

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

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE
DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA CULTURA DO
GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Ivan Carlos Maldaner

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NA CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Ivan Carlos Maldaner

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
Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

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

Maldaner, Ivan Carlos
Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na região central do Rio Grande do Sul / Ivan Carlos Maldaner.-2012.
141 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2012

1. Helianthus annuus L.. 2. Deficiência hídrica. 3. Capacidade de armazenamento de água disponível. 4. Função de densidade de probabilidade. 5. Risco climático. I. Heldwein, Arno Bernardo II. Título.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Ivan Carlos Maldaner. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante autorização por escrito do autor .

Fone (0 xx) 55 9694 3096; End. Eletr.: ivan_maldaner@yahoo.com.br.

**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

**PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NA CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Elaborada por
Ivan Carlos Maldaner

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Arno Bernardo Heldwein, Dr.
(Presidente/ Orientador)

Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)

Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)

Joel Cordeiro da Silva, Dr. (IFF – SVS)

Gustavo Trentin, Dr. (EMBRAPA)

Santa Maria, 09 de março de 2012.

"Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos."

(Fernando Pessoa)

Dedico

À Deus pela vida.

Aos meus pais Adenor Maldaner e Arlete Maldaner
pelo amor e dedicação em todos os momentos.

E meus irmãos Carla Maldaner e Ricardo Maldaner
pelo incentivo, força e amizade.

À minha noiva Fernanda Pavani Stamm
pelo auxílio, apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de aprendizado e crescimento.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos, a qual possibilitou a realização deste estudo.

Ao professor Dr. Arno Bernardo Heldwein, pela orientação, paciência, confiança, amizade, profissionalismo ético e principalmente pelos conhecimentos transmitidos.

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

Aos colegas Prof. Dr. Joel Cordeiro da Silva (IFF-SVS) e Dr. Gustavo Trentin pela amizade, auxílio na simulação e análise dos dados e ensinamentos compartilhados desde a minha graduação.

Aos professores do programa de pós graduação em Agronomia, pela atenção e ensinamentos transmitidos.

Aos amigos Roberto Trentin, Dionéia Daiane Pitol Lucas e Luis Henrique Loose, pela ajuda na coleta dos dados e auxílio na correção do trabalho.

Aos amigos da Fitotecnia, Edenir Luis Grimm, Leosane Bosco, Ivonete Tazzo, Carina Pivetta, Isabel Lago, Gizelli Moiano de Paula, Hamilton Rosa, Lidiane Walter, Joana Hanauer, Mateus Bortoluzzi, Fernando Hinna, Joner Dalcin, Terlen Schach pela amizade, descontração e esclarecimentos das dúvidas durante o trabalho.

À minha amiga Cláudia Burin pelo companheirismo, amizade, apoio durante a realização deste trabalho.

À todas as pessoas que não foram mencionadas, mas 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

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA CULTURA DO GIRASSOL NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: IVAN CARLOS MALDANER
ORIENTADOR: PROFº DR ARNO BERNARDO HELDWEIN
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 09 de março de 2012.

No Brasil nos últimos anos elevou-se o interesse pelo cultivo do girassol. Quando submetida à deficiência hídrica a cultura do girassol apresenta redução na produtividade. Para contornar esse problema, é necessário calcular a provável deficiência hídrica nos subperíodos críticos e no ciclo de desenvolvimento do girassol para cada uma das diferentes datas de semeadura. O objetivo desse trabalho foi determinar os valores prováveis de duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento e obter as datas de semeadura com menor risco de deficiência hídrica e a probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de déficit hídrico durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol semeado em datas de semeadura distintas, considerando a capacidade de armazenamento de água nos diferentes solos da região central do RS. Também determinar a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica para os diferentes anos classificados conforme o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O desenvolvimento da cultura foi simulado por meio do método da soma térmica, para 14 datas de semeadura, do início do mês de agosto até meados de fevereiro, para cada ano do banco de dados da Estação Meteorológica Principal de Santa Maria, RS, utilizando o período de 1968 a 2011. Para calcular a deficiência hídrica, os 13 solos da região foram agrupados em seis grupos que apresentam características semelhantes de capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) e capacidade de infiltração. As deficiências hídricas foram determinadas a partir do balanço hídrico diário. A análise dos dados consistiu na análise da variância, teste de comparação de médias e análise de distribuição de probabilidade para as variáveis: duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento do girassol, deficiência hídrica nos subperíodos e no ciclo do girassol. A duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento do girassol é variável conforme a data de semeadura. A duração dos subperíodos que ocorrem da semeadura até o botão floral visível do girassol são maiores na primeira data de semeadura (01/08). Após a antese a maior duração dos subperíodos ocorre na semeadura mais tardia (16/02). As distribuições lognormal, normal e gama representam melhor o desenvolvimento do girassol para estimar a duração dos subperíodos e do ciclo. Na data de semeadura de 16/12, ao nível de 90% de probabilidade de ocorrência, o girassol tem a menor duração do ciclo, completando o ciclo em no máximo de 96 dias. A maior duração do ciclo do girassol ocorre na data de semeadura de 01/08, na qual alcança 132 dias, em nível de 90% de probabilidade de ocorrência. As datas de semeadura de início de outubro até o início de novembro são as que apresentam a maior deficiência hídrica, considerando todo o ciclo de desenvolvimento do girassol independente do solo; a escolha de outra data de semeadura reduz o risco e o nível de deficiência hídrica durante o ciclo do girassol. Nos solos em que a capacidade de armazenamento de água disponível é menor, a deficiência hídrica é maior tanto nos subperíodos quanto no ciclo do girassol em relação aos demais solos e é pouco variável ao longo das datas de semeadura. Semeaduras de girassol na primeira quinzena de agosto e a partir do mês de dezembro são as que apresentam os menores riscos de ocorrer deficiência hídrica no transcorrer do subperíodo mais crítico do girassol, desde que se tenham condições favoráveis para a semeadura e o estabelecimento inicial das plantas.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.. Deficiência hídrica. Capacidade de armazenamento de água disponível. Função de densidade de probabilidade. Risco climático.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Agronomy
Federal University of Santa Maria

OCCURRENCE PROBABILITY OF WATER DEFICIT IN SUNFLOWER CROP IN THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: IVAN CARLOS MALDANER
ADVISER: PROF^o DR. ARNO BERNARDO HELDWEIN
Location and date of defense: Santa Maria, March 9th, 2012.

In Brazil over recent years the interest increased on the sunflower cultivation. Sunflower yield can be decreased by water deficit. To solve this problem, is necessary to calculate the probable water deficit in critical sunflower sub-phases and in the whole development cycle at different sowing dates. The objective of this study was to determine the probable duration values of sub-phases and the developmental cycle and get sowing dates with lower risk of water deficit and the occurrence probability in different levels of water deficit during the developmental sub-phases of sunflower crop sown at different sowing dates, considering the water storage capacity in different soils in the Central Region of Rio Grande do Sul. Also determine the probability of occurrence of water stress for different years classified as the El Niño Southern Oscillation (ENSO). Crop development was simulated using the thermal time method, for 14 sowing dates, from August until mid-February, for every year during the period from 1968 to 2011, covered by database of Meteorological Station of Santa Maria, RS. For calculating the water deficit, the 13 soils were grouped into six groups with similar water storage capacity (CAD) and infiltration capacity. The water deficit was calculated from daily water balance. Data analysis consisted of analysis of variance, means comparison tests and analysis of probability distribution for the variables: duration of crop developmental sub-phases and the whole developmental cycle of the sunflower, water deficit in the sub-phases and whole developmental cycle. The length of the sub-phases and the development cycle of the sunflower crop are variable depending on sowing date. The length of the developmental sub-phases that occur from sowing until flower bud visible of sunflower are higher in the earliest sowing date (01/08). After anthesis, the longer length of developmental sub-phases occurs in the latest sowing (16/02). The lognormal, normal and gamma distributions represent better the development of sunflower to estimate the length of the phases and the whole cycle. At sowing date of 16/12, for 90% probability level, sunflower has the shortest length of the developmental cycle ending the cycle in a maximum of 96 days. The longer length of the sunflower cycle occurs at sowing date of 01/08, which reaches 132 days, at 90% level of occurrence probability. The sowing dates from early October until early November are the ones with the highest water deficit, considering the whole development cycle of the sunflower regardless of soil, a different choice on sowing date reduces the risk and the level of water deficit in sunflower cycle. In the soils in which the water storage capacity is lower, water deficit is greater in sub-phases as in the full cycle of the sunflower compared to other soils and is little variable among the sowing dates. Sunflower Sowings in the first half of August and since December are the ones with the lowest risk occurrence of water deficit during the more critical sub-phase of sunflower crop, at least there are favorable conditions for sowing and initial establishment of plants.

