

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

**RISCO DE OCORRÊNCIA DE EXCESSO  
HÍDRICO PARA A CULTURA DO GIRASSOL NA  
REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Dionéia Daiane Pitol Lucas**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

# **RISCO DE OCORRÊNCIA DE EXCESSO HÍDRICO PARA A CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Dionéia Daiane Pitol Lucas**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

**Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Pitol Lucas, Dioneia Daiane  
Risco de ocorrência de excesso hídrico para a cultura  
do girassol na região Central do Rio Grande do Sul /  
Dioneia Daiane Pitol Lucas.-2014.  
100 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. datas de semeadura 2. risco climático 3. análise  
numérica I. Heldwein, Arno Bernardo II. Título.

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

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Dionéia Daiane Pitol Lucas.

Endereço eletrônico: dio.pitol@gmail.com

---

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


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

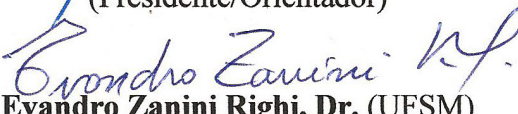
**RISCO DE OCORRÊNCIA DE EXCESSO HÍDRICO PARA A  
CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE  
DO SUL**


elaborada por  
**Dionéia Daiane Pitol Lucas**

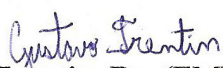
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Arno Bernardo Heldwein, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

  
**Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)**

  
**Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA-Itaqui)**

  
**Gustavo Trentin, Dr. (EMBRAPA-CPPSUL)**

  
**Joel Cordeiro da Silva, Dr. (IFF-SVS)**

Santa Maria, 21 de fevereiro de 2014.

"[...] Morre lentamente quem passa os dias se queixando  
Da sua má sorte ou da chuva incessante.  
Morre lentamente quem abandona um projeto antes de iniciá-lo,  
Não pergunta sobre um assunto que desconhece ou  
Não responde quando lhe indagam sobre algo que sabe.  
Evitemos a morte em doses suaves,  
Recordando sempre que estar vivo exige um esforço muito maior  
Que o simples fato de respirar,  
Somente a perseverança fará com que conquistemos um  
Estágio esplêndido de felicidade."

Pablo Neruda

A Deus, aos meus pais Zélia e Amadeu,  
aos meus irmãos Elenara, Flávio, Gerson  
e Jones e ao meu namorado Elcio.

**Dedico...**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por proporcionar-me a oportunidade de crescimento intelectual e pessoal.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein, pela orientação, dedicação, confiança, paciência, amizade, profissionalismo exemplar com tamanha moral e honestidade e principalmente pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores de Agrometeorologia Evandro Zanini Righi, Nereu Augusto Streck e Sandro Luis Petter Medeiros pela amizade e conhecimentos transmitidos durante a realização do trabalho.

Aos colegas Ivan Carlos Maldaner e Roberto Trentin, pelo auxílio na simulação e análise dos dados e pela amizade compartilhados desde a minha graduação.

Aos professores de Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela atenção e ensinamentos transmitidos, principalmente aos que me oportunizaram a obtenção de conhecimentos por meio das disciplinas cursadas.

Aos amigos e colegas do setor de Agrometeorologia da UFSM, Luis Henrique Loose, Fernando Dill Hinnah, Gizelli Moiano de Paula, Jocélia Rosa da Silva, Mateus Bortoluzzi, Tiago Ferrera, Joner Dalcin, Tarlen Schach, Samuel Kovaleski e Gabriel Brixner pela amizade, convivência, descontração e esclarecimentos das dúvidas durante o trabalho.

Aos meus pais e irmãos e meu namorado Élcio que mesmo distantes sempre me apoiaram na obtenção de conhecimentos e realização deste estudo.

A todas as pessoas que não foram mencionadas, mas que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

**Muito obrigado !**

## RESUMO

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

### **RISCO DE OCORRÊNCIA DE EXCESSO HÍDRICO PARA A CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

AUTORA: DIONÉIA DAIANE PITOL LUCAS

ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 21 de fevereiro de 2014.

A abordagem do conhecimento acerca das probabilidades de ocorrência de excedentes hídricos permite o planejamento do manejo da cultura do girassol, principalmente quanto ao período de semeadura. O objetivo do presente trabalho foi quantificar e analisar a ocorrência de excesso hídrico, por meio de estudo numérico, para a cultura do girassol semeada em diferentes datas, considerando-se a capacidade de armazenamento de água nos diferentes solos da região central do Rio Grande do Sul e determinar as funções de distribuição de probabilidade que melhor representam a ocorrência de excesso hídrico. Foi utilizada a modelagem matemática para simular o desenvolvimento da cultura do girassol, considerando-se um genótipo de grupo de maturidade médio, sendo a simulação feita para 14 datas de semeadura em cada ano da série histórica de 43 anos de dados meteorológicos da Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM), desde 1968 até 2011. A ocorrência de dias com excesso hídrico nos diferentes subperíodos da cultura foi determinada para os principais solos da região de abrangência da ECPSM. Foram considerados os valores de capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) conforme características dos solos e da cultura, sendo o excesso hídrico calculado por meio do Balanço Hídrico Sequencial Diário, representado pelo acumulado de água no solo excedente à CAD. As funções de distribuição de probabilidade testadas para o número de dias com excesso hídrico foram Normal, Exponencial, Gama, Lognormal e Weibull, sendo utilizados os teste de Kolmogorov-Smirnov e Chi-Quadrado para verificar o ajuste das funções. As condições meteorológicas foram distintas para as diferentes datas de semeadura simuladas nos 43 anos, de modo a diferenciar as simulações do ciclo de desenvolvimento do girassol. Assim, houve diferença no número de dias com excesso hídrico entre as datas de semeadura para todos os subperíodos analisados. Em relação às funções, houve pelo menos uma função que se ajustou na maioria dos casos, sendo que quando não houve ajuste possível foi utilizada a frequência empírica para analisar o risco. A função Weibull apresentou maior número de ajustes, tanto para o ciclo de desenvolvimento quanto para os subperíodos. As datas de semeadura de início de agosto até meados de setembro são as que apresentam a maior ocorrência de dias com excesso hídrico, considerando todo o ciclo de desenvolvimento do girassol, independente da CAD do solo.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L. Datas de semeadura. Risco agroclimático. Análise numérica. Série histórica. Ajuste de funções.

# ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria

## RISK OF WATER EXCESS IN SUNFLOWER CROP IN THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: DIONÉIA DAIANE PITOL LUCAS

ADVISER: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Location and Date of Defense: Santa Maria, February 21<sup>th</sup>, 2014.

The approach to knowledge about the probabilities of water excess occurrence enables the planning sunflower crop management, mainly about the sowing period. The objective of this study was quantify and analyze the occurrence of water excess through numerical study for sunflower crop sown on different dates, considering the storage capacity of water in different soils of the Central Region of Rio Grande do Sul and determine the probability distribution functions that better represent the water excess occurrence. Mathematical modeling was used to simulate the sunflower development, considering a medium maturity genotype. The simulation was done for 14 sowing dates in each year of the time series of 43 years of diary weather data from 1968 to 2011 of Main Climatological Station of Santa Maria (ECPSM). The number of days with water excess in different development stages of culture was determined for main soils of the region covered by the ECPSM. Capacity values of available water storage (CAD) were considered according soil and culture characteristics, being the water excess calculated using the Dially Water Balance, represented by accumulated water in the soil exceeding the CAD. The distribution probability functions tested for the number of days with water excess were Normal, Exponential, Gamma, Lognormal and Weibull, and the Kolmogorov-Smirnov and Chi-square tests were used to check the fit of functions. The weather conditions were different for the different sowing dates simulated in 43 years, so that differentiate the simulations of the development cycle of the sunflower. Thus, difference was observed in the number of days with water excess between sowing dates for all sub-periods analyzed. In terms of functions, there was at least one function that is fitted in most of the cases, and when there was no possible fit, the empirical frequency was used to analyze the risk. The Weibull had the greatest number of adjustments for developmental cycle as well as for subperiods. Early August until mid-September sowing dates are those with the greatest number of days with water excess, considering the whole development cycle of sunflower, regardless of the soil CAD.

**Key-words:** *Helianthus annuus* L. Sowing dates. Climate risk. Numerical analysis. Historical series. Adjustment functions.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Unidades de mapeamento, classificações e áreas ocupadas e classes dos solos da região em estudo de Santa Maria- RS e municípios vizinhos.....32
- Tabela 2- Variáveis meteorológicas obtidas do banco de dados da Estação Climatológica Principal de Santa Maria. ....33
- Tabela 3- Variáveis meteorológicas estimadas a partir de dados meteorológicos medidos e suas respectivas funções matemáticas. ....34
- Tabela 4-Capacidade de armazenamento de água disponível no solo inicial (CADin) e final (CADf), valor da curva (CN), unidades de mapeamento (BRASIL, 1973) e classificação dos solos (STRECK et al., 2008) da área de abrangência da Estação Climatológica Principal de Santa Maria, RS. ....37
- Tabela 5- Datas de semeadura (DS) utilizadas na simulação do desenvolvimento da cultura do girassol em Santa Maria, RS. ....39
- Tabela 6- Soma térmica acumulada desde a data de semeadura, subperíodos de desenvolvimento e modelo de cálculo dos coeficientes de cultura utilizados para determinar a evapotranspiração máxima do girassol em Santa Maria, RS..... 40
- Tabela 7- Classificação dos anos em função do fenômeno ENOS ocorridos no período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. ....42
- Tabela 8- Número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível - início da antese (R1-R5.1), início da antese - final da antese (R5.1-R6) e final da antese-maturação fisiológica (R6-R9), e no ciclo (S-R9) para os diferentes grupos de solos simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.....47
- Tabela 9- Frequência de casos em que as funções densidade de probabilidade Gama, Lognormal, Normal, Weibull e Exponencial apresentaram ajuste estatisticamente significativo para a variável dias com excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014..... 52

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-Localização da área de abrangência da análise de risco de excesso hídrico, na região central do Rio Grande do Sul. Fonte: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994, extraído e adaptado de CARDOSO, 2005). ..... 31
- Figura 2- Coeficiente de cultura ( $K_c$ ) do girassol em função da soma térmica. .... 40
- Figura 3- Variação dos valores de capacidade de armazenamento de água no solo ( $CAD_n$ ) em função do aprofundamento radicular ao longo do ciclo, determinado pela soma térmica acumulada ( $^{\circ}C$  dia) no dia  $n$ . Santa Maria, RS, 2014. .... 41
- Figura 4- Número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo do girassol para as 14 datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. \*Médias seguidas da mesma letra em cada figura não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Duração média dos subperíodos (dias) segundo Maldaner (2012). .... 46
- Figura 5- Ocorrências de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo de girassol, para 14 datas de semeadura e os seis grupos de solos simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. .... 49
- Figura 6- Ocorrências de quatro dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo de girassol, para 14 datas de semeadura e os seis grupos de solos simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. .... 50
- Figura 7-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 53
- Figura 8-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 59
- Figura 9-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Oásis e São Gabriel, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral

visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 60

Figura 10-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Alto das Canas e Cambai, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 61

Figura 11-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o solo Santa Maria, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 62

Figura 12-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o solo Vacacaí, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014. .... 63

Figura 13-Probabilidade de ocorrência de excesso hídrico maior que 10, 15, 20 e 25 dias com excesso hídrico durante o ciclo do girassol (semeadura-maturação fisiológica), para os diferentes solos e para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS. .... 64

Figura 14- Ocorrência de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo do girassol, para 14 datas de semeadura, nos diferentes grupos de solos, simuladas em 13 anos classificados como sob influência de La Niña do período 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. .... 68

Figura 15- Ocorrência de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo do girassol, para 14 datas de semeadura, nos diferentes grupos de solos, simuladas em 14 anos classificados como Neutros do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. .... 69

Figura 16- Probabilidade de ocorrência de dias consecutivos com excesso hídrico maior ou igual a 2, 4, 6 e 8 ocorrências durante o ciclo do girassol (semeadura-maturação fisiológica) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito; Santa Maria e Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos em anos classificados como com evento La Niña e Neutros, para 14 datas de semeadura simuladas. Santa Maria, RS, 2014. .... 70

## APÊNDICES

- Apêndice A- Análise de variância do número de dias com excesso hídrico no solo em cinco subperíodos de desenvolvimento do girassol para as datas de semeadura (DS) simuladas e para os grupos de solos presentes na região em estudo..... 90
- Apêndice B- Comparação do número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível - início da antese (R1-R5.1), início da antese - final da antese (R5.1-R6), final da antese-maturação fisiológica (R6-R9) e semeadura-maturação fisiológica (S-R9), para as 14 datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.....91
- Apêndice C- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....92
- Apêndice D- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....93
- Apêndice E- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Oásis e São Gabriel, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....94
- Apêndice F- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Alto das Canas e Cambai, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....95
- Apêndice G- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-

antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para o solo Santa Maria, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....96

Apêndice H- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para o solo Vacacaí, nas datas de semeadura simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.....97

Apêndice I- Funções de distribuição de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o excesso hídrico acumulado no ciclo do girassol nos solos São Pedro, Venda Grande, Cerrito, Santa Maria, Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, considerando o Fenômeno ENOS, nas diferentes datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011..... 98

Apêndice J- Número de dias com excesso hídrico de 1969 a 2011 para o subperíodo emergência à emissão do botão floral nas 14 datas de semeadura para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito. Santa Maria, RS..... 99

Apêndice K- Frequência dois ou mais dias consecutivos com excesso hídrico de 1969 a 2011 para o subperíodo emergência à emissão do botão floral, nas 14 datas de semeadura para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito. Santa Maria, RS.....100

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Excesso hídrico: interação solo-planta-atmosfera .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 As plantas sob condição de excesso hídrico .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 A cultura do girassol e o excesso hídrico .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Eventos ENOS e a agricultura .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Análise numérica em estudos agrometeorológicos .....</b>	<b>29</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Descrição da área de abrangência do estudo.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Descrição das variáveis meteorológicas e do balanço hídrico.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Simulação do desenvolvimento das plantas e consumo de água.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Capacidade de armazenamento de água disponível no solo .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 Análise Estatística .....</b>	<b>43</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Valores médios de excesso hídrico.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Análise de distribuição de probabilidade do excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo do girassol .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Excesso hídrico nos subperíodos e ciclo do girassol em anos de La Niña e Neutros.....</b>	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>7 APÊNDICES .....</b>	<b>90</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A cultura do girassol tem aumentado sua importância no cenário agrícola nacional e internacional. Seu cultivo está ligado principalmente à produção de óleo. No mercado de biocombustíveis, também desperta interesse em nível mundial, pois representa uma alternativa para a produção de matéria-prima em função do elevado teor de óleo presente nos aquênios e também a sua ampla adaptação às diferentes regiões edafoclimáticas (GOMES, 2005; LEITE; BRIGHENTI; CASTRO, 2005; PORTO et al., 2008; SILVA et al., 2007).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é pertencente à família Asteraceae. Seu cultivo tem hoje abrangência mundial, embora haja indícios de que o centro de origem do girassol esteja no México (DALL'AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005). A cultura destaca-se entre as principais oleaginosas tanto em área como em produção (EMBRAPA, 2000; FAOSTAT, 2013). Os principais produtores na safra 2011/2012 foram Rússia, Ucrânia, União Europeia, Argentina, China e Estados Unidos, perfazendo uma área em torno de 25 milhões de hectares (NATIONAL SUNFLOWER ASSOCIATION, 2013).

Por apresentar boa qualidade e alto valor nutricional, o óleo de girassol é considerado de grande importância para a alimentação, pois apresenta consideráveis valores de ácidos graxos polinsaturados (UNGARO et al., 2009). Além da importância da produção do óleo, deve-se levar em consideração a produção do girassol para consumo animal na forma de silagem, farelo residual da extração do óleo, na fabricação de cicatrizantes e cosméticos (BRITTO, 2012; MORAIS et al., 2013) ou mesmo o uso como flora melífera.

O adequado crescimento e desenvolvimento das plantas são condicionados principalmente pelo ambiente. Condições adversas podem comprometer a produção, tornando, muitas vezes, inapropriado o cultivo em determinado período ou mesmo a área na qual é realizado o cultivo. São muitos os estresses que uma planta pode encontrar no ambiente em que ela se encontra, podendo ser estes físicos, químicos ou biológicos. O suprimento das necessidades de água aos vegetais está ligado aos fatores físicos do ambiente, sendo os elementos meteorológicos e os fatores relacionados às características dos diferentes tipos de solo os mais importantes. A privação de oxigênio às raízes, resultantes do excesso hídrico, pode rapidamente afetar o crescimento e a distribuição das plantas terrestres, levando a reduções significativas no rendimento das culturas (DREW, 1997). Desse modo, são

necessários estudos para buscar respostas ou técnicas adequadas para a minimização desses riscos.

Ao invés de tentar eliminar a água em excesso do sistema, ou de restringir a produção de culturas não adaptadas ao excesso hídrico, estudos numéricos permitem determinar períodos ou anos, ou tipos de solos que apresentem menores chances de ocorrência de tais condições. A análise de risco de ocorrência de estresse por excesso hídrico utilizando uma escala de tempo pequena, tal como um dia, permite identificar níveis críticos que não seriam verificados através de determinações em intervalos de tempo longos, como por exemplo, em períodos mensais ou decendiais (CARDOSO, 2005; SILVA, 2005). Esse conhecimento ainda não se dispõe para a cultura do girassol, considerando as características físicas e a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) dos diferentes solos, para a região central do Rio Grande do Sul. Conhecer a variação da disponibilidade hídrica e as probabilidades de ocorrência de excedentes hídricos, faz-se necessário a realização do balanço hídrico sequencial diário (BHS) de uma série longa de observações meteorológicas associada aos diferentes subperíodos de desenvolvimento das plantas de girassol nas diferentes datas de semeadura, o que permite uma coerente interpretação dos resultados do balanço.

A produtividade do girassol depende da variabilidade espacial e temporal dos elementos meteorológicos e do tipo de solo. Considera-se que há distintas condições determinantes na ocorrência de excesso hídrico para a cultura do girassol nas diferentes datas de semeadura, uma na qual a demanda evapotranspirativa da atmosfera é bastante inferior à precipitação pluvial, o que ocorre no período de estabelecimento da cultura em semeaduras entre o fim do inverno e início da primavera, conforme recomendação do zoneamento agrícola (MAPA, 2010). Também ocorre principalmente em anos sob influência do fenômeno El Niño, em que, mesmo as demandas atmosféricas sendo elevadas nos diferentes subperíodos da cultura, a precipitação é superior à evapotranspiração da cultura. No entanto, Buriol et al. (1977) consideram que na região em estudo podem ocorrer excedentes hídricos em qualquer mês do ano.

A escolha da data de semeadura é uma prática que visa submeter as culturas a melhores condições meteorológicas prováveis, não só para o seu crescimento e desenvolvimento, mas também a condições adequadas para germinação, emergência e estabelecimento inicial, imprescindíveis para a obtenção de uma população de plantas uniforme e homogênea. Com base em dados meteorológicos da região, é possível determinar períodos de semeadura em que os riscos de ocorrência de excesso hídrico sejam menores.



Assim, faz-se necessário um estudo numérico analítico e detalhado da ocorrência de excesso hídrico em relação à cultura do girassol, pois esse pode ser um dos fatores prejudiciais a expansão da cultura nessa região. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi determinar as datas de semeadura com menor risco de ocorrência de excesso hídrico e a probabilidade de ocorrência de períodos com excesso hídrico nos diferentes subperíodos de desenvolvimento do girassol semeado em diferentes datas, considerando a capacidade de armazenamento de água dos diferentes grupos de solos da região central do Rio Grande do Sul.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Excesso hídrico: interação solo-planta-atmosfera**

O movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera tem magnitude determinada em função do tipo de solo, da demanda evaporativa da atmosfera e das características dos vegetais (BRUNINI, 1998). Associado a esse movimento, tem-se a disponibilidade de água às plantas como variável que pode ser quantificada com a metodologia do Balanço Hídrico (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992). Sob essa ótica, o solo funciona como reservatório de água, sendo a chuva ou a irrigação consideradas as entradas, a evapotranspiração a saída na forma de vapor para a atmosfera e as perdas por escoamento superficial ou percolação profunda a saída no estado líquido, consideradas no excesso. O excedente hídrico sempre será registrado quando a precipitação ocorrida completar o armazenamento de água do solo e ainda for superior à quantidade demandada pela evapotranspiração (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992).

A sustentabilidade da produção de uma cultura, isto é, sua capacidade de conservar-se no mercado, preservar o ambiente e ter bons retornos financeiros é frequentemente ameaçada por fatores de risco. Incertezas ou mesmo o desconhecimento em relação às condições meteorológicas e probabilidade de ocorrência de adversidades climáticas tem sido tema de constante preocupação no setor primário para que as principais decisões (técnicas, econômicas, administrativas e políticas) possam ser tomadas em tempo hábil, o qual, em muitos casos, perfaz alguns meses antes do cultivo.

A condição de alagamento dos solos apresenta-se como uma restrição ambiental de importância econômica na produção agrícola, sendo um dos principais determinantes da distribuição das espécies na natureza em nível mundial (BLOM, 1999). De toda a superfície terrestre, Maltby (1990) estima que cerca de 6% é ocupada por áreas alagadas ou sujeitas ao encharcamento temporário. A situação de encharcamento se estabelece quando há água em excesso em um agroecossistema por um longo período, de modo que o movimento da água para fora do sistema está impedido (ARMSTRONG, 1982). Elevado volume de chuvas, manejo deficiente ou mesmo sistemas inadequados de irrigação, topografia desfavorável e solo com drenagem natural deficiente ou com problemas de compactação, são condições favoráveis ao encharcamento ou até mesmo podem levar ao acúmulo excessivo de água no

solo, ainda que temporário (VITORINO et al., 2001). Associado ao conhecimento da distribuição dos solos, o conhecimento da distribuição espaço-temporal de água sobre a paisagem é de suma importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos, bem como para a mitigação da ocorrência de excedentes hídricos na agricultura (SAUE; KADAJA, 2009).

Cada tipo de solo apresenta diferenciação em relação à interação com as plantas e a atmosfera, principalmente em razão das suas características físicas, tais como textura, estrutura, porosidade e densidade, além da profundidade que possa ser explorada pelo sistema radicular das plantas (VILA NOVA; SCARDUA, 1984). Dentre as características do solo, a textura é a que mais influencia a condutividade hidráulica, visto sua influência nas demais características (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004). A capacidade de armazenamento de água (CAD) de um solo é a quantidade máxima de água utilizável pelas plantas que pode ser armazenada na zona radicular, determinada, assim, pela interação entre as diferentes características do mesmo com as plantas. Para Reichardt (1978) a dinâmica da água no solo é função da heterogeneidade do perfil, características da planta e características da atmosfera. Assim, os valores da CAD não podem ser entendidos como definitivos e absolutos, pois são função das práticas de irrigação, do efeito das chuvas, do manejo dos solos e do manejo e crescimento das plantas (CARDOSO, 2005). Ainda sobre a CAD, Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) consideram que o tipo de cultura é o principal fator a determinar a seleção da CAD, visto que o sistema radicular apresenta crescimento diferenciado em função do tipo de solo, como a manifestação de maior profundidade efetiva em solos arenosos para compensar a menor CAD.

A modelagem de desenvolvimento e crescimento das culturas é uma ferramenta que permite realizar, por meio da linguagem matemática (modelos matemáticos), a descrição quantitativa das principais reações das culturas agrícolas aos principais fatores de variação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Loose et al. (2010), verificaram que em anos chuvosos a produção de girassol é menor em diferentes regiões produtoras da Argentina e que a produção apresenta certa associação a diferentes fenômenos atmosféricos em macro escala. Assim, é imprescindível conhecer as probabilidades de ocorrência de diferentes níveis de excedentes hídricos para essa cultura semeada em diferentes datas, em razão da sensibilidade das plantas de girassol às condições de hipoxia e/ou anoxia nos diferentes estádios de desenvolvimento (ORCHARD; JESSOP, 1984).

A ocorrência de precipitação pluvial que atenda à demanda da cultura num determinado estágio de desenvolvimento muitas vezes não se traduz em alta produtividade, em decorrência de possíveis estresses por excesso ou mesmo por deficiência hídrica em outros estágios, devido a grande variabilidade espacial e temporal que o elemento meteorológico precipitação em geral apresenta (TAVARES et al., 2004; SILVA; NERY, 2012). O excesso hídrico é uma condição associada ao tipo de solo, o que também está diretamente relacionado à topografia das áreas em que esses ocorrem. Os Planossolos, Gleissolos, Chernossolos, Vertissolos e solos aluviais, que são predominantes de topografias planas, são, de maneira geral, mais sujeitos ao encharcamento, e, conseqüente período sob excesso hídrico, além de considerar-se a associação da localização topográfica com deficiências de drenagem desses solos (STRECK et al., 2008). Entretanto, em locais com relevo ondulado, o excesso hídrico geralmente está associado à duração das precipitações, o que geralmente se traduz em um período menor, com exceção às chuvas continuadas por dias consecutivos comuns em anos de El Niño (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). Nessas condições de períodos com excesso, ocorrem ciclos de oxidação-redução, que influenciam o pH, a disponibilidade de nutrientes, a redução de óxidos de ferro e manganês, assim como a elevação da condutividade elétrica e a redução na disponibilidade de oxigênio (SOUZA; CAMARGO; VAHL, 2010). Considerando-se o uso agrícola desses solos, prevalece a cultura do arroz irrigado, sendo que quando bem drenados são utilizados em parte com soja, milho e pastagens.

O cultivo das áreas planas na região Central do RS é predominante com a cultura do arroz irrigado, nas quais ocorrem tipos de solos que são, de maneira geral, sujeitos a períodos prolongados de encharcamento, principalmente em virtude da drenagem deficiente (STRECK et al., 2008). O arroz é uma cultura que se adapta a essa condição hídrica. Apresenta problemas significativos na competição com plantas daninhas, especificamente com o arroz vermelho (AGOSTINETTO et al., 2001), sendo a rotação de culturas uma das alternativas viáveis ao manejo cultural dessa planta daninha (SOSBAI, 2012). Além disso, a rotação de culturas permite a ampliação do potencial econômico relacionado à exploração dessas áreas, utilizando-se das estruturas de irrigação e de drenagem já implantadas para a cultura do arroz irrigado como apoio no cultivo de outras culturas (SOSBAI, 2012). Considerando-se uma proposta de utilização dessas áreas de forma sustentável, SOSBAI (2012) lembra que o planejamento do sistema de rotação e de sucessão de culturas deve considerar os conhecimentos além das exigências das culturas, ou seja, as características de clima e de solo e a adequação da área para cultivo das várias espécies. A cultura do girassol é uma alternativa

em áreas de arroz irrigado sendo utilizada em países tradicionais no cultivo de arroz irrigado como no caso do Japão (YASUMOTO et al., 2011).

O excesso hídrico é estabelecido nos solos por diferentes causas, uma delas é quando a quantidade de água decorrente da precipitação ou irrigação supera a quantidade que pode ser drenada e evapotranspirada (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992) promovendo o encharcamento, situação comum em solos de baixa condutividade hidráulica. Nessa condição, o lençol freático se eleva e permanece próximo à superfície por períodos relativamente longos. De outra forma, determinados manejos, passados ou vigentes, podem tornar uma área suscetível à ocorrência desse estresse (DIAS-FILHO, 2005). Assim, a compactação do solo, que é resultante do rearranjo das partículas e agregados do solo, afeta diretamente a porosidade e a densidade do solo (HAMZA; ANDERSON, 2005). Nesses locais, a difusão de gases da atmosfera até o solo é fortemente afetada (ARMSTRONG et al., 1994). Como consequência desse processo, têm-se diversos problemas e dentre eles a disponibilidade de água, o excesso hídrico e, associado a esse, a falta de aeração. Esses fatores, juntamente à textura dos solos, são determinantes do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) (SILVA; KAY; PERFECT, 1994). Conforme o IHO, quanto mais compactado for um solo, tanto mais estreitos são os valores limites desse intervalo. Assim, se estabelece estresse às plantas por aeração quando a umidade do solo é excedente e estresse por deficiência hídrica em valores de umidade do solo próximo ao ponto de murcha permanente (SILVA; KAY, 1996).

