros, e o número de folhas variou de 16 a 18 folhas. O DVS gerado pelo acoplamento da inicialização 02 ao modelo SimulArroz previu para os membros 07, 19, 22, 31 e 37 morte de plantas por geada, para os membros 01, 10 e 13 o desenvolvimento foi muito lento e não atingiu o R9 até 30 de abril, e o membro 34 atingiu o

R9. O NFF gerado pela inicialização 03 (Figura 9I) foi de 16 e 17 folhas. O HS foi semelhante entre os nove membros. A tendência de evolução do DVS gerado pela inicialização 03 foi semelhante à gerada pela inicialização 01.

A inicialização 01 para as lavouras 1 e 2 de Uruguaiana (Figura 9J), previu que o HS foi semelhante para oito membros e mais lento para o membro 31, assim como verificado para Itaquí. O NFF variou de 16 a 18 folhas. O DVS previsto foi semelhante entre os membros para Emergência, diferente para R1, que foi mais precoce na rodada 34 e mais tardio na rodada 31, e diferente para R9, em que o membro 34 foi mais precoce. Na inicialização 02 (Figura 9L) o HS não diferiu entre os membros, e o NFF variou entre 16 e 17 folhas. O DVS gerado pelo acoplamento da inicialização 02 ao modelo SimulArroz previu para os membros 01, 07, 10, 19, 34 e 37 morte de plantas por geada, e para os membros 13, 22 e 31, que o desenvolvimento da planta foi lento e que não foi atingido o R9 até o dia 30 de abril. Na inicialização 03 (Figura 9M) o HS foi semelhante entre os membros, e o número de folhas variou de 16 a 17 folhas. O DVS gerado foi semelhante entre os membros, exceto para o membro 34 que foi mais precoce que os demais.

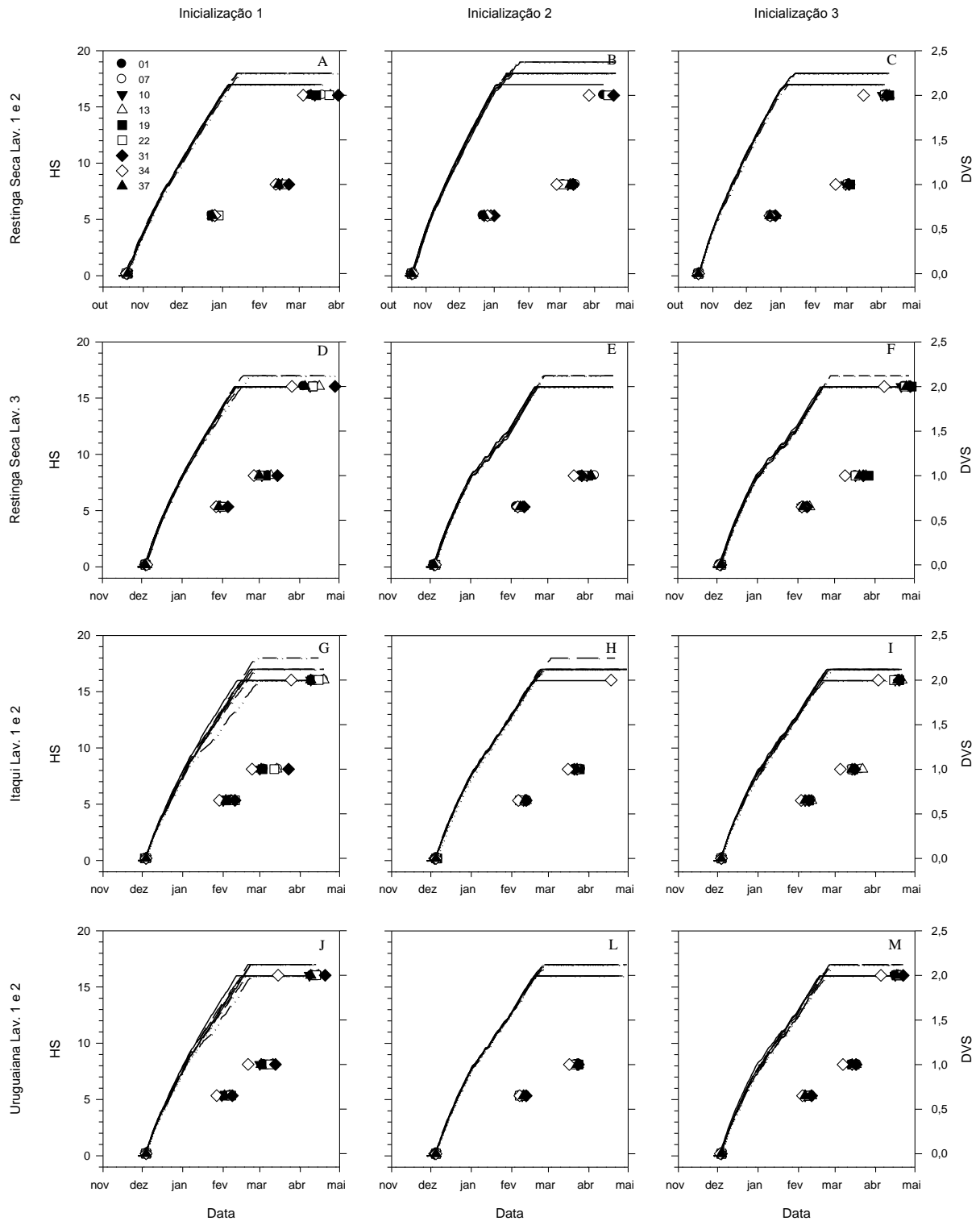


Figura 9. Haun Stage (HS) e estágio de desenvolvimento (DVS) prevista pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo SimulArroz, gerado em três inicializações, para nove membros, nos municípios de Restinga Seca, Itaqui e Uruguaiana, para o ano agrícola 2013/14 de arroz irrigado.