Keywords: *Helianthus annuus* L.. Water deficit. Water storage capacity. Probability density function. Climatic risk.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Área ocupada pelas diferentes unidades de mapeamento e respectivas classes dos solos na região de estudo de Santa Maria e municípios vizinhos. Santa Maria, RS, 2012. 36
- Tabela 2 – Variáveis meteorológicas utilizadas para a simulação do desenvolvimento do girassol e para o cálculo do balanço hídrico diário do solo. Santa Maria, RS, 2012. 38
- Tabela 3 – Variáveis meteorológicas calculadas a partir dos dados meteorológicos e respectivas funções matemáticas. Santa Maria, RS, 2012. 39
- Tabela 4 – Datas de semeadura (DS) utilizadas na simulação do desenvolvimento da cultura do girassol, em 43 anos agrícolas (período de 1968-2011), na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012. 43
- Tabela 5 – Soma térmica acumulada (ST), subperíodos de desenvolvimento e modelo de cálculo dos coeficientes de cultura utilizados para determinar a evapotranspiração máxima do girassol em Santa Maria, RS, conforme Matzenauer et al. (1999). Santa Maria, RS, 2012. 44
- Tabela 6 – Capacidade de armazenamento de água disponível no solo inicial (CAD_{in}) e final (CAD_f), curva número (CN), unidades de mapeamento (BRASIL, 1973) e classes de solos conforme classificação de Streck et al. (2008) na área de abrangência da estação meteorológica principal de Santa Maria, RS, utilizados no estudo simulado para os período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 46
- Tabela 7 – Classificação dos anos em função dos fenômenos ENOS ocorridos no período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 47
- Tabela 8 – Duração média dos subperíodos compreendidos entre a semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para as 14 datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 52
- Tabela 9 – Frequência de casos com ajuste estatisticamente significativos das funções de distribuição de probabilidades (fdp) Gama, Lognormal, Normal e Weibull para a duração dos subperíodos e do ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 54
- Tabela 10 – Duração provável dos subperíodos (dias) compreendidos entre a semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9) e o ciclo (S – R9) para as datas

de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.....	56
Tabela 11 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) nos subperíodos compreendidos entre as datas de semeadura (DS) para os subperíodos semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9). Simulação para 14 datas de semeadura em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.	59
Tabela 12 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) nos subperíodos compreendidos entre a semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os diferentes solos simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.	64
Tabela 13 – Frequência de casos com ajuste estatisticamente significativos das funções de distribuição de probabilidades (fdp) gama, lognormal, normal, weibull e exponencial para a variável deficiência hídrica nos subperíodos e no ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.	66
Tabela 14 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no girassol para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.....	84
Tabela 15 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no ciclo do girassol para o solo Santa Maria classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.....	85
Tabela 16 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no ciclo do girassol para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.	86

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização da área de abrangência do estudo, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012. 35
- Figura 2 – Municípios da região central do Rio Grande do Sul, com destaque (em tom mais claro) da área de abrangência da Estação Meteorológica de Santa Maria considerada no estudo das deficiências hídricas mais prováveis. Santa Maria, RS, 2012. 37
- 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, 2012. 45
- Figura 4 – Duração média dos subperíodos do ciclo do girassol calculados em função das datas de semeadura simuladas e das variáveis meteorológicas diárias para a série histórica de dados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 50
- Figura 5 – Duração média do ciclo do girassol, em função das datas de semeadura simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 53
- Figura 6 – Médias diárias de evapotranspiração máxima (ET_m) e evapotranspiração real (ET_r) que ocorreram durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração, (E) final da floração - maturação fisiológica e (F) semeadura – maturação fisiológica para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 61
- Figura 7 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início até o final da antese (E) final da antese - maturação fisiológica para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 68
- Figura 8 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica (acumulada no subperíodo), para o grupo Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação

fisiológica, para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.73

- Figura 9 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o grupo dos solos Oásis e São Gabriel, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A.) semeadura – emergência, (B.) emergência - botão floral visível, (C.) botão floral visível - início da antese, (D.) início da antese - final da floração e (E.) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.....74
- Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o grupo dos solos Alto das Canas e Cambaí, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada nos diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012...75
- Figura 11 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o solo Santa Maria, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada nos subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.76
- Figura 12 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica para o solo Vacacaí, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm, acumulada nos subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.77
- Figura 13 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior ou igual a 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo do girassol (S-R9) semeadura - maturação fisiológica, para os diferentes solos e datas de semeadura, simuladas para todos os anos da série histórica de dados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.80
- Figura 14 – Médias de deficiência hídrica acumulada no ciclo do girassol (semeadura – maturação fisiológica), em anos classificados como Neutros e com eventos El Niño e La Niña, considerando diferentes datas de semeadura simuladas para todos os anos da série histórica de dados meteorológicos de 1968 a 2011, em diferentes grupos de solos (conforme sua capacidade de

armazenamento de água disponível (CAD) na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012. 82

Figura 15 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo de desenvolvimento da semeadura até a maturação fisiológica do girassol (S-R9) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito em anos classificados como Neutros e com eventos El Niño e La Niña, considerando diferentes datas de semeadura simuladas para todos os anos da série histórica de dados meteorológicos de 1968 a 2011, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012. . 88

Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo de desenvolvimento do girassol da semeadura à maturação fisiológica (S-R9) no solo Santa Maria para diferentes datas de semeadura, simuladas para os anos com El Niño, La Niña e Neutros, do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012. 89

Figura 17 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm no ciclo de desenvolvimento do girassol, desde a semeadura até a maturação fisiológica (S-R9), nos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, para diferentes datas de semeadura simuladas para cada um dos anos com El Niño, La Niña e Neutros, no período de 1968 a 2011, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012. 91

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

- L^* – Balanço de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 Q^* – Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 Δ – Tangente à curva de saturação ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
 γ – Constante psicrométrica ($0,0662 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
 γ^* – Constante psicrométrica corrigida
a – Coeficiente ajustado para a evaporação do evaporímetro de Piche (0,42)
b – Coeficiente ajustado para a evaporação do evaporímetro de Piche (0,0245)
b1 – coeficiente mensal ajustado para Santa Maria
BH – Balanço hídrico
BHS – Balanço hídrico sequencial
bo – coeficiente mensal ajustado para Santa Maria
CAD – Capacidade de armazenamento de água disponível do solo
 CAD_f – CAD final
 CAD_{in} – CAD inicial
 CAD_n – CAD calculada para cada dia
CC – Capacidade de campo
Cfa – subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes
CN – Curva número, adimensional;
d – Déficit de saturação do ar (kPa)
DS – Datas de semeadura
e – Pressão parcial de vapor (kPa)
EMPSM – Estação Meteorológica Principal de Santa Maria
EN – El niño
ENOS – El Niño Oscilação Sul
E-R1 – Subperíodo emergência - botão floral visível
es – Pressão de saturação (kPa)
 ET_m – Evapotranspiração máxima (mm dia^{-1})
 ET_o – Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1})
 ET_r – Evapotranspiração real (mm dia^{-1})
 EvP – Evaporação no evaporímetro de Piche (mm dia^{-1})
 Fdp – funções de distribuição de probabilidade
GD – Graus-dia
 H_0 – hipótese nula
IAF – Índice de área foliar
Kc – Coeficiente de cultura
 $K_o \downarrow$ – densidade de fluxo da radiação solar global incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 L – Calor latente de evaporação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
LN – La niña
MG – Minas Gerais
N – Comprimento do dia (h dia^{-1})
n – Insolação diária (h dia^{-1})
NT – Neutro
 $^\circ\text{C}$ – Graus Celsius
PB – Paraíba
Pe – Precipitação efetiva (mm)

Pi – Perdas iniciais em função da interceptação e enchimento das rugosidades superficiais do solo (mm)
PMP – Ponto de murcha permanente
Pr – Perdas por escoamento superficial (mm)
Prec. – Precipitação pluviométrica (mm)
r – Refletividade do gramado (0,23)
R1 - R5.1 – Subperíodo botão floral visível - início da antese
R5.1 - R6 – Subperíodo de início da antese - final da antese
R6 - R9 – Subperíodo de final da antese - maturação fisiológica
Rg – densidade de fluxo da radiação global incidente
RS – Rio grande do Sul
S - E – Subperíodo semeadura – emergência
s – Parâmetro de retenção, adimensional.
STa – Soma térmica acumulada (°C dia)
T₁₅ – Temperatura do ar medida às 15 horas (°C)
T₂₁ – Temperatura do ar medida às 21 horas (°C)
T₉ – Temperatura do ar medida às 9 horas (°C)
Tb – Temperatura base
T_{max} – Temperatura máxima do ar (°C)
T_{med} – Temperatura média diária
T_{min} – Temperatura mínima do ar (°C)
T_{ot} – Temperatura ótima
U₂ – Velocidade do vento medido 2 m acima do solo (m s⁻¹)
UR₁₅ – Umidade relativa do ar das 15 horas (%)
UR₂₁ – Umidade relativa do ar das 21 horas (%)
UR₉ – Umidade relativa do ar das 9 horas (%)
URm – Umidade relativa média (%)
ε – Emissividade do gramado (0,95)
σ – Constante de Stefan-Boltzmann (4,9861.10⁻⁹ MJ m⁻² dia⁻¹°K⁻⁴)

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A – Determinação da duração dos subperíodos e do ciclo do girassol..... 109
- APÊNDICE B – Aprofundamento radicular do girassol 112
- APÊNDICE C – Análise de variância da duração do ciclo e dos subperíodos de semeadura - Emergência, Emergência - botão floral visível (R1), botão floral visível (R1) - início da antese (R5.1), início da antese (R5.1) - final da antese (R6) e final da antese (R6) - maturação fisiológica (R9), em função das datas de semeadura (DS) para o grupo de maturação precoce de girassol, para os municípios da região central do RS..... 113
- APÊNDICE D – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a duração dos subperíodos e do ciclo do girassol, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da floração-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para as diferentes datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011..... 114
- APÊNDICE E – Análise de variância da deficiência hídrica no ciclo e nos subperíodos de desenvolvimento em função das 14 datas de semeadura (DS) simuladas para os municípios da região central do RS..... 116
- APÊNDICE F – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Alto das Canas e Cambai, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, 2012. 117
- APÊNDICE G – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011..... 119
- APÊNDICE H – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Oásis e São Gabriel, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011..... 121

APÊNDICE I – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.	123
APÊNDICE J – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Santa Maria, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.	125
APÊNDICE K – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Vacacaí, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. .	127
APÊNDICE L – Análise de variância da deficiência hídrica para o ciclo do girassol em função das diferentes datas de semeadura (DS) e fenômeno ENOS para os municípios da região central do RS.	129
APÊNDICE M – Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada 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.	130

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A –Descrição das características dos solos estudados, conforme Cardoso (2005).	133
ANEXO B –Descrição das principais funções de densidade de probabilidade, conforme Silva (2008).....	140

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 Temperatura do ar e o desenvolvimento do girassol.....	23
2.2 Consumo de água e disponibilidade hídrica	25
2.3 Precipitação no Estado do Rio Grande do Sul.....	28
2.4 Datas de semeadura do girassol	31
2.5 Funções de distribuição de probabilidade em estudos agrometeorológicos.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Descrição do local de estudo	35
3.2 Variáveis Meteorológicas e Determinação da Deficiência hídrica.....	37
3.3 Parâmetros da cultura.....	41
3.3.1 Duração dos subperíodos.....	41
3.3.2 Datas de semeadura (DS)	42
3.3.3 Evapotranspiração Máxima (ET _m)	43
3.4 Capacidade de água disponível para os diferentes solos.....	44
3.5 Efeitos associados ao fenômeno ENOS	46
3.6 Análise Estatística.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Duração dos subperíodos e do ciclo do girassol.....	49
4.2 Deficiência hídrica nos subperíodos e durante o ciclo do girassol	57
4.3 Deficiência hídrica nos subperíodos e no ciclo do girassol: Análise de distribuição de probabilidade	65
4.4 Deficiência hídrica do ciclo do girassol associada ao fenômeno ENOS.....	81
5 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICES.....	107
ANEXOS	133

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea, pertencente à família Asteraceae, utilizada na forma de óleo e farelo ou silagem para o consumo humano e alimentação animal, respectivamente (Ungaro et al., 2009).