Ainda com relação à porosidade, Stone, Guimarães e Moreira (2002) afirmam que a compactação do solo reduz o volume de macroporos, enquanto que o volume de microporos praticamente não se altera, sendo a macroporosidade diretamente associada à infiltração e drenagem de água no solo. Além de afetar a macroporosidade, a compactação e a textura dos solos também estão associadas aos fluxos dos gases de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) no solo. Segundo Bartholomeus et al. (2008), o número mínimo de poros repletos de gases, de maneira que seja suprida a necessidade de oxigênio às plantas, é dependente do tipo, temperatura e profundidade do solo. Áreas sujeitas à compactação são as geralmente utilizadas na forma integrada entre lavoura e pecuária, áreas com elevado trânsito de máquinas, ou nas quais o solo encontra-se descoberto e sujeito ao efeito do impacto da chuva. Nessas condições, fica comprometida a capacidade natural de drenagem dos solos, tornando-o suscetível à ocorrência de períodos intensos e frequentes de alagamento ou encharcamento (DIAS-FILHO, 2005).

O sistema radicular é o principal órgão afetado quando se considera a interação das plantas com o ambiente desfavorável do solo. O crescimento das raízes é indiretamente relacionado com a densidade, textura e estrutura dos solos, estabilidade dos agregados e distribuição do tamanho dos poros. Conforme Sá e Junior (2005), esses fatores associam-se à disponibilidade de água, aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração radicular que são os fatores que diretamente influenciam esse crescimento. No entanto, o efeito do conteúdo de água é considerado o predominante, pois afeta a magnitude dos demais (SÁ; JUNIOR, 2005). Sob baixa aeração na zona radicular, o crescimento das plantas é afetado, o qual fica restrito à camada superficial do perfil de solo, havendo diferentes mecanismos de respostas morfológicas e fisiológicas, que resultam em baixa produtividade (KRAMER, 1969). A condição de excesso hídrico é diretamente relacionada com a precipitação pluvial (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992). No Rio Grande do Sul a distribuição da precipitação apresenta variabilidade espacial e temporal (BURIOL et al., 2006; SILVA et al., 2007) e pode ser influenciada pela ocorrência de fenômenos que tendem a modificar a sua normalidade (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000), de modo a afetar o regime hídrico e, conseqüentemente, gerar épocas e regiões com excesso ou déficit de água (SILVA; CAMPOS, 2011).

A caracterização da precipitação pluvial de um local faz-se necessária em vistas ao planejamento das atividades agrícolas, bem como no dimensionamento de reservatórios de água e outras atividades (RIBEIRO; LUNARDI, 1997). Por meio da análise da distribuição das precipitações pluviais pode-se caracterizar essa variável (SILVA et al., 2007). Associado a essa variável, o estudo do excesso hídrico por meio da análise de distribuição, dá subsídios ao melhor ajuste das atividades agrícolas, como a escolha do cultivo de determinada cultura, de épocas de semeaduras que potencializem a produção, bem como o manejo dos solos e a adoção de práticas de conservação dos mesmos (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996).

De maneira geral, pode-se associar também o excesso hídrico ao número de dias com precipitações. Silva et al. (2007), observaram que ao longo do ano, os meses de junho a agosto são os que apresentam maior número de dias com chuva em Santa Maria-RS, porém com acumulados de chuva menores. Nessas condições, associando-se esses valores às menores demandas da atmosfera desse período, a ocorrência de dias com excedentes hídricos pode ser significativamente maior do que para a mesma precipitação em outras épocas (BURIOL et al., 1980).

O excesso e a deficiência hídrica são parâmetros importantes que se fazem presentes em pesquisas relativas ao zoneamento agrícola (MOTA et al., 1996). Diversos trabalhos utilizaram em sua metodologia períodos decendiais para a análise de probabilidade de ocorrência de déficits e excessos hídricos. Dentre eles se destacam os de Matzenauer et al. (1998) e Alfonsi et al. (1997). Apesar desses autores terem utilizado valores diários de precipitação, na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) utilizaram dados decendiais das outras variáveis meteorológicas. Na maioria desses trabalhos a ET<sub>o</sub> foi estimada apenas com a temperatura do ar através do método de Thornthwaite (1948), o que, no entanto, contribui para erros de superestimativa (CARDOSO, 2005). Assim, a evapotranspiração de referência média diária pode não ser representativa para cada dia do decêndio para a estimativa das necessidades hídricas da cultura e posterior análise dos déficits ou excessos em função da precipitação e da capacidade de armazenamento do solo. Desse modo, poderiam ser cometidos erros na determinação dos níveis de excessos hídricos e por consequência da determinação dos melhores períodos de cultivo.

## **2.2 As plantas sob condição de excesso hídrico**

A condição de excesso hídrico no solo pode proporcionar aumento do suprimento de nutrientes por facilitar o processo da difusão dos elementos, como P e K, para a superfície das raízes (BARBER, 1984), assim como o aumento do pH, que no caso do cultivo de plantas adaptadas a essa condição, como as plantas de arroz, é condição benéfica ao seu desenvolvimento e crescimento. Em contrapartida, o excesso hídrico é condição prejudicial às plantas não adaptadas, tendo como consequência a redução no seu potencial de produção ou até mesmo a morte dessas devido à deficiência de aeração (DREW, 1997), sendo a deficiência de oxigênio (O<sub>2</sub>) o parâmetro mais estudado sob essa condição (JACKSON; COLMER, 2005; KOMATSU; HIRAGA; YANAGAWA, 2012). A falta de aeração bloqueia a transferência de O<sub>2</sub>, bem como de outros gases entre o solo e a atmosfera (STEFFENS; SAUTER, 2010), em vista de que a difusão através da água é cerca de 10<sup>4</sup> vezes mais lenta do que no ar (PONNAMPERUMA, 1984), submetendo as plantas ao estresse tão logo o processo de saturação do solo se inicia (ARMSTRONG, 1979). Assim como a concentração de O<sub>2</sub>, a de

CO<sub>2</sub> em solos saturados é também alterada, podendo chegar a 50% (v/v) do total de gases dissolvidos, de modo a causar toxidez às plantas (PONNAMPERUMA, 1972).

A disponibilidade de O<sub>2</sub> às plantas pode variar desde teores normais (normoxia) a deficientes (hipoxia) ou até mesmo ausência (anoxia), tanto em condições naturais como experimentais (SOUZA; SODEK, 2002). A deficiência de O<sub>2</sub> pode se estabelecer a partir de chuvas pesadas com curtos períodos de encharcamento, enquanto a ausência se reflete em períodos prolongados de excesso hídrico, sendo dependentes das características físico-químicas intrínsecas aos solos (HUANG et al., 1994). O estado de redução é o que mais diferencia um solo sob condições de excesso de água em relação a um solo bem drenado, sob parâmetros químicos, sendo que a matéria orgânica é a principal fonte de elétrons em solos sob excesso hídrico. Segundo Ponnampertuma (1972) o potencial de oxi-redução dos solos submersos é geralmente muito reduzido, sendo que a velocidade e a magnitude do decréscimo dependem do tipo e da quantidade de matéria orgânica, da natureza e quantidade dos aceptores de elétrons, da temperatura e do tempo de submersão. Baixos teores de matéria orgânica e elevados de manganês podem manter os potenciais positivos por meses, enquanto que elevados teores de matéria orgânica permitem a rápida redução do oxigênio presente no solo (PONNAMPERUMA, 1972), principalmente em condições térmicas favoráveis a atividade biológica.

A falta de O<sub>2</sub> afeta grande parte das culturas que exigem condições equilibradas de umidade e aeração do solo para o seu desenvolvimento normal (PORPORATO et al., 2003). As plantas são afetadas pelo déficit de O<sub>2</sub> no solo por esse provocar nas raízes, inicialmente, mudanças no movimento, das raízes até a parte aérea das plantas, de minerais, água, hormônios e assimilados da fotossíntese (LIAO; LIN, 2001; EVANS, 2003; JACKSON; COLMER, 2005; VOESENEK et al., 2006; TOURNAIRE-ROUX et al., 2003), vindo a alterar o metabolismo celular, o crescimento e o desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, a produtividade e a qualidade do produto. Em nível celular, a diminuição da produção de ATP causa diversas conseqüências para o metabolismo primário, com reflexos nas vias do metabolismo secundário (FUKAO; BAILEY-SERRES, 2004). O excesso de água no solo é responsável pela redução da produção vegetal em muitas regiões, sendo determinante para a distribuição das espécies por todo mundo (SAIRAM et al., 2008). Sob tais condições, a sobrevivência das plantas é controlada intrinsecamente pelo balanço entre mecanismos de fuga ou de resistência (FUKAO; BAILEY-SERRES, 2004). Nas regiões tropicais e subtropicais, a temperatura maximiza o efeito hipóxico tanto pela menor



solubilidade do O<sub>2</sub> na água quanto pelo maior consumo na respiração da planta e microrganismos, implicando no aumento da velocidade das reações químicas (JACKSON; COLMER, 2005).

Diferentes parâmetros podem ser analisados para observar os efeitos das reações a esse estresse ambiental, desde observações morfológicas e anatômicas às observações de nível celular. Segundo Huynh et al. (2005), é nas folhas que as mudanças são facilmente observadas, inicialmente com clorose e necrose chegando à desfolha e associado a isso, a cessação do crescimento e morte prematura das plantas. Após a semeadura, a condição de excesso hídrico pode limitar a germinação e estabelecimento inicial das plantas, de modo a afetar o estande final, comprometendo a produção (LOOSE, 2013). Também se tem afirmado que periódicos retornos ao excesso hídrico do solo reduzem mais o crescimento radicular que quando as plantas ficam submetidas continuamente a esse fator de estresse (BELL; SULTAN 1999; SULTAN, 2000).

Uma das opções de observação das reações das plantas, considerada uma técnica altamente sensível, é a possibilidade de monitoramento da fluorescência da clorofila *a* ao longo da atividade do aparato fotossintético, sendo essa considerada não destrutiva (FALQUETO et al., 2010; NAUMANN; ANDERSON; YOUNG, 2008). Dat et al. (2004) afirmam que o nível de expressão de hormônios de crescimento das plantas, bem como demais moléculas sinalizadoras de estresses, é afetado sob excesso hídrico, sendo as mudanças morfológicas e fisiológicas como alongação do caule, desenvolvimento de aerênquima e formação de raízes adventícias, possivelmente associadas ao aumento na produção de etileno (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). Outra técnica, considerada ideal para estudo de efeito de estresses ambientais aos cultivos é o estudo dos níveis de proteínas expressas por meio da técnica proteômica, a qual permite observar as alterações na expressão de proteínas e modificação pós-tradução que ocorrem como meio de ativar o sistema de defesa das plantas em resposta à inundação (KOMATSU; HIRAGA; YANAGAWA, 2012).

Em nível bioquímico, a principal resposta das plantas ao excesso hídrico é a modificação no metabolismo, em resposta à ausência de O<sub>2</sub>, passando de aeróbico para anaeróbico, com sérias consequências ao suprimento energético (SACHS; FREELING; OKIMOTO, 1980). Além disso, há a alteração da atividade de enzimas, com formação de espécies reativas de oxigênio, sendo as peroxidases (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) as primeiras a manifestar alteração sob tal condição de estresse, configurando um estado de estresse oxidativo nas plantas (GARG; MANCHANDA, 2009).

Respostas das plantas à condição de anoxia também são dadas pela modulação de sua expressão genética (XIONG; ZHU, 2002), sendo a acumulação de RNA mensageiro uma das principais observadas (KOMATSU et al., 2011; UMEDA; UCHIMIYA, 1994). Em observação da manifestação genética à hipoxia, Hwang et al. (2011) estudaram a espécie *Arabidopsis thaliana*, considerada sensível, e, de modo geral, obtiveram maiores respostas dos tecidos radiculares que tecidos do caule, demonstrando a diferenciação desses para resposta ao estresse por hipoxia. Assim, quando se trata da presença de genes relacionados à fermentação, esses estão em maior abundância no sistema radicular, enquanto que genes relacionados ao metabolismo do etileno, primeiro sinal para a alongação do caule (VOESENEK et al., 2003), são expressos principalmente no caule (ISMOND et al., 2003). Trabalhos relatam que as raízes ainda podem apresentar metabolismo de auto regulação, de modo que a expressão genética permite a redução do consumo energético (GEIGENBERGER, 2003). Algumas espécies, ditas como hipoxi-tolerantes, como *Vitis riparia* (MANCUSO; MARRAS, 2006) apresentam mecanismo de baixo consumo de ATP, o que pode prevenir o efeito letal do estresse por hipoxia. Entretanto, o processo de reoxidação do ambiente radicular das plantas também se torna danoso às plantas, visto que a reintrodução do O<sub>2</sub> em tecidos altamente reduzidos pela ausência de O<sub>2</sub> leva à formação de radicais de O<sub>2</sub> nocivos e produtos oxidativos tóxicos, resultando em rápido dano peroxidativo (CRAWFORD; BRAENDLE, 1996; BIEMELT; KEETMAN; ALBRECHT, 1998). Thomson et al. (1992) afirmam que o comportamento das plantas em relação à hipoxia é determinada pela habilidade do sistema radicular das mesmas em se regenerar após a subsequente drenagem dos solos.

### **2.3 A cultura do girassol e o excesso hídrico**

As plantas de girassol são consideradas sensíveis à deficiência de O<sub>2</sub>. Sob tal condição apresentam mudança do metabolismo aeróbio para a via anaeróbia, modificando o metabolismo respiratório do sistema radical, produzindo substâncias tóxicas como o etanol e o lactato, além de baixo rendimento energético (KOLB; JOLY, 2009). Segundo Wample e Davis (1983), as plantas de girassol apresentam, sob condição de estresse por excesso hídrico, a redução do transporte dos fotossintatos provenientes das folhas destinados às raízes,

resultando na acumulação de carboidratos não estruturais nas folhas como reflexo da redução do transporte pelo floema. O efeito do estresse por saturação hídrica do solo sobre as plantas de girassol é complexo e dependente do estágio de desenvolvimento da planta e da duração desse estresse (ORCHARD; JESSOP, 1984; GRASSINI et al., 2007; YASUMOTO et al., 2011). Considerando o período de abrangência semeadura-emergência-estabelecimento das plantas, quando as plantas ficam submetidas a dois dias sob excesso hídrico, os prejuízos maiores ocorrem por ocasião da emergência (LOOSE, 2013), enquanto quatro dias determinam menores altura de plantas, comprimento do pecíolo, diâmetro do caule e capítulo, número de folhas e conteúdo de N, matéria seca de raízes, acumulação de nitrogênio, produção total, massa de 100 aquênios e teor de óleo acumulado (YASUMOTO et al., 2011; LOOSE, 2013). Na fase vegetativa dois dias de excesso hídrico reduzem no potencial de pressão dos tecidos, afetando diretamente a expansão foliar, a condutância estomática e consequentemente a fotossíntese, além da densidade radicular, afetando a absorção de água e nutrientes (ORCHARD; JESSOP, 1984; ORCHARD; JESSOP; SO, 1986).

Na fase reprodutiva, trabalhos têm demonstrado que quatro dias sob excesso hídrico nos estágios R1 e R5.1 promovem menor conteúdo de N nas folhas e decréscimo no conteúdo do ácido oleico nos grãos. No estágio R6 a partir de um dia as plantas apresentam menor taxa e duração do período de enchimento de grãos, com conseqüente redução do número e massa dos grãos (ORCHARD; JESSOP, 1984; ORCHARD; JESSOP; SO, 1986; GRASSINI et al., 2007) além da redução na qualidade do óleo produzido (YASUMOTO; MATSUZAKI, 2013). Quando o excesso hídrico ocorre durante o período de enchimento de grão, por exemplo, sob encharcamento por um período de até 48 horas, um dos efeitos é a maior senescência das folhas, bem como ocorre redução da taxa de fotossíntese nas folhas remanescentes durante o restante do período de enchimento de aquênios, além da redução na biomassa das raízes e no rendimento de aquênios, sendo as propriedades do solo importantes para a maior ou menor interferência sobre as plantas de girassol (GRASSINI et al., 2007). Além disso, excessos hídricos frequentes ou prolongados determinam processos inversos à deficiência, ficando a profundidade do sistema radicular das plantas limitada pelo nível do lençol freático, sendo esta variável com o balanço hídrico (BRASIL, 1973).

O girassol é cultivado também em época de safrinha, após a colheita de verão, em sucessão aos cultivos de soja e milho (LAZZAROTTO; ROESSING; MELLO, 2005). A cultura também pode ser alternativa de rotação para áreas de cultivo de arroz irrigado como ocorre no Japão (OKADA et al., 2008; YASUMOTO et al., 2011). O cultivo de safrinha

permite o aproveitamento, por parte dos produtores, tanto dos recursos disponíveis na propriedade quanto da mão de obra e máquinas que poderiam ficar ociosos (AMORIN et al., 2008). Assim, faz-se necessário melhorar as técnicas de produção não só na época normal de cultivo (safra), mas também para obter melhor produtividade e para saber qual é o risco de semear girassol em períodos não preferenciais, visto que as condições ambientais em tais períodos são diferentes e podem influenciar de forma negativa a produção de aquênios.

Em trabalho realizado no Paraná com diferentes datas de semeadura que variaram de julho a fevereiro, Thomaz (2008) observou que as maiores produtividades de aquênios foram obtidas nas semeaduras de julho, agosto e setembro e que a produtividade de aquênios apresentou alta correlação com a precipitação pluvial ocorrida no período do florescimento. As datas de semeadura recomendadas para a região Central do Rio Grande do Sul são de 21 de julho a 10 de agosto e 11 de janeiro a 20 de fevereiro (MAPA, 2010). No entanto, em virtude da sensibilidade da cultura ao excesso hídrico, que é variável conforme o estágio de desenvolvimento e o tempo que as plantas ficam submetidas a ele (ORCHARD; JESSOP, 1984; GRASSINI et al., 2007; YASUMOTO et al., 2011; LOOSE, 2013), faz-se necessário o conhecimento dos riscos de ocorrência de excessos de água no solo que venham a prejudicar a cultura e se este é afetado por variação interanual da precipitação relacionada a eventos de macroescala.

## **2.4 Eventos ENOS e a agricultura**

Em análise da precipitação pluviométrica Buriol et al. (2006) e Heldwein, Buriol e Streck (2009) verificaram que, na abordagem de 93 anos de dados, não houve tendência de aumento ou diminuição da precipitação, podendo considera-se que, para os totais anuais de chuva, a série histórica é estacionária. Para a precipitação média anual, Berlato et al. (1995) também não verificaram tendência de aumento ou diminuição na precipitação média anual, enquanto que Fontana e Almeida (2002) consideram ser a variação existente entre anos decorrente da influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul.

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) constitui-se de dois componentes, sendo um oceânico e outro atmosférico. O componente oceânico é assim denominado, pois deriva das variações na temperatura da superfície do mar (TSM), e o atmosférico da variação da

pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do oceano pacífico (BERLATO; FONTANA, 2003). Grandes variações na produtividade das culturas no Rio Grande do Sul são de responsabilidade da influência do fenômeno ENOS. Tais variações são devido às precipitações acima da normal proveniente do fenômeno El Niño (EN), e por precipitações geralmente abaixo da normal climatológica em anos de ocorrência do La Niña (LN) (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). Algumas das características das chuvas são alteradas pelo fenômeno ENOS como a frequência de ocorrência, a intensidade e a quantidade (BERLATO; FONTANA, 2003; PAULA et al., 2010).

No caso da região em que se encontra Santa Maria, em anos de El Niño, associados com a fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico (STRECK et al., 2009), ocorre variabilidade interanual, sazonal e mensal de precipitação pluviométrica, nos quais a ocorrência das precipitações geralmente é acima da normal climatológica (BERLATO; FONTANA, 2003), agravando ainda mais as condições de cultivos do girassol em anos sob tal influência. Um detalhamento do que acontece em termos de duração do excesso hídrico e os riscos de redução da produção a ele associados pode dar algumas diretrizes a mais para o planejamento das atividades agrícolas em que se inclui o girassol no sistema de rotação das culturas.

O fenômeno ENOS tem início a partir do segundo semestre de um ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005). Anos Neutros são denominados os que não apresentam a ocorrência do El Niño ou da La Niña no Rio Grande do Sul. A precipitação pluvial é geralmente elevada em anos de El Niño, enquanto que em anos de La Niña ocorre geralmente em níveis mais baixos que nos anos Neutros, especialmente na primavera e início do verão do ano de início do fenômeno (BERLATO; FONTANA, 2003).

A maior quantidade de precipitações em anos de EN é responsável pelos picos de produtividade de algumas culturas de verão no estado, enquanto que em anos de La Niña os déficits hídricos são semelhantes ao de anos normais. Portanto, a ocorrência de ambos é um fator importante na agricultura do estado (BERLATO; FONTANA, 2003), pois podem determinar previsões de safras cheias, ou diminuições na produção. Berlato e Fontana (2003) afirmam que o risco do EN ser prejudicial as culturas de verão é decorrente do repique ocorrente em abril e maio, que resultariam em excesso de chuvas no final do ciclo e na colheita das culturas de milho e soja. O mesmo pode ser esperado para o girassol em cultivo tardio de safrinha. No entanto, quando sob influência do EN, nos períodos de primavera-verão

há maior número de registros e também maior altura diária de precipitação pluvial em comparação às normais climatológicas (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) e, mesmo com demanda evaporativa elevada, são passíveis de registro de excedentes hídricos. Uma análise numérica dessas variáveis faz-se necessária para conhecer sua magnitude e principalmente sua frequência, pois assim como o conhecimento das condições médias e normais, é importante a quantificação de sua variabilidade e da probabilidade de ocorrência de determinados níveis práticos permitindo melhor planejamento das atividades agrícolas (BERLATO, 1987).

A ocorrência de EN também afeta a condição fitossanitária da cultura do girassol, sendo a principal importância das precipitações o aumento do período de molhamento foliar. Isso se reflete em maior disponibilidade de água no ambiente e conseqüente aumento na ocorrência de mancha de alternária (SENTELHAS et al., 1996) e septória (RADONS et al., 2009) na cultura. Além disso, segundo Berlato e Fontana (2003) em anos de ocorrência de ENOS as temperaturas mínimas são afetadas, com anomalias negativas em LN e anomalias positivas em EN. Assim, visto que quando a temperatura do ar é mínima, a umidade do ar é máxima e, essas alterações de temperatura diária, irão afetar as condições de germinação, infecção e esporulação do patógeno. Loose et al. (2012) em análise de datas de semeadura consideraram a ocorrência de precipitações como elemento meteorológico de grande importância para a manutenção das condições de umidade e molhamento foliar bem como para a dispersão do inóculo. Seguindo essa análise, em estudo da produção da cultura no pampa argentino, Loose et al. (2010) observaram que a produção tende a ser reduzida em anos sob influência de El Niño, o que explica uma possível relação da ocorrência de excedentes hídricos com a ocorrência de doenças foliares, mas pode também ser resultado de certa influência de algum estresse por excesso hídrico no solo.

## **2.5 Análise numérica em estudos agrometeorológicos**

A análise numérica da distribuição de uma variável aleatória permite saber a probabilidade de risco de ocorrência de determinado evento. No caso de estudos agrometeorológicos, esses geralmente permitem uma abordagem que subsidia estimativas de redução de rendimentos das culturas em razão de tais eventos. Trabalhos nesse sentido têm sido feitos para culturas como o milho (NIED, 2005; TRENTIN, 2009) o feijão (SILVA,

2005; SILVA, 2008), o girassol (MALDANER, 2012; HINNAH, 2014) e a soja (TRENTIN, 2013), nos quais foram realizadas análises de disponibilidade hídrica para as respectivas culturas, assim como para diferentes capacidades de armazenamento de água (CAD) dos solos da região central do Rio Grande do Sul (CARDOSO, 2005). Além da precipitação (SILVA et al., 2007), o uso de tais metodologias de estudo de distribuição foi realizado para análise das variáveis radiação solar (ASSIS et al., 2004; BURIOL et al., 2001), temperatura do ar (ASSIS et al., 2004; HOFFMANN et al., 1994), geada (SILVA; SENTELHAS, 2001) e granizo (BERLATO; MELO; FONTANA, 2000), rajadas e direções de vento (BUENO et al., 2011), bem como para evapotranspiração de referência (MARQUES et al., 1995; SOUSA; FRIZZONE, 1997).

Para a realização de tal análise, é necessário um grande número ou uma série histórica longa de dados (SILVA, 2008; TRENTIN, 2009). Há, ainda, a necessidade de se respeitar a representatividade dos dados, bem como que as estimativas dos seus parâmetros sejam válidas para a região de sua determinação, de modo que não possa haver prejuízo na estimativa da probabilidade (CATALUNHA et al., 2002).

Existem funções para descrever a distribuição de variáveis aleatórias contínuas e discretas. As funções mais utilizadas para análise de distribuição de dados contínuos, denominadas de funções densidade de probabilidade (fdp), são as de Bernoulli, Binomial, Normal, Log-normal, Gama, Weibull, Exponencial, Beta, dentre outras, sendo que seus usos estão diretamente ligados à natureza dos dados a elas relacionados. Para variáveis discretas, as funções de distribuição de probabilidade mais utilizadas são Bernoulli, binomial, binomial negativa, hipergeométrica, geométrica e Poisson (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996; CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2004).

A escolha de determinada função se faz por meio da utilização de testes de aderência (SILVA, 2005; TRENTIN, 2009). Os testes de aderência permitem a comparação entre os dados observados (probabilidades empíricas de uma variável) e os estimados pelas funções (probabilidades teóricas). Os testes de aderência não paramétricos mais utilizados para comparar tais probabilidades são o Qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors (CAMPOS, 1983). Conforme Catalunha et al. (2002), o teste Qui-quadrado apresenta-se mais eficaz que o Kolmogorov-Smirnov, enquanto esse é melhor que o Lilliefors, que apresenta limitação para verificar a aderência dos dados da distribuição normal.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de abrangência do estudo

O estudo foi desenvolvido por meio de análise numérica, utilizando-se da metodologia da modelagem do crescimento e desenvolvimento do girassol, associado ao cálculo do balanço hídrico do solo. Os dados meteorológicos utilizados no cálculo do Balanço Hídrico Sequencial foram obtidos junto à Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/8°DISME), localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43'23''S; 53° 43'15''W; 95 m), utilizando-se a série histórica de agosto de 1968 a julho de 2011.

A área em estudo abrange os municípios de: Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Itaara, Santa Maria, São João do Polêsine, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, Restinga Seca, Silveira Martins, e parte dos municípios de Cacequi, Faxinal do Soturno, Ivorá, Júlio de Castilhos, Santa Margarida do Sul, São Gabriel, São Sepé e Vila Nova do Sul, perfazendo uma área total de cerca de 8000 km<sup>2</sup> (Figura 1).