A previsão de produtividade gerada na inicialização 01 (Figura 10A), para a lavoura 1 de Restinga Seca, foi de 8146 Mg ha⁻¹ pelo membro 01, 9652 Mg ha⁻¹ pelo membro 07, 8759 Mg ha⁻¹ pelo membro 10, 10259 Mg ha⁻¹ pelo membro 13, 10350 Mg ha⁻¹ pelo membro 19, 6838 Mg ha⁻¹ pelo membro 22, 9732 Mg ha⁻¹ pelo membro 31, 5004 Mg ha⁻¹ pelo membro 34 e 7735 Mg ha⁻¹ pelo membro 37. A produtividade simulada com os dados do INMET foi de 8187 Mg ha⁻¹, e o observado foi de 10187 Mg ha⁻¹. Os melhores membros para simular a produtividade foram o 13, 19, 31 e 07. O pior membro foi o 34 devido a esterilidade de espiguetas por frio. Para a inicialização 02 (Figura 10B) os melhores membros simulados foram o 22 (9943 Mg ha⁻¹) e o 01 (9503 Mg ha⁻¹). Nos membros 07, 10, 13, 19 e 37 ocorreu morte das plantas por geada e, portanto, não houve previsão de produtividade. Para a inicialização 03 (Figura 10C) as melhores previsões foram geradas pelos membros 01, 31, 13 e 19.

Para a lavoura 2 de Restinga Seca, na inicialização 01 (Figura 10D) as melhores previsões foram geradas pelos membros 13 (9292 Mg ha⁻¹), 19 (9153 Mg ha⁻¹) e 31 (9008 Mg ha⁻¹), para o observado de 9717 Mg ha⁻¹. Na inicialização 02 (Figura 10E) as melhores previsões foram geradas pelos membros 22 (8852 Mg ha⁻¹) e 01 (8635 Mg ha⁻¹). Os membros 01, 10, 13 e 19 não produziram grãos na previsão, pois ocorreu morte da planta por geada. Na inicialização 03 (Figura 10F) a melhor previsão foi gerada pelo membro 01 (8649 Mg ha⁻¹). Para os demais membros a diferença entre a previsão e o observado foi maior que 1500 Mg ha⁻¹.

Na lavoura 3 de Restinga Seca, inicialização 01 (Figura 10G), as melhores previsões foram geradas pelos membros 19 (8630 Mg ha⁻¹), 31 (8369 Mg ha⁻¹), 37 (8228 Mg ha⁻¹) e 10 (8814 Mg ha⁻¹), para o observado de 9508 Mg ha⁻¹. Na inicialização 02 (Figura 10H) a previsão gerada pelos nove membros resultou na morte das plantas por geada e, portanto, não há previsão de produtividade na inicialização 02. Na inicialização 03 (Figura 10I) a melhor previsão foi gerada pelos membros 01 (8056 Mg ha⁻¹) e 37 (7657 Mg ha⁻¹).

Para a lavoura 1 de Itaqui, na inicialização 01 (Figura 10J), as melhores previsões foram geradas pelos membros 31 (6956 Mg ha⁻¹), 22 (7079 Mg ha⁻¹) e 01 (7351 Mg ha⁻¹), e para a inicialização 01 de Uruguaiana (Figura 10N), as melhores previsões foram geradas pelos membros 01 (6947 Mg ha⁻¹), 22 (7296 Mg ha⁻¹), 37 (7362 Mg ha⁻¹) e 31 (7393 Mg ha⁻¹). A produtividade observada para a lavoura 1 de Itaqui (mesma utilizada para Uruguaiana) foi de 6897 Mg ha⁻¹. Na inicialização 02 (Figura 10L) a melhor previsão para Itaqui foi gerada pelo membro 10 (6291 Mg ha⁻¹) e para Uruguaiana (Figura 10O) pelo membro 22 (6282 Mg ha⁻¹). Tanto o membro 10 de Itaqui como o membro 22 de Uruguaiana, não atingiram R9 até o

dia 30 de abril. Nos membros 07, 19, 22, 31 e 37 de Itaqui, e 01, 07, 10, 19, 34 e 37 de Uruguaiana, foi verificada a ocorrência de morte das plantas por geada. Na inicialização 03 (Figura 10M) as melhores previsões para Itaqui foram geradas pelos membros 31 (7164 Mg ha⁻¹), 13 (6606 Mg ha⁻¹), 22 (7289 Mg ha⁻¹) e 07 (6399 Mg ha⁻¹), e para Uruguaiana pelos membros 07 (7242 Mg ha⁻¹) e 13 (7360 Mg ha⁻¹).