Nos últimos anos, elevou-se o interesse pelo cultivo do girassol no Brasil, principalmente pelo aumento da demanda interna por óleo de girassol para o consumo humano (ao redor de 13% ao ano), devido não apenas às suas propriedades funcionais no organismo, mas também à ascensão do mercado da bioenergia (UNGARO et al., 2009). Nesse sentido, é crescente a procura por óleos vegetais que possam servir de matéria prima para a produção de biodiesel. Embora a soja seja a oleaginosa mais cultivada no Rio Grande do Sul (RS), é necessário estudar outras oleaginosas. Acrescenta-se ainda ser uma provável opção de cultivo para as áreas e/ou datas de semeadura não contempladas pelo zoneamento agroclimático da soja devido ao seu sistema radicular profundo, que possibilita maior tolerância a deficiência hídrica, quando comparado a outras culturas anuais.(MALDANER, 2009).

No Brasil foram cultivados em torno de 61.000 ha na safra 2010/2011, obtendo-se uma produtividade média de 1.272 kg ha⁻¹. Nesta mesma safra, o RS foi o segundo estado do Brasil em área semeada com girassol, com aproximadamente 15% da área com girassol, alcançando a produtividade média de 1.359 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011). Essa produtividade é considerada baixa devido a alguns fatores que afetam negativamente a produtividade da cultura no Estado, tais como disponibilidade hídrica inadequada, época de semeadura marginal, fertilidade do solo baixa ou desequilibrada, injúrias por doenças e danos por pássaros. Entre eles, a disponibilidade hídrica e as doenças em cultivos semeados a partir de novembro são os fatores que mais afetam a produtividade do girassol na região central do Rio Grande do Sul durante as semeaduras de final de primavera-início de verão (GUSE, 2009).

Com as políticas de incentivo do governo federal para o cultivo de oleaginosas em todo o país por meio do programa Pró-biodiesel, há expectativas de que se obtenha um aumento da produção de girassol no Brasil, a fim de atender, pelo menos, a demanda do mercado interno. Para que esse objetivo seja atingido, faz-se necessário aumentar a área cultivada e principalmente a produtividade da cultura do girassol. Nesse contexto, para minimizar as perdas por déficit hídrico é imprescindível a execução de estudos sobre a data de

semeadura mais adequada, associada ao balanço hídrico de cada tipo ou classe de solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Em áreas não irrigadas com condição hídrica relativamente mais favorável, a obtenção de maiores produtividades com o cultivo do girassol depende principalmente da frequência e da quantidade de precipitações pluviais. Nesse caso, é de fundamental importância conhecer as probabilidades de ocorrência de diferentes níveis de disponibilidades hídricas críticas para essa cultura semeada em diferentes épocas. A análise do risco de ocorrência de estresse hídrico em um curto intervalo de tempo, tal como um dia, permite a identificação de níveis críticos que não seriam verificados através de determinações em intervalos de tempo mais longos, como em períodos mensais ou decendiais (CARDOSO, 2005; SILVA, 2005; TRENTIN, 2009).

Esse conhecimento ainda não é disponível para a cultura do girassol, considerando a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) dos diferentes solos ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, na região central do Rio Grande do Sul.

A modelagem de desenvolvimento e crescimento das culturas é descrita através da linguagem matemática (modelos matemáticos) das principais reações das culturas agrícolas aos principais fatores de variação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Simulando-se o crescimento e o desenvolvimento das culturas em determinadas condições é possível analisar o risco da semeadura em uma determinada data e, com isso, determinar a data de semeadura mais adequada para cada cultura em diferentes tipos de solo.

Para a determinação da variação da disponibilidade hídrica e das probabilidades de ocorrência de diferentes níveis de deficiências hídricas, é necessário realizar um balanço hídrico sequencial diário (BHS) de uma série longa de observações meteorológicas associado aos diferentes subperíodos de desenvolvimento das plantas de girassol, em diferentes datas de semeadura. A ocorrência de precipitação pluvial adequada às necessidades hídricas da cultura num determinado estágio de seu desenvolvimento muitas vezes não se traduz em alta produtividade, pois a grande variabilidade espacial e temporal deste elemento meteorológico pode ocasionar níveis críticos de deficiências hídricas em outros subperíodos do ciclo.

No fim da primavera, verão e início do outono existe probabilidade de ocorrer deficiência hídrica no RS (BURIOL et al., 1980; CARDOSO, 2005) em níveis prejudiciais a diferentes culturas (MATZENAUER et al., 2002; NIED et al., 2005; SILVA et al., 2006; TRENTIN, 2009). Nesse sentido, a escolha da data de semeadura adequada é fundamental para que se tenham condições meteorológicas mais favoráveis para o desenvolvimento do girassol, diminuindo a probabilidade de ocorrência de períodos com deficiência hídrica nos

subperíodos mais críticos e conseqüentemente, uma menor redução na produtividade da cultura. No entanto, faltam informações para a elaboração de um zoneamento agroclimático detalhado, com base na disponibilidade hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do girassol semeado em diferentes datas e cultivado nos diferentes tipos de solo na região central do Rio Grande do Sul. A falta de acesso a essa informação pode levar a menores produtividades de aquênios de girassol, contribuindo para o desestímulo do produtor e prejudicando, assim, a expansão da cultura do girassol na região, principalmente por ser uma importante opção de cultivo, uma vez que vários municípios não estão enquadrados como preferenciais para o cultivo da soja. O conhecimento de uma série histórica de condições adversas a uma cultura agrícola alicerça a definição das datas de semeadura de menor risco.

Nesse trabalho têm-se as hipóteses de que: a) a disponibilidade de uma série histórica de dados meteorológicos possibilita calcular a intensidade e estimar os riscos de deficiência hídrica nos subperíodos críticos e no ciclo do girassol para cada uma das diferentes datas de semeadura; b) o desenvolvimento das plantas pode ser estimado para as diferentes condições meteorológicas locais de cada ano; c) a intensidade e os riscos de deficiência hídrica podem ser estimados para os diferentes tipos de solos da região, através da análise numérica de probabilidades; d) a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica varia conforme o fenômeno ENOS.

Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar os valores prováveis de duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento e obter as datas de semeadura com menor risco de deficiência hídrica e a probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de déficit hídrico durante os subperíodos de desenvolvimento do girassol semeado em datas distintas, considerando a capacidade de armazenamento de água nos diferentes solos da região central do RS. Também determinar a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica para os diferentes anos classificados conforme o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Temperatura do ar e o desenvolvimento do girassol

A temperatura do ar interfere na cultura do girassol desde a germinação até a maturação, sendo o elemento meteorológico mais limitante a emergência dessa cultura em condições de solos bem aerados e com disponibilidade hídrica adequada (CASTRO; FARIAS, 2005). Temperaturas com extremos de 8 a 34 °C são toleradas pela cultura do girassol, indicando que ela se adapta bem a regiões com temperaturas elevadas e amenas durante o dia e a noite, respectivamente. Embora o girassol possa suportar temperaturas baixas nas fases iniciais de desenvolvimento (até os estádios de quatro a oito folhas), considera-se que a sua atividade fisiológica seja inexistente em temperaturas inferiores ao intervalo de 3 a 4 °C. Apesar das temperaturas baixas não ocasionarem a senescência da planta, podem causar distúrbios fisiológicos, tais como a morte da gema apical e deformação de folhas e causar algumas anomalias como a ramificação da inflorescência (CASTRO; FARIAS, 2005). As temperaturas elevadas (acima de 35 °C) prejudicam a germinação, sendo acima de 45 °C as sementes não germinam (CORBINEAU et al., 2002). A emergência pode ocorrer três dias após a sementeira, como em cultivos realizados em Rondônia, e em até 15 dias em cultivos semeados em junho/julho no Rio Grande do Sul (CASTRO; FARIAS, 2005). Aguirrezábal et al. (2001a) observaram que para ocorrer emissão da radícula, a exigência térmica é de um acúmulo de 20 °C dia, com temperatura base de 8,5 °C. Segundo estes autores a sementeira com a temperatura do solo inferior a 15 °C deve ser evitada uma vez que o tempo de emergência é elevado, aumentando o risco de perda de plântulas e reduzindo o estabelecimento inicial de plantas.

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). Segundo Massignam e Angelocci (1993a), em experimentos realizados em Campos Novos e Chapecó (SC), Londrina (PR) e Campinas (SP), sem irrigação, a duração do subperíodo emergência – floração do girassol é correlacionada em maior grau com a temperatura do ar do que com a deficiência hídrica do solo. No subperíodo floração – maturação verificaram menor correlação da duração deste subperíodo com a temperatura do ar.

As temperaturas ótimas para o desenvolvimento do girassol ficam na faixa dos 20 a 25 °C (UNGARO et al., 2009). No entanto, estudos em condições controladas de Warren-Wilson (1966) apud Ungaro et al. (2009) indicam que de 27 a 28 °C é a faixa das temperaturas ótimas para o girassol. Temperaturas baixas aumentam a duração do ciclo da cultura, retardando a floração e a maturação (SENTELHAS et al., 1994), diminuindo significativamente a produtividade quando ocorrem após a floração (UNGARO et al., 2009). Por outro lado, temperaturas acima dos 35 °C afetam a polinização das flores pelas abelhas e reduzem o teor de óleo das sementes (CASTRO; FARIAS, 2005).