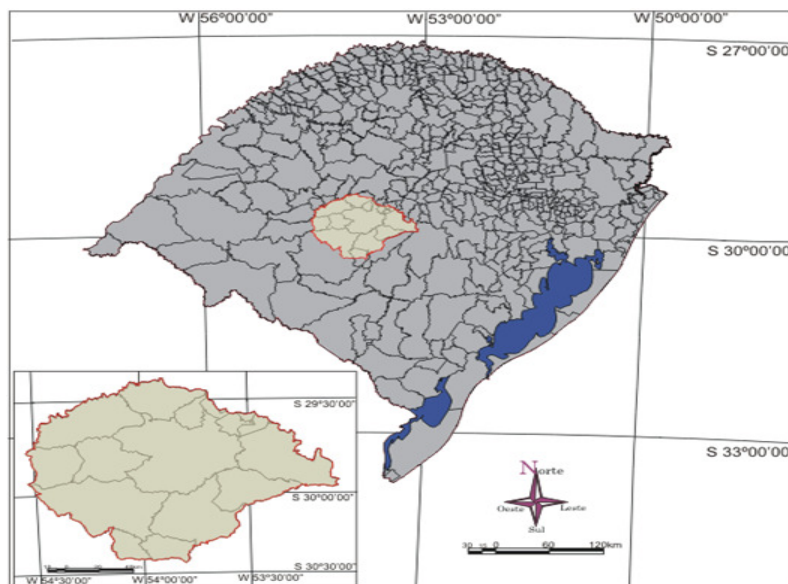


Figura 1-Localização da área de abrangência da análise de risco de excesso hídrico, na região central do Rio Grande do Sul. Fonte: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994, extraído e adaptado de CARDOSO, 2005).



O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (HELDWEIN et al., 2009). Os valores médios da temperatura do ar variam entre 14,1 °C no mês de julho a 24,8 °C em janeiro e os valores normais de precipitação têm distribuição uniforme no ano, caracterizando um regime pluviométrico isoigro (BURIOL et al., 2006; SILVA et al., 2007).

Predominam duas classes de solos na região: Argissolos (unidades de mapeamento Alto das Canas, Júlio de Castilhos, Oásis, São Pedro e Santa Maria), seguido dos Planossolos (unidades de mapeamento Vacacaí e São Gabriel), com 51 e 34% da área ocupada, respectivamente, enquanto os demais solos (Neossolo, Chernossolo, Luvisso e Latossolo), ocupam em torno de 15% da área (CARDOSO, 2005) (Tabela 1). Uma descrição das características dos solos em estudo pode ser encontrada em Cardoso (2005) e em Streck et al., (2008).

Tabela 1- Unidades de mapeamento, classificações e áreas ocupadas e classes dos solos da região em estudo de Santa Maria- RS e municípios vizinhos.

Unidades de Mapeamento	Área (ha)	Área (%)	Classificação
Santa Maria	145356	18,10	Argissolo Amarelo Alítico típico
São Pedro	203047	25,28	Argissolo Vermelho Distrófico arênico
Júlio de Castilhos	22827	2,84	Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico
Oásis	3158	0,39	Argissolo Bruno-Acinzentado Alumínico típico
Alto das Canas	33012	4,11	Argissolo Vermelho Distrófico latossólico
Venda Grande	35871	4,47	Chernossolo Argilúvico Órtico saprolítico
Ciríaco- Charrua*	50551	6,29	Chernossolo Argilúvico Férrico típico - Neossolo Litólico Eutrófico típico
Cerrito	3764	0,47	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Cambaí	11582	1,44	Luvisso Crômico Pálico saprolítico
Guassupi	20857	2,60	Neossolo Litólico Distro-úmbrico fragmentário
Vacacaí	210797	26,24	Planossolo Háplico Eutrófico arênico
São Gabriel	62382	7,77	Planossolo Háplico Eutrófico típico

Fonte: Cardoso (2005); \*Os solos Ciríaco e Charrua ocorrem em associações por isso foram quantificados conjuntamente.

### 3.2 Descrição das variáveis meteorológicas e do balanço hídrico

Do banco de dados da ECPSM, foram utilizadas todas as variáveis necessárias para a realização da simulação de desenvolvimento das plantas de girassol para cada data de semeadura de cada ano e para a realização do cálculo do balanço hídrico sequencial diário (BHD), conforme Silva (2008) e Trentin (2009), as quais estão descritas na Tabela 2. Nos países membros da Organização Meteorológica Mundial, por convenção, as observações e medições dos elementos meteorológicos nas estações meteorológicas convencionais devem ser realizadas às 00h, 06h, 12h e 18h do horário de Greenwich (UTC- Universal Time Coordinated) (WMO, 2008), correspondente aos horários das 21h, 03h, 09h e 15h no horário oficial de Brasília. Entretanto, a leitura das 03h não é realizada, na maioria dos casos.

As temperaturas mínimas e máximas do ar são observadas, respectivamente, às 09 e 21h. A insolação diária foi obtida da medida feita pelo heliógrafo tipo Campbell-Stokes, no qual a incidência dos raios solares causa uma carbonização na fita heliográfica que é graduada em horas e décimos de horas. A contabilização do tempo carbonizado da fita representa a insolação diária. A precipitação pluviométrica diária é medida às 9h do dia e corresponde ao acumulado desde às 9h do dia anterior.

Tabela 2- Variáveis meteorológicas obtidas do banco de dados da Estação Climatológica Principal de Santa Maria.

Variável	Descrição
$T_{mn}$	Temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{mx}$	Temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_9$	Temperatura do ar medida às 9 horas ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{15}$	Temperatura do ar medida às 15 horas ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{21}$	Temperatura do ar medida às 21 horas ( $^{\circ}\text{C}$ )
$UR_9$	Umidade relativa do ar das 9 horas (%)
$UR_{15}$	Umidade relativa do ar das 15 horas (%)
$UR_{21}$	Umidade relativa do ar das 21 horas (%)
$U_2$	Velocidade do vento medida à 2 m acima do solo ( $\text{Km}\cdot\text{dia}^{-1}$ )
n	Insolação diária (h)
Prec	Precipitação pluviométrica diária(mm)
EvP	Evaporação diária medida no Evaporímetro de Piche (mm)

Com as variáveis da Tabela 2 foram calculadas as médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar, os valores diários de pressão parcial e de saturação de vapor d'água do ar e do déficit de saturação do ar, bem como da radiação solar incidente, do balanço de radiação e da evapotranspiração de referência, conforme equações descritas na Tabela 3.

As estimativas de temperatura média ( $T_{med}$ ) e umidade relativa média ( $UR_m$ ) do ar (Equações 1 e 2) foram calculadas conforme indicação técnica do INMET (1992) e a pressão de saturação conforme equação de Tétens (MURRAY, 1967) com coeficientes ajustados de acordo com Fischer et al. (1987).

Tabela 3- Variáveis meteorológicas estimadas a partir de dados meteorológicos medidos e suas respectivas funções matemáticas.

Variáveis	Equação	
Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{med} = 0,2 \cdot (T_9 + T_{mx} + T_{mn} + 2 \cdot T_{21})$	1
Umidade relativa média do ar (%)	$UR_m = 0,25 \cdot (UR_9 + UR_{15} + 2 \cdot UR_{21})$	2
Pressão de saturação de vapor do ar (kPa)	$e = 0,6107 \cdot \exp\left(\frac{17,2694 \cdot T_{med}}{237,3 + T_{med}}\right)$	3
Pressão parcial de vapor do ar (kPa)	$e = 0,01 \cdot e_s \cdot UR_m$	4
Déficit de saturação do ar (kPa)	$d = e_s - e$	5
Tangente à curva de saturação ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{med} + 237,2)^2}$	6
Densidade de fluxo de radiação global incidente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	$Rg = K_0 \downarrow \cdot (b_0 + b_1 \cdot n \cdot N^{-1})$	7
Balanço de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	$L^* = -\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{med} + 273)^4 \cdot [0,56 + 0,09 \cdot (0,75 \cdot e)^{0,5}] \cdot (0,1 + 0,9 n N^{-1})$	8
Saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	$Q^* = Rg \cdot (1 - r) + L^*$	9
Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ )	$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \cdot \frac{Q^*}{L} + \frac{\gamma \cdot 900}{(\Delta + \gamma^*) \cdot (T_{med} + 273)} U_2 \cdot d$	10

em que:  $\Delta$  é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água para a temperatura média diária  $T_m$  ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\varepsilon$  a emissividade da superfície vegetada de referência (0,95);  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann ( $4,9861 \cdot 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$ );  $r$  refletividade da superfície vegetada de referência (0,23);  $\gamma$  a constante psicrométrica ( $0,0662 \text{ kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma^*$  a constante psicrométrica corrigida segundo Allen et al., 1998 por  $\gamma^* = \gamma \cdot (1 + 0,34 U_2)$ ;  $U_2$  a velocidade média diária do vento a 2 m de altura ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ); do déficit de saturação do ar (kPa);  $L$  o calor latente de evaporação ( $2,46 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

Por meio da equação de Ångström-PreScott (Equação 7), foi estimada a densidade de fluxo da radiação global incidente ( $R_g$ ), sendo  $K_{o\downarrow}$  a densidade de fluxo da radiação solar global incidente no topo da atmosfera ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ ), a qual é estimada em função da latitude do local e da data no período do ano, sendo os coeficientes mensais  $b_0$  e  $b_1$  ajustados para Santa Maria por Buriol et al. (2012),  $n$  a insolação diária registrada com heliógrafo ( $h \cdot dia^{-1}$ ) e  $N$  a duração astronômica do dia calculado em função do dia do ano e da latitude local. A estimativa de  $N$  e  $K_{o\downarrow}$  foram feitas utilizando-se do algoritmo ESTIMVARMET, desenvolvido pelo setor de Agroclimatologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM. Utilizando-se da radiação global incidente (Equação 7) e do saldo de radiação de onda longa obtido pela equação de Brunt-Penman (Equação 8), foi obtido o saldo de radiação pela equação 9 (BERLATO; MOLION, 1981).

A estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foi realizada com uso do método de Penman-Monteith, conforme Allen et al. (1998) (Equação 10). Quando houve períodos com ausência de dados de velocidade do vento foi usada a equação de Penman (11) (VAREJÃO SILVA, 2000) em substituição a equação 10, na qual utilizou-se o ajuste do termo aerodinâmico por meio do déficit de saturação do ar (kPa) e da evaporação medida no evaporímetro de Piche ( $EvP$ ,  $mm \cdot dia^{-1}$ ), conforme proposto por Alberto et al. (2002):

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \frac{Q^*}{L} + (a + b \cdot EvP) \cdot d}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (11)$$

sendo que:  $\Delta$  é dada em  $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ;  $\gamma$  é  $0,80 kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ;  $L$  é o calor latente de evaporação ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1} \cdot mm^{-1}$ ),  $Q^*$  é o saldo de radiação ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ );  $d$  é o déficit de saturação de vapor d'água do ar (kPa).

Para o cálculo do BHD foi utilizada a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), descrita por Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997). Tal metodologia, assim como o roteiro de cálculo seguiram trabalhos realizados por Nied (2003) para a cultura do milho e por Silva (2005) para a cultura do feijoeiro, com alterações relacionadas ao BHD para a cultura do girassol (MALDANER, 2012). Os cálculos do BHD foram realizados de forma seriada, utilizando-se dados diários de evapotranspiração de referência obtidos pelo método de Penman-Monteith e, nos períodos de falha de dados de vento, pelo método de Penman modificado (Equação 11). No cálculo do BHD foram incluídos ainda a precipitação pluviométrica diária efetiva, a variação diária na capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) em função do crescimento radicular, considerando a função do

desenvolvimento das plantas de girassol (soma térmica), e a variação decorrente das diferenças de características físicas em função do tipo de solo (CARDOSO, 2005). A simulação ocorreu para as diferentes datas de semeadura e em função do crescimento e desenvolvimento das plantas, além da evapotranspiração máxima da cultura, considerada nos diferentes estágios em função do coeficiente de cultura ( $K_c$ ).

Em virtude de que após uma precipitação pluvial, o volume de água que contribui para o armazenamento no solo é somente o que foi infiltrado, foi utilizado para o cálculo do BHD o valor da precipitação pluvial efetiva. Esse valor foi obtido seguindo metodologia do U.S. Soil Conservation Service, descrita por Frizzone et al. (2005). Conforme essa metodologia, a precipitação pluvial é dividida em perdas por escoamento superficial, por interceptação realizada pela vegetação e pelo enchimento das rugosidades superficiais do solo, sendo as duas últimas consideradas perdas iniciais (FRIZZONE et al., 2005). Dessa forma descreve-se:

$$P_i = \frac{5080}{CN} - 50,8 \quad (12)$$

$$P_r = \frac{(Prec - 0,2s)^2}{(Prec + 0,8)} \quad \text{quando } Prec > 0,2s \quad (13)$$

$$P_r = 0,0 \quad \text{quando } Prec < 0,2s \quad (14)$$

sendo:

$$s = 254 \frac{100}{CN - 1} \quad (15)$$

em que:  $P_i$  são as perdas iniciais em razão da interceptação pela vegetação e do enchimento das rugosidades superficiais do solo, mm;  $P_r$  as perdas por escoamento superficial, mm;  $Prec$  a precipitação pluviométrica em mm;  $CN$  a curva número, que é adimensional;  $s$  o parâmetro de retenção potencial do solo, também adimensional.

Cada tipo de solo, assim como seu uso e as práticas de manejo influenciam na variação do parâmetro de retenção ( $s$ ). Assim, para as condições médias dos solos em questão, a determinação desse parâmetro foi determinada como dependente da curva número ( $0 \leq CN \leq 100$ ) tabelada. Para os diferentes tipos de solos foram adotados valores de  $CN$  conforme o teor de areia, utilizando o valor de 72 para os solos arenosos (com teor de areia maior que 50%) e o valor de 91 para os solos com predomínio das outras classes de partículas (teor de silte + teor de argila > 50%) (Tabela 4).

Foi considerado que a evaporação influencia em 25% as perdas iniciais, e assim, que apenas 75% infiltra no solo e que a variação do conteúdo de água no solo depende da água que infiltra (FRIZZONE et al., 2005). Dessa forma:

$$Pe = Prec - Pr - 0,25 \cdot Pi \quad \text{quando } Prec > Pi \quad (16)$$

$$Pe = 0,75 \cdot Prec \quad \text{quando } Prec \leq Pi \quad (17)$$

em que  $Pe$  = precipitação efetiva, mm.

Utilizando-se da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura, por meio do balanço hídrico foi calculado o conteúdo de água presente no solo, para todos os dias do ciclo da cultura e para cada data de semeadura, determinando-se, então, a evapotranspiração real da cultura (ETR). Conforme o cálculo do BHD, o excesso hídrico representa a quantidade de água que excede no perfil do solo e, não sendo evapotranspirada, está sujeita à percolação e escoamento superficial. Dessa forma, o excesso hídrico é quantificado quando se tem quantidade de água no solo superior à CAD considerada e esse valor será a diferença entre o valor de precipitação efetiva e o que foi evapotranspirado pela cultura. Assim, como a metodologia do BHD considera a dinâmica de entradas e saídas de água no solo, o excesso hídrico se estabelece quando há elevada precipitação pluvial associada à baixa demanda atmosférica e outros fatores relacionados às plantas e ao solo.

Tabela 4-Capacidade de armazenamento de água disponível no solo inicial (CAD<sub>in</sub>) e final (CAD<sub>f</sub>), valor da curva (CN), unidades de mapeamento (BRASIL, 1973) e classificação dos solos (STRECK et al., 2008) da área de abrangência da Estação Climatológica Principal de Santa Maria, RS.

CAD <sub>in</sub> (mm)	CAD <sub>f</sub> (mm)	CN*	Unidades de Mapeamento	Classificação dos solos
15	45	91	Charrua	Neossolo Litólico Eutrófico típico
15	45	91	Ciríaco	Chernossolo Argilúvico Férrico típico
15	45	91	Guassupi	Neossolo Litólico Distró-úmbrico fragmentário
15	45	91	Júlio de Castilhos	Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico
15	60	72	Cerrito	Latossolo Vermelho Distrófico típico
15	60	72	São Pedro	Argissolo Vermelho Distrófico arênico
15	60	72	Venda Grande	Chernossolo Argilúvico órtico saprolítico
15	80	91	Alto das Canas	Argissolo Vermelho Distrófico latossólico
15	80	91	Cambai	Luvissolo Crômico Pálico saprolítico
22	80	91	Oásis	Argissolo Bruno Acinzentado Alumínico típico
22	80	91	São Gabriel	Planossolo Háptico Eutrófico típico
22	85	72	Santa Maria	Argissolo Amarelo Alítico típico
22	105	72	Vacacaí	Planossolo Háptico Eutrófico Arênico

\*CN = 72 para os solos com teor de areia maior que 50% e 91 com teor de areia menor que 50%. FONTE: MALDANER (2012).

### 3.3 Simulação do desenvolvimento das plantas e consumo de água

Considerando-se que após a emergência, a duração dos subperíodos de desenvolvimento do girassol é altamente dependente da temperatura do ar (CASTRO; FARIAS, 2005), visto que a maioria dos genótipos é considerada insensível ao fotoperíodo (UNGARO et al., 2009), a simulação do desenvolvimento foi realizada considerando-se o método de soma térmica, sendo a duração dos subperíodos uma função da soma térmica acumulada. Assim, para o cálculo da soma térmica diária (STd), considerou-se um genótipo de ciclo precoce, a temperatura base ( $T_b$ ) de 3,9 °C (MALDANER et al., 2011), temperatura ótima ( $T_{ot}$ ) de 27 °C e temperatura máxima ( $T_{max}$ ) de 34 °C (FAGUNDES et al., 2007). A temperatura média ( $T_{medi}$ ) foi obtida pela média aritmética entre a temperatura mínima e a temperatura máxima diária do ar. A soma térmica acumulada (STa, °C·dia) foi calculada para cada subperíodo pelas equações (GILMORE JUNIOR; ROGERS, 1958; STRECK et al., 2007):

$$STa = \sum_{i=1}^n [T_{medi} - T_b] \cdot 1 \text{ dia} \quad \text{quando } T_b < T_{medi} \leq T_{ot} \text{ ou,} \quad (18)$$

$$STa = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(T_{ot} - T_b) \cdot (T_{max} - T_{medi})}{(T_{max} - T_{ot})} \right] \cdot 1 \text{ dia} \quad \text{quando } T_{ot} < T_{medi} \leq T_{max} \quad (19)$$

quando  $T_{medi} < T_b$ ,  $T_{medi} = T_b$

quando  $T_{medi} > T_{max}$ ,  $T_{medi} = T_{max}$

Para determinar os subperíodos conforme a soma térmica acumulada, considerou-se os valores obtidos por Maldaner (2012) que determinou para o genótipo em estudo: subperíodo semeadura-emergência (S-E) os valores de 0 a 136,8 °C dia, para o dia anterior ao início e para o último dia do subperíodo, respectivamente; para o subperíodo emergência - botão floral visível (E-R1) de 136,9 a 826,4 °C dia; para o subperíodo botão floral visível - início da antese (R1-R5.1) a STa de 826,5 a 1248,0 °C dia; para o subperíodo de início da antese - final da antese (R5.1-R6) a STa de 1248,1 a 1407,8 °C dia; e para o subperíodo de final da floração - maturação fisiológica (R6-R9) a STa de 1407,9 a 1869 °C dia. O genótipo utilizado é um híbrido (Aguará 03) fornecido pela empresa Atlântica Sementes, o qual é de ciclo precoce e

apresenta moderada resistência à mancha de alternária e bom rendimento (LEITE; OLIVEIRA, 2009).

A simulação do desenvolvimento das plantas foi realizada para diferentes datas de sementeira, contempladas sempre aos 1º e 16º dias do mês para todos os anos considerados (1968-2011) desde 01 de agosto a 16 de fevereiro (Tabela 5). Essas datas de sementeira contemplam também os dois períodos determinados para a cultura no zoneamento agrícola (MAPA, 2010). Os valores obtidos das simulações foram utilizadas para o cálculo da variação do Kc e da CAD, considerando o aprofundamento radicular no solo em função da soma térmica (DOURADO NETO et al., 1999; MALDANER, 2012).

Tabela 5- Datas de sementeira (DS) utilizadas na simulação do desenvolvimento da cultura do girassol em Santa Maria, RS.

DS	Data da sementeira	DS	Data da sementeira	DS	Data da sementeira
1	01/ago	6	16/out	11	01/jan
2	16/ago	7	01/nov	12	16/jan
3	01/set	8	16/nov	13	01/fev
4	16/set	9	01/dez	14	16/fev
5	01/out	10	16/dez		

O cálculo da evapotranspiração máxima da cultura se utiliza da evapotranspiração de referência e do Kc determinados para a cultura do girassol nos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura, conforme proposto por Matzenauer, Maluf e Bueno (1999) (Tabela 6, Figura2). Assim, para os subperíodos sementeira à emergência (S-E) e início da antese ao final da antese (R5.1-R6) os valores do Kc foram considerados constantes. Para os subperíodos emergência - botão visível (E-R1), botão visível – início da antese (R1-R5.1) e final da antese à maturação fisiológica (R6-R9), utilizou-se os valores gerados por Maldaner (2012) conforme modelos lineares baseados na soma térmica acumulada (Tabela 6, Figura 2). Foi considerado 1,12 o valor máximo de Kc para o subperíodo R1–R5.1, obtido pela respectiva equação (Tabela 6).



Tabela 6- Soma térmica acumulada desde a data de semeadura, subperíodos de desenvolvimento e modelo de cálculo dos coeficientes de cultura utilizados para determinar a evapotranspiração máxima do girassol em Santa Maria, RS.

Soma Térmica (°C dia)	Subperíodos	Coefficiente de Cultura
0-136,8	S-E	0,43
136,9-826,4	E-R1	$0,4316 + 2,8 \cdot 10^{-4} ST$
826,5-1248,0	R1-R5.1	$-0,2884 + 1,2 \cdot 10^{-3} ST$
1248,1-1407,8	R5.1-R6	1,12
1407,9-1869,0	R6-R9	$2,2547 - 8,19 \cdot 10^{-4} ST$

Fonte: Maldaner (2012); S: semeadura; E: emergência; R1: botão visível; R5.1: início da antese; R6: final da antese; R9: maturação fisiológica.

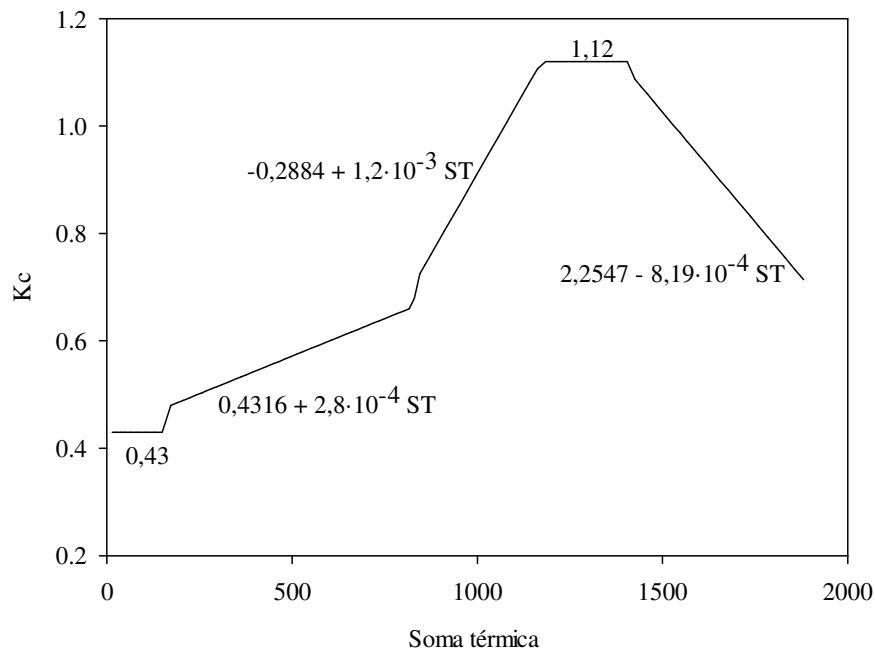


Figura 2- Coeficiente de cultura (Kc) do girassol em função da soma térmica.

### 3.4 Capacidade de armazenamento de água disponível no solo

Para o cálculo da água em excesso no solo para a cultura do girassol, os valores diários da capacidade de armazenamento de água disponível do solo (CAD) foram variáveis em função do aprofundamento radicular durante o subperíodo emergência - início da floração, o qual foi considerado em função da soma térmica (Figura 3), conforme adaptação do modelo

de Dourado Neto et al. (1999) para a cultura do girassol por Maldaner (2012). Durante o subperíodo semeadura-emergência foi considerada a CAD inicial ( $CAD_{in}$ ) até a profundidade de 0,10 m; durante o subperíodo início da floração-maturação fisiológica a CAD foi considerada a máxima até a profundidade do sistema radicular de 0,60 m ( $CAD_f$ ), e tais valores, associados aos de Curva Número permitiram o agrupamento dos solos considerados no estudo em classes de CAD (Tabela 4) conforme descrito por Maldaner (2012).

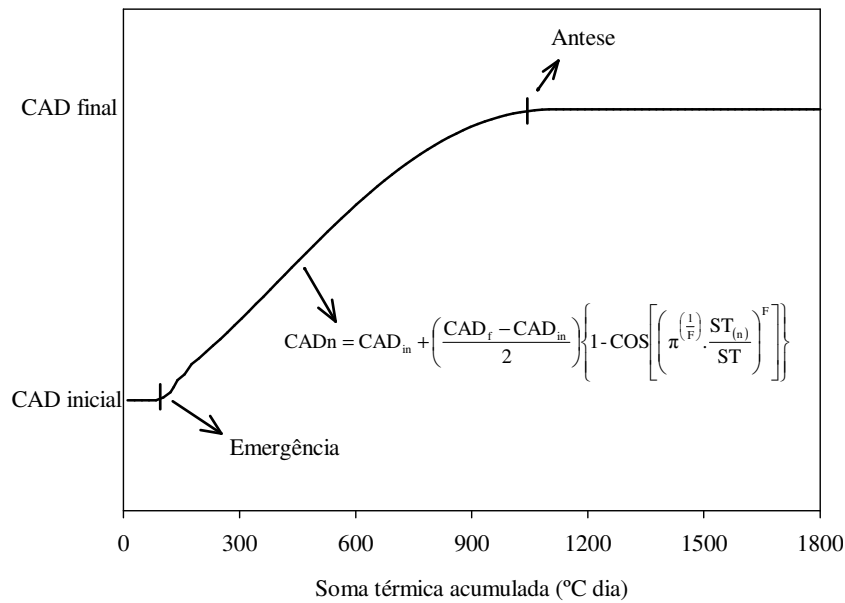


Figura 3- Variação dos valores de capacidade de armazenamento de água no solo ( $CAD_n$ ) em função do aprofundamento radicular ao longo do ciclo, determinado pela soma térmica acumulada ( $^{\circ}C$  dia) no dia n. Santa Maria, RS, 2014.

Em razão dos trabalhos que tratam de estresse por excesso hídrico considerarem o tempo em que as plantas ficam submetidas ao estresse, foi considerado o número de dias em que as plantas ficaram sob tal condição, em vez de considerar os valores de volume de excesso. Assim, utilizou-se o número de dias com excesso hídrico como indicador de excesso hídrico para a cultura. Como valores de referência foram considerados dois e quatro dias e seus múltiplos, em vistas dos trabalhos de Orchard e Jessop (1984), Grassini et al. (2007), Yasumoto et al. (2011) e Loose (2013). Também foram contabilizados os dias consecutivos com excesso hídrico maior que dois e quatro dias, os quais foram considerados em todos os anos analisados (1968-2011), separando-os nas datas de semeadura e subperíodos estudados.

Os cálculos foram realizados a partir do desenvolvimento de algoritmos escritos no software Statistical Analysis System (SAS, 2001).