Na inicialização 01, a melhor previsão para a lavoura 2 de Itaqui e Uruguaiana (Figura 10Q, T), foi gerada pelo membro 19 (9571 Mg ha⁻¹ 9870 Mg ha⁻¹, respectivamente), para a observada de 10271 Mg ha⁻¹. Na inicialização 02 (Figura 10R) a melhor previsão para Itaqui foi gerada pelo membro 10 (7257 Mg ha⁻¹). Para Uruguaiana (Figura 10U) a melhor previsão foi gerada pelo membro 22 (7260 Mg ha⁻¹). Tanto para o membro 10 de Itaqui quanto para o membro 22 de Uruguaiana, a velocidade de desenvolvimento prevista foi muito lenta, e as plantas não atingiram o R9 até o dia 30 de abril e, por isso, as produtividades foram baixas. Nos membros 07, 19, 22, 31 e 37 de Itaqui, e 01, 07, 10, 19, 34 e 37 de Uruguaiana, foi verificada a ocorrência de morte das plantas por geada. Na inicialização 03 (Figura 10S) as melhores previsões para Itaqui foram geradas pelos membros 37 (9562 Mg ha⁻¹) e 19 (9510 Mg ha⁻¹), e para Uruguaiana pelos membros 19 (9246 Mg ha⁻¹) e 37 (9202 Mg ha⁻¹).

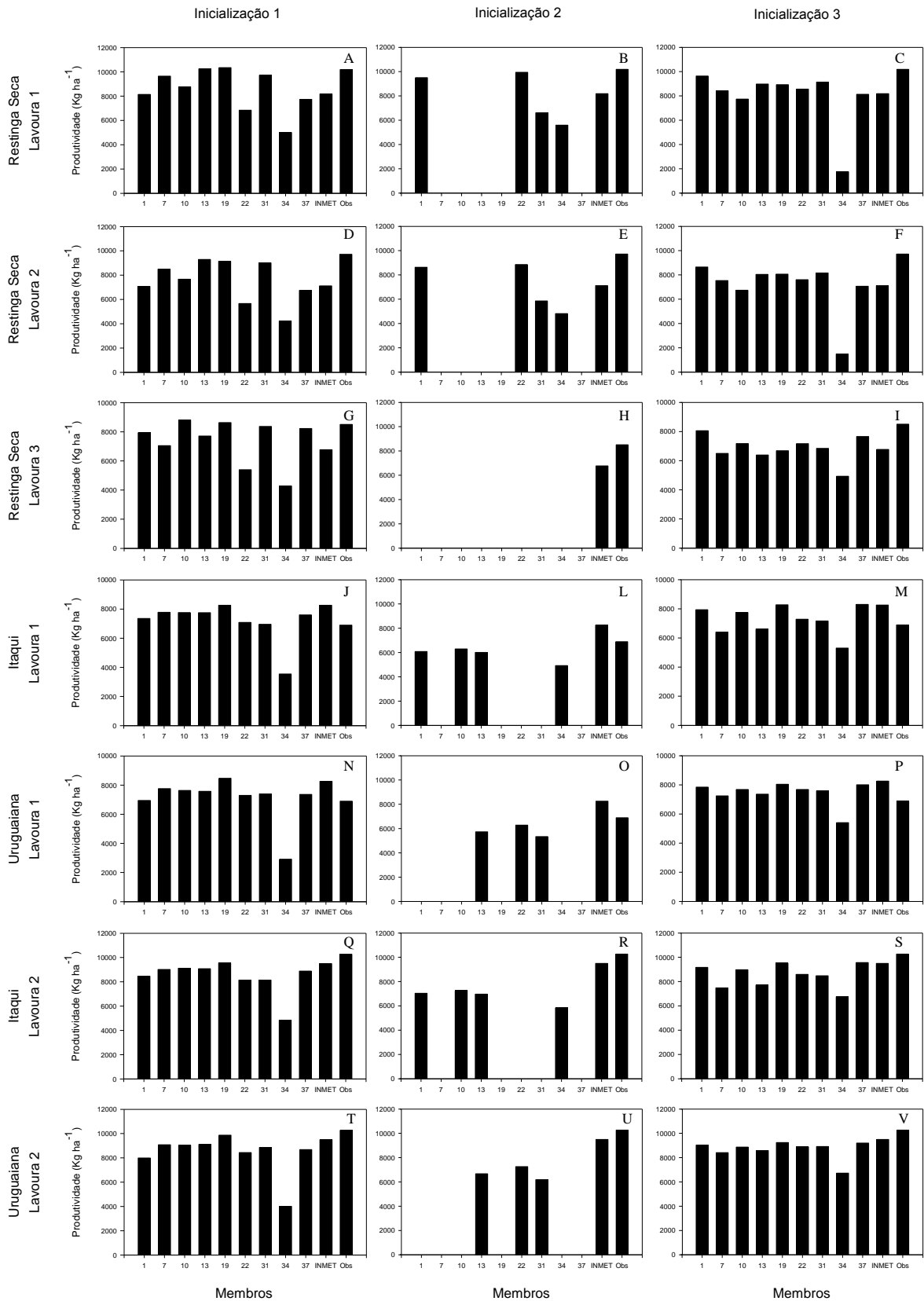


Figura 10. Produtividade observada, simulada e prevista pelo RegCM4 acoplado ao SimulArroz, gerado em três inicializações, para nove membros, nos municípios de Restinga Seca, Itaquí e Uruguaiana, para a safra 2013/14 de arroz irrigado.

4 CONCLUSÕES

A produtividade simulada pelo modelo SimulArroz para lavouras comerciais foi satisfatória.