Para quantificar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas é comumente utilizada a soma térmica (GILMORE; ROGERS, 1958), também conhecida como graus-dia (GD). Esse método é simples e determina melhor o tempo fisiológico de uma cultura comparado a dias do calendário civil (STRECK, 2002). Para uma cultura completar determinado subperíodo de desenvolvimento ou o ciclo é necessário uma determinada quantidade de energia, representada pelo somatório de temperaturas acima de um valor base (ARNOLD, 1959).

A temperatura base inferior (T_b) de uma cultura é definida como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, quando o faz, é em proporções muito reduzidas, desprezadas para fins de cálculo (YANG, 1995). De acordo com Sentelhas et al. (1994), a temperatura base para o subperíodo semeadura – maturação do girassol é variável, encontrando-se valores de 3,7 a 4,7 °C em três cultivares de girassol, enquanto Barni et al. (1993) apud Sentelhas et al. (1994), estudando nove cultivares de girassol no Rio Grande do Sul, obtiveram T_b de 4,0 °C para todo o ciclo dessa oleaginosa. No entanto, Massignam e Angelocci (1993b), constataram que a temperatura base tem valores distintos para cada subperíodo de desenvolvimento das plantas, variando de 8 a 10 °C para o subperíodo emergência-floração, com dependência do método de cálculo para sua determinação e do genótipo de girassol. Para o subperíodo floração – maturação fisiológica esses autores determinaram valores negativos de temperatura base para o girassol, mas anteriormente, Robinson et al. (1967), obtiveram T_b de 7,2 °C para os subperíodos semeadura - floração do girassol, mostrando que a temperatura base do girassol ainda é uma variável que precisa ser melhor definida para essas diferentes condições de contorno que se apresentam a campo. A determinação mais precisa da T_b é necessária para a correta determinação da soma térmica.

A soma térmica obtida por Sentelhas et al. (1994) para o subperíodo semeadura – maturação foi de 1714, 1738 e 1851 GD para as cultivares Contisol 621, IAC – Anhandy e VNIINK, respectivamente, considerando T_b de 4,2 °C. Por outro lado, Massignam e

Angelocci (1993b) obtiveram GD médio, para experimentos conduzidos em diferentes datas de semeadura e diferentes locais do Brasil, de 2212, 2419 e 1776, respectivamente, para as cultivares Cargil 33, IAC – Anhandy e Issania para o subperíodo emergência – colheita. Considerando os resultados obtidos para a cultivar IAC-Auhandy, observou-se uma importante diferença de 681GD, o que significa que ainda é necessário definir melhor esses parâmetros ecofisiológicos, principalmente para os híbridos modernos utilizados no Brasil, para os quais não há essa informação.

2.2 Consumo de água e disponibilidade hídrica

O estresse por falta de água é considerado um dos mais importantes fatores a limitar a produção de plantas por todo o mundo (ASBAG et al., 2009). Os efeitos do estresse hídrico nas plantas incluem a redução do crescimento vegetativo, da taxa fotossintética, bem como do rendimento das plantas (RIBAS-CARBO et al., 2005; IQBAL; ASHRAF; ASHRAF et al., 2005). Embora os efeitos sejam de grande importância, as plantas apresentam estratégias de defesa ao déficit hídrico, como o fechamento estomático, a redução da área foliar como consequência da redução da expansão celular e da abscisão foliar e o maior crescimento radicular (TAIZ; ZAIGER, 2004).

Admite-se que o girassol possui maior tolerância a períodos de deficiência hídrica do que a maioria das espécies anuais normalmente cultivadas no Brasil (CASTRO; FARIAS, 2005). Segundo Ungaro et al. (2009), essa adaptação a diferentes ambientes é favorecida pelo sistema radicular do tipo pivotante que explora camadas mais profundas do solo em busca de água e nutrientes, desde que não haja impedimento físico ou químico. Isso permite ao girassol, além de tolerar melhor os períodos de deficiência hídrica, realizar a ciclagem de nutrientes, sendo por isso uma cultura indicada para rotação de culturas em sistemas de cultivo.

Para a soja, as perdas do rendimento foram de 55% em 80% dos anos no sudoeste do Rio Grande do Sul (CUNHA et al., 1998) e a redução na produtividade de grãos do milho alcança 80% se o déficit hídrico ocorrer no subperíodo da antese – enchimento de grãos em relação ao tratamento irrigado (BERGAMASCHI et al., 2004).

Em trabalho realizado no Paraná com diferentes datas de semeadura de julho a fevereiro, Thomaz (2008) observou que a produtividade de aquênios e componentes de rendimento do girassol apresentaram baixa correlação com a precipitação pluvial ocorrida no período vegetativo, indicando uma maior tolerância à deficiência hídrica nesse subperíodo de

desenvolvimento. Porém, no subperíodo de antese – enchimento de aquênios, esse mesmo autor encontrou alta correlação entre a precipitação pluvial e a produtividade de aquênios. Esses resultados concordam com os encontrados por outros autores, que indicam que o subperíodo mais crítico com relação a deficiência hídrica no girassol é o período compreendido em faixa de 10 a 15 dias antes do início da antese e de 10 a 15 dias após o seu final (DOOREMBOS; KASSAN, 1979; CASTRO et al., 1996; CASTRO; FARIAS, 2005; THOMAZ, 2008; GUSE, 2009).

A composição dos ácidos graxos apresenta dependência de um suprimento ideal de água (ANASTASI et al., 2010; FLAGELLA et al., 2002), sendo também o rendimento de aquênios e de óleo afetado positivamente pelo suprimento de água por irrigação (BALDINI et al., 2002). Castro e Oliveira (2005) verificaram que a maior absorção de nutrientes e água e, conseqüentemente, maior crescimento das plantas de girassol, ocorre a partir da emissão do botão floral até o florescimento pleno.

Em trabalho de modelagem de girassol, Casadebaig et al. (2011) verificaram que a acumulação de biomassa é uma função da expansão foliar e da eficiência do uso da radiação, que são funções de múltiplos efeitos associados à temperatura, aos níveis de nitrogênio no solo e à disponibilidade de água. No girassol, a redução das taxas de expansão foliar inicia quando a água disponível no solo para as plantas atinge 60% da capacidade total (CASADEBAIG; DEBAEKE; LECOEUR, 2008).

De modo geral, o consumo de água aumenta com o incremento do índice de área foliar da planta (IAF), com valores iniciais em torno de 0,5 a 0,7 mm dia⁻¹ durante o subperíodo de semeadura – emergência, alcançando 6 a 8 mm dia⁻¹, durante o subperíodo floração – enchimento de grãos, decrescendo, posteriormente até um mínimo na maturação fisiológica (UNGARO et al., 2009). Esse consumo de água pela cultura varia diariamente em função das condições meteorológicas, incluindo também a duração do ciclo, o manejo do solo e da cultura (CASTRO; FARIAS, 2005). Esses autores também consideram que 400 a 500 mm de chuva, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em produtividade próxima ao potencial da cultura. No entanto, deve prevalecer uma disponibilidade de água para a planta proporcional às necessidades hídricas em cada subperíodo, seguindo o efeito simultâneo do IAF e das condições meteorológicas ao longo do ciclo o que pode ser descrito pelo coeficiente de cultura (Kc) e pela evapotranspiração de referência (ET_o), que representa a demanda atmosférica.

Comparativamente às culturas do milho e feijão Caupi, que produzem 0,070 e 0,030 kg de matéria seca por litro de água, respectivamente (SOUZA et al., 2011), o girassol possui

baixa eficiência no uso da água, (0,003 kg de matéria seca produzidas pela cultura é gasto um litro de água) (SORIANO et al., 2004). A cultura da cana-de-açúcar produz 0,005 à 0,008 kg de matéria seca de colmos e 0,0006 à 0,001 kg de sacarose por litro de água consumida (FARIAS et al., 2008). Essa menor eficiência no uso da água do girassol em relação às outras culturas, de acordo com Aguirrezábal et al. (2001b), está relacionada a sua alta transpiração em períodos de boa disponibilidade de água no solo, por seu elevado índice de área foliar (IAF) e pela baixa resistência estomática ao transporte de água na planta.

Em um experimento realizado por Maldaner (2009) em Santa Maria, com girassol semeado em setembro, a produtividade variou de 3.465 kg ha⁻¹ na área não irrigada a 4.112 kg ha⁻¹ para o cultivo irrigado. Esses resultados mostram haver resposta do girassol à irrigação mesmo tendo sido feitas somente quatro irrigações durante o ciclo.

Silva et al. (2007b) também observaram que o girassol responde positivamente à irrigação. Esses autores realizaram um trabalho em Lavras MG com tratamentos de diferentes lâminas de irrigação correspondentes a 75, 100 e 130% da evapotranspiração acumulada pela cultura, repostas a cada dois dias e, obtiveram produtividades maiores em 19, 33 e 48%, respectivamente, em relação a testemunha que não recebeu irrigação. Esse resultado positivo obtido para uma irrigação de 130% da evapotranspiração de referência é contrário aos verificados por Bortoluzzi et al. (2011), em que o girassol responde negativamente ao excesso hídrico. Por outro lado, Santos et al. (2002), em trabalho realizado no município de Alagoinha, PB, onde é comum a ocorrência de períodos com elevada precipitação, concluíram que a produtividade de aquênios do girassol está diretamente relacionada à disponibilidade de água no solo. Esses autores também verificaram que o valor médio da precipitação pluvial não foi um bom parâmetro para o planejamento da cultura, devido à irregularidade de distribuição da precipitação e sua variabilidade anual.