### 3.4 Análise do fenômeno ENOS

Considerando-se o fenômeno ENOS como influentes na variabilidade das precipitações pluviais na região de abrangência do estudo, o número de dias consecutivos com excesso hídrico maior que dois e quatro, acumulados no ciclo da cultura, para cada data de semeadura e cada classe de solos, também foi submetido ao teste de ajuste das fdp. Para essa análise foram considerados apenas os anos sob influência do fenômeno La Niña e também os anos considerados Neutros, em virtude que nos anos de El Niño os excedentes hídricos são considerados como prejudiciais para a cultura, portanto, anos sob previsão de sua ocorrência não são indicados para cultivo do girassol (BORTOLUZZI et al., 2011; SCHACH et al., 2011; MALDANER, 2012). A classificação dos anos foi realizada conforme Climate Prediction Center (2012), apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Classificação dos anos em função do fenômeno ENOS ocorridos no período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

Ano <sup>1</sup>	Classificação <sup>2</sup>	Ano	Classificação	Ano	Classificação
1968-1969	EN	1983-1984	NT	1998-1999	LN
1969-1970	EN	1984-1985	LN	1999-2000	LN
1970-1971	LN	1985-1986	NT	2000-2001	LN
1971-1972	LN	1986-1987	EN	2001-2002	NT
1972-1973	EN	1987-1988	EN	2002-2003	EN
1973-1974	LN	1988-1989	LN	2003-2004	NT
1974-1975	LN	1989-1990	NT	2004-2005	EN
1975-1976	LN	1990-1991	NT	2005-2006	NT
1976-1977	EN	1991-1992	EN	2006-2007	EN
1977-1978	EN	1992-1993	NT	2007-2008	LN
1978-1979	NT	1993-1994	NT	2008-2009	NT
1979-1980	NT	1994-1995	EN	2009-2010	EN
1980-1981	NT	1995-1996	LN	2010-2011	LN
1981-1982	NT	1996-1997	NT		
1982-1983	EN	1997-1998	EN		

<sup>1</sup>De julho de um ano até junho do ano seguinte; <sup>2</sup>La niña (LN), El niño (EN) e Neutro (NT). Fonte: Climate Prediction Center (2013). Anos sombreados foram usados na análise.

### 3.5 Análise Estatística

Os dados resultantes do balanço hídrico, ou seja, o número de dias com excesso hídrico, foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro, sendo consideradas como fontes de variações as data de semeadura, as classes de solos e suas interações e os anos de estudo as repetições. Foi realizada também a análise exploratória Box-Plot apresentando os valores de mediana, máximos, mínimos e os valores discrepantes das distribuições.

Os valores relativos ao número de dias com excesso hídrico, para cada data de semeadura e classe de solo, foram analisados também conforme a distribuição de probabilidades (SILVA, 2005; SILVA, 2008; TRENTIN, 2009) e teste para verificar a qualidade de ajustamento para saber-se qual a função de distribuição de probabilidade melhor representa a distribuição dos indicadores de excesso hídrico considerados no trabalho.

Tendo em vista que a variável número de dias com excesso hídrico foi contabilizada em totais para determinado período (ciclo e subperíodos), utilizou-se de funções de distribuição de probabilidade para variáveis contínuas. Assim, inicialmente foram escolhidas visualmente as funções que tiveram melhor ajuste aos dados por meio da plotagem da distribuição aos dados. Após foram testados os ajustes das fdp: Normal, Exponencial, Gama, Lognormal e Weibull, reduzidas a dois parâmetros, conforme recomendado por Assis, Arruda e Pereira (1996) e Catalunha et al. (2002). Em Silva (2008) e Trentin (2009) pode-se encontrar uma descrição mais detalhada das características das principais funções de densidade de probabilidade e suas funções acumulados.

Como critério de escolha das melhores funções para cada situação utilizou-se o nível de significância de 10% para pelo menos um dos testes de aderência Chi-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov, sendo dada preferência sempre para o teste Chi-Quadrado. Quando houve mais de uma função ajustada, para cada caso, foi escolhida aquela que apresentou maior nível de significância indicado pelo teste do Chi-Quadrado. Considera-se como hipótese nula para tais testes que não há diferença entre a frequência relativa empírica e a frequência relativa teórica, definida matematicamente, não desejando, portanto, nesse caso rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Valores médios de excesso hídrico**

A análise da variância da variável do número de dias com excesso hídrico revelou que a interação entre os fatores grupo de solo e data de semeadura (solo x DS) não foi estatisticamente significativa, sendo apenas significativo a 1% de probabilidade de erro o efeito isolado de cada um dos fatores para todos os subperíodos analisados e também para o ciclo da cultura (Apêndice A). As condições meteorológicas foram distintas para as diferentes datas de semeadura simuladas nos 43 anos, o que resultou em diferenças nas somas térmicas e, conseqüentemente, na duração simulada dos subperíodos e ciclo de desenvolvimento. Assim, houve diferença no número de dias com excesso hídrico entre as datas de semeadura para todos os subperíodos analisados (Figura 4 e apêndice B), não só como consequência da distribuição da precipitação e das condições de evapotranspiração, mas também devido as diferenças de duração dos subperíodos e do ciclo entre anos.

Avaliando-se os subperíodos quanto ao número de dias com excesso hídrico para as DS consideradas, observa-se no subperíodo semeadura-emergência o maior valor para a DS de 1º de agosto, alcançando cerca de 30% dos dias (Figura 4), o que reflete as condições meteorológicas predominantes favoráveis ao excesso hídrico nesse período. Segundo Maldaner (2012), a duração desse subperíodo pode estender-se de 11 a 15 dias, quando consideradas as mesmas datas de semeadura em função da menor ou maior soma térmica diária. O excesso hídrico nesse período pode promover redução, atrasos e heterogeneidade na emergência das plântulas (UNGARO et al., 2009; LOOSE, 2013), podendo comprometer a produção em até 43% em razão da desuniformidade e redução do estande de plantas (MERRIEN; MILAN, 1992). Para Yasumoto et al. (2011), quando plantas de girassol ficam submetidas à saturação do solo por quatro dias durante o estabelecimento, são suprimidos determinantes do crescimento e desenvolvimento vegetal (altura de planta, comprimento e espessura da haste, número de folhas, diâmetro do capítulo, massa seca de raízes e acumulação de nitrogênio) que afetam posteriormente o rendimento, a massa de 100 aquênios e o teor de óleo. Também foram encontradas afirmações de que periódicos retornos ao excesso hídrico do solo reduzem o crescimento radicular em maiores proporções do que

quando as plantas ficam submetidas continuamente a esse fator de estresse (BELL; SULTAN 1999; SULTAN, 2000).

No subperíodo emergência-botão floral visível, o número de dias com excesso hídrico foi maior (cerca de dez dias) para as duas primeiras DS, sendo o menor valor observado para a DS de 1º de dezembro (Figura 4). Esse subperíodo corresponde ao crescimento vegetativo, que é o de maior duração, dentre os subperíodos do ciclo total, podendo alcançar de 35 até 60 dias dependendo da DS (MALDANER, 2012) e por essa razão o número absoluto de dias com excesso hídrico tende a ser maior do que nos demais subperíodos, mas em qualquer época verificou-se menos de 20% dos dias do subperíodo com excesso hídrico.

Nesse subperíodo a emissão e a expansão das folhas são os principais eventos que ocorrem. No caso do girassol submetido ao excesso hídrico, nesse subperíodo a redução no uso da água pelas plantas em razão do aumento na resistência estomática, com correspondente declínio no potencial de água nas folhas, afeta diretamente a expansão foliar (ORCHARD; JESSOP; SO, 1986). Concomitantemente ao crescimento da parte aérea, no período vegetativo também ocorre o crescimento do sistema radicular. Orchard e So (1985) observaram massa seca de raiz 20% menor em razão da manutenção das plantas em solo saturado durante o período vegetativo. Conforme Wample e Davis (1983), o acúmulo de carboidratos não estruturais nas folhas de girassol é um reflexo da redução do transporte pelo floema dos fotossintatos provenientes das folhas destinados às raízes. Algumas espécies, ditas hipoxi-tolerantes, como *Vitis riparia* (MANCUSO; MARRAS, 2006), apresentam mecanismo de baixo consumo de ATP nas raízes, o que pode prevenir o efeito letal do estresse por hipoxia, demonstrando a presença de metabolismo de auto regulação como resultado de expressão genética (GEIGENBERGER, 2003). Reduções no crescimento radicular, bem como a morte das raízes, reduzem a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, que apresentam como resposta o amarelecimento das folhas mais velhas em razão da redistribuição dos nutrientes para as mais jovens, resultando na senescência das mesmas (DREW, 1997; TROUGHT; DREW, 1980).

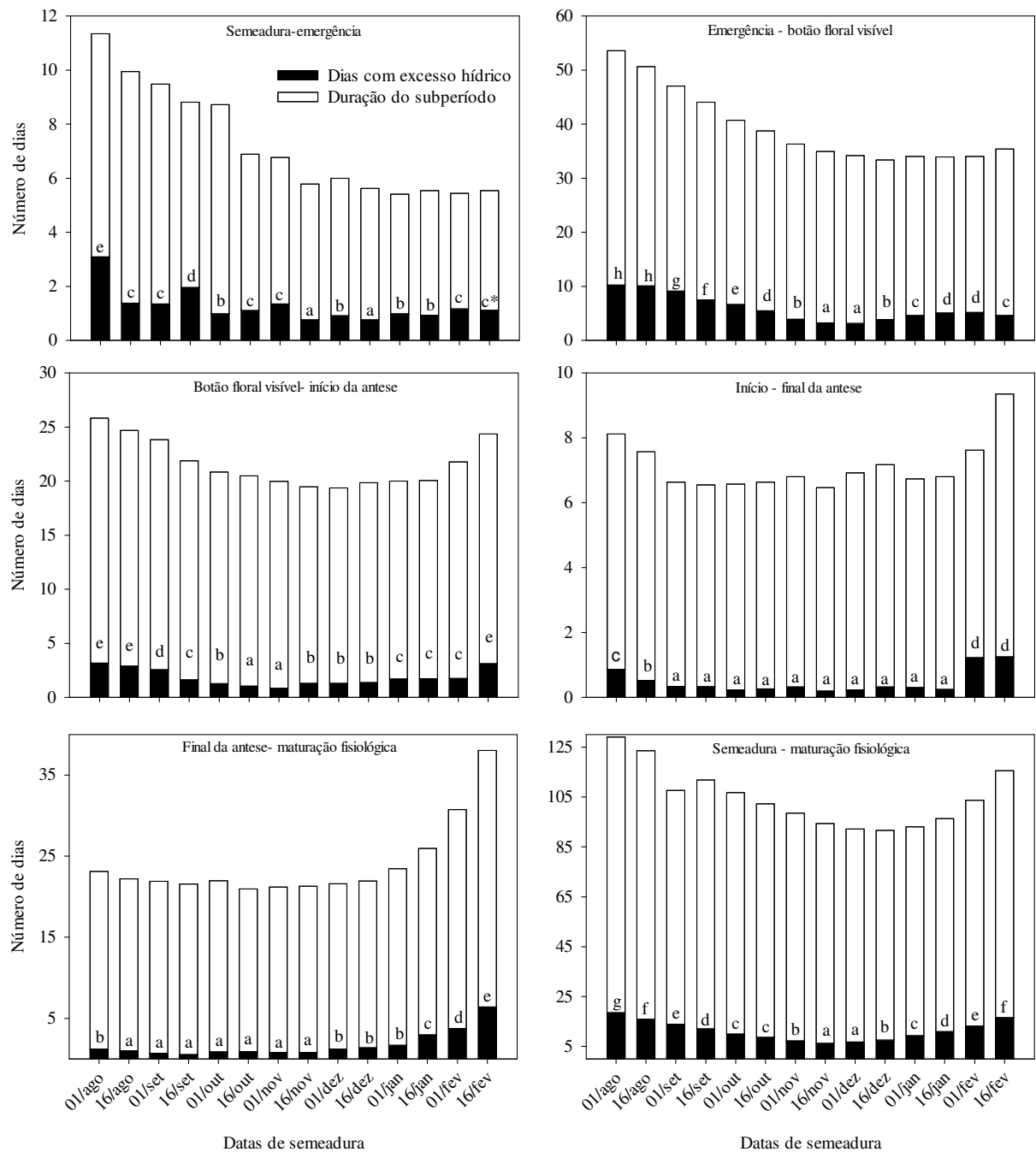


Figura 4- Número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo do girassol para as 14 datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014. \*Médias seguidas da mesma letra em cada figura não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Duração média dos subperíodos (dias) segundo Maldaner (2012).

A partir da emissão do botão floral, no subperíodo que abrange a formação dos órgãos reprodutivos (Figura 4, botão floral visível-início da antese) os maiores valores de número de dias com excesso hídrico foram verificados para as duas primeiras (01/ago e 16/ago) e para a

última sementeira (16/fev). Segundo Huynh et al. (2005), as mudanças mais facilmente observadas como resposta a esse estresse ambiental ocorrem nas folhas, que inicialmente apresentam clorose e necrose evoluindo até uma desfolha e, associado a isso, a cessação do crescimento e morte prematura das plantas. Para Orchard e Jessop (1984) as plantas submetidas ao estresse por excesso hídrico apresentam rápida resposta em termos de murchamento das folhas, com conseqüente redução na expansão foliar e aumento na senescência das folhas e redução no comprimento de haste. Dat et al. (2004) afirmam que o nível de expressão de hormônios de crescimento das plantas é afetado sob excesso hídrico, sendo as mudanças morfológicas e fisiológicas como alongação do caule, desenvolvimento de aerênquima e formação de raízes adventícias possivelmente associadas ao aumento na produção de etileno (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997).

Na análise de variância (Apêndice A, Tabela 8) verifica-se que houve significância para o efeito de solos nos subperíodos e no ciclo da cultura. O grupo de solos Savence (São Pedro, Argissolo; Venda Grande, Chernossolo; Cerrito, Latossolo) foi o que apresentou os maiores valores, embora tenha diferido dos demais somente no subperíodo R6-R9 e para o ciclo.

Tabela 8- Número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos sementeira-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível - início da antese (R1-R5.1), início da antese - final da antese (R5.1-R6) e final da antese-maturação fisiológica (R6-R9), e no ciclo (S-R9) para os diferentes grupos de solos simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

Grupos de solo	Subperíodo					
	S-E	E-R1	R1-R5.1	R5.1-R6	R6-R9	S-R9
Oagabri	1,02 a*	5,39 a	1,43 a	0,32 a	1,26 a	9,44 a
Alcampi	1,29 b	5,60 a	1,48 a	0,32 a	1,26 a	9,92 a
Chaci	1,34 b	6,07 b	1,74 b	0,43 a	1,72 b	11,31 b
Savence	1,45 b	6,35 b	2,24 c	0,63 b	2,28 c	12,93 c
Santamaria	1,28 b	6,08 b	2,09 c	0,62 b	2,00 b	12,05 b
Vacacai	1,27 b	5,99 b	2,01 c	0,53 b	1,87 b	11,69 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. (Alcampi – Alto das Canas e Cambai; Chaci – Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos; Oagabri - Oásis e São Gabriel; Santama – Santa Maria; Savence – São Pedro, Venda Grande e Cerrito; Vacacai – Vacacai).



O efeito desse fator deve ser considerado visto que as características físicas de cada solo são responsáveis por modular as respostas das plantas ao excesso hídrico (PONNAMPERUMA, 1984). Dessa forma, solos argilosos e deficientes em drenagem promovem maiores efeitos de estresse às plantas por apresentarem maior duração efetiva da saturação do solo (PONNAMPERUMA, 1984). Tal constatação também foi observada por Grassani et al. (2007), que consideraram as propriedades do solo como determinantes nas respostas das plantas ao encharcamento do solo.

Os grupos de solos Oagabri (Oásis, Argissolo; São Gabriel, Planossolo ) e Alcampi (Alto das Canas, Argissolo; Cambaí, Luvissole) foram os que apresentaram os menores valores de dias com excesso hídrico, para todos os subperíodos e conseqüentemente para o ciclo (Tabela 8). Como o excesso hídrico está associado à CAD de cada grupo e também tem relação com a determinação da precipitação efetiva, essas características foram determinantes na diferenciação dos mesmos em relação aos demais grupos de solos.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as ocorrências de dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) maior ou igual que dois ( $\geq 2$ ) e quatro ( $\geq 4$ ) dias, respectivamente, valores esses computados no ciclo do girassol para o total dos 43 anos. Inicialmente, pode-se observar a variabilidade dos valores para as diferentes datas de semeaduras, tanto para dois, quanto para quatro dias consecutivos com excesso hídrico, variação que pode ser observada pela altura das caixas e pelos desvios representados pelos traços horizontais. As três primeiras datas de semeadura apresentaram os maiores valores de ocorrência, sendo que essas se equiparam às duas últimas DS. A ODCEH tem relação direta com a duração do ciclo da cultura, pois quanto maior a duração, mais tempo as plantas estão sujeitas à ocorrência do excesso hídrico do solo. Além disso, as duas primeiras e últimas DS apresentam períodos de baixa demanda evapotranspirativa da atmosfera, favorecendo a ocorrência desse tipo de estresse.

Em termos de dois dias com excesso hídrico, para o grupo dos solos Charrua e demais, a semeadura na segunda quinzena de setembro apresentam menores valores, bem como menos dispersão, em comparação às demais semeaduras do cedo (Figura 5). Para os demais grupos de solos essa data de semeadura também se sobressai, embora apresente maior dispersão em alguns. A ocorrência de valores extremos (discrepantes dos 50%) é muito rara (pontos afastados), embora possa se observar que houve o registro de até nove ODCEH em algumas datas de semeadura para os diferentes grupos de solos no caso de dois ou mais dias

consecutivos e de até quatro ODCEH para quatro ou mais dias consecutivos com excesso hídrico (Figuras 5 e 6).

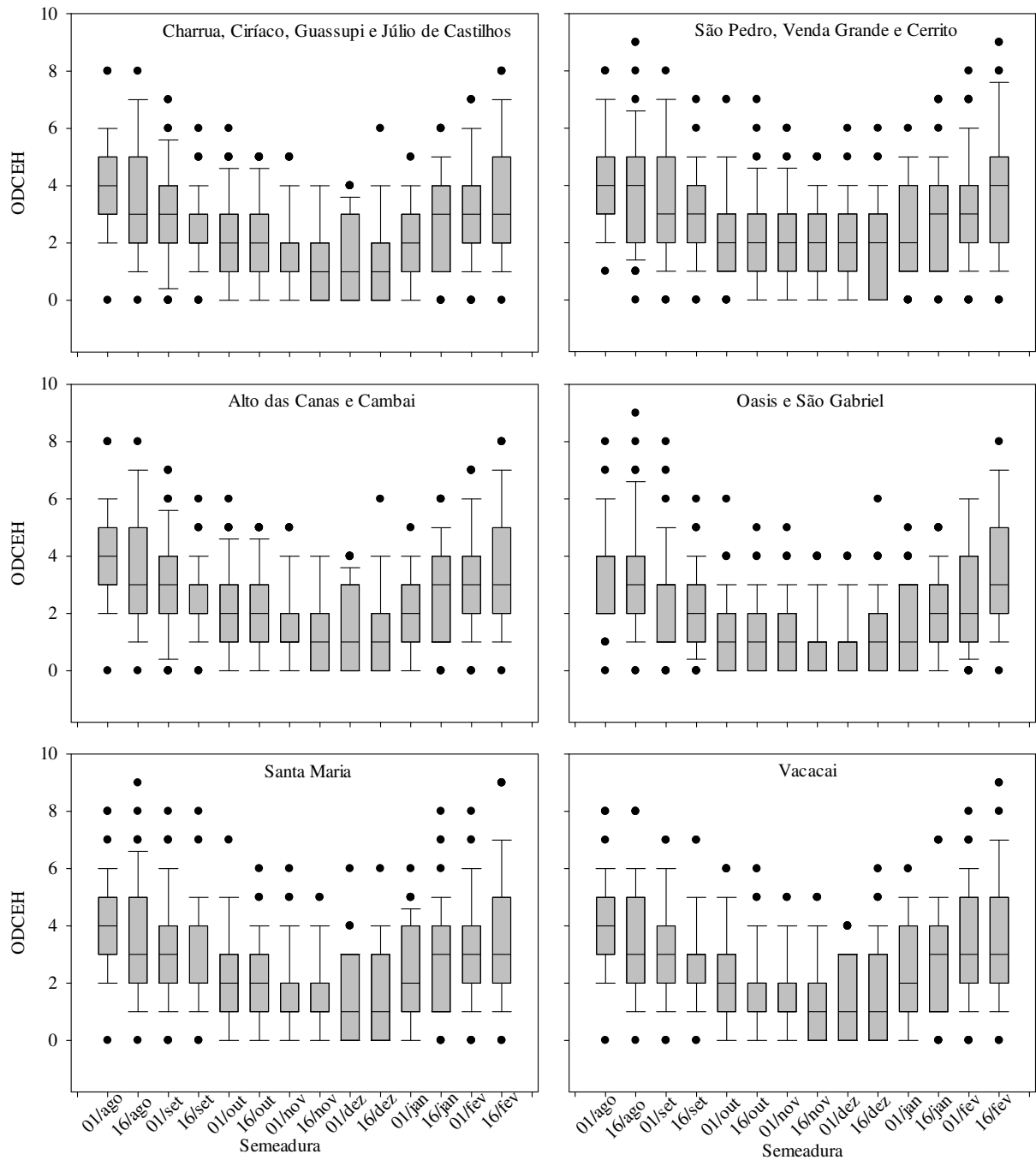


Figura 5- Ocorrências de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo de girassol, para 14 datas de semeadura e os seis grupos de solos simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

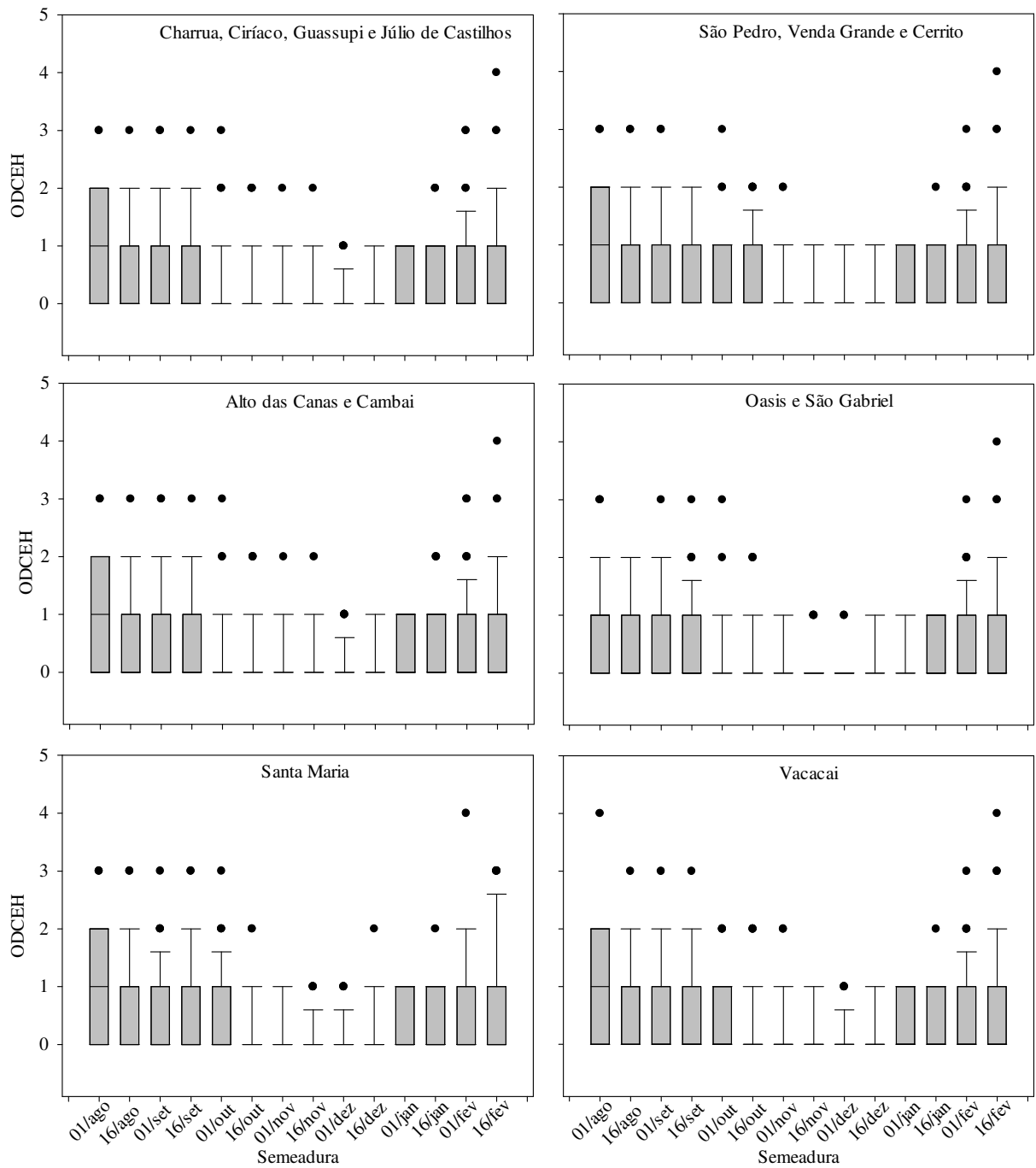


Figura 6- Ocorrências de quatro dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo de girassol, para 14 datas de semeadura e os seis grupos de solos simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

## 4.2 Análise de distribuição de probabilidade do excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo do girassol

Uma abordagem que permita a estimativa de eventos adversos relacionados às variáveis meteorológicas torna as atividades agrícolas menos sujeitas a riscos e fracassos. Assim, a seguir são apresentados os resultados da análise de distribuição de probabilidade realizada para a variável número de dias com excesso hídrico (NDEH), considerando os parâmetros da cultura do girassol.

Foram testadas 420 funções de distribuição de probabilidade considerando-se a combinação dos seis grupos de solos, 14 datas de semeadura e as cinco funções de distribuição para o ciclo de um genótipo de girassol. Considerando-se os cinco subperíodos da cultura, 2100 funções foram testadas. Foram ajustadas 77 funções para o ciclo e 284 para os subperíodos (Tabela 9). O número de funções ajustadas para o ciclo da cultura foi proporcionalmente maior em relação aos subperíodos. Segundo Junqueira Júnior et al. (2007), a diminuição do tamanho dos períodos analisados pode promover a falta de adequação dos modelos de probabilidade utilizados, o que se deve ao fato de que, ao diminuir os períodos de análise, aumenta-se o desvio padrão e, assim, o coeficiente de variação da amostra. Também segundo esses autores, estima-se, dessa forma, uma frequência teórica influenciada pelos parâmetros dos modelos de probabilidades, a qual é muito distorcida em relação à frequência observada da variável, uma vez que esta última não depende das características estatísticas da amostra.

A função densidade de probabilidade (fdp) Weibull apresentou maior número de ajustes, tanto para o ciclo quanto para os subperíodos (41,5 e 34,9% respectivamente). Em sequência, em ordem decrescente, ficaram as fdp Exponencial, Normal, Lognormal e Gama em número de ajustes para os subperíodos e Gama, Lognormal e Normal para o ciclo (Tabela 9). Maldaner (2012), em análise da deficiência hídrica para o mesmo genótipo de girassol, também encontrou predominância de ajuste da fdp Weibull para descrever a distribuição de probabilidade nos subperíodos da cultura. Dourado Neto et al. (2005) a consideraram na descrição de eventos extremos em análise hidrológica, a qual teve um dos melhores ajustes em análise de distribuição de precipitação pluvial média diária em Piracicaba-SP. Catalunha et al. (2002), em análise dos valores de precipitação pluvial, obtiveram melhor ajuste da função Weibull nas estimativas para dados diários decendiais e diários mensais. Esses autores

consideram que a função é adequada para os períodos de chuva no estado de Minas Gerais, enquanto que para períodos secos predomina a função exponencial. Silva et al. (2007) estudaram a precipitação pluvial diária no período de 1968 a 2004 e obtiveram para a maioria dos meses do ano a função Weibull para caracterizar sua variabilidade em Santa Maria. Como o excesso hídrico tem estreita relação com a precipitação pluvial, há de se considerar que essa proximidade foi expressa na análise numérica do presente trabalho.

Tabela 9- Frequência de casos em que as funções densidade de probabilidade Gama, Lognormal, Normal, Weibull e Exponencial apresentaram ajuste estatisticamente significativo para a variável dias com excesso hídrico nos subperíodos e no ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

fdp	% Frequência (Excesso no ciclo)	% Frequência (Excesso nos subperíodos)
Gama	32,5	12,7
Lognormal	14,3	16,5
Normal	11,7	16,5
Weibull	41,5	34,9
Exponencial	SA	19,4
Total*	100 (n=77)	100 (n=284)

\* Total de fdp ajustadas em % e em número de casos (n). SA= Sem ajuste.