O desempenho do modelo SimulArroz foi satisfatório para o acompanhamento de safra de arroz para as seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

A previsão sazonal gerada pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo de arroz SimulArroz possibilitou a previsão numérica de safra de arroz para o Rio Grande do Sul.

5 REFERÊNCIAS

AGGARWAL, P. K. et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v. 89, p. 1-25, 2006.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; ten BERGE, H. F. M.; van LAAR, H. H. **ORYZA 2000**: modeling lowland rice. Version 2.12, November, 2004. In: Cereal Knowledge Bank, International Rice Research Institute. Disponível em: <<http://www.knowledgebank.irri.org/oryza2000/default.htm>>. Acesso em: 20 maio 2014.

CONAB [Companhia Nacional do Abastecimento]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_11_13_09_19_35_boletim_graos_novembro_2014.pdf> Acesso em 04 de dezembro de 2014. 2014.

COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M. B.; BI, B.; ELGUINDI, N.; DIRO, G. T.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U. U.; COZZINI, S.; GUTTLER, I.; O'BRIEN, T. A.; TAWFIK, A. B.; SHALABY, A.; ZAKEY, A. S.; STEINER, A. L.; STORDAL, F.; SLOAN, L. C.; BRANKOVIC, C. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, Oldendorf, v. 52, p. 7-29, 2012.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.116-119, 1973.

INMET. Nota técnica n°. 001/2011/seger/laimc/csc/inmet. 2014. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf. Acesso em: 21/12/14.

JANSSEN, P. H. M., HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 55-56, 1995.

KINIRY, J. R. et al. Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. **Agronomy Journal**, v.93, p.1.354-1.361, 2001.

KROPFF, M. J.; Van LAAR, H. H.; MATTHEWS, R. B. ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. In: **SARP Research Proceedings**. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute - IRRI, 1994. 110 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p.321-328, 2002.

MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; SILVA, P. R. F. da; MACEDO, V. R. M.; PETRY, C.; GROHS, D. S.; FREITAS, T. F. S. de; VALENTE, L. A. L. Projeto 10 - Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: avanços e novos desafios. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Cachoeirinha. 2012. 104p.

MONTEIRO, J. E. B. A.; AZEVEDO, L. C.; ASSAD, E. D.; SENTELHAS, P. C. Rice yield estimation based on weather conditions and on technological level of production systems in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 123-131, fev. 2013.

SHIN, D. W.; BELLOW, J. G.; LAROW, T. E.; COCKE, S.; O'BRIEN, J. J. The role of an advanced land model in seasonal dynamical downscaling for crop model application. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.45, p.686-701, 2006.

SHIN, D. W.; BAIGORRIA, G. A.; LIM, Y. K.; COCKE, S.; LAROW, T. E.; O'BRIEN, J. J.; JONES, J. W.. Assessing maize and peanut yield simulations with various seasonal climate data in the Southeastern United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 49, p. 592-603, 2010.

SINGH, U.; RITCHIE, J. T.; GODWIN, D. C. **A Users Guide to CERES Rice v2.10. : simulation manual**. Muscle Shoals, AL, USA: International Fertilizer Development Center, 1993. 131 p.

SOSBAI [Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado]. 2014. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 189p.

STÖCKLE, C. O.; DONATELLI, M.; NELSON, R. CropSyst, a cropping systems simulation model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.289-307, 2003.

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LUCAS, D. D. P.; LAGO, I. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.559-567, maio 2008.

STRECK, N. A.; CHARÃO, A. S.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; BENEDETTI, R. P.; MARCHESAN, E.; SILVA, M. R. SimulArroz: um aplicativo para estimar produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, VIII, 2013. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2013.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A.; FERRAZ, S. E. T. Adaptação e avaliação do modelo infocrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 Out. 2012.

WIELEWICKI, A. P.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.1, p.17-21, 1998.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1981. p. 269.

5 DISCUSSÕES

Os Modelos matemáticos são uma simplificação da realidade que nos permite descrever complexas interações entre agroecossistemas. Para isso, é necessário que a interação da planta com o agroecossistema seja minimamente detalhada e descrita para que o modelo seja confiável. Nesse sentido, o estudo da influência da época de inundação sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado, realizado no Capítulo 1, é importante, pois permite incrementar uma nova variável ao modelo SimulArroz, melhorando a qualidade das simulações.

De acordo com o verificado, na comparação da inundação em V3, V5, V8 e V9 no Experimento 1 e em V5, V8, V9 e V10 no Experimento 2, não houve influência sobre a emissão e o número final de folhas, e sobre o número final de perfilhos (Capítulo 1; Figura 6; Tabelas 3 e 4), ou seja, para essas variáveis o modelo SimulArroz não precisa ser modificado. Verificou-se que a área foliar não é influenciada pela época de inundação quando há água suficiente para o crescimento da planta. Os resultados encontrados no Capítulo 1 indicam que não é necessário o incremento dos efeitos das épocas de inundação sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz no modelo SimulArroz.

Os resultados do Capítulo 2 indicam que o modelo SimulArroz pode ser utilizado como alternativa para simular a produtividade em lavouras comerciais (Capítulo 2; Tabela 6). É comum no estado do Rio Grande do Sul em anos com ocorrência de adventos climáticos como seca, geada e granizo, que agricultores acionem o seguro agrícola para realização de perícia na lavoura para quantificar o prejuízo. No caso da cultura do arroz, o modelo SimulArroz é eficiente para estimar a produtividade da lavoura, sem considerar a ocorrência do advento climático, e servindo como base para que os peritos definam com maior segurança a porcentagem de perdas ocorridas nas lavouras.