Em praticamente todos os anos ocorrem deficiências hídricas nos diferentes solos da região de Santa Maria, que, segundo Heldwein et al. (2009), aumentam em frequência e intensidade entre os meses de outubro e janeiro, decrescendo até maio, e sua magnitude é dependente da CAD do solo (NIED et al., 2005; CARDOSO, 2005). Conforme Buriol et al. (1980) e Cardoso (2005), em Santa Maria, no período de junho a setembro as deficiências hídricas são pouco prováveis. Para o balanço hídrico de solos com capacidade de armazenamento de água disponível de 100 mm, e considerando a evapotranspiração de referência como a demanda atmosférica local, em 10% dos anos existe a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica igual ou maior do que 10 mm em outubro, 30 mm em novembro,

55 mm em dezembro, 50 mm em janeiro, 35 mm em fevereiro, 30 mm em março, 22 mm em abril e 5 mm em maio (HELDWEIN et al., 2009).

Reichardt et al. (2004) consideram que é necessário considerar o balanço hídrico para estudar o ciclo da água em um solo vegetado. Nele é feito o balanço entre as quantidades de água que entram e saem de um dado volume de solo, num determinado intervalo de tempo, sendo o resultado a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas. O balanço hídrico é calculado com base na lei da conservação da massa, com a finalidade de se conhecer excedentes e deficiências hídricas durante o ciclo de uma cultura, constituindo-se em uma ferramenta muito útil para a recomendação ou não do seu cultivo em determinada região, bem como para definir a melhor data de semeadura (THORNTHWAITTE et al., 1955; NIED et al. 2005; SILVA et al., 2006). Assim, um balanço entre a precipitação e a evapotranspiração pode indicar de forma mais consistente as disponibilidades hídricas de uma região no decorrer do ano agrícola, auxiliando no planejamento efetivo das culturas em função do local escolhido, bem como sua melhor data de semeadura (FANCELLI et al., 1982). No entanto, é necessário estimar a evapotranspiração máxima da cultura através de métodos mais precisos, tal como recomendado por Allen et al. (1999) em escala de tempo diária para a real capacidade de armazenamento de água no solo (SILVA et al., 2006; TRENTIN, 2008), para obter valores mais realísticos de deficiência e do excesso hídrico através do balanço hídrico do solo.

2.3 Precipitação no Estado do Rio Grande do Sul

A precipitação apresenta grande variabilidade interanual e espacial o que determina consequente variabilidade na produtividade de grãos das principais culturas no Rio Grande do sul (TRENTIN, 2009). O principal fator que limita a produtividade das culturas é a disponibilidade de água no solo, sendo esta dependente da precipitação em áreas não irrigadas.

No Rio Grande do Sul, a precipitação pluvial é menor na metade sul, variando, segundo Matzenauer et al. (2002), de 1.162 mm em Rio Grande, no Litoral Sul, a 2.164 mm em São Francisco de Paula, na Serra do Nordeste. Para Santa Maria, Buriol et al. (2006) analisaram a série histórica de 1912 a 2004 e observaram valor normal anual de 1.712 mm, relativamente bem distribuída no ano. De acordo com Berlato (1992), a precipitação pluvial normal para o Rio Grande do Sul no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, varia de aproximadamente 250 a 350 mm para as diferentes regiões. Este autor afirma que essa

precipitação pluvial, em alguns anos, não atende à demanda evaporativa da atmosfera da estação de verão e, conseqüentemente, ocorre deficiência hídrica, principalmente, na metade sul do Rio Grande do Sul.

Os valores normais de precipitação pluvial são bem distribuídos ao longo do ano (regime pluviométrico é isoígro) no Rio Grande do Sul, ocorrendo em média 25% no inverno, 26% na primavera, 24% no verão e 25% no outono (BERLATO, 1992). Em Santa Maria, os valores normais da série de 93 anos apontam setembro como o mês com maior precipitação pluvial (159,8 mm), sendo os meses de novembro (120,1 mm) e agosto (126,8 mm) os de menor precipitação (BURIOL et al., 2006). Mesmo a precipitação sendo bem distribuída é grande a variabilidade entre anos. Segundo Buriol et al. (2006), os valores de desvio padrão das médias mensais são grandes, alcançando de 68 mm (agosto) a 104 mm (maio). Avila et al. (1996), em estudo realizado para os meses de novembro a fevereiro em Santa Maria, verificaram que em apenas 50% dos anos há probabilidade da precipitação pluvial ser igual ou maior do que a evapotranspiração de referência.

Segundo Heldwein, Buriol e Streck (2009) o mês com maior média mensal de evapotranspiração de referência é dezembro (126 mm), similar a de janeiro (124 mm), devido à maior disponibilidade de energia solar, à maior temperatura e à menor umidade relativa do ar nesses dois meses do ano. Se forem analisados os dados mensais normais de precipitação para os meses dezembro (133,7 mm) e janeiro (148,0 mm), observa-se que em geral não deveria ocorrer deficiência hídrica, mas o problema é quando essa precipitação ocorre somente em uma parte do período mensal (NIED et al., 2005; SILVA et al., 2005), além da variabilidade entre anos. Isso ocorre em função de nos meses de verão a precipitação ser mais irregular, geralmente de grande variabilidade espacial e de alta intensidade, ocasionando perdas por escoamento superficial, não representando assim acréscimo de água no solo correspondente a precipitação. Mesmo assim, geralmente, é contabilizada como precipitação total para o referido mês, o que pode resultar em erro no cálculo do balanço hídrico e mascarar níveis mais críticos de deficiência hídrica real no solo cultivado.

Na análise de 93 anos da precipitação pluviométrica em Santa Maria, Buriol et al. (2006) e Heldwein, Buriol e Streck (2009), constataram não haver tendência de aumento ou diminuição da precipitação, ou seja, para os totais anuais de chuva, a série histórica de Santa Maria é estacionária. Para o Estado do Rio Grande do Sul, Berlato et al. (1995) também constataram não haver tendência de aumento ou diminuição na precipitação média anual. A variação existente entre anos ocorre principalmente devido ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (FONTANA; ALMEIDA, 2002).

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) provoca alterações na circulação atmosférica que afeta os elementos meteorológicos e climáticos, principalmente a precipitação, nas diferentes regiões do Brasil, alterando assim, o tempo e o clima em diferentes locais. Na região Sul do País, em anos de La Niña, fase negativa do fenômeno, a precipitação é frequentemente abaixo da normal, e, em anos de El Niño, fase positiva do fenômeno, a precipitação é frequentemente acima da normal. A frequência de ocorrência, a intensidade e a quantidade são algumas características das chuvas alteradas pelo fenômeno ENOS (BERLATO; FONTANA, 2003; PAULA et al., 2010). Este fenômeno tem início no começo do segundo semestre de um ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005). Nos anos em que não ocorre a presença de El Niño ou La Niña são classificados como Neutros. 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). No entanto, a tendência é de que as deficiências hídricas sejam maiores nos anos neutros, principalmente, na metade Sul do RS (BERLATO; FONTANA, 2003).

Em estudos relacionados a precipitação pluvial, comumente são utilizados dados em escala mensal ou anual, o que, segundo Trentin (2009), pode gerar equívocos quanto a disponibilidade de água para as culturas. Uma das formas corretas de se analisar as precipitações é através da precipitação efetiva e não somente o total da precipitação (FONTANA; ALMEIDA, 2002). A precipitação efetiva é a diferença entre a precipitação total e as perdas por percolação de água além do sistema radicular das culturas, escoamento superficial, evaporação da água na superfície do solo e interceptada pela parte aérea da vegetação (SILVA, 2008). Na agricultura, o uso da precipitação efetiva é de grande importância, pois é esta que realmente compõe a água que fica retida no solo e pode ser extraída pelas plantas.

A precipitação efetiva é considerada um parâmetro de difícil determinação, pois diferentes variáveis influenciam o volume efetivo da precipitação total, as quais podem atuar isoladamente ou interativamente. A infiltração, o escoamento superficial ou a evaporação tem influência no valor da precipitação efetiva. Dentre as principais destacam-se a intensidade e a quantidade da chuva, declividade do terreno, tipo, textura, estrutura e umidade do solo, sistema de cultivo, práticas culturais conservacionistas, profundidade do sistema radicular e demais características das culturas (FRIZZONE et al., 2005; SILVA, 2008).

2.4 Datas de semeadura do girassol

O crescimento e o desenvolvimento de uma cultura podem ser determinados em função das condições meteorológicas. Para que se potencialize este efeito, a escolha da data de semeadura adequada para uma região é de grande importância. Segundo Thomaz (2008), com base em dados climáticos de uma determinada região, é possível determinar os períodos de semeadura em que os riscos de ocorrência de deficiência hídrica sejam menores, diminuindo assim a probabilidade de frustrações de safras. A data de semeadura pode afetar a produtividade de aquênios (BARNI et al., 1996; THOMAZ, 2008; GUSE, 2009) e o teor de óleo em girassol (THOMAZ, 2008; ANASTASI et al., 2010).

Para a região Central do Rio Grande do Sul, as datas de semeadura recomendadas são de 21 de julho a 10 de agosto e 11 de janeiro a 20 de fevereiro (MAPA, 2010). Porém, Ungaro et al. (2009) recomendam para o Rio Grande do Sul semeaduras de girassol de 21 de julho a meados de outubro. Neste sentido, Guse (2009) estudou sete datas de semeadura para o ano agrícola 2007/2008 e observou que a segunda data de semeadura (30/08/2007) foi a que apresentou maior produtividade de aquênios de girassol, não diferindo da primeira data, semeada em 31/07/2007, indicando ser de início de agosto à início de setembro o melhor período de semeadura para o girassol em Santa Maria, RS. Esse autor também observou que até a data de início de novembro o girassol apresentou produtividade maior que 1900 kg ha^{-1} . As menores produtividades foram observadas nas semeaduras dos meses de janeiro e fevereiro com produtividade em torno de 1400 kg ha^{-1} . Esses resultados são próximos aos obtidos por Oliveira et al. (2007), no Rio Grande do Sul, que observou maior potencial produtivo da cultura nas semeaduras de agosto/setembro com produtividade maior que 3000 kg ha^{-1} de aquênios e 1500 kg ha^{-1} em semeadura de safrinha (janeiro/fevereiro). No mesmo ano agrícola e datas de semeadura, Guse (2009) observou menor severidade de doenças nas semeaduras nos meses de setembro e de outubro, sendo as datas de semeadura após novembro as que apresentaram maior ocorrência de doenças. Esses resultados demonstram que ainda faltam estudos para se definir a melhor data de semeadura a ser recomendada pelo zoneamento agrícola para o girassol na região Central do Rio Grande do Sul.