Com as fdps selecionadas (Apêndices “C” até “H”), para os diferentes subperíodos foram calculadas as probabilidades de ocorrência de dois, quatro, oito e doze dias com excesso hídrico para as 14 datas de semeadura e as seis classes de solos abordados nesse estudo (Figuras 7 a 12). Em razão da representatividade em área dos solos pertencentes às unidades de mapeamento São Pedro, Venda Grande e Cerrito, a discussão é feita inicialmente em relação a essa classe de solos (Figura 7). As abordagens das demais classes são em comparação a essa classe.

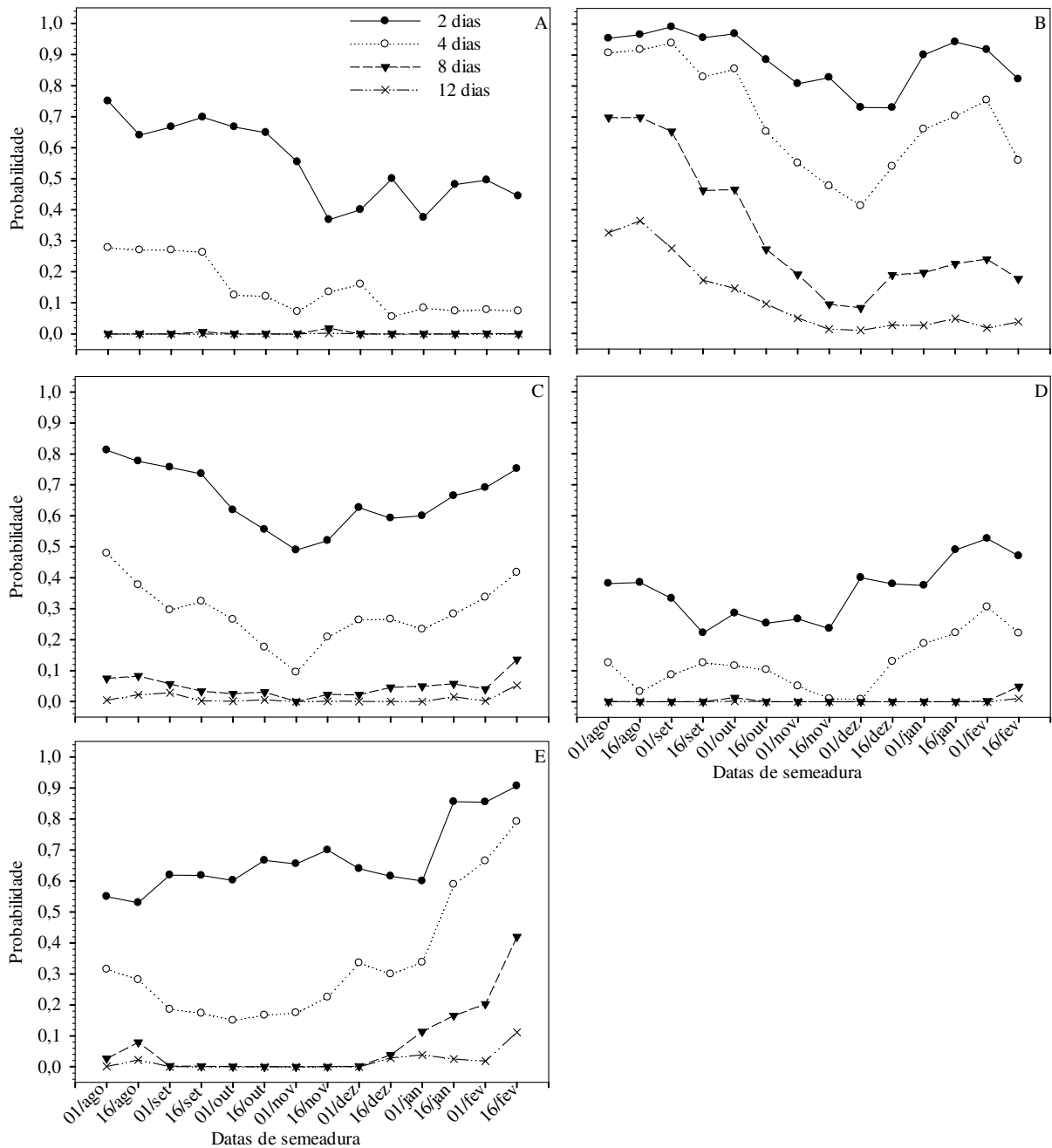


Figura 7-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

As datas de semeadura consideradas no presente trabalho contribuem para grande variabilidade nas probabilidades do número de dias com excesso hídrico para os diferentes

subperíodos analisados (Figura 7). Considerando-se o subperíodo semeadura-emergência, a probabilidade de ocorrência de pelo menos dois dias de excesso hídrico é maior que 50% para as sete primeiras datas de semeadura (01/ago a 01/nov), sendo inferior a esse valor para todas as demais (Figura 7A). Considerando quatro dias de excesso hídrico, até a semeadura de 16/set as probabilidades se aproximaram a 30%, diminuindo posteriormente para as demais datas. Não foram obtidas probabilidades iguais ou superiores a oito dias, o que pode estar relacionado à curta duração desse subperíodo, que, segundo Maldaner (2012), pode ser de sete a quinze dias, dependendo da data de semeadura. Loose (2013), observou que quando submetidas ao excesso hídrico nesse subperíodo, dois dias são extremamente prejudiciais à emergência das plantas, principalmente em períodos de temperatura elevada, emergindo apenas 22% das plântulas caso o excesso inicie no dia da semeadura, afetando drasticamente o estande de plantas. Quando submetidas a dois dias de excesso hídrico, sendo esse iniciado três dias após a semeadura, as reduções na área foliar são de até a metade dos valores da testemunha, enquanto que a altura de plantas pode ser afetada a partir de dois dias quando associados a temperaturas elevadas (LOOSE, 2013). Entretanto, quando submetidas a períodos maiores como quatro dias, outros parâmetros são afetados como comprimento do pecíolo, diâmetro do caule e capítulo, número de folhas e conteúdo de N nas folhas, matéria seca de raízes, produção total, massa seca de 100 aquênios e teor de óleo acumulado (YASUMOTO et al., 2011; LOOSE, 2013).

Na Figura 7B são apresentadas as probabilidades para o subperíodo emergência-botão floral visível, que representa o subperíodo vegetativo. Observa-se que, para dois dias de excesso hídrico, as probabilidades são superiores a 80% para a maioria das DS, sendo inferiores apenas para as datas de 1 e 16 de dezembro. Esse subperíodo é o que apresenta a maior duração em dias (MALDANER, 2012) e, por esse fator, apresentou valores de probabilidades consideráveis também para oito e doze dias de excesso hídrico, principalmente para as três primeiras DS. O estabelecimento das plantas e posterior emissão e expansão das folhas são os principais eventos de desenvolvimento e crescimento que ocorrem nesse subperíodo. Com as plantas apresentando duas folhas expandidas (estádio V2), dois dias de excesso hídrico afetam a expansão foliar, sendo o efeito significativo a partir de quatro dias de excesso (LOOSE, 2013). O potencial de água nas folhas é o principal responsável pela expansão foliar, o qual está diretamente relacionado com o estado hídrico das mesmas (TAIZ; ZAIGER, 2013). Como o excesso afeta a respiração das plantas e diretamente o sistema radicular pela deficiência energética promovida pela mudança no metabolismo, a absorção de

água é reduzida em decorrência da senescência radicular, com respostas negativas na expansão foliar e extensão do caule, diminuindo o crescimento das plantas. Conforme Orchard e Jessop (1984), quando o excesso hídrico ocorre nos estádios V3 e V6, a expansão foliar do girassol é bastante comprometida, sendo a fotossíntese também reduzida significativamente com 48 horas de excesso hídrico (GRASSINI et al., 2007). Portanto, os resultados da atual análise numérica indicam que são frequentes as situações de excesso hídrico durante o período vegetativo do girassol em Santa Maria, RS e municípios vizinhos, sendo este um dos fatores que podem influenciar negativamente a produção final de aquênios. No entanto, grande percentual das ocorrências é de apenas um dia, sendo períodos sequencias de dois ou mais dias de excesso hídrico consecutivo concentrados nos anos e datas que apresentam oito ou doze dias de excesso hídrico no período vegetativo (APÊNDICES J e L).

Com um trabalho de avaliação de semeaduras desde julho a fevereiro no estado do Paraná, Thomas (2008) não obteve correlação significativa entre a precipitação pluvial no período vegetativo e a produtividade do girassol, mostrando o potencial da tolerância da cultura a deficiências hídricas desse subperíodo, em virtude de seu crescimento radicular ser vigoroso, permitindo explorar maior volume de solo (CASTRO; FARIAS, 2005; SILVA et al., 2013). Entretanto, em caso de excessos hídricos, mesmo havendo disponibilidade de água, a absorção da mesma é suprimida em razão da perda da funcionalidade do sistema radicular, sendo observada a redução da massa seca de raízes sob tais condições (LOOSE, 2013; TOURNAIRE-ROUX et al., 2003).

O período reprodutivo se inicia com o aparecimento do botão floral e se estende até a antese das flores, compreende a finalização da expansão foliar e a formação dos primórdios florais. Esse dois eventos são primordiais na expressão da produtividade da cultura. Mais de 50% da área foliar é acrescida nesse subperíodo, além de o número de flores e o tamanho do capítulo ser diretamente dependente do suprimento de fotoassimilados nele acumulados, sendo a máxima área foliar obtida pela cultura diretamente relacionada com o rendimento de aquênios (UNGARO et al., 2009). A sensibilidade da cultura do girassol ao excesso hídrico se expressa no murchamento das folhas, comprometendo a expansão foliar e a formação dos órgãos reprodutivos (ORCHARD; JESSOP, 1984; LOOSE, 2013). Conforme a Figura 7C, a probabilidade de ocorrência de pelo menos quatro dias com excesso hídrico nesse subperíodo (R1 a R5.1), é superior a 30% para as três primeiras DS, reduzindo significativamente para as demais. Há que se considerar também que a duração desse subperíodo é variável com as datas de semeadura, que pode ser de até 29 dias, principalmente para as DS de início de agosto e



metade de fevereiro (MALDANER, 2012). Assim, pode-se observar que para essas datas de semeadura há probabilidades de ocorrer maior número de dias com excesso hídrico, chegando até a apresentar probabilidade de ocorrência para 12 dias no caso da DS de 16/fev. Essa constatação também tem relação com a demanda atmosférica que tende a ser baixa nesse período (HELDWEIN et al., 2009), visto que para essa DS de fevereiro esse subperíodo ocorre em meados de maio (MALDANER, 2012). O suprimento hídrico e nutricional das plantas é afetado sob condições de excesso hídrico e, quando ocorrido a partir desse subperíodo, a absorção de B e Ca é consideravelmente afetada em razão dessa ser por meio de fluxo de massa, sendo estes nutrientes importantes para o crescimento do tubo polínico (MALAVOLTA et al., 1997). Ambos são considerados imóveis na planta (MARSCHNER, 1995). Quanto ao P, sob condição de insuficiente suprimento hídrico, e deficiência na absorção a partir do período reprodutivo, a viabilidade das sementes seria priorizada em relação à quantidade destas por capítulo (ZOBIOLE et al., 2010).

O subperíodo que compreende a abertura e fecundação das flores (início-final da antese) apresentou os menores valores de probabilidades (Figura 7D). Para dois dias de excesso hídrico os maiores valores de probabilidade foram para as DS de meados de janeiro e as de fevereiro. A mesma tendência foi observada para quatro dias, sendo que para a DS de 01/fev a probabilidade foi superior a 30%. Esse subperíodo tem duração menor, em torno de dez dias, o que em termos de probabilidades de quatro dias com excesso para as DS a partir de 1/dez apresentam-se como valores elevados, ocorrendo excessos em pelo menos 10% dos anos. O suprimento de água durante esse subperíodo é muito importante, estando esse compreendido pelo período crítico à falta de água (ERDEM; DELIBAS, 2003), podendo comprometer a fertilização e o crescimento inicial dos grãos (UNGARO et al., 2009). Em relação ao rendimento de aquênios, Orchard e Jessop (1984) consideram ser a antese o mais sensível ao excesso hídrico, em comparação com a fase vegetativa e o estágio de botão floral visível. Nesse sentido, as menores probabilidades para dois dias foram obtidas para as semeaduras de meados de setembro a meados de novembro e para 4 dias para as DS de meados de agosto e 16/nov a 01/dez. A data de semeadura de 16/ago também é uma das que tem menor média de ocorrência de excesso hídrico no subperíodo semeadura-emergência (Figura 2), um dos três subperíodos mais críticos do girassol ao excesso hídrico (YASUMOTO et al., 2011 ;LOOSE, 2013). Portanto, essa é uma das datas de semeadura mais viáveis em termos de menor risco por excesso. Além disso, é também uma das mais viáveis

em termos de menor risco por déficit hídrico (MALDANER, 20) e aceitável em termos de riscos por manchas folhares nos subperíodos mais críticos (HINNAH, 2014).

Em condições de ausência de estresses hídricos, a fotossíntese após a antese é considerada a maior contribuinte para o rendimento de grãos (UNGARO et al., 2009). Entretanto, havendo estresse nesse período, a fotossíntese pré-antese pode vir a contribuir em 50 a 67% da massa dos grãos, sendo os fotoassimilados advindos dos acumulados em folhas, caules e raízes (RAWSON; CONSTABLE; HOWE, 1980). Essa constatação também foi verificada por Lucas (2011) em trabalho sobre injúria foliar na cultura do girassol, em que quando esta foi realizada nos estágios R2 e R6 em nível de 100% de dano do limbo foliar, ainda obteve-se em torno de 30% da produção das testemunhas sem injúria, não havendo diferença entre estes dois estágios.

Em relação ao subperíodo de final da antese até maturação fisiológica, as probabilidades foram superiores a 50% para todas as DS, considerando-se dois dias de excesso hídrico (Figura 7E), sendo a DS de 16/ago a de menor probabilidade. Para quatro dias de excesso, os valores foram inferiores a 20% nas DS entre 01/set a 01/nov, sendo que a DS de 16/fev atingiu valor próximo a 80%. Nesse contexto, também as datas de 16/ago e 16/nov, com probabilidade menor do que 30%, podem ser consideradas aceitáveis. A taxa de enchimento de grãos e a duração do período podem ser afetadas, por apenas um dia sob excesso hídrico, reduzindo tanto o número quanto a massa de grãos (ORCHARD; JESSOP, 1984; ORCHARD; JESSOP; SO, 1986; GRASSINI et al., 2007). Entretanto, em períodos maiores de encharcamento do solo, como dois dias consecutivos, é verificada maior senescência das folhas, associada à redução da taxa de fotossíntese nas folhas remanescentes no decorrer do período de enchimento de aquênios (GRASSINI et al., 2007), afetando diretamente seu teor de óleo (ORTA; ERDEM; ERDEM, 2002). Em análise geral das datas de semeadura para o grupo de solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, com vistas a recomendação das que apresentem menor risco para o excesso hídrico nesse subperíodo, há que se considerar que as DS com menores riscos estão incluídas no período de semeadura recomendado feita por Ungaro et al. (2009), que recomendam o período de final de julho a meados de outubro como preferencial para a cultura.

As probabilidades para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos são apresentadas na Figura 8. Em relação aos valores de probabilidades as tendências das linhas são semelhantes aos observados para a Figura 7. Entretanto, há que se considerar que existem variações nas magnitudes destas linhas, como, por exemplo, para o subperíodo que

compreende a floração (início-final antese), apenas na DS de 01/out o valor da probabilidade para dois dias com excesso hídrico foi inferior a 40% (Figura 8D), enquanto que para os solos representados na Figura 7 em apenas quatro DS os valores foram superiores a 40%.

Os solos Oasis e São Gabriel (Figura 9), Alto das Canas e Cambai (Figura 10) apresentaram tendências semelhantes aos apresentados na Figura 7, podendo-se fazer as mesmas considerações relativas às probabilidades nos subperíodos da cultura. Os solos Santa Maria (Figura 11) e Vacacaf (Figura 12) apresentam maior valor de CAD, e embora não tenha sido considerado o período de drenagem para a diferenciação dos solos, deve-se observar que esses solos apresentam limitações maiores que os demais, necessitando de uma análise mais criteriosa das probabilidades, de modo a observar, além destas, informações acerca dos prognósticos das condições meteorológicas previstas em função de fenômenos de macroescala para a semeadura em questão, bem como da possibilidade de mecanismos de drenagem que se possa lançar mão durante o cultivo.

Em caso de utilização do girassol em áreas com rotação e/ou sucessão com a cultura do arroz irrigado, como já realizado em algumas áreas do Japão (YASUMOTO et al., 2011), seria interessante se optar pelas DS que apresentassem menores probabilidades em todos os subperíodos, como no caso da DS de 16/set que, comparada às demais semeaduras do cedo, apresenta redução considerável nas probabilidades, da mesma forma que a data de 16/ago para os subperíodos mais críticos, e, considerando semeaduras tardias, até início de janeiro seria o período com risco ainda aceitável, devendo ser evitadas semeaduras após meados de janeiro. Assim, no caso de áreas sistematizadas, a ocorrência de períodos com deficiência hídrica não seriam limitantes, visto a possibilidade de utilização do sistema de irrigação já organizado para a cultura do arroz.

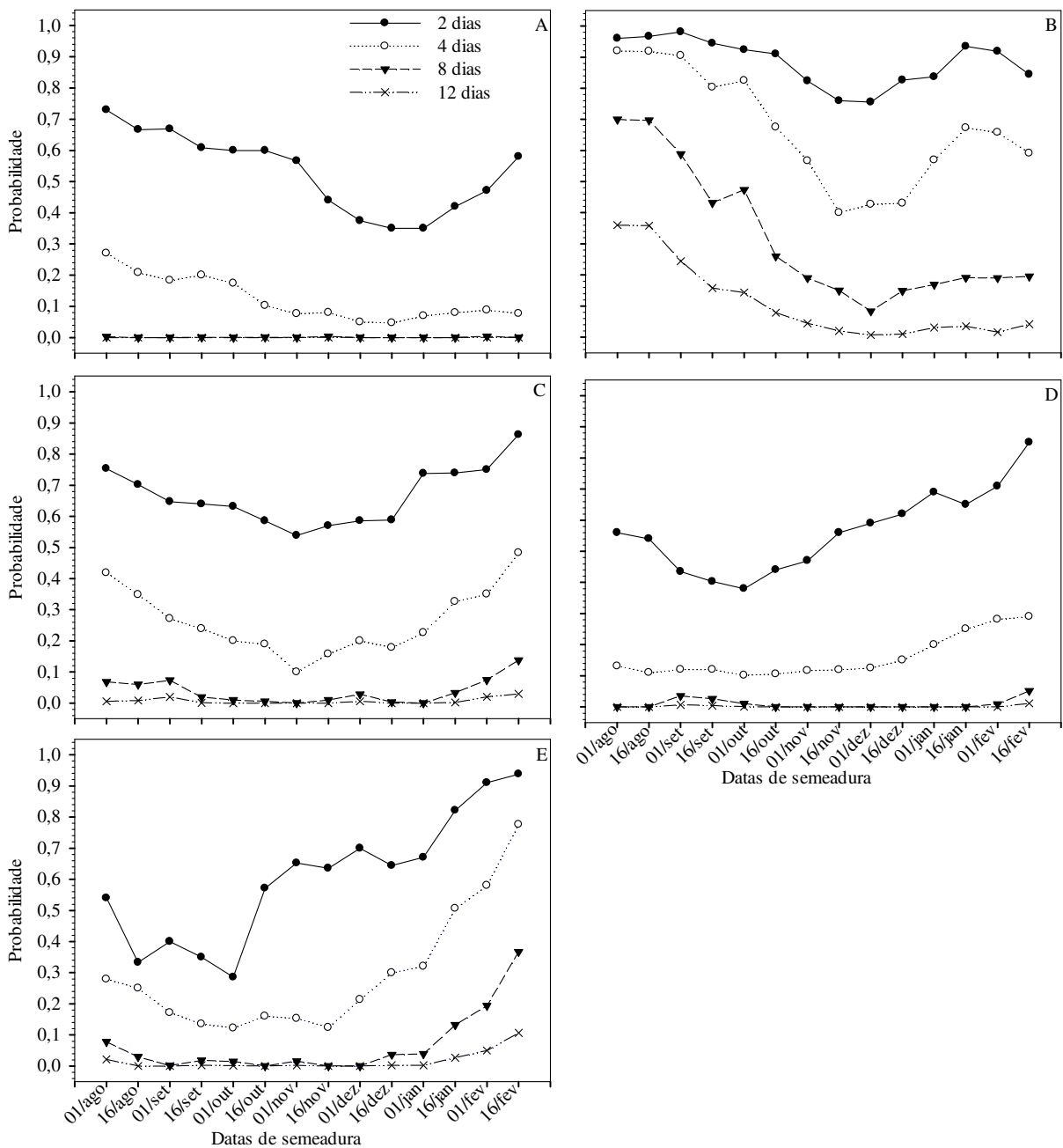


Figura 8-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

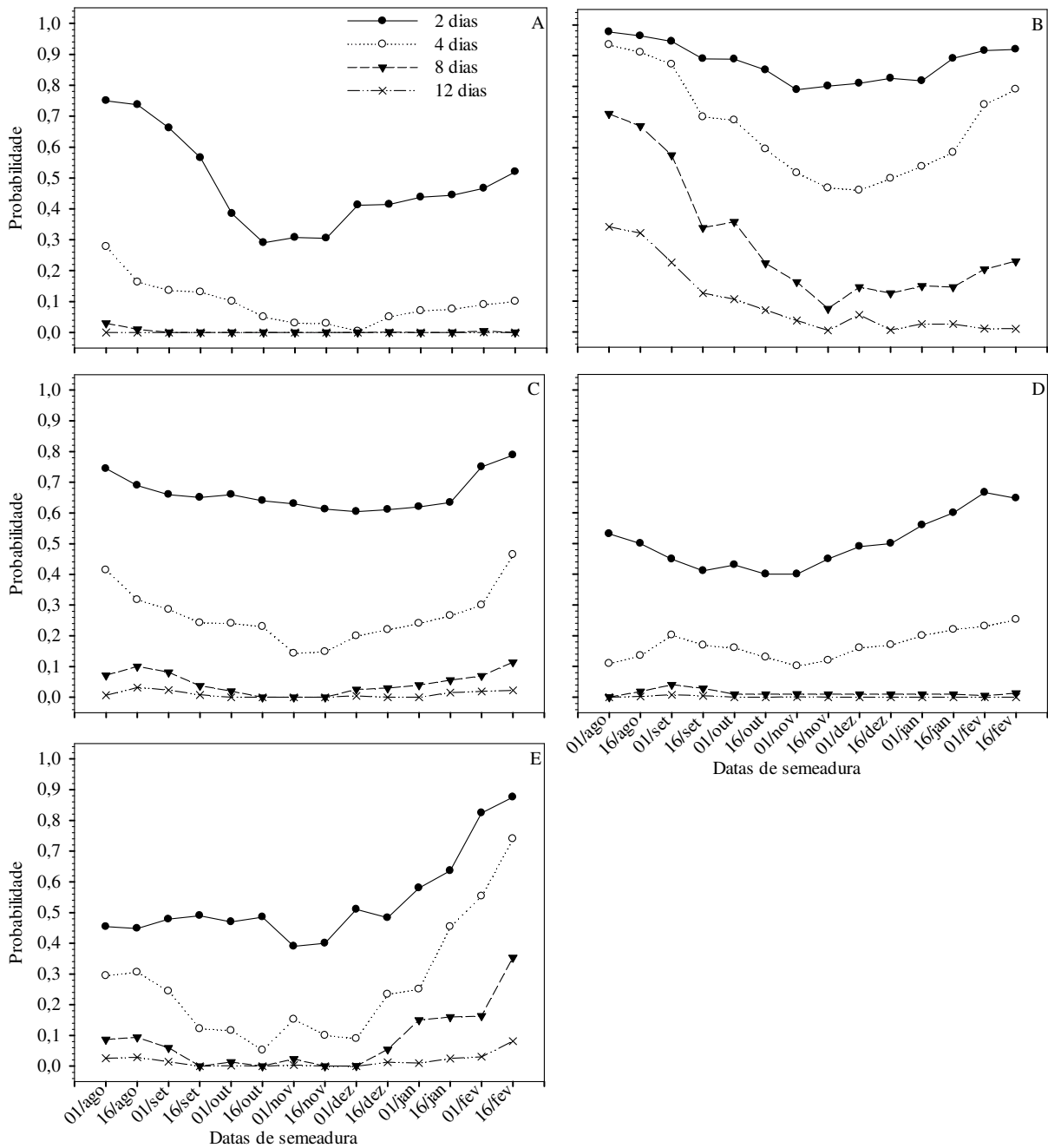


Figura 9-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Oásis e São Gabriel, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

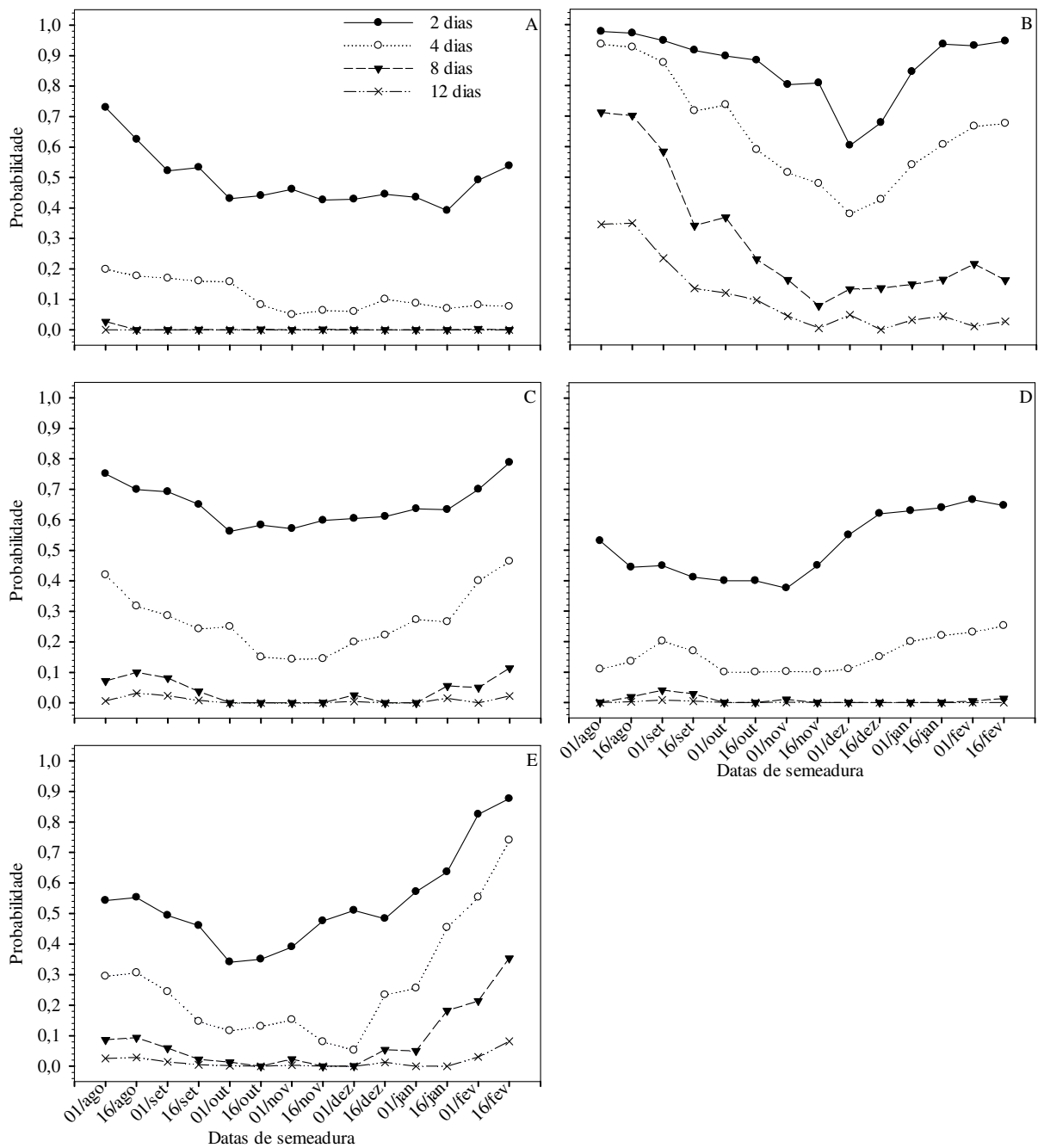


Figura 10-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos Alto das Canas e Cambai, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: sementeira-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