Verificou-se que é possível utilizar o SimulArroz para realizar acompanhamento de safra nas regiões orizícolas do RS (Capítulo 2; Figuras 5 e 6). Os dados mostraram que a duração dos estádios de desenvolvimento simulados são menores que a duração dos estádios observados, porém, as produtividades simuladas para as regiões foram satisfatórias, próximas das observadas pelo IRGA, com diferença entre observado e simulado que variou de 213 a 1443 Mg ha⁻¹ (Capítulo 1; Figura 7).

A metodologia de previsão de safra proposta no Capítulo 2 mostra que as inicializações 01 e 03 geram dados de temperatura mínima e máxima mais precisos. Para radiação solar as quatro inicializações não foram precisas para a geração dos dados (Capítulo 2; Figuras 8).

As inicializações 01 e 03 acoplados ao modelo SimulArroz geraram uma previsão para emissão de folhas (HS), número final de folhas (NFF) e estágio de desenvolvimento (DVS) mais semelhante ao observado, nos municípios de Restinga Seca e Itaquí. Em geral, as previsões geradas pelo membro 34 foram mais precoces, e pelo membro 31 mais tardias (Capítulo 2; Figura 9). A inicialização 02 gerou previsões com temperaturas mais baixas que as observadas, gerando, ao ser acoplada ao modelo SimulArroz, morte de plantas por geada, que ocorre no SimulArroz quando há ocorrência de quatro dias consecutivos com temperatura média do ar inferior a 12°C (BOUMAN et al., 2004) (Capítulo 2; Figura 9).

A previsão para a produtividade apresentou bons resultados, sendo que para cada lavoura, mais de um membro apresentou boa capacidade de prever a produtividade. Entre os membros, as melhores previsões foram geradas pelos membros 01, 13, 19, 31 e 37, sendo que em algumas simulações os membros 10 e 22 apresentaram boa previsão para a produtividade.

A metodologia está apresentada para a previsão de safra de arroz para o estado do Rio Grande do Sul. É necessário que haja seguimento nos estudos de previsão de safra com modelos numéricos para o estado, tendo em vista que a previsão foi testada em apenas uma safra de arroz irrigado. Para que o modelo seja mais forçado, são necessárias rodadas do modelo SimulArroz + RegCM4 em anos com ocorrência do fenômeno La Niña, El Niño e Neutro. Como o RegCM4 gera previsões conforme a parametrização de nuvens é possível que a resposta do modelo acoplado ao SimulArroz em um ano com ocorrência de La Niña, por exemplo, seja diferente.

6 CONCLUSÕES

1. A previsão sazonal gerada pelo modelo RegCM4 acoplado ao modelo de arroz SimulArroz possibilitou a previsão numérica de safra de arroz para o Rio Grande do Sul.

2. A época de inundação não influencia a emissão de folhas, o número final de folhas, o número final de perfilhos, o desenvolvimento do arroz, e a produtividade. A área foliar é influenciada pelo atraso na época de inundação apenas quando há déficit hídrico.

7 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

1. Quantificar a Eficiência do Uso de Radiação (EUR) para cultivares de arroz recomendadas para o cultivo no Rio Grande do Sul.

2. Verificar a relação entre a produtividade de arroz estimada a partir dos componentes de rendimento e a produtividade obtida pela colheita.

3. Verificar a resposta do modelo RegCM4 acoplado ao SimulArroz para previsão de safra em anos com ocorrência do fenômeno ENOS.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, P. K. et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v. 89, p. 1-25, 2006.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; TIRONI, S. P.; DAL MAGRO, T.; VIGNOLO, G. K. Interferência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **PlantaDaninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 689-696, 2007.

AVILA, L. A. de; CEZIMBRA, D. M.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S. L. O.; PASINI, M.; GLIER, C.; FERREIRA, R. B. Época de aplicação de nitrogênio e de início da irrigação na fitotoxicidade causada pela aplicação de imidazolinonas em arroz tolerante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1647-1652, 2009.

BOLDRINI, I. I.; LONGHI-WAGNER, H. M.; BOECHAT, S. C. Morfologia e taxonomia de gramíneas sul rio-grandenses. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 96 p.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; ten BERGE, H. F. M.; van LAAR, H. H. **ORYZA 2000**: modeling lowland rice. Version 2.12, November, 2004. In: Cereal Knowledge Bank, International Rice Research Institute. Disponível em: <<http://www.knowledgebank.irri.org/oryza2000/default.htm>>. Acesso em: 20 maio 2014.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 3º ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, p. 594, 1974.

BUENO, C. S.; PASUQUIN, E.; TUBAÑA, B.; LAFARGE, T. Improving sink regulation, and searching for promising traits associates with hybrids, as a key avenue to increase yield potential of the rice crop in the tropics. **Field Crops Research**, v. 118, p. 199-207, 2010.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 11, p. 89-97, 2006.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 12, p. 1213-1218, dez, 2004.

CASSMAN, K. G. Breaking the yield barrier: Proceedings of a workshop on rice yield potential in favorable environments. Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1994. p. 141.

CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. R.; WALTERS, D. T.; YANG, H. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. **Annual Review of Environmental Resources**, v. 28, p. 315-358, 2003.

CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.

CONAB [Companhia Nacional do Abastecimento]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_11_13_09_19_35_boletim_graos_novembro_2014.pdf> Acesso em 04 de dezembro de 2014. 2014.

COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

COMISSÃO DE AGRICULTURA PECUÁRIA E COOPERATIVISMO. Série Culturas: Arroz. **Estado do Rio Grande do Sul - Assembléia Legislativa**. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/Download/CAPC/serie_culturas_arroz.pdf> Acesso em 14 de Maio de 2013. 1999.

CUNHA, C. S.; FORSIN, L. S. Comparativo entre lavouras manejadas a partir das práticas preconizadas pelo “Projeto 10” e lavoura de manejo convencional. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Londrina, PR. 2010.

FURLANI JUNIOR, E.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. Épocas de início de inundação do solo e altura da lâmina de água em arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, 54(2): 413-418, 1995a.

FURLANI JUNIOR, E.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas em arroz irrigado mediante o momento da admissão e da altura da lâmina de água. **Bragantia**, Campinas, 54(2): 343-351, 1995b.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M. B.; BI, B.; ELGUINDI, N.; DIRO, G. T.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U. U.; COZZINI, S.; GUTTLER, I.; O'BRIEN, T. A.; TAWFIK, A. B.; SHALABY, A.; ZAKAY, A. S.; STEINER, A. L.; STORDAL, F.; SLOAN, L. C.; BRANKOVIC, C. RegCM4: model

description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, Oldendorf, v. 52, p. 7-29, 2012.

GROHS, M.; MARCHESAN, E.; ROSO, R.; FORMENTINI, T. C.; OLIVEIRA, M. L. de. Desempenho de cultivares de arroz com uso de reguladores de crescimento, em diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 776-783, jun. 2012.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 116-119, 1973.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, p. 137-157, 2000.

INMAN-BAMBER, N. G; THOMPSON, G. D. Models of dry matter accumulation by sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**. n. 63, p. 212-216, 1989.

INMET. Nota técnica n°. 001/2011/seger/laieme/csc/inmet. 2014. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf. Acesso em: 21/12/14.

JANSSEN, P. H. M., HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 55-56, 1995.

KINIRY, J. R. et al. Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1.354-1.361, 2001.

KROPFF, M. J.; Van LAAR, H. H.; MATTHEWS, R. B. ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. In: **SARP Research Proceedings**. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute - IRRI, 1994. 110 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.

MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. Disponível em: <<http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/07/Portaria-n%C2%B0-22-de-8-de-julho-de-2013-Zoneamento-Agr%C3%ADcola-Arroz-irrigado-RS-Ano-safra-2013.14-DOU-11.07.13.pdf>> Acesso em 04 de dezembro de 2013. 2013.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JUNIOR, S. A. Volume de água usado na lavoura de arroz em função das épocas de início de irrigação por inundação. In: IV Congresso brasileiro de arroz irrigado e XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria, Editora Órium. v. 1. p. 365-367, 2005.

MATTHEWS, R. B.; HUNT, L. A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Field Crops Research**, n. 36, p. 69-84, 1994.

MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; SILVA, P. R. F. da; MACEDO, V. R. M.; PETRY, C.; GROHS, D. S.; FREITAS, T. F. S. de; VALENTE, L. A. L. Projeto 10 - Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: avanços e novos desafios. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Cachoeirinha. 2012. 104p.

MITCHELL, P. L.; SHEEHY, J. E. **Redesigning rice photosynthesis to increase yield**. Proceedings of the Workshop on The Quest to Reduce Hunger. International Rice Research Institute (IRRI) and Amsterdam (The Netherlands), Elsevier Science B. V., 2000. 293p.

MONTEIRO, J. E. B. A.; AZEVEDO, L. C.; ASSAD, E. D.; SENTELHAS, P. C. Rice yield estimation based on weather conditions and on technological level of production systems in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 123-131, fev. 2013.

PANOZZO, L. E.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; PINTO, J. J. O.; NEVES, R. Métodos de manejo de *Cyperus esculentus* na lavoura de arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 165-174, 2009.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, jun, 2010.

SEYTIONO, T. D.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A. M.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and day length on soybean phenology under high-yield conditions. **Field Crops Research**, v. 100, p. 257-271, 2007.

SHIN, D. W.; BELLOW, J. G.; LAROW, T. E.; COCKE, S.; O'BRIEN, J. J. The role of an advanced land model in seasonal dynamical downscaling for crop model application. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 45, p. 686-701, 2006.

SHIN, D. W.; BAIGORRIA, G. A.; LIM, Y. K.; COCKE, S.; LAROW, T. E.; O'BRIEN, J. J.; JONES, J. W.. Assessing maize and peanut yield simulations with various seasonal climate data in the Southeastern United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 49, p. 592-603, 2010.

SINGH, U.; RITCHIE, J. T.; GODWIN, D. C. **A Users Guide to CERES Rice v2.10.:** simulation manual. Muscle Shoals, AL, USA: International Fertilizer Development Center, 1993. 131 p.

SILVA, F. C. da; BERGAMASCO, A. F. Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de-açúcar. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 7-14, 2001.

SOSBAI [Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado]. 2014. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 189p.

SOUZA, V. A.; ALVEZ, R. C. M.; ROBERTI, D. R.; KLERING, E. V. Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de arroz irrigado utilizando dados meteorológicos e de vegetação. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 347-349, dez 2013.

STÖCKLE, C. O.; DONATELLI, M.; NELSON, R. CropSyst, a cropping systems simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 289-307, 2003.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.