No Estado do Paraná, Silveira et al. (2005) indicam que a semeadura de girassol pode ser realizada em dois períodos: de agosto a setembro e de janeiro a fevereiro, possibilitando o cultivo em datas distintas às destinadas à produção da cultura principal (milho ou soja). Em trabalho realizado no Estado do Paraná com semeaduras realizadas 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.

Segundo Lazzarotto, Roessing e Mello et al. (2005), o girassol é uma boa opção para a safrinha no Brasil, ou seja, após a colheita das culturas principais de verão em sucessão aos cultivos de soja e milho. Esse cultivo de safrinha permite o aproveitamento dos recursos disponíveis na propriedade como mão de obra e máquinas que poderiam ficar ociosos (AMORIN et al., 2008), além da reciclagem dos nutrientes absorvidos nas camadas mais profundas do solo, por essa cultura apresentar um sistema radicular profundo. Por isso, é interessante realizar estudos para melhorar as técnicas de produção, não só na época normal de cultivo (safra), mas também buscando obter melhor produtividade e saber o risco de semear girassol em outras épocas, visto que as condições ambientais nessas épocas são diferentes e podem influenciar de forma negativa a produção de aquênios, principalmente se o risco de ocorrer deficiência hídrica for alto.

2.5 Funções de distribuição de probabilidade em estudos agrometeorológicos

Em agrometeorologia, as funções de distribuição de probabilidades (fdp) podem ser utilizadas para caracterizar a distribuição de dados de uma variável, analisar a probabilidade de ocorrência de um evento meteorológico, detalhar os estudos climatológicos de maneira a expressar a probabilidade de um evento não exceder um determinado valor. Para tal, necessita-se de um grande número ou uma série histórica longa de dados (SILVA, 2008; TRENTIN, 2009). As fdp podem ser utilizadas para variáveis aleatórias, discretas e contínuas. Para os dados discretos, as funções mais utilizadas são Bernoulli, binomial, binomial negativa, hipergeométrica, geométrica e Poisson. Para variáveis aleatórias contínuas são utilizadas distribuições normal, uniforme, lognormal, gama, Weibull, exponencial, beta, qui-quadrado, t de Student, entre outras (CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2004).

Catalunha et al. (2002) relaciona a escolha da fdp à natureza dos dados, sendo que, algumas fdp apresentam uma melhor estimativa para pequenos conjuntos de dados, outras requerem uma grande série de observações. O número de parâmetros de uma equação de fdp está associado a sua flexibilidade. Assim, podem assumir diferentes formas, dependendo da maior ou menor flexibilidade, enquadrando-se com melhor ajuste em um número maior de situações.

Existem vários trabalhos realizados com as distribuições de probabilidade visando analisar a distribuição de disponibilidade hídrica para uma determinada região, como o trabalho de Silva et al. (2006) que simulou épocas de semeadura com o objetivo de identificar aquelas de menor risco de ocorrência de deficiência hídrica para a região Central do Rio Grande do Sul, Nied et al. (2005), que determinou épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria. Silva et al. (2008), que determinou funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo e Leivas et al. (2006), que estudou o risco de ocorrência de deficiência hídrica com base em balanço hídrico decendial na metade Sul do Rio Grande do Sul. Além desses trabalhos, análise numérica similar Trentin (2009) e Silva (2008) utilizaram análise numérica similar para determinarem parâmetros de irrigação e sua probabilidade para culturas do milho e do feijão, respectivamente, para os diferentes tipos de solo na região central do Rio Grande do Sul.

As fdp são utilizadas também em estudos envolvendo a temperatura do ar, como o realizado por Buriol et al. (1998) para a frequência de dias com temperatura do ar acima ou abaixo de determinados níveis no RS, que utilizaram a distribuição Poisson e binomial negativa na determinação da probabilidade de ocorrência de dias com temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz. Também Estefanel, Schneider e Buriol (1994) estudaram a ocorrência de dias com diferentes níveis de temperatura máxima do ar como possível índice térmico prejudicial às culturas agrícolas. Hoffmann et al. (1994) estudaram a frequência de dias no outono e na primavera com temperatura do ar menor ou igual a 0 °C em Pelotas-RS, obtendo o melhor ajuste para a distribuição de frequência Normal. Silva et al. (2007a), determinou os riscos de ocorrência de temperaturas máximas prejudiciais ao feijão na fase de antese e início de formação de legumes através da probabilidade empírica.

A função Normal apresentou melhor ajuste para quantificar a distribuição dos dados de radiação solar (ASSIS et al., 2004), também verificado por Cargnelutti Filho et al. (2004) para dados de radiação solar global média decendial. Buriol et al. (2001) observou melhor ajuste para a distribuição de Poisson para dados diários de radiação solar medidos na região do baixo Vale do Taquari – RS. Silva e Sentelhas (2001) utilizaram as fdp para estudar eventos como a ocorrência de geada e Berlato et al. (2000) para a ocorrência de granizo no RS. Outras variáveis também foram avaliadas usando-se fdp, como evapotranspiração potencial (MARQUES et al., 1995; SOUSA; FRIZZONE, 1997) e deficiência hídrica no solo, com os melhores resultados encontrados com a função gama (CARDOSO, 2005; SILVA,

2005). Segundo Castellví et al. (2004) a fdp mais utilizada para a variável precipitação é a gama.

Para a escolha e para fazer comparações entre as fdp são utilizados testes de aderência (SILVA, 2005; TRENTIN, 2009). Os testes de aderência não paramétricos mais utilizados para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela fdp, são o qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors (CAMPOS, 1983). Catalunha et al. (2002) verificou que o teste qui-quadrado é mais eficaz que o Kolmogorov-Smirnov, e 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 do local de estudo

O estudo foi realizado na área de abrangência da Estação Meteorológica Principal de Santa Maria (EMPSM), entre as coordenadas de 29°23'15"S e 30°22'17"S, 54°32'07"W e 53°05'20" W, totalizando aproximadamente 8000 km² (Figura 1).

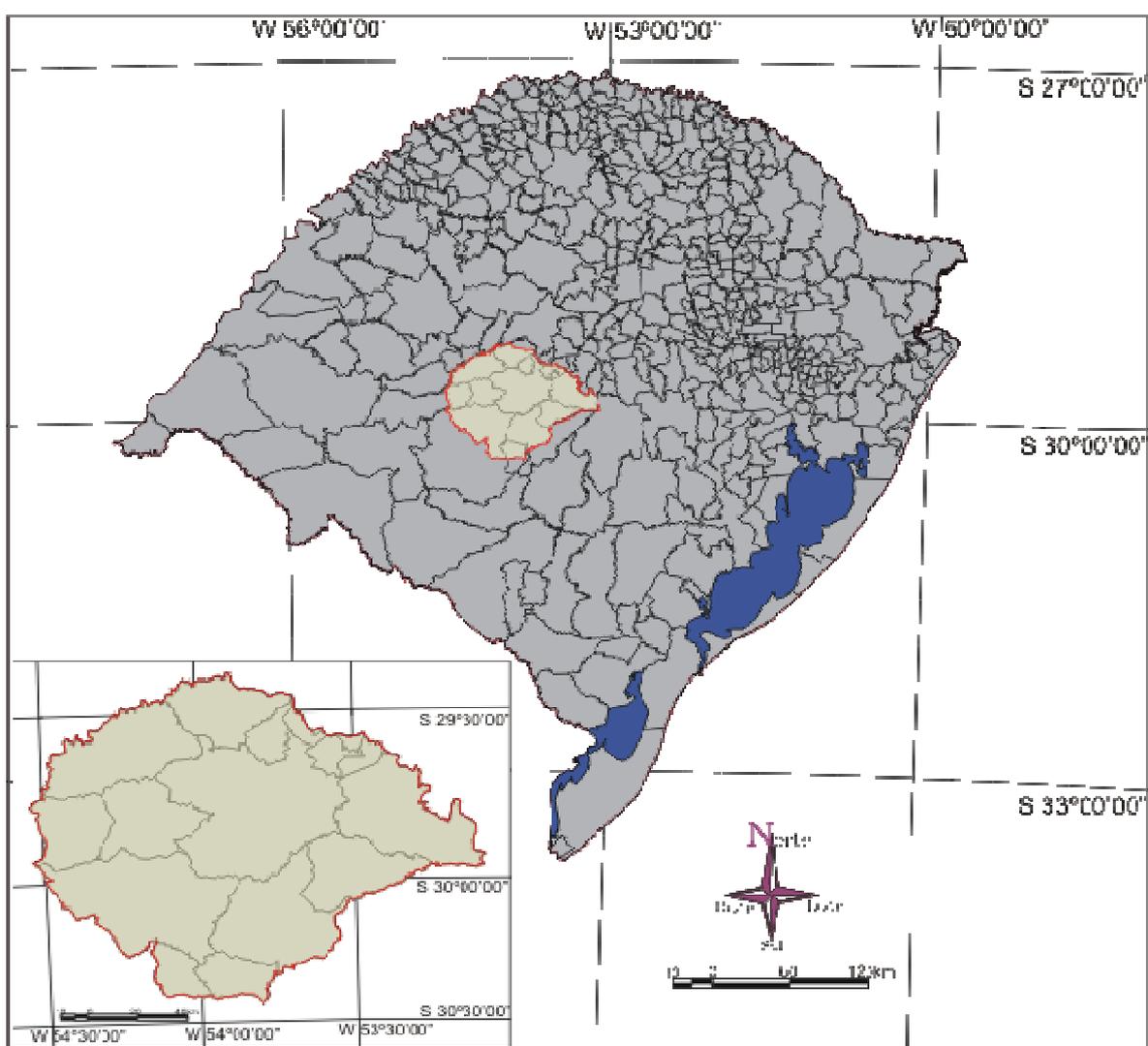


Figura 1 – Localização da área de abrangência do estudo, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012.