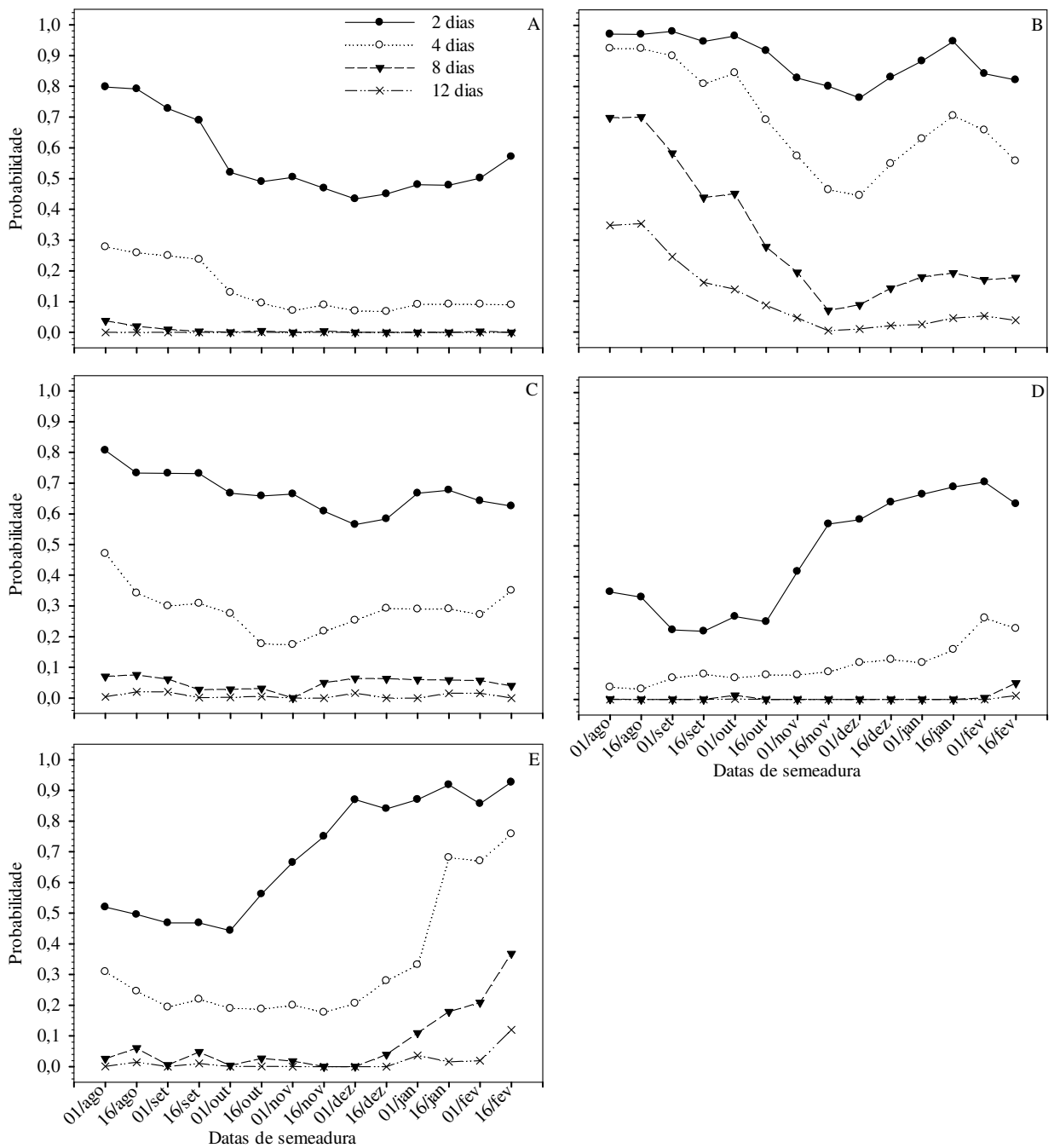


Figura 11-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o solo Santa Maria, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

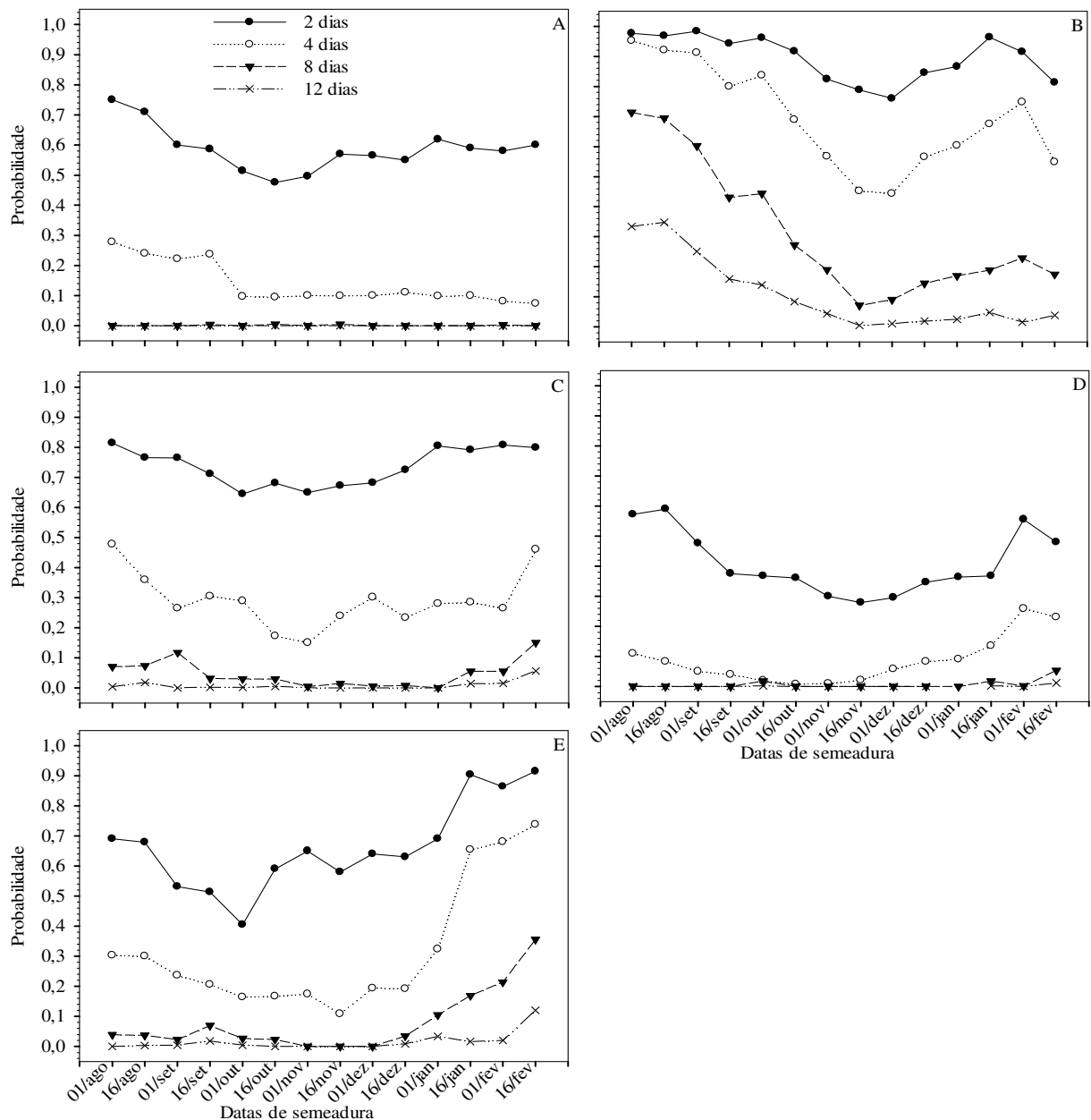


Figura 12-Probabilidade de ocorrência do número de dias com excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol para o solo Vacacaí, para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. A: semeadura-emergência; B: emergência-botão floral visível; C: botão floral visível - início da antese; D: início da antese - final da antese; E: final da antese-maturação fisiológica. Santa Maria, RS, 2014.

Com as fdps selecionadas para o ciclo do girassol (Apêndice "I"), foram calculadas probabilidades de ocorrer 10, 15, 20 e 25 dias com excessos hídricos considerando todo o ciclo do girassol para as diferentes DS e os grupos de solos, são apresentadas na Figura 13.



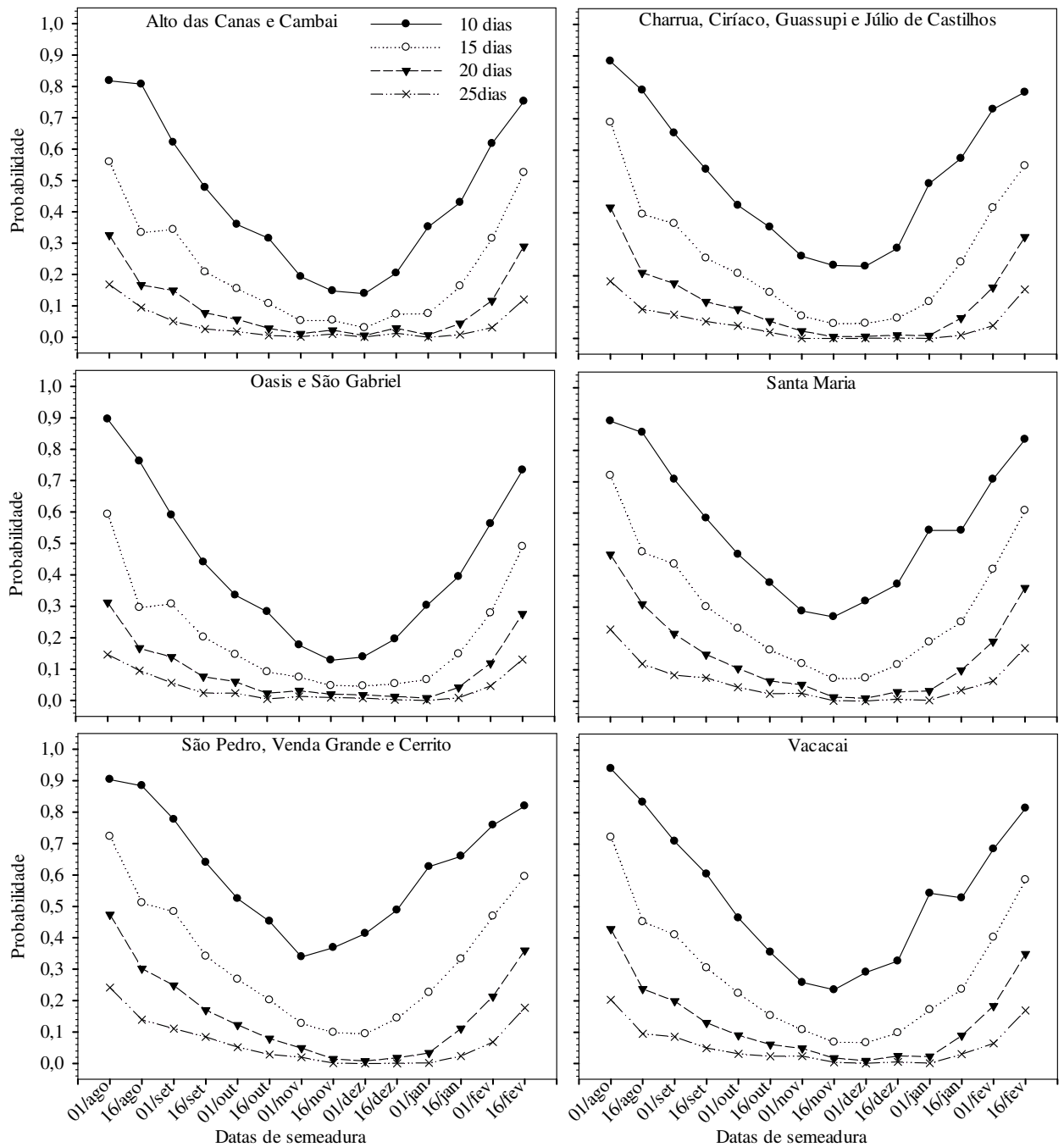


Figura 13-Probabilidade de ocorrência de excesso hídrico maior que 10, 15, 20 e 25 dias com excesso hídrico durante o ciclo do girassol (semeadura-maturação fisiológica), para os diferentes solos e para 14 datas de semeadura simuladas de 1968 a 2011. Santa Maria, RS.

Observam-se maiores variações para as probabilidades de 10 dias, sendo que para todos os solos considerados no estudo, os menores valores foram obtidos para as DS de 01/nov a 16/dez. As datas de semeaduras dos meses de agosto, janeiro e fevereiro são as que

apresentam as maiores probabilidades para todos os níveis analisados no ciclo total de cultivo, bem como para todos os solos.

Trabalhos feitos por Guse (2009), em Santa Maria, RS, com diferentes datas de semeadura em um Argissolo da unidade de mapeamento São Pedro obtiveram maiores potenciais de redução da produtividade de girassol em semeaduras realizadas em início de setembro em razão da ocorrência de déficits hídricos. Entretanto, avaliando as probabilidades de ocorrência de excessos hídricos, há que se considerar que para os diferentes solos as probabilidades nos diferentes níveis são justamente menores para semeaduras em setembro, considerando o ciclo da cultura (Figura 13). Além disso, a cultura do girassol tem sido estudada pelo seu potencial em explorar maior volume de solo, do que culturas como soja e milho, considerando vigoroso seu sistema radicular (DARDANELLI et al., 1997; RAWSON; CONSTABLE; HOWE, 1980). Além disso, as áreas utilizadas com pastagens de inverno poderiam ser melhor aproveitadas. Outros trabalhos também têm abordado a capacidade de regulação osmótica da cultura, afirmando que esta pode oferecer substancial contribuição para a manutenção da produção em condições de seca prolongada (CHIMENTE et al. apud UNGARO et al., 2009). Dessa forma, considerando a sensibilidade da cultura ao excesso hídrico, datas de semeaduras que permitissem menores probabilidades de ocorrência de excedentes hídricos seriam favoráveis à cultura, o que corrobora com as análises feitas por Loose et al. (2010) para as regiões produtoras de girassol da Argentina.

Considerando-se que em alguns estudos de datas de semeadura, os meses de agosto e setembro são ditos como preferenciais no estado do Rio Grande do Sul (GUSE, 2009; OLIVEIRA et al., 2007; BARNI et al., 1996), pode-se afirmar, com base nos resultados do atual trabalho, que semeaduras a partir da metade de setembro seriam propícias à cultura, visto que para todos os solos analisados, principalmente nos níveis maiores de probabilidades, os valores são consideravelmente menores do que semeaduras em agosto até início de setembro (Figura 13). Entretanto, conforme MAPA (2010), a semeadura da cultura na região Central do Rio Grande do Sul tem como período recomendado 21 de julho a 10 de agosto e 11 de janeiro a 20 de fevereiro. Há que se considerar que para tais determinações no zoneamento (MAPA, 2010) não são considerados fatores de risco como probabilidades de excedentes hídricos e manchas foliares para a cultura e sim apenas deficiências hídricas, as quais também não são coincidentes com os resultados obtidos no trabalho desenvolvido por Maldaner (2012). Dessa forma, medidas devem ser tomadas em busca de maiores esclarecimentos quanto ao melhor período de semeadura para a cultura, considerando o tipo de solo em que se

fará o cultivo, tal como no atual estudo, bem como a disponibilidade de implementação de tecnologias para a cultura em caso de necessidades de irrigação, além de diferenciar as análises para anos com diferentes fenômenos atmosféricos de macroescala, tais como o ENOS.

Avaliando resultados de campo em diferentes datas de semeadura realizadas nos anos agrícolas de 2007/2008, 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 em relação à ocorrência de doenças foliares em Santa Maria, Loose et al. (2012) observaram menor predominância de doenças em semeaduras que foram realizadas em setembro, considerando anos sem influência do fenômeno El Niño. Associado ao El Niño, os autores consideraram a ocorrência de precipitações como elemento meteorológico de grande importância para a manutenção das condições de umidade e molhamento foliar bem como para a dispersão do inóculo. Seguindo essa análise, em estudo da produção da cultura no pampa argentino, Loose et al. (2010) observaram que a produção tende a ser reduzida em anos sob influência de El Niño, o que explica uma possível relação da ocorrência de excedentes hídricos com a ocorrência de doenças foliares, mas pode também ser resultado de certa influência de algum estresse por excesso hídrico no solo.

Em avaliações de diferentes parâmetros quanto a tendência de precipitações na América do Sul, incluindo o Brasil, Haylock et al. (2006) apresentaram aumentos no número de dias com precipitações intensas para a região Sul, bem como de períodos chuvosos, o que vem de encontro com a probabilidade de ocorrência de dias com excessos hídricos para o girassol. Associadas a condição de pluviosidades acima da normal em volume e dias com precipitações (BERLATO et al., 2007; FONTANA; ALMEIDA, 2002), têm sido relatadas tendências de redução da insolação (CUSTÓDIO et al., 2007), bem como de aumento de nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul (CUSTÓDIO et al., 2009), o que pode agravar a condição de excesso hídrico para o girassol pela falta de energia para a fotossíntese.

#### **4.3 Excesso hídrico nos subperíodos e ciclo do girassol em anos de La Niña e Neutros**

Devido a localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, o fenômeno ENOS apresenta influência na variabilidade das precipitações pluviais. Estudos têm comprovado que na fase quente, referida como El Niño, as precipitações são consideravelmente superiores e,

dessa forma, a ocorrência de excedentes hídricos no período de primavera-verão é maior (FONTANA; ALMEIDA, 2002; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000; STRECK et al., 2009). As safras de grãos em anos sob influência do El Niño são denominadas “cheias” no RS, devido as excelentes condições para altas produtividades das culturas tradicionais de soja, milho e feijão. A soja e o milho apresentam retorno financeiro superior ao girassol nestes casos e são favorecidas pela maior lâmina d’água precipitada. O girassol é uma planta originada de regiões semi-áridas da América do Norte, sendo originalmente adaptado a reduzida disponibilidade hídrica (DALL'AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005). Bortoluzzi et al. (2011) e Schach et al. (2011) reportaram a relação de excedentes hídricos e problemas para a cultura do girassol sob anos de El Niño, como deficiente emergência das plântulas, maior severidade das manchas foliares e, por fim, na produtividade de aquênios. Em função desses resultados, optou-se pela análise de probabilidades para os anos de La Niña e neutros.

Para o período considerado no estudo (1968-2011) foram utilizados os anos com influência do fenômeno La Niña (13 anos) e anos classificados como neutros (14 anos) pelo Climate Prediction Center (2013) (Tabela 7). Na Figura 14 são apresentadas as ocorrências observadas de dois dias consecutivos com excesso hídrico no ciclo de girassol para os anos sob influência da La Niña para os grupos de solos abordados. Observa-se a variabilidade da ocorrência em função das datas de semeadura e também quanto aos grupos de solos.

Para os anos classificados como Neutros (Figura 15), os valores seguiram a mesma tendência que nos anos de La Niña (Figura 14), entretanto observa-se maiores valores de ocorrência de excesso hídrico para algumas datas de semeadura, especialmente as mais tardias ( a partir de janeiro), inclusive com maior dispersão. Cordeiro (2010) observou em análise de tendência climatológica (1950-2009) para 14 localidades que os excedentes hídricos no Rio Grande do Sul apresentaram tendência de aumento, sendo estes significativos na primavera e no outono, para os quais a autora justificou a influência de fenômenos de grande escala, como o ENOS.

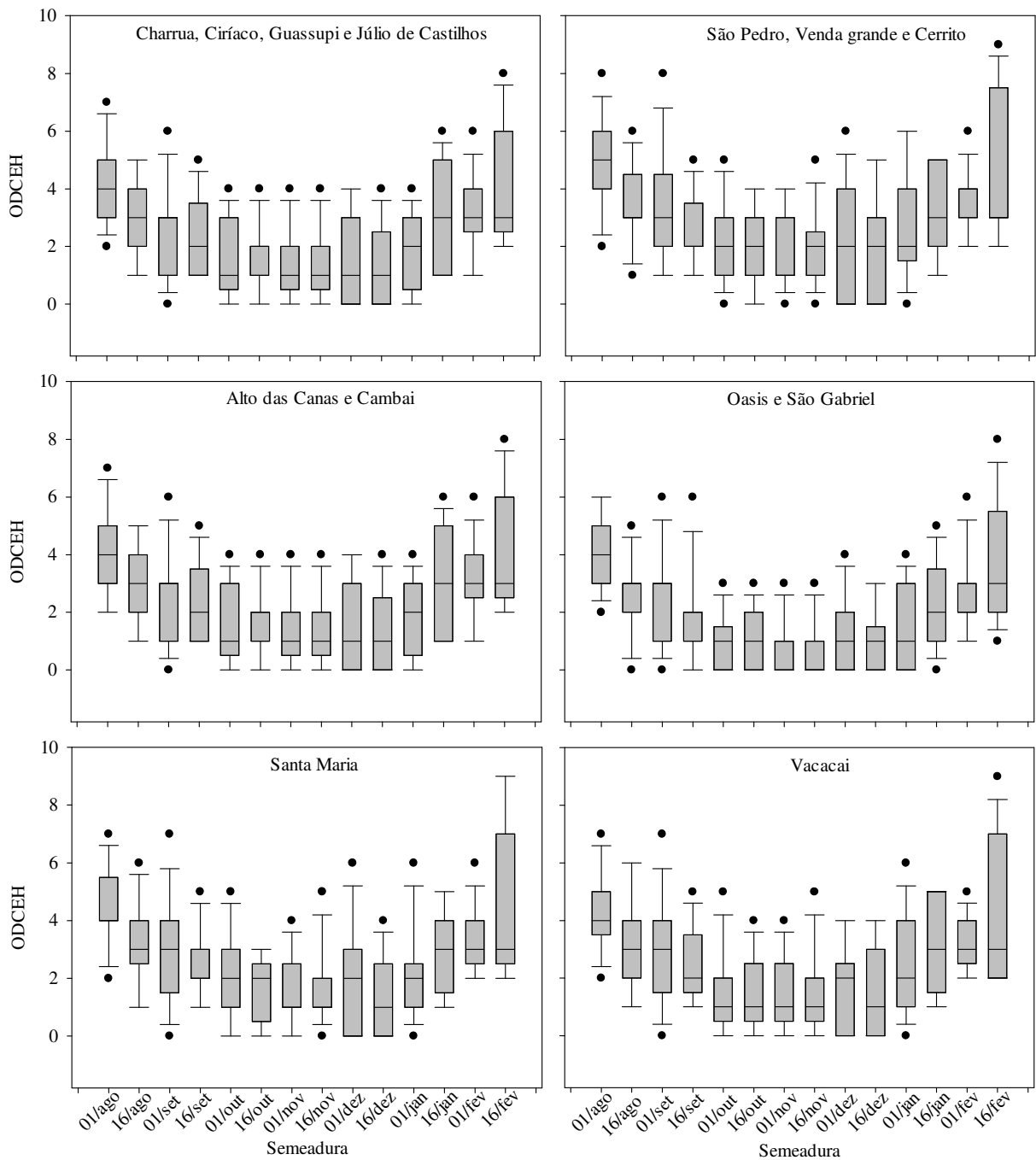


Figura 14- Ocorrência de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo do girassol, para 14 datas de sementeira, nos diferentes grupos de solos, simuladas em 13 anos classificados como sob influência de La Niña do período 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

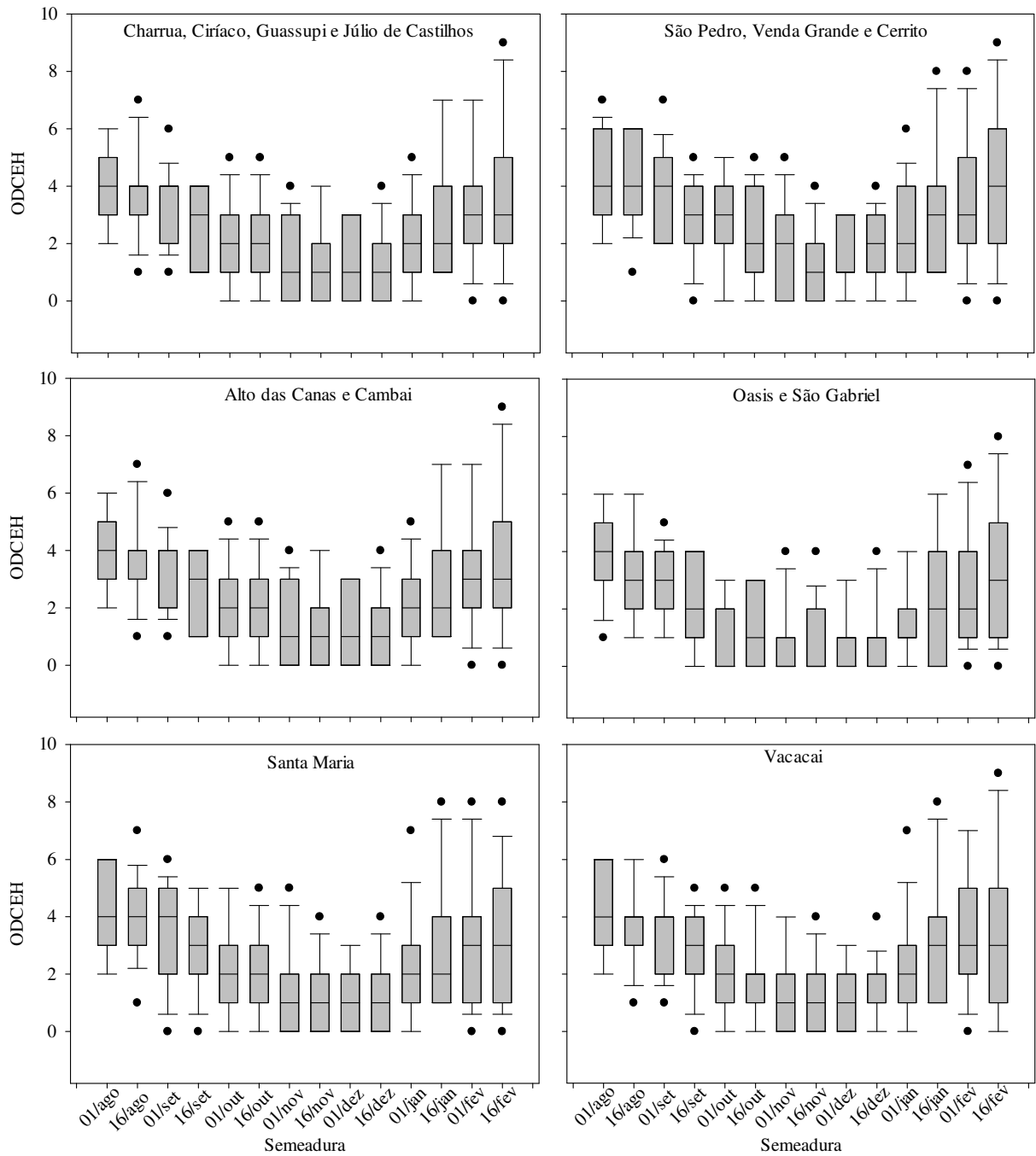


Figura 15- Ocorrência de dois dias consecutivos com excesso hídrico (ODCEH) no ciclo do girassol, para 14 datas de semeadura, nos diferentes grupos de solos, simuladas em 14 anos classificados como Neutros do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

Na Figura 16 são apresentadas as probabilidades de ocorrência de dias consecutivos com excesso hídrico no ciclo do girassol em anos sob influência de La Niña e Neutros, obtidas pelas funções de distribuição ajustadas (Apêndice D).