STRECK, N. A.; MICHELON, S.; ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; BOSCO, L. C.; PAULA, G. M. de; CAMERA, C.; SAMBORANHA, F. K.; MARCOLIN, E.; LOPES, S. J. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função de época de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 323-329, 2007.

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LUCAS, D. D. P.; LAGO, I. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 559-567, maio 2008.

STRECK, N. A.; CHARÃO, A. S.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; BENEDETTI, R. P.; MARCHESAN, E.; SILVA, M. R. SimulArroz: um aplicativo para estimar produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, VIII, 2013. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p

VON CAEMMERER, S.; QUICK, P. W.; FURBANK, R. T. The development of C4 rice: current progress and future challenges. **Science**, v. 336, 2012.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A.; FERRAZ, S. E. T. Adaptação e avaliação do modelo infocrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 Out. 2012.

WIELEWICKI, A. P.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 17-21, 1998.

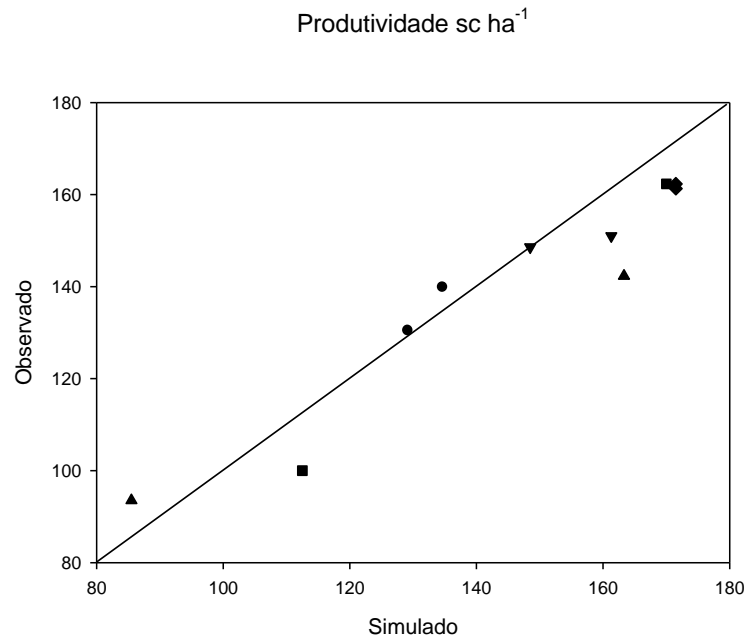
WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1981. p. 269.

ZHANG, G. Strategies for developing Green Super Rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 104, n. 42, p. 16402-16409, 2007

APÊNDICES

Apêndice 1. Relação entre produtividade de arroz irrigado observada e simulada pelo modelo SimulArroz, nas safras 2008/09, 2009/10, 2010/11 e 2011/12, em dez lavouras localizadas em Restinga Seca, RS.



Apêndice 2. Melhor Membro (MM) e Melhor Inicialização (MI) da temperatura mínima, temperatura máxima e da radiação solar previsto pelo modelo RegCM4.

Mês/ano	Temp. Mínima (°C)		Temp. Máxima (°C)		Radiação Solar (MJ m ² dia ⁻¹)	
	MM	MI	MM	MI	MM	MI
	Itaqui					
Set 13	34	2	31	1	01	3
Out 13	22	3	34	2	19	3
Nov 13	34	3	34	1	19	4
Dez 13	34	3	34	3	19	2
Jan 14	31	4	31	2	22	1
Fev 14	22	2	22	4	10	1
Mar 14	34	1	34	2	01	3
Abr 14	31	1	31	4	19	3
	Uruguaiana					
Set 13	31	3	22	1	19	4
Out 13	10	2	34	1	13	3
Nov 13	22	3	34	1	37	4
Dez 13	34	3	34	3	37	1
Jan 14	31	4	31	4	37	1
Fev 14	22	2	34	4	37	3
Mar 14	34	1	34	1	01	3
Abr 14	31	1	31	4	37	2
	Santa Maria					
Set 13	01	4	10	1	22	4
Out 13	22	1	22	2	10	2
Nov 13	22	4	22	3	22	3
Dez 13	31	1	37	3	01	1
Jan 14	31	1	31	4	01	3
Fev 14	19	4	37	1	22	4
Mar 14	34	2	34	3	01	2
Abr 14	31	3	31	3	01	2

Apêndice 3. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 01.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	7.95	11.60	19.15	1.70	7.92
MÁXIMO	27.10	25.67	40.00	40.31	34.40	32.21
AMPLITUDE	24.50	17.72	28.40	21.16	32.70	24.29
MÉDIA	17.09	17.10	28.61	30.39	20.42	21.35
MEDIANA	17.70	17.45	28.70	30.94	21.43	21.44
CV (%)	26.38	22.16	18.55	14.17	40.25	23.71
CURTOSE	0.12	-0.74	-0.03	-0.61	-0.71	-0.64
ASSIMETRIA	-0.62	-0.12	-0.34	-0.26	-0.44	-0.16

Apêndice 4. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 07.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	7.87	11.60	17.21	1.70	6.64
MÁXIMO	27.10	25.39	40.00	40.81	34.40	32.11
AMPLITUDE	24.50	17.52	28.40	23.60	32.70	25.47
MÉDIA	17.09	16.81	28.61	30.07	20.42	20.07
MEDIANA	17.70	17.21	28.70	30.80	21.43	20.29
CV (%)	26.38	22.64	18.55	16.73	40.25	27.40
CURTOSE	0.12	-0.83	-0.03	-0.77	-0.71	-0.65
ASSIMETRIA	-0.62	-0.17	-0.34	-0.31	-0.44	-0.05