FONTE: Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (Secretaria da Agricultura e Abastecimento 1994, com realce extraído de CARDOSO, 2005).

A região de estudo situa-se no centro da mesorregião fisiográfica denominada de Depressão Central do RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo fundamental Cfa, caracterizado como subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (Heldwein et al., 2009). A Depressão Central é delimitada pelo Planalto Arenito-basáltico ao norte, pela Campanha e Serra do Sudeste ao Sul e pela Planície Litorânea a leste e sudeste, regiões com diferentes características quanto ao solo, relevo e altitude. No entanto, o estudo abrangeu também parte das bordas das três regiões situadas ao norte e ao sul da área do centro da Depressão Central. A maior parte da superfície dessa região de estudo é ocupada pelos Argissolos (51% da área) (unidades de mapeamento Alto das Canas, Júlio de Castilhos, Oásis, São Pedro e Santa Maria), seguido dos Planossolos (34% da área), pertencentes às unidades de mapeamento Vacacaí e São Gabriel (BRASIL, 1973), e demais solos (Neossolo, Chernossolo, Luvisolo e Latossolo), com aproximadamente 15% da área (Tabela 1).

Tabela 1 – Área ocupada pelas diferentes unidades de mapeamento e respectivas classes dos solos na região de estudo de Santa Maria e municípios vizinhos. Santa Maria, RS, 2012.

Unidades de Mapeamento	Área (ha)	Área (%)	Classificação
Santa Maria	145356	18,10	Argissolo vermelho distrófico arênico
São Pedro	203047	25,28	Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico
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-Amarelo Distrófico úmbrico
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	Luvisolo Crômico Pálico saprolítico
Guassupi	20857	2,60	Neossolo Litólico Distró-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.

Além de Santa Maria, os municípios de abrangência do estudo foram Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Itaara, Restinga Seca, São João do Polêsine, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, 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 (Figura 2).

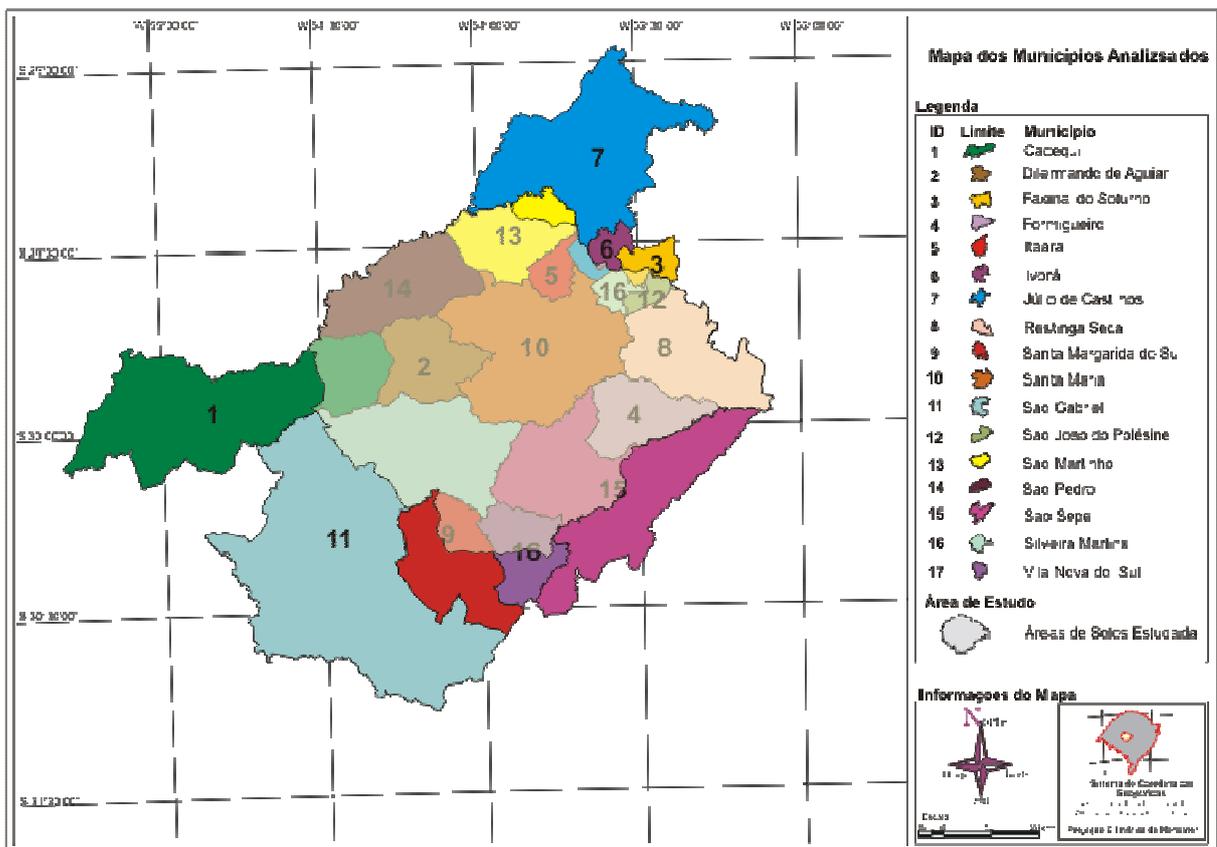


Figura 2 – Municípios da região central do Rio Grande do Sul, com destaque (em tom mais claro) da área de abrangência da Estação Meteorológica de Santa Maria considerada no estudo das deficiências hídricas mais prováveis. Santa Maria, RS, 2012.

FONTE: Cardoso (2005).

3.2 Variáveis Meteorológicas e Determinação da Deficiência hídrica

Para a simulação do desenvolvimento do girassol e realização do balanço hídrico foram utilizadas variáveis meteorológicas diárias obtidas na estação meteorológica principal de Santa Maria (EMPSM) compreendendo a série histórica do período de agosto de 1968 até

julho de 2011, totalizando 43 anos de observações (Tabela 2). Os cálculos foram realizados de forma seriada, utilizando-se dados diários (Tabela 3), sendo a evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith, conforme Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997).

Tabela 2 – Variáveis meteorológicas utilizadas para a simulação do desenvolvimento do girassol e para o cálculo do balanço hídrico diário do solo. Santa Maria, RS, 2012.

Variável	Descrição
T _{min}	Temperatura mínima do ar (°C)
T _{máx}	Temperatura máxima do ar (°C)
T ₉	Temperatura do ar medida às 9 horas (°C)
T ₁₅	Temperatura do ar medida às 15 horas (°C)
T ₂₁	Temperatura do ar medida às 21 horas (°C)
UR ₉	Umidade relativa do ar às 9 horas (%)
UR ₁₅	Umidade relativa do ar às 15 horas (%)
UR ₂₁	Umidade relativa do ar às 21 horas (%)
U ₂	Velocidade do vento medido 2 m acima do solo (m s ⁻¹)
n	Insolação diária
Prec.	Precipitação pluviométrica (mm)
EvP	Evaporação no evaporímetro de Piche (mm)

Na determinação do valor diário da capacidade de armazenamento de água disponível do solo (CAD), que muda em função da profundidade do sistema radicular, considerou-se a função do desenvolvimento das raízes das plantas de girassol, conforme Apêndice B e sua variação em função do tipo de solo simulado para as diferentes datas de semeadura.

Utilizando-se estes dados, foram calculadas as médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar, da pressão parcial e de saturação de vapor d'água do ar e do déficit de saturação do ar, conforme equações descritas na Tabela 3. As estimativas de temperatura média (T_m) e umidade relativa média (UR_m) do ar foram calculadas pelos modelos do 8º DISME (LEITÃO, 2004), a pressão de saturação foi calculada pela equação de Tétens (MURRAY, 1967) com coeficientes ajustados conforme Fischer et al. (1987).

A densidade de fluxo da radiação solar global incidente (R_g) foi estimada através da equação de Ångström-PreScott (Equação 7), sendo Ko↓ a densidade de fluxo da radiação solar global incidente no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹), estimada em função da latitude e do dia no ano, sendo que os coeficientes bo e b1 mensais foram ajustados para Santa Maria

por Buriol et al. (2012), na insolação diária registrada com heliógrafo (h dia^{-1}) e N é o comprimento do dia (h dia^{-1}) calculado em função da declinação solar e da latitude local. O saldo de radiação foi estimado pela equação de Brunt–Penman (Equação 9), utilizando os resultados obtidos com as Equações 7 e 8 (BERLATO; MOLION, 1981).

Tabela 3 – Variáveis meteorológicas calculadas a partir dos dados meteorológicos e respectivas funções matemáticas. Santa Maria, RS, 2012.

Número	Variáveis	Equação
1	Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)	$T_m = 0,2(T_j + T_{\max} + T_{\min} + 2T_{21})$
2	Umidade relativa média (%)	$UR_m = 0,25(UR_9 + UR_{15} + 2UR_{21})$
3	Pressão de saturação (kPa)	$es = 0,6107 \exp\left(\frac{17,2694 \cdot T_m}{237,3 + T_m}\right)$
4	Pressão parcial de vapor (kPa)	$e = 0,01es UR_m$
5	Déficit de saturação do ar (kPa)	$d = es - e$
6	Tangente à curva de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$\Delta = \frac{4098 es}{(T_m + 237,3)^2}$
7	Densidade de fluxo da radiação global incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	$R_g = K_o \downarrow (b_o + b_1 n N^{-1})$
8	Balanço de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	$L^* = -\varepsilon\sigma(T_m + 273)^4 \left[0,56 + 0,079 (0,75e)^{0,5}\right] (0,1 + 0,9nN^{-1})$
9	Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	$Q^* = R_g(1 - r) + L^*$
10	Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1})	$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \frac{Q^*}{L} + \frac{\gamma 900}{(\Delta + \gamma^*)(T_m + 273)} U_2 d$

Onde: Δ é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água para a temperatura média diária T_m ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), ε a emissividade do gramado (0,95); σ a constante de Stefan-Boltzmann ($4,9861 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{K}^{-4}$); r a refletividade do gramado (0,23); γ a constante psicrométrica ($0,0662 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ^* a constante psicrométrica corrigida; U_2 a velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), d o déficit de saturação do ar (kPa) e L o calor latente de evaporação ($2,46 \text{ MJ Kg}^{-1}$) a 20°C .