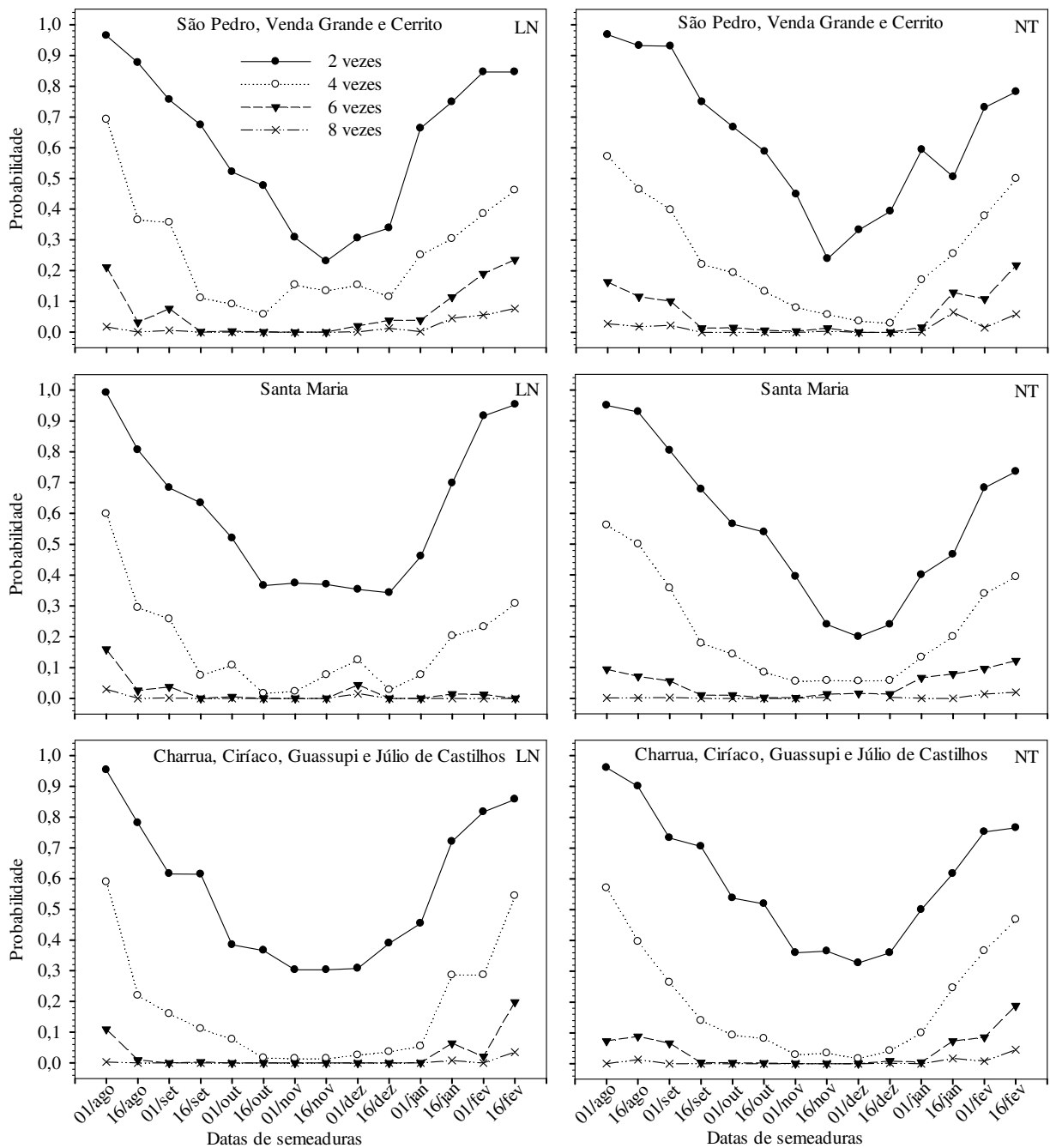


Figura 16- Probabilidade de ocorrência de dias consecutivos com excesso hídrico maior ou igual a 2, 4, 6 e 8 ocorrências durante o ciclo do girassol (semeadura-maturação fisiológica) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito; Santa Maria e Charrua, Ciriaco, Guassupi e Júlio de Castilhos em anos classificados como com evento La Niña e Neutros, para 14 datas de semeadura simuladas. Santa Maria, RS, 2014.

Para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito os valores obtidos nas primeiras DS foram maiores para os anos neutros (Figura 15), considerando a ocorrência de pelo menos

duas vezes o número de dias consecutivos com excesso hídrico, enquanto que para as DS a partir de 16/dez os valores são maiores para os anos sob influência da La Niña. Essa informação está de acordo com os estudos que consideram os anos neutros com o registro de maiores valores de deficiências hídricas no período de verão (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005).

Os solos Santa Maria e Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos apresentam tendências semelhantes aos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito. Pode-se observar que para as DS de outubro a dezembro as probabilidades de ocorrer pelo menos duas vezes excesso hídrico considerando os anos sob La Niña são as menores (Figura 16), período de maior influência do fenômeno ENOS no Rio Grande do Sul (BERLATO; FONTANA, 2003). Associando eventos ENOS e a erosividade das chuvas, Paula et al. (2010) consideraram que em anos de La Niña e neutros na maioria das vezes as chuvas são de menor intensidade e quantidade, o que, de maneira geral, não levaria diretamente a ocorrência de excedentes hídricos como no caso de anos de ocorrência de El Niño.

Em razão das análises feitas no presente estudo, pode-se dizer que as DS a partir de meados do mês de setembro podem ser consideradas como melhores, considerando-se os anos sem influência do fenômeno El Niño. Dessa forma, o cultivo do girassol pode ser estabelecido nos diferentes solos da região em estudo nesse período com menores probabilidades de ocorrência de excesso hídrico, bem como com menores probabilidades de riscos de deficiência hídrica (MALDANER, 2012).



## 5 CONCLUSÕES

As datas de semeadura consideradas no presente trabalho contribuem para grande variabilidade nas probabilidades do número de dias com excesso hídrico para os diferentes subperíodos analisados para girassol precoce. As datas de semeadura de início de agosto até meados de setembro e de 16 de fevereiro são as que apresentam a maior ocorrência de dias com excesso hídrico, considerando todo o ciclo de desenvolvimento do girassol, independente do solo avaliado. Considerando a ocorrência de excesso hídrico nos subperíodos mais críticos do girassol ao excesso hídrico de início ao final da antese e da semeadura à emergência, as semeaduras realizadas em meados de agosto são as de menor risco quando se pretende semear cedo dentro do período recomendado no zoneamento agroclimático disponibilizado pelo MAPA (2010).

Pelo menos uma função de distribuição de probabilidade se ajustou na maioria dos casos avaliados. A função Weibull apresentou maior número de ajustes, tanto para o ciclo quanto para os subperíodos, seguida das funções Exponencial, Normal, Lognormal e Gama em número de ajustes para os subperíodos; e Gama, Lognormal e Normal para o ciclo.

A probabilidade de ocorrência de pelo menos dois dias não consecutivos de excesso hídrico no subperíodo semeadura-emergência, é maior que 50% para as sete primeiras datas de semeadura (01/ago a 01/nov), sendo inferior a esse valor para todas as demais.

O subperíodo compreendido pela abertura e fecundação das flores apresentou os menores valores de probabilidades, sendo que para dois dias de excesso hídrico os maiores valores de probabilidade foram para as datas de semeadura de meados de janeiro e as de fevereiro. Em relação ao subperíodo de final da antese até maturação fisiológica, as probabilidades foram superiores a 50% para todas as datas de semeadura, considerando-se dois dias de excesso hídrico.

Considerando a probabilidade de pelo menos duas ocorrências de dias consecutivos com excesso hídrico, para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, os mais representativos da região, os valores obtidos nas datas de semeadura de 01 e 16 de agosto e 01 de setembro foram maiores para os anos neutros, enquanto que para as datas de semeadura a partir de 16/dez os valores são maiores para os anos sob influência da La Niña.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 341-349, mar/abr, 2001.

AGRIANUAL. **Agrianual 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, Instituto FNP, 2009. 497p.

ALFONSI, R. R. et al. Datas de semeadura para a cultura do milho no Estado de São Paulo, baseadas na probabilidade de atendimento hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 43-49, 1997.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.

ALBERTO, C.M. et al. Modelo para estimar o termo aerodinâmico na equação de Penman na ausência de dados de vento. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 17, Santa Maria, 2002. **Anais...** Santa Maria; UFSM, 2002. CD-ROM.

AMORIN, E. P. et al. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 307-316, abr/jun, 2008.

ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. In: WOOLHOUSE, H. W. W. **Advances in Botanical Research**, Birmingham, v. 7. Ed. Academic Press, p. 225-332, 1979.

ARMSTRONG, W. Waterlogged soils. In: ETHERINGTON, J. R. **Environment and Plant Ecology**. John Wiley & Son. 2ed., p. 290-330, 1982.

ARMSTRONG, W. et al. Microelectrode and modelling study of oxygen distribution in roots. **Annals of Botany**, Oxford, v. 74, n. 3, p. 287-299, set, 1994.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatísticas à climatologia: Teoria e Prática**. Pelotas: Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161p.

ASSIS, J. P. de et al. Ajuste de séries históricas de temperatura e radiação solar global diária às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 113-121, 2004.

AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Ed. Gráfica Editora Palloti, 2004. 100p.

BARBER, S. Soil Nutrient. **Bioavailability: a mechanistic approach**. New York, J. Wiley, 1984. 398 p.

BARNI, N. A. et al. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: I. Relação entre rendimento e índice hídrico. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 7-17, 1996.

BARTHOLOMEUS, R. P. et al. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 360, n. 1-4, p. 147-165, out, 2008.

BELL, D. L.; SULTAN, S. E. Dynamic phenotypic plasticity for root growth in *Polygonum*: a comparative study. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 86, n.6, p. 807-819, jun, 1999.

BERLATO, M. A. et al. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...**Campinas: SBA, 2007.CD-ROM.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

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

BERLATO, M. A.; MELO, R. W. de; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.

BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 93f. Tese (Doutorado)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São José dos Campos, 1987.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, n. 7, 1981. 96p. (Boletim Técnico – IPAGRO).

BIEMEL, T. S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defence system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, n. 2, p. 651-658, fev, 1998.

BLOM, C. W. P. M. Adaptations to flooding stress: from plant community to molecule. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 1, n. 3, p. 261-273, 1999.

BORTOLUZZI, et al. Excesso hídrico e produtividade do girassol em Santa Maria, RS. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XVII, 2011, Guarapari-ES. **Anais...** Guarapari: SESC, Centro de Turismo de Guarapari, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: DNPEA/MA, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, nº 30).

BRITTO, L. **Óleo de girassol**: todo amputado deve ter em casa. Disponível em: <http://passofirme.wordpress.com/2012/09/29/oleo-de-girassol-todo-amputado-deve-ter-em-casa/>. Acesso em 15/12/2012;

BRUNINI, O. **Elementos meteorológicos e comportamento vegetal**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 46p. Boletim Técnico.

BUENO, R. C. et al. Estudo de rajadas de ventos e direções predominantes em Lavras, Minas Gerais, por meio da distribuição gama. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 789-796, jul/ago, 2011.

BURIOL, G. A. et al. Balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 2, p. 1-216, 1977.

BURIOL, G. A. et al. Disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 10 (suplemento), p. 1-141, 1980.

BURIOL, G. A. et al. Probabilidade de ocorrência de valores de radiação solar prejudiciais ao cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 7, p. 97-104, 2001.

BURIOL, G. A. et al. 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**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 89-97, out/dez 2006.

BURIOL, G. A. et al. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1563-1567, jul, 2012.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região Central do Estado do Rio Grande do Sul**. 2005. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CASTRO, C.; FARIAS J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In : LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

CATALUNHA, M. J. et al. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.

CLIMATE PREDICTION CENTER (CPC). Online. Disponível em:  
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)  
Acessado em 25 de março de 2013.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 273 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CRAWFORD, R. M. M., BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 47, n. 2, p. 145-159, 1996.

CUSTÓDIO, M. de S. et al. Insolação no Rio Grande do Sul: Climatologia e tendência temporal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 15., 2007, Aracaju, **Anais...**Campinas: SBA, 2007. CD-ROM.

CUSTÓDIO, M. de S. et al. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul: Climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 45-52, 2009.

DALL'AGNOL, A.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. V. B. de C. Origem e histórico do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005, cap.1, p. 1-14.

DARDANELLI, J. L. et al. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 29-38, ago, 1997.

DAT, J. F. et al. Sensing and signaling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 42, n. 2, p. 273-282, abr, 2004.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.173p.

DOURADO NETO, D. et al. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 273-283, 2005.

DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico ciclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 537-546, 1999.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 48, n. 3, p. 223-250, 1997.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do girassol** - Embrapa Soja, 2000. (Sistema de Produção, n.1) Disponível em <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol/index.htm>>. Acesso em: 12 de março de 2011.

ERDEM, T.; DELIBAS, L. Yield response of sunflower to water stress under tekirdag conditions. **Hélia**, Novi Sad, v. 26, n. 38, p. 149-158, 2003.

EVANS, D. E. Aerenchyma formation. **New Phytologist**, London, v. 161, n. 1, p. 35-49, 2003.

FAGUNDES, J. D. et al. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): efeito de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p.987-993, 2007.

FALQUETO, A. R. et al. Chlorophyll fluorescence in rice: probing of senescence driven changes of PSII activity on rice varieties differing in grain yield capacity. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2010.

FAOSTAT- Statistic Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 10 de setembro de 2013.

FISCHER, G. et al. Thermodynamical and dynamical structures of the global atmosphere. In: HELLWEGE, K., MODELUNG, H. (Ed.). **Numerical data and functional relationships in Science and Technology / LAMDOLT-BÖRNSTEIN (New Ser.)**, v. 4. Springer-Verlag, Berlin, 491p., 1987.

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 135-145, 2002.

FRIZZONE, J. A. et al. Planejamento de irrigação: Análise de decisão de investimentos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FUKAO, T; BAILEY-SERRES, J. Plant responses to hypoxia- is survival a balancing act? **Trends in Plant Science**, Oxford, v.9, n. 9, p. 449-456, set. 2004.

GARG, N.; MANCHANDA, G. ROS generation in plants: Boon or bane? **Plant Biosystems**, Bologna, v. 143, n. 1, p. 1-96, mar, 2009.

GEIGENBERGER, P. Response of plant metabolism to too little oxygen. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 6, n. 3, p. 247-256, jun, 2003.

GILMORE JUNIOR, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus L.*)**. 2005. 99 f. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GRASSINI, P. et al. Responses to short-term waterlogging during grain filling in sunflower. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 101, n. 3, p. 352-363, mar, 2007.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v. 13, n. 01, p. 35-58, jan, 2000.

GUSE, F. I. **Produtividade, severidade de mancha de alternaria e deficiência hídrica em diferentes épocas de semeadura do girassol em Santa Maria – RS**. 2009. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, jun, 2005.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, abr, 2006.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 38, p. 43-58, jan/jun, 2009.

HOFFMANN, A. et al. Estimativa da primeira data do outono e última data da primavera com temperatura do ar menor ou igual a 0 °C em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 65-68, 1994.

HUANG, B. et al. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. **Crop Science**, v. 34, n.6, p. 1538-1544, nov/dez, 1994.

HUYNH, L. N. et al. Regulation of flooding tolerance of SAG12:ipt Arabidopsis plant by cytokinin. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 56, n. 415, p. 1397-1407, mai, 2005.

HWANG, J. H. et al. Expression profile analysis of hypoxia responses in *Arabidopsis* roots and shoots. **Journal of Plant Biology**, New Delhi, v. 54, n. 6, p.373-383, dez, 2011.

INMET. Normais climatológicas (1961-1990). Brasília, 84 p. 1992.

ISMOND, K. P. et al. Enhanced low oxygen survival in *Arabidopsis* through increased metabolic flux in the fermentative pathway. **Plant Physiology**, Rockville, v. 132, n. 3, p. 1292-1302, jul, 2003.



JACKSON, M. B.; COLMER, T. D. Response and adaptation by plants to flooding stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 95, n. 4, p. 501-505, set, 2005.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. et al. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 842-850, maio/jun, 2007.

KRAMER, P.J. **Plant and soil relationships: A modern synthesis**. New York: McGraw-Hill, 1969. 482p

KOLB, R. M.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Tabebuia cassinoides*: Metabolic, morphological and growth responses. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, Kusterdingen, v. 204, n. 7, p. 528-535, 2009.

KOMATSU, S. et al. Comprehensive analysis of mitochondria of roots and hypocotyls of soybean under flooding stress using proteomics and metabolomics techniques. **Journal of Proteome Research**, Washington, v. 10, n. 9, p. 3993-4004, set, 2011.

KOMATSU, S.; HIRAGA, S.; YANAGAWA, Y. Proteomics techniques for the development of flood tolerant crops. **Journal of Proteome Research**, Washington, v. 11, n. 1, p. 68-78, jan, 2012.

LAZZAROTTO, J. J.; ROESSING, A. C.; MELLO, H. C. O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil. In: **Girassol no Brasil**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap. 02, p.15-42.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005, 600p.

LEITE, R. M. V. B. de C.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Agrupamento de genótipos de girassol pela reação à mancha de *Alternaria* (*Alternaria helianthi*) e produtividade. In: Reunião Nacional da Pesquisa do Girassol, 18, 2009, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 59-65.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council**, Taipei, v. 25, n. 3, p. 148-157, jul, 2001.

LOOSE, L. H. et al. Variabilidade dos rendimentos de girassol na Argentina em função da variabilidade climática interanual. **Revista de la Facultad de Agronomia – UBA**, Buenos Aires, v. 30, p. 169-178, 2010.

LOOSE, L. H. et al. Severidade de ocorrência das manchas de alternaria e septória em girassol semeado em diferentes épocas no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 282-289, 2012.

LOOSE, L. H. **Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol sob excesso hídrico**. 2013, 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

LUCAS, D. D. P. **Injúria foliar em diferentes estágios fenológicos de plantas de girassol e seu efeito na produção**. 2011, 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba Potafos, 1997, 319p.

MALDANER, I. C. Estimativa da temperatura base da emergência - início da antese em girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17, Guarapari, **Anais...** Guarapari, SESC, 2011. 1 CD-ROM.

MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na região central do Rio Grande do Sul**. 2012, 141f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MALTBY, E. Wetlands their status and role in the biosphere. In: JACKSON, M. B.; DAVIES, D. D.; LAMBERS, H. (Eds.). **Plant life under oxygen deprivation: ecology, physiology and biochemistry**. The Hague: SPB Academic, 1990. p. 3-21.

MANCUSO, S.; MARRAS, A. M. Adaptive response of Vitis root to anoxia. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 47, n. 3, p. 401-409, mar, 2006.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Agrícola para a cultura de girassol no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2010/2011**. Brasília; MAPA, Portaria nº 106, de 6 de maio de 2010.

MARQUES, S. J. et al. Modelo iterativo para estimativa da evapotranspiração de referência provável. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 221-225, 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press. 1995. 889p.

MATZENAUER, R. et al. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275, 1998.

MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; BUENO, A. C. Relações da evapotranspiração máxima do girassol (*Helianthus annuus L.*) com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 241-247, 1999.

MERRIEN, A.; MILAN, M.J. **Physiologie du tournesol**. Paris: Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, 1992. p. 21-27.

MORAIS, D. C. M. et al. Ação cicatrizante de substâncias ativas: d-pantenol, óleo de girassol, papaína, própolis e fator de crescimento de fibroblastos. **Foco: Caderno de Estudos e Pesquisas**, v. 4, p. 83-98, 2013.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.

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

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

NATIONAL SUNFLOWER ASSOCIATION. **Sunflower Seed: World Supply & Disappearance**. 2013. Disponível em: <http://www.sunflowernsa.com/stats/world-supply/> Acesso em 22 de agosto de 2013.

NAUMANN, J. C.; YOUNG, D. R.; ANDERSON, J. E. Leaf chlorophyll fluorescence, reflectance, and physiological response to freshwater and saltwater flooding in the evergreen shrub, *Myrica cerifera*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 1-3, p. 402-409, 2008.

NIED, A. H. **Balço hídrico diário do solo simulado para diferentes datas de semeadura do milho em Santa Maria, RS.** 2003. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

OKADA, K. et al. Production and utilization of rapeseed and sunflower for the purposes of bio-energy and revitalization of rural communities. **Journal of Crop Research**, Kinki, v. 53, p. 85-90, 2008.

OLIVEIRA, A. C. B. de et al. **Cultivo do girassol no Rio Grande do Sul.** Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, 2007. 4 p. (EMBRAPA-CPACT. Comunicado técnico, 176).

ORCHARD, P. W., JESSOP, R. S. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. I. Effects of stage of development and duration of waterlogging on growth and yield. **Plant and Soil**, The Hague, v. 81, n. 1, p. 119-132, 1984.

ORCHARD, P. W.; SO, H. B. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. II. Changes in the soil environment under waterlogged conditions. **Plant and soil**, The Hague, v. 88, n. 3, p. 407-419, 1985.

ORCHARD, P. W.; JESSOP, R. S.; SO, H. B. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. IV. Water and nutrient uptake effects. **Plant and Soil**, The Hague, v. 91, n. 1, p. 87-100, 1986.

ORTA, A. H.; ERDEM, T.; ERDEM, Y. Determination of water stress index in sunflower. **Hélia**, Novi Sad, v. 25, n. 37, p. 27-28, 2002.

PAULA, G. M. de et al. Influência do fenômeno El Niño na erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1315-1323, 2010.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, Delaware, v. 24, p. 29-96, 1972.

PONNAMPERUMA, F. N. Effects of flooding on soils. In. KOZLOWSKI, T.T. **Flooding and plant growth**. San Diego: Academic Press, ed. p.10-45. 1984.

PORPORATO, A. et al. Soil moisture and plant stress dynamics along the Kalahari precipitation gradient. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 108, n. 3, p. 4127-4134, 2003.

PORTO, W. S. et al. Evaluation of sunflower cultivars for central Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 139-144, 2008.

RADONS, S. Z. et al. Chuva, irrigação e severidade de ocorrência de mancha de septória em girassol. In: Reunião Nacional da Pesquisa do Girassol, 18, 2009, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 317-323.

RAWSON, H. M.; CONSTABLE, G. A.; HOWE, G. N. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environment. II. Leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 7, n. 5, p. 575-586, 1980.

REICHARDT, K. A. **A água na produção agrícola**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill. 1978.119p.

RIBEIRO, A. M. de A.; LUNARDI, C. A precipitação mensal provável para Londrina, PR, através da função gama. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 37-44. 1997.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. dos S. **Compactação do solo**: consequências para o crescimento vegetal. Planaltina: Embrapa Cerrados 2005, 26p. Documentos 136.

SACHS, M. M.; FREELING, M.; OKIMOTO, R. The anaerobic proteins of maize. **Cell**, Cambridge, v. 20, n. 3, p. 761-767, 1980.

SAIRAM, R. K. et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 52, n. 3, p. 401-412, jul, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS-STAT: user's guide**. 8th ed. Cary: SAS Institute, 2001.

SAUE, T.; KADAJA, J. Modelling crop yield response to precipitation redistribution on slopes. **Biologia**, Lahore, v. 64, n. 3, p. 502-506, jun, 2009.

SCHACH, T. et al. Deficiência hídrica e produtividade na cultura do girassol. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 26, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2011. 1 CD-ROM.

SENTELHAS, P. C. et al. Aspectos climáticos relacionados a mancha de alternaria em cultivares de girassol. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 464-469, 1996.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, nov, 1994.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 184, n. 2, p. 323-329, jun, 1996.

SILVA, J. C. **Épocas de menor risco de estresse hídrico e térmico para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul**. 2005. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SILVA, J. C. et al. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

SILVA, M. L. et al. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, J. C. **Parâmetros de irrigação para o feijoeiro em diferentes solos e épocas de semeadura na região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SILVA, J. C. et al. Funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p. 1893-1899, out, 2008.

SILVA, J. G. da; SENTELHAS, P. C. Diferença de temperatura mínima do ar medida no abrigo e na relva e probabilidade de sua ocorrência em eventos de geada no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 9-15, 2001.

SILVA, M. V. da; CAMPOS, C. R. J. de Anomalias decadais do regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 75-89, 2011.

SILVA, D. F. S. da; NERY, J. T. Variabilidade espacial e temporal da chuva na unidade de gerenciamento do pardo. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1079-1089, 2012.

SILVA, A. R. A. da et al. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza v. 44, n. 1, p. 86-93, jan/mar, 2013.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado- **Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado** (29 ed. 2012: Gravatal, SC). Itajaí: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. 2012. 179p.

SOUSA, S. A. V. de; FRIZZONE, J. A. Comparação entre a função normal e triangular para simulação do déficit de evapotranspiração. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 255-263, 1997.

SOUZA, C. A. F., SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 14, n. 2 p. 83-94, mai/ago, 2002.

SOUZA, R.; CAMARGO, F. O. A.; VAHL, L. C. Solos alagados. In: Meurer, E. J. (Ed) **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010, p. 185-211.

STEFFENS, B.; SAUTER, M. G proteins as regulators in ethylene-mediated hypoxia signaling. **Plant Signaling and Behavior**, Austin, v. 5, n. 4, p. 375-378, 2010.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: I. efeito nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

STRECK, N. A. et al. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 323-329, mar/abr, 2007.



STRECK, N. A. et al. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1553-1561, dez, 2009.

SULTAN, S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 5, n. 12, p. 1360-1385, dez, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed. 2013, 918p.

TAVARES, R. et al. Análise da variabilidade espacial e temporal das chuvas associada aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1º, 2004, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: GADN/UFSC, 2004. p.680-696. (CD-ROM)

THOMAZ, G. L. **Comportamento de cultivares de girassol em função da época de semeadura na Região de Ponta Grossa, PR**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008.

THOMSON, C. J. et al. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* cvs Gamenya and Kite) and triticale (*Triticosecale* cv. Muir) to waterlogging. **New Phytologist**, London, v. 120, n. 3, p. 335-344, 1992.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographic Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, v. 3, n. 10, Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TOURNAIRE-ROUX, C. et al. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. **Nature**, v. 425, p. 393-396, set, 2003.

TROUGHT, M. C. T.; DREW, M. C. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). I. Shoot and root growth in relation to changes in concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution. **Plant and Soil**, The Hague, v. 54, p. 77-94, 1980.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. C. L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. 2.ed. Editora Nobel. São Paulo, 1992. 327p.



TRENTIN, G. **Parâmetros de irrigação por análise numérica para a cultura do milho na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2009. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

TRENTIN, R. **Parâmetros e probabilidades de irrigação para a cultura da soja na região central do Rio grande do Sul por análise numérica**. 2013. 145f Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

UMEDA, M.; UCHIMIYA, H. Differential transcript levels of genes associated with glycolysis and alcohol fermentation in rice plants (*Oryza sativa* L.) under submergence stress. **Plant Physiology**, Rockville, v. 106, n. 3, p. 1015-1022, nov, 1994.

UNGARO, M. R. G. et al. Girassol. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1.ed. Brasília: INMET, 2009, p. 203-221.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, Stilo, 2000. 532 p.

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 79, (Supplement), p. 3-20, 1997.