Apêndice 5. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 10.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	8.10	11.60	18.40	1.70	7.83
MÁXIMO	27.10	25.95	40.00	40.70	34.40	32.11
AMPLITUDE	24.50	17.85	28.40	22.29	32.70	24.29
MÉDIA	17.09	16.98	28.61	30.24	20.42	21.35
MEDIANA	17.70	17.28	28.70	30.69	21.43	21.46
CV (%)	26.38	22.80	18.55	14.85	40.25	24.10
CURTOSE	0.12	-0.79	-0.03	-0.68	-0.71	-0.65
ASSIMETRIA	-0.62	-0.13	-0.34	-0.25	-0.44	-0.14

Apêndice 6. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 13.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	8.17	11.60	18.14	1.70	6.15
MÁXIMO	27.10	25.67	40.00	40.58	34.40	32.35
AMPLITUDE	24.50	17.50	28.40	22.43	32.70	26.20
MÉDIA	17.09	17.20	28.61	30.48	20.42	20.18
MEDIANA	17.70	17.76	28.70	31.18	21.43	20.04
CV (%)	26.38	22.72	18.55	16.05	40.25	26.94
CURTOSE	0.12	-0.84	-0.03	-0.78	-0.71	-0.62
ASSIMETRIA	-0.62	-0.14	-0.34	-0.28	-0.44	0.03

Apêndice 7. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 19.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	8.00	11.60	18.81	1.70	7.68
MÁXIMO	27.10	26.02	40.00	40.78	34.40	32.25
AMPLITUDE	24.50	18.03	28.40	21.97	32.70	24.57
MÉDIA	17.09	16.98	28.61	30.43	20.42	21.56
MEDIANA	17.70	17.42	28.70	30.89	21.43	21.82
CV (%)	26.38	22.91	18.55	15.01	40.25	24.03
CURTOSE	0.12	-0.79	-0.03	-0.67	-0.71	-0.68
ASSIMETRIA	-0.62	-0.15	-0.34	-0.22	-0.44	-0.17

Apêndice 8. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 22.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	7.92	11.60	17.68	1.70	8.01
MÁXIMO	27.10	24.63	40.00	39.31	34.40	32.37
AMPLITUDE	24.50	16.70	28.40	21.63	32.70	24.36
MÉDIA	17.09	16.55	28.61	29.42	20.42	20.26
MEDIANA	17.70	17.10	28.70	29.83	21.43	20.21
CV (%)	26.38	21.18	18.55	15.25	40.25	26.02
CURTOSE	0.12	-0.74	-0.03	-0.71	-0.71	-0.65
ASSIMETRIA	-0.62	-0.23	-0.34	-0.16	-0.44	0.06

Apêndice 9. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 31.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	8.17	11.60	17.27	1.70	5.53
MÁXIMO	27.10	26.57	40.00	41.24	34.40	31.86
AMPLITUDE	24.50	18.40	28.40	23.97	32.70	26.33
MÉDIA	17.09	17.36	28.61	30.94	20.42	20.19
MEDIANA	17.70	17.84	28.70	31.29	21.43	19.88
CV (%)	26.38	23.35	18.55	16.26	40.25	27.04
CURTOSE	0.12	-0.82	-0.03	-0.67	-0.71	-0.64
ASSIMETRIA	-0.62	-0.06	-0.34	-0.27	-0.44	0.03

Apêndice 10. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 34.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	7.72	11.60	17.19	1.70	5.40
MÁXIMO	27.10	23.64	40.00	39.10	34.40	32.22
AMPLITUDE	24.50	15.92	28.40	21.91	32.70	26.82
MÉDIA	17.09	16.55	28.61	28.53	20.42	18.61
MEDIANA	17.70	17.01	28.70	29.01	21.43	18.36
CV (%)	26.38	21.13	18.55	14.95	40.25	29.61
CURTOSE	0.12	-0.82	-0.03	-0.39	-0.71	-0.47
ASSIMETRIA	-0.62	-0.30	-0.34	-0.21	-0.44	0.24

Apêndice 11. Mínimo, máximo, amplitude, média, mediana, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria, da temperatura mínima (Tmin), da temperatura máxima (Tmax) e da radiação solar (Rad Sol) observado (Obs) em estação meteorológica automática do INMET e previsto (Prev) pelo modelo RegCM4, membro 37.

ESTATÍSTICA	TMIN (°C)		TMAX (°C)		RAD SOL (MJ M ² DIA ⁻¹)	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
MÍNIMO	2.60	8.19	11.60	18.41	1.70	7.30
MÁXIMO	27.10	25.86	40.00	40.16	34.40	32.32
AMPLITUDE	24.50	17.67	28.40	21.76	32.70	25.02
MÉDIA	17.09	16.99	28.61	30.27	20.42	21.40
MEDIANA	17.70	17.32	28.70	30.67	21.43	21.64
CV (%)	26.38	22.75	18.55	14.93	40.25	24.00
CURTOSE	0.12	-0.81	-0.03	-0.65	-0.71	-0.57
ASSIMETRIA	-0.62	-0.15	-0.34	-0.25	-0.44	-0.16