VITORINO, P. F. P. G. et al. Flooding tolerance and cell wall alterations in maize mesocotyl during hypoxia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1027-1035, ago, 2001.

VILLA NOVA, N. A.; SCARDUA, R. O. O uso do método climatológico na determinação da irrigação. Campinas: SBA, **Boletim técnico**, n.2.1984. 20p.

VOESENEK, L. A. et al. Interactions between plant hormones regulate submergence-induced shoot elongation in the flooding-tolerant dicot *Rumex palustris*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 2, p. 205-211, 2003.

VOESENEK, L. A. C. J. et al. How plants cope with complete submergence. **The New Phytologist**, London, v. 170, n. 2, p. 213-226, 2006.

XIONG, L.; ZHU, J.K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 131- 139, fev, 2002.

YASUMOTO, S. et al. Effects of high water table and short-term flooding on growth, yield, and seed quality of sunflower. **Plant Production Science**, Tokyo, v.14, n. 3, p. 233-248, 2011. Disponível em: <http://www.cabi.org/cabdirect/FullTextPDF/2011/20113319874.pdf>.

YASUMOTO, S.; MATSUZAKI, M. Changes in seed quality during maturation of sunflower under high or changeable water table conditions. **Plant Production Science**, Tokio, v. 16, n. 3, p. 226-237, 2013.

WAMPLE, R. L.; DAVIS, R. W. Effect of flooding on starch accumulation in chloroplasts of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 73, n. 1, p. 195-198, set, 1983.

WMO- World Meteorological Organization. **Guide to meteorological instruments and Methods of observation**. 7. ed, 2008. 681p. Disponível em [https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf). Acesso: 15 de janeiro de 2014.

ZOBIOLE, L. H. et al. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 425-433, mar/abr, 2010.

## 7 APÊNDICES

APÊNDICE A- Análise de variância do número de dias com excesso hídrico no solo em cinco subperíodos de desenvolvimento do girassol para as datas de semeadura (DS) simuladas e para os grupos de solos presentes na região em estudo.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Semeadura – emergência				
DS	13	1249,33	96,10	44,76*
Solo	5	58,49	11,69	5,45*
DS*Solo	65	21,27	0,32	0,15 <sup>ns</sup>
Erro	3510	7536,20	2,14	
Total	3593	8865,31		
Emergência - emissão botão floral				
DS	13	20093,74	1545,67	109,03*
Solo	5	372,94	74,58	5,26*
DS*Solo	65	53,14	0,81	0,06 <sup>ns</sup>
Erro	3528	50017,39		
Total	3611	70537,23		
Emissão botão floral - início da antese				
DS	13	2029,92	156,14	31,58*
Solo	5	338,15	67,63	13,68*
DS*Solo	65	39,20	0,60	0,12 <sup>ns</sup>
Erro	3512	17360,56	4,94	
Total	3595	19767,85		
Início da antese - final da antese				
DS	13	446,05	34,31	30,08*
Solo	5	58,79	11,75	10,31*
DS*Solo	65	18,96	0,29	0,26 <sup>ns</sup>
Erro	3528	4023,62	1,14	
Total	3611	4547,44		
Final da antese - maturação fisiológica				
DS	13	8880,19	683,092	128,26*
Solo	5	510,52	102,1	19,17*
DS*Solo	65	39,90	0,61	0,11 <sup>ns</sup>
Erro	3528	18789,16	5,32	
Total	3611	28219,78		
Semeadura- maturação fisiológica				
DS	13	51725,98	3978,92	102,62*
Solo	5	5238,56	1047,71	27,02*
DS*Solo	65	155,40	2,39	0,06 <sup>ns</sup>
Erro	3528	136784,04	38,77	
Total	3611	193904,00		

\*Significativo em nível de 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>Não significativo.

APÊNDICE B- Comparação do número médio de dias com excesso hídrico nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível - início da antese (R1-R5.1), início da antese - final da antese (R5.1-R6), final da antese-maturação fisiológica (R6-R9) e semeadura-maturação fisiológica (S-R9), para as 14 datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2014.

DS	Subperíodo					
	S-E	E-R1	R1-R5.1	R5.1-R6	R6-R9	S-R9
01/ago	3,09 e*	10,26 h	3,17 e	0,86 c	1,20 b	18,59 g
16/ago	1,38 c	10,10 h	2,89 e	0,53 b	1,00 a	15,91 f
01/set	1,35 c	9,13 g	2,56 d	0,34 a	0,70 a	13,91 e
16/set	1,96 d	7,53 f	1,63 c	0,33 a	0,54 a	12,01 d
01/out	0,98 b	6,67 e	1,28 b	0,23 a	0,88 a	10,01 c
16/out	1,11 c	5,48 d	1,04 a	0,26 a	0,91 a	8,73 c
01/nov	1,35 c	3,89 b	0,84 a	0,32 a	0,81 a	7,24 b
16/nov	0,76 a	3,24 a	1,31 b	0,20 a	0,82 a	6,31 a
01/dez	0,91 b	3,15 a	1,30 b	0,23 a	1,21 a	6,76 a
16/dez	0,76 a	3,84 b	1,37 b	0,32 a	1,37 b	7,59 b
01/jan	0,98 b	4,64 c	1,70 c	0,31 a	1,66 b	9,38 c
16/jan	0,93 b	5,07 d	1,74 c	0,25 a	2,96 c	10,97 d
01/fev	1,17 c	5,18 d	1,75 c	1,23 d	3,75 d	13,10 e
16/fev	1,12 c	4,60 c	3,13 e	1,25 d	6,41 d	16,56 f

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

APÊNDICE C- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S-E						W	2,883	2,289				
E-R1						G	2,780	2,249		W	6,247	1,974
R1-R5.1	01/ago	W	4,736	1,820	16/out	E	2,296		01/jan			
R5.1-R6		W	2,641	1,762		LN	0,445	0,397				
R6-R9		G	1,102	3,084						E	3,680	
S-R9		W	22,139	2,886		G	3,671	2,857		N	11,500	4,650
S-E						W	2,553	2,157				
E-R1	16/ago	N	10,395	4,609	01/nov	W	5,683	1,473	16/jan	G	1,659	3,601
R1-R5.1		LN	1,184	0,646		W	2,431	1,724		LN	0,988	0,693
R5.1-R6		W	2,438	2,482								
R6-R9		E	3,150						W	5,733	1,764	
S-R9						LN	2,071	0,559		W	14,414	2,397
S-E						E	2,000			G	0,626	3,500
E-R1	01/set	W	10,928	2,734	16/nov	G	1,571	2,781	01/fev	N	5,975	2,869
R1-R5.1						G	1,021	3,304		W	3,787	1,557
R5.1-R6		N	2,333	1,225		LN	0,426	0,387		N	3,105	1,761
R6-R9		W	2,999	1,811		N	2,818	1,563		N	5,353	3,180
S-R9		G	3,380	4,678		W	10,009	2,082		W	16,786	2,483
S-E		W	3,430	1,899								
E-R1	16/set	W	9,091	2,038	01/dez	W	4,342	1,495	16/fev	W	5,641	1,573
R1-R5.1		G	1,216	2,829		W	3,305	1,512		LN	1,224	0,779
R5.1-R6										E	2,652	
R6-R9		W	2,959	1,867		N	3,320	1,600		N	3,937	7,200
S-R9		LN	2,492	0,529		N	9,000	4,569		W	2,357	19,813
S-E												
E-R1	01/out	W	8,998	2,282	16/dez							
R1-R5.1		W	3,298	1,468								
R5.1-R6		E	1,857									
R6-R9		W	2,856	1,904								
S-R9		G	4,219	2,789		N	9,857	4,842				

\* Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal. E= exponencial.

APÊNDICE D- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S-E						G	0,561	4,379				
E-R1						G	2,295	2,692		W	5,657	1,659
R1-R5.1	01/ago	W	4,352	1,622	16/out	W	2,930	1,637	01/jan	N	2,917	1,442
R5.1-R6												
R6-R9		E	3,133			N	2,857	1,512		W	3,672	1,511
S-R9		N	18,512	7,146		G	3,895	2,323		N	9,927	4,274
S-E						W	2,593	2,178				
E-R1	16/ago	N	10,349	4,551	01/nov	W	5,769	1,549	16/jan	G	1,544	3,666
R1-R5.1												
R5.1-R6		G	1,712	2,096		W	2,354	1,773		G	1,208	2,859
R6-R9		G	0,398	5,580							1,291	
S-R9						LN	0,754	0,618		G	1,962	2,385
S-R9										W	12,909	2,301
S-E		N	2,652	1,496		LN	0,610	0,553		LN	0,654	0,542
E-R1	01/set	W	10,410	2,409	16/nov				01/fev	N	5,947	2,828
R1-R5.1												
R5.1-R6		E	3,065							E	3,083	
R6-R9		E	2,400							W	3,526	1,884
R6-R9		W	2,945	1,853		N	2,462	1,330				
S-R9		G	3,768	3,647		W	8,130	1,820		W	15,790	2,532
S-E		N	3,000	1,576								
E-R1	16/set	W	8,752	1,943	01/dez	W	4,424	1,604	16/fev	W	5,926	1,637
R1-R5.1												
R5.1-R6		G	1,194	2,475		LN	0,835	0,655		E	2,700	
R6-R9		E	2,200									
R6-R9		E	2,000			W	3,327	2,356		W	7,992	1,982
S-R9		LN	2,355	0,538		W	8,056	1,785		W	18,922	2,220
S-E												
E-R1	01/out	N	7,737	4,005	16/dez	W	2,904	1,700				
R1-R5.1												
R5.1-R6		G	2,930	1,637								
R6-R9		E	1,750									
R6-R9		E	1,905			W	3,517	1,455				
S-R9		G	4,729	2,169		G	1,934	4,283				

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal. E= exponencial.

APÊNDICE E- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Oásis e São Gabriel, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S-E												
E-R1		N	10,310	4,164		G	2,659	2,128		W	5,382	1,621
R1-R5.1	01/ago	W	4,329	1,579	16/out				01/jan			
R5.1-R6		W	2,577	1,809								
R6-R9		E	3,273			G	0,489	4,348				
S-R9		LN	2,801	0,397		W	8,619	1,576		W	9,154	2,017
-----												
S-E												
E-R1		N	9,952	4,428		W	5,326	1,468		G	1,617	3,141
R1-R5.1	16/ago	E	3,483		01/nov	N	2,571	0,976	16/jan	LN	0,938	0,716
R5.1-R6		E	2,000			E	1,750					
R6-R9		E	3,375			E	2,125					
S-R9						W	9,154	2,017		W	10,419	1,772
-----												
S-E		N	2,550	1,317		LN	0,500	0,438		LN	0,647	0,551
E-R1		N	8,810	4,238		W	4,680	1,771		N	5,750	2,719
R1-R5.1	01/set	E	3,192		16/nov	N	2,429	1,505	01/fev			
R5.1-R6		E	2,500							W	3,254	1,848
R6-R9		E	2,833							W	5,534	1,615
S-R9		G	3,744	3,377		LN	1,443	0,758		G	3,576	3,390
-----												
S-E		W	3,291	2,549								
E-R1		W	7,617	1,603		E	4,154					
R1-R5.1	16/set	LN	0,940	0,639	01/dez	LN	0,859	0,626	16/fev	G	1,979	2,220
R5.1-R6		E	2,250							W	3,299	1,663
R6-R9		N	2,250	1,500			LN	0,704		0,421	N	6,525
S-R9		W	11,278	1,651		LN	1,558	0,686		W	17,678	2,057
-----												
S-E						LN	0,587	0,486				
E-R1		N	6,946	4,062		N	4,700	2,879				
R1-R5.1	01/out				16/dez							
R5.1-R6												
R6-R9		E	1,857			E	2,750					
S-R9		G	4,512	1,944		G	2,874	2,349				

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal e E= exponencial.

APÊNDICE F- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para os solos Alto das Canas e Cambai, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S-E						LN	0,456	0,754				
E-R1		N	10,333	4,171		LN	0,719	1,549		G	1,956	2,515
R1-R5.1	1/ago	W	1,602	4,369	16/out				01/jan			
R5.1-R6	1/ago	W	1,809	2,577	16/out				01/jan			
R6-R9		E	0,000	3,273								
S-R9		G	3,939	4,428		W	9,152	1,625		W	9,806	2,239
-----												
S-E												
E-R1		N	10,310	4,364		G	2,452	1,999		LN	0,555	1,537
R1-R5.1	16/ago	E	3,483		01/nov	N	2,571	0,976	16/jan	LN	0,716	0,938
R5.1-R6	16/ago	E	2,000		01/nov	E	1,750		16/jan			
R6-R9		E	3,375			E	2,125					
S-R9						W	7,083	1,440		W	10,936	1,884
-----												
S-E		N	2,652	1,496		LN	0,517	0,596		LN	0,504	0,682
E-R1		N	8,907	4,264		W	4,749	1,789		N	5,917	2,644
R1-R5.1	1/set	E	3,192		16/nov	W	2,834	1,910	01/fev			
R5.1-R6	1/set	E	2,500		16/nov				01/fev	W	3,254	1,848
R6-R9		E	2,833							W	5,534	1,615
S-R9		W	14,505	1,998		LN	0,725	1,545		W	14,029	2,155
-----												
S-E		N	2,933	1,574								
E-R1		G	2,977	2,375		E	3,966					
R1-R5.1	16/set	LN	0,940	0,639	01/dez	LN	0,859	0,626	16/fev	G	1,979	2,220
R5.1-R6	16/set	E	2,250		01/dez				16/fev	W	3,299	1,663
R6-R9		LN	0,727	0,621		LN	0,421	0,704		N	6,525	3,922
S-R9		G	3,320	3,244		G	2,508	2,370		N	15,512	8,096
-----												
S-E												
E-R1		N	7,184	4,106								
R1-R5.1	01/out				16/dez							
R5.1-R6	01/out				16/dez							
R6-R9		E	1,857			E	2,750					
S-R9		W	9,853	1,487		LN	1,766	0,650				

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal e E= exponencial.



APÊNDICE G- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para o solo Santa Maria, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	
S-E						LN	0,660	0,555					
E-R1		N	10,279	4,377		G	2,344	2,717		W	6,012	1,895	
R1-R5.1	01/ago	W	4,673	1,813	16/out	E	2,304		01/jan				
R5.1-R6		W	2,600	1,711		LN	0,445	0,397					
R6-R9		G	1,108	3,039		W	3,490	1,550			E	3,625	
S-R9		N	19,395	7,544		G	4,048	2,327		W	12,219	2,490	
S-E						G	0,520	4,345					
E-R1		N	10,333	4,426		W	5,831	1,558		LN	1,652	0,493	
R1-R5.1	16/ago	LN	1,111	0,674	01/nov	W	2,560	1,758	16/jan	LN	1,008	0,684	
R5.1-R6		W	2,539	2,681									
R6-R9		E	2,850			W	3,445	1,650			W	6,229	2,163
S-R9						LN	1,935	0,656		G	3,228	3,623	
S-E						LN	0,650	0,547		LN	0,696	0,519	
E-R1		W	10,393	2,356		W	4,635	1,790					
R1-R5.1	01/set				16/nov				01/fev	LN	0,952	0,713	
R5.1-R6		W	2,397	1,909			W	3,457		1,943			
R6-R9		W	2,979	1,677		W	3,235	2,587			N	3,201	5,406
S-R9		W	16,380	2,155		W	8,532	1,717		W	15,991	2,259	
S-E		LN	0,660	0,555		W	4,573	1,583					
E-R1		W	8,824	1,957		E	2,913			W	5,639	1,567	
R1-R5.1	16/set	G	1,143	2,939	01/1dez				16/fev				
R5.1-R6						W	3,294	2,344			E	2,727	
R6-R9		E	2,636			W	9,363	2,029			W	8,005	1,852
S-R9		LN	2,420	0,554						W	19,860	2,495	
S-E		G	0,699	3,147		W	5,401	1,696					
E-R1		W	8,855	2,238									
R1-R5.1	01/out	G	1,310	2,405	16/dez								
R5.1-R6		E	1,857										
R6-R9		LN	0,615	0,548		G	2,429	3,809					
S-R9		G	4,465	2,448									

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal e E= exponencial.

APÊNDICE H- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulados nos subperíodos semeadura-emergência (S-E), emergência-botão floral visível (E-R1), botão floral visível-antese (R1-R5.1), antese-enchimento de grãos (R5.1-R6) e enchimento de grãos-maturação fisiológica (R6-R9) para o solo Vacacaí, nas datas de semeadura (DS) simuladas do período 1968-2011. Santa Maria, 2014.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S-E						LN	0,660	0,555				
E-R1						G	2,309	2,736		W	5,835	1,812
R1-R5.1	01/ago	W	4,716	1,844	16/out	E	2,273		01/jan	N	1,386	3,192
R5.1-R6		W	2,768	1,796		G	0,274	6,702		E	3,542	
R6-R9						E	2,211			E	3,542	
S-R9		G	2,520	7,766		G	4,209	2,155		N	10,512	4,734
-----												
S-E												
E-R1		N	10,262	4,451		W	5,765	1,552		LN	1,622	0,518
R1-R5.1	16/ago	LN	1,157	0,637	01/nov	LN	0,647	0,551	16/jan	LN	1,002	0,675
R5.1-R6		W	2,539	2,681		E	2,000					
R6-R9		W	3,677	1,520		N	3,455	1,214		W	6,057	2,067
S-R9						LN	1,858	0,686		G	3,128	3,650
-----												
S-E						LN	0,697	0,536		LN	0,682	0,504
E-R1		W	10,527	2,470		W	4,572	1,736		N	5,895	2,836
R1-R5.1	01/set				16/nov	G	1,026	2,923	01/fev	LN	0,937	0,715
R5.1-R6						LN	0,477	0,414		N	3,167	1,689
R6-R9		LN	0,746	0,667		W	2,904	2,491		N	5,484	3,171
S-R9		G	3,509	4,146		G	2,865	2,569		W	15,666	2,158
-----												
S-E		W	3,319	1,950								
E-R1		W	8,798	2,188		W	4,571	1,566		W	5,570	1,539
R1-R5.1	16/set				01/dez	N	2,955	2,011	16/fev	LN	1,314	0,740
R5.1-R6						E	2,727					
R6-R9		E	2,211			W	3,238	2,340		W	7,852	1,765
S-R9		G	3,358	3,767		W	8,972	1,939		W	19,581	2,356
-----												
S-E		W	2,506	1,811								
E-R1		W	8,798	2,188		W	5,503	1,764				
R1-R5.1	01/out	W	3,464	1,500	16/dez	G	0,787	3,871				
R5.1-R6		E	2,000									
R6-R9		E	2,211			LN	0,745	0,737				
S-R9		W	11,746	1,648		G	2,500	3,471				

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal. E= exponencial.

APÊNDICE I- Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas para determinar o número de dias com excesso hídrico acumulado no ciclo do girassol nos solos São Pedro, Venda Grande, Cerrito, Santa Maria, Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, considerando o Fenômeno La Niña e os anos neutros, nas diferentes datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

DS	São Pedro, Venda Grande e Cerrito			Santa Maria			Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos		
				La Niña					
	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*
01/ago	N	4,769	1,535	L	1,467	0,325	N	4,307	1,377
16/ago	N	3,538	1,330	N	3,230	1,423	N	3,000	1,291
01/set	W	3,744	1,939	N	2,846	1,772			
16/set	N	2,538	1,198	N	2,384	1,120	N	2,384	1,325
01/out	W	1,441	2,076	N	2,076	1,552			
16/out	N	1,923	1,320	N	1,615	1,120	N	1,615	1,120
01/nov				N	1,192	1,615	N	1,384	1,192
16/nov							N	1,384	1,192
01/dez	N	2,000	1,957	E	1,923				
16/dez	E	1,846		N	1,461	1,330			
01/jan	N	2,769	1,832				N	1,846	1,344
16/jan	LN	1,085	0,000	N	2,769	1,480	W	3,559	1,933
01/fev				G	0,321	10,291	N	3,230	1,363
16/fev							N	4,230	2,087
	Neutro								
01/ago	G	0,576	7,745	W	4,685	3,476	W	4,659	3,790
16/ago	G	0,615	6,610	N	4,000	1,362	G	0,627	6,055
01/set	LN	1,283	0,398	N	3,400	1,638			
16/set	N	2,933	1,387	N	2,666	1,447	N	2,666	1,234
01/out	N	2,666	1,543	N	2,266	1,624	N	2,133	1,407
16/out	N	2,333	1,496	N	2,133	1,355	N	2,066	1,387
01/nov	N	1,800	1,567	N	1,600	1,502	N	1,533	1,302
16/nov	E	1,400		E	1,400		N	1,533	1,355
01/dez							N	1,466	1,187
16/dez	N	1,666	1,234	E	1,400		E	1,266	
01/jan	N	2,400	1,681				N	2,000	1,558
16/jan	E	2,933					W	3,209	1,538
01/fev	N	3,333	2,160	N	3,066	2,250	N	3,333	1,951
16/fev	N	4,000	2,563	N	3,400	2,229	N	3,800	2,484

\*Os parâmetros das fdp G= Gama, W= Weibull e LN= Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função N= normal. E= exponencial.

APÊNDICE J- Número de dias com excesso hídrico de 1969 a 2011 para o subperíodo emergência à emissão do botão floral nas 14 datas de semeadura para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito. Santa Maria, RS.

Ano	Semeadura													
	01/ag	16/ag	01/st	16/st	01/ot	16/ot	01/nv	16/nv	01/dz	16/dz	01/jn	16/jn	01/fv	16/fv
1969	4	7	11	12	13	14	4	4	8	7	3	7	8	7
1970	3	3	5	6	7	6	0	1	2	2	6	6	1	1
1971	4	6	8	8	7	2	6	8	12	9	12	11	7	3
1972	2	2	2	3	0	0	0	5	5	5	3	4	4	6
1973	19	15	17	16	14	14	4	4	1	4	10	8	7	2
1974	13	9	8	5	3	2	1	3	6	8	6	13	10	2
1975	8	7	4	1	0	6	4	6	3	3	2	3	6	8
1976	16	14	7	3	4	7	10	7	6	7	6	4	6	7
1977	11	13	9	11	8	3	0	3	4	7	8	7	7	5
1978	12	10	12	8	8	5	5	3	3	5	4	3	2	2
1979	6	4	5	6	12	14	9	3	1	0	0	1	7	5
1980	16	14	16	14	6	3	8	7	6	2	1	0	6	10
1981	6	8	8	10	8	6	5	3	1	2	5	7	4	1
1982	11	11	8	2	2	2	1	2	1	2	7	11	8	10
1983	11	10	9	12	13	9	7	5	5	2	1	5	9	2
1984	4	2	4	5	4	2	1	3	8	10	10	6	1	6
1985	12	11	11	7	4	3	0	1	1	3	7	7	6	8
1986	15	9	9	2	1	0	0	0	0	0	2	3	7	3
1987	13	11	13	11	11	11	7	6	3	7	8	4	6	3
1988	12	10	9	9	9	7	5	3	1	7	7	5	4	3
1989	13	13	12	7	8	7	5	0	1	0	6	3	0	0
1990	12	10	7	4	3	6	6	4	2	2	5	8	10	10
1991	12	18	12	9	12	11	10	5	1	0	0	0	2	2
1992	2	1	5	3	0	0	1	6	7	4	3	9	7	8
1993	9	8	10	6	5	3	1	2	5	9	8	4	4	3
1994	4	6	13	10	11	6	9	7	3	1	1	10	8	1
1995	14	15	13	13	9	5	4	3	2	3	5	5	3	5
1996	10	12	12	6	0	1	0	0	4	12	13	12	4	4
1997	10	11	8	6	5	1	1	4	4	1	7	8	4	2
1998	10	13	13	19	17	14	7	6	8	6	8	14	12	12
1999	15	11	10	4	5	6	3	4	4	3	5	6	2	1
2000	10	15	10	10	5	2	1	1	1	5	7	5	4	6
2001	14	17	19	12	12	11	9	9	9	9	7	4	7	4
2002	12	15	12	11	8	5	3	1	2	2	4	6	8	10
2003	17	20	19	17	14	10	12	10	2	5	3	6	12	14
2004	7	6	6	5	7	7	10	9	7	0	3	3	0	1
2005	7	6	6	6	10	7	3	0	1	0	2	1	1	0
2006	15	19	12	11	7	3	2	2	0	8	10	4	0	4
2007	8	11	9	5	4	5	4	2	3	9	6	3	7	8
2008	13	7	7	7	8	5	1	1	3	4	2	0	8	6
2009	11	9	7	9	9	4	0	0	3	5	3	4	10	7
2010	15	16	13	11	10	14	14	8	8	10	5	4	6	2
2011	11	12	8	4	0	1	2	5	3	2	6	5	4	3

APÊNDICE K- Frequência dois ou mais dias consecutivos com excesso hídrico de 1969 a 2011 para o subperíodo emergência à emissão do botão floral, nas 14 datas de semeadura para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito. Santa Maria, RS.

Ano	Semeadura													
	01/ag	16/ag	01/st	16/st	01/ot	16/ot	01/nv	16/nv	01/dz	16/dz	01/jn	16/jn	01/fv	16/fv
1969	1	3	4	4	3	3	1	1	2	2	1	3	3	1
1970	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	2	3	0	0
1971	0	1	1	2	2	1	1	1	2	2	4	3	2	1
1972	1	1	1	1	0	0	0	2	2	1	0	0	1	1
1973	5	4	3	2	2	3	1	1	0	1	0	2	2	0
1974	4	2	1	1	0	0	0	1	3	2	2	3	2	0
1975	2	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	3
1976	6	5	2	1	2	2	3	2	3	2	1	1	2	2
1977	2	3	2	3	2	0	0	1	1	2	2	1	1	1
1978	3	2	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1979	1	1	1	1	3	3	2	1	0	0	0	0	1	1
1980	3	2	3	2	1	0	2	2	1	0	0	0	2	3
1981	2	3	3	4	3	2	1	0	0	0	0	1	1	0
1982	4	4	3	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0
1983	4	4	3	3	4	3	3	3	2	1	0	2	3	3
1984	1	1	1	1	1	0	0	1	2	2	2	1	0	0
1985	4	3	3	2	1	1	0	0	0	0	1	1	1	2
1986	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2
1987	3	3	3	2	3	2	2	1	1	2	3	2	3	1
1988	3	4	4	3	3	2	2	1	0	1	1	1	1	1
1989	2	2	2	1	2	2	2	0	0	0	2	1	0	0
1990	2	2	3	1	1	2	2	1	0	1	2	3	3	3
1991	3	5	3	3	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
1992	1	0	2	1	0	0	0	1	2	2	1	2	2	3
1993	3	3	2	0	0	0	0	0	2	3	3	1	1	1
1994	1	2	3	2	3	1	1	0	0	0	0	3	2	0
1995	4	5	4	3	2	0	0	1	1	1	2	1	1	2
1996	2	3	3	2	0	1	1	0	1	4	3	3	1	1
1997	3	4	2	1	1	0	0	0	0	0	3	3	1	1
1998	3	5	4	4	4	4	2	2	2	1	2	4	3	3
1999	4	3	3	1	1	2	1	0	0	0	1	2	0	0
2000	1	3	2	2	2	1	0	0	0	1	1	0	1	2
2001	4	5	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	0
2002	4	5	4	4	2	1	0	0	1	1	2	2	1	2
2003	5	6	5	4	2	2	4	4	1	1	0	1	4	5
2004	1	0	1	1	1	2	3	3	3	0	1	1	0	0
2005	2	2	2	2	3	2	1	0	0	0	1	0	0	0
2006	4	5	2	2	1	1	1	1	0	2	2	1	0	2
2007	2	3	3	2	1	2	2	1	0	3	2	0	2	2
2008	4	2	2	2	3	2	0	0	1	1	0	0	1	1
2009	3	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0	1	3	2
2010	5	4	3	3	3	4	3	1	2	3	2	2	2	1
2011	3	3	2	1	0	0	0	2	0	0	1	1	1	1