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi utilizado o método de Penman-Monteith, conforme Pereira et al. (1997). Para o período com ausência de dados de velocidade do vento foi utilizada a equação de Penman (VAREJÃO SILVA, 2000), com um ajuste no termo aerodinâmico (Equação 11), através da evaporação medida no evaporímetro

de Piche (EvP , mm dia^{-1}) e do déficit de saturação do ar (mmHg), conforme Alberto et al. (2002),

Para a estimativa da ET_o , quando não se dispunha de dados de vento, foi utilizada a equação:

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

em que: Δ é dada em $\text{mmHg } ^\circ\text{C}^{-1}$; γ igual a $0,60 \text{ mmHg } ^\circ\text{C}^{-1}$; L é o calor latente de evaporação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), Q^* o saldo da densidade de fluxo da radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); d o déficit de saturação do ar de vapor d'água do ar (mmHg), a e b coeficientes ajustados por Alberto et al. (2002) para a evaporação do evaporímetro de Piche, $0,42$ e $0,0245$, respectivamente.

Para o cálculo do balanço hídrico (BH) diário foi utilizado o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), descrito por Pereira et al. (1997). A metodologia empregada e o roteiro de cálculo foram similares aos utilizados por Silva (2008) e por Trentin (2009).

Na determinação da precipitação efetiva, a metodologia mais comumente empregada é a do United State Soil Conservation Service. Neste método, a perda de precipitação é dividida em perdas por escoamento superficial (Pr) e em perdas iniciais (Pi), que ocorrem em razão da interceptação e enchimento das rugosidades superficiais do solo (FRIZZONE et al., 2005):

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

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

$$Pr = 0,0 \quad \text{quando } \text{Prec.} \leq 0,2s \quad (14)$$

sendo que:

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

em que: Prec. = precipitação pluviométrica, mm ; CN = curva número, adimensional; s = parâmetro de retenção, adimensional.

Uso do solo, práticas de manejo e tipo de solo influenciam o parâmetro de retenção (s), sendo definido em função da curva número ($0 \leq CN \leq 100$) tabelada. Para os diferentes tipos de solos a CN é determinada conforme o teor de areia, adotando-se 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 6).

Nessa metodologia, foi considerado que 25% das perdas iniciais são devidas a evaporação, quando a Prec. é alta ($Prec. > P_i$) e que 75% da Prec. infiltra no solo quando $Prec. \leq P_i$. Assim, a variação do conteúdo de água no solo devido à água que infiltra é obtida por:

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

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

em que, Pe = precipitação efetiva, mm.

A deficiência hídrica diária foi obtida pela diferença entre a evapotranspiração máxima (ETm) e a evapotranspiração real (ETr). A ETr foi obtida a partir dos dados do balanço hídrico sequencial diário. A deficiência hídrica acumulada nos subperíodos e no ciclo foi obtida pela soma dos valores diários de deficiência hídrica ocorridos nos respectivos períodos.

3.3 Parâmetros da cultura

3.3.1 Duração dos subperíodos

A duração dos subperíodos do girassol foi calculada considerando-se a soma térmica acumulada. Para o cálculo da soma térmica diária utilizou-se a temperatura base (Tb) de 3,9 °C para um genótipo de ciclo precoce (MALDANER et al., 2011), temperatura ótima (Tot) de 27 °C e temperatura máxima (Tmax) de 34 °C (FAGUNDES et al., 2007). Para o cálculo da soma térmica a temperatura média diária (Tmed), foi calculada pela média aritmética entre a temperatura mínima e a temperatura máxima diária do ar. Assim, a soma térmica acumulada (STa, °C dia) foi calculada para cada subperíodo pelas Equações 18 e 19:

$$STa = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{T_{maxi} + T_{mini}}{2} \right) - Tb \right] \text{ quando } Tb < T_{med} \leq T_{ot} \text{ ou,} \quad (18)$$

$$STa = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{ot} - T_b) \left(T_{maxi} - \left(\frac{T_{maxi} + T_{mini}}{2} \right) \right)}{(T_{maxi} - T_{ot})} \right] \text{ quando } T_{ot} < T_{med} \leq T_{max} \quad (19)$$

em que, n é o número de dias que compreendem o subperíodo de desenvolvimento do girassol no referido ano e data de semeadura em questão, sendo i o valor da soma térmica de cada dia.

A soma térmica acumulada para cada subperíodo foi calculada com os dados obtidos conforme o Apêndice A. Para cada subperíodo, conforme a escala fenológica desenvolvida por Schneiter e Miller (1981), semeadura – emergência (S - E) foram considerados os intervalos de 0 - 136,8 °C dia, no período semeadura – emergência (S - E); subperíodo emergência - botão floral visível (E - R1) 136,9 - 826,4 °C dia, no subperíodo emergência - botão floral visível (E - R1); 826,5 – 1248,0 °C dia, no subperíodo botão floral visível - início da antese (R1 - R5.1); 1248,1 - 1407,8 °C dia, no subperíodo de início da antese - final da antese (R5.1 - R6) e 1407,9 – 1869,0 °C dia no subperíodo de final da antese - maturação fisiológica (R6 - R9).

3.3.2 Datas de semeadura (DS)

A simulação do desenvolvimento da cultura foi realizada para cada solo utilizando-se diferentes datas de semeadura, sempre nos 1º e 16º dias de cada mês em todos os anos da série histórica de dados considerados (1968-2011). Foram selecionadas estas datas (Tabela 4), para se obterem semeaduras durante as datas de semeadura recomendadas para o girassol na região central do Rio Grande do Sul, que são de 21 de julho a 10 de agosto e de 11 de janeiro a 20 de fevereiro (MAPA, 2010). Em trabalho realizado por Guse (2009) observou-se que a melhor data de semeadura foi a de início de setembro, em desacordo com o que consta no zoneamento agrícola para esta região, o que estimulou a escolha das datas na Tabela 4.

Tabela 4 – Datas de semeadura (DS) utilizadas na simulação do desenvolvimento da cultura do girassol, em 43 anos agrícolas (período de 1968-2011), na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012.

DS	Data da semeadura	DS	Data da semeadura	DS	Data da semeadura
1	01/08	6	16/10	11	01/01
2	16/08	7	01/11	12	16/01
3	01/09	8	16/11	13	01/02
4	16/09	9	01/12	14	16/02
5	01/10	10	16/12		

3.3.3 Evapotranspiração Máxima (ET_m)

Para o cálculo da evapotranspiração máxima da cultura (equação 20) utilizou-se a evapotranspiração de referência calculada para cada dia (ET_o) e os coeficientes de cultura (K_c) para o girassol determinados por Matzenauer et al. (1999) (Tabela 5). Os coeficientes de cultura variam em função dos subperíodos de desenvolvimento. Para os subperíodos semeadura à emergência (S–E) e de início da antese ao final da antese (R5.1–R6) os valores de K_c foram considerados constantes durante o respectivo subperíodo. Para os subperíodos emergência – botão visível (E–R1), botão visível – início da antese (R1–R5.1) e final da antese até a maturação fisiológica (R6–R9) foram gerados modelos lineares no transcorrer do subperíodo, baseados na soma térmica acumulada, para interpolar os valores diários do K_c ao longo do respectivo subperíodo de desenvolvimento do girassol para as diferentes datas de semeadura (Tabela 5). Para o subperíodo R1–R5.1 o valor máximo de K_c obtido pela equação 23 é de 1,12.

$$ET_m = ET_o \cdot K_c \quad (20)$$

Tabela 5 – Soma térmica acumulada (ST), subperíodos de desenvolvimento e modelo de cálculo dos coeficientes de cultura utilizados para determinar a evapotranspiração máxima do girassol em Santa Maria, RS, conforme Matzenauer et al. (1999). Santa Maria, RS, 2012.

Soma térmica (°c dia)	Subperíodos	Coefficiente de cultura	Eq.
0 – 136,8	S - E	0,43	21
136,9 – 826,4	E – R1	$0,4316 + 2,80(10^{-4}) ST$	22
826,5 – 1248,0	R1 – R5.1	$-0,2884 + 1,20(10^{-3}) ST$	23
1248,1 – 1407,8	R5.1 – R6	1,12	24
1407,9 – 1869,0	R6 – R9	$2,2547 - 8,19(10^{-4})ST$	25

S é a sementeira; E é a emergência; R1 é o estágio de botão visível; R5.1 início da antese; R6 final da antese e R9 é a maturação fisiológica.

3.4 Capacidade de água disponível para os diferentes solos

A capacidade de armazenamento de água disponível do solo (CAD) para a cultura do girassol foi calculada em escala diária conforme o aprofundamento radicular. Durante o subperíodo S-E foi considerada a profundidade explorada pelas plantas de 0,10 m; durante o subperíodo E-R5.1 foi calculada a CAD para cada dia (CADn) e durante o subperíodo R5.1-R9 foi considerada constante e proporcional a máxima profundidade radicular (CADf) (Figura 3).

Para o cálculo da CADn a partir da emergência até o início da antese, incluiu-se a curva de crescimento sigmoideal do sistema radicular (equação 26), proposta por Dourado Neto et al. (1999), esse modelo utiliza a soma térmica total do subperíodo (ST) atingida até o dia n (STn) em substituição á fração do número de dias, e um fator de forma do crescimento do sistema radicular (F) do girassol igual a 0,80.

$$CADn = CAD_{in} + \left(\frac{CAD_f - CAD_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[\left(\pi \left(\frac{1}{F} \right) \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (26)$$

Os valores de CAD inicial (CADin) e final (CADf) foram calculados para os solos em estudo, utilizando-se os valores de CC (Capacidade de campo) e PMP (Ponto de murcha permanente) descritos para os diferentes horizontes e solos com base nas informações encontradas em Brasil (1973), Peraza (2003) e Cardoso (2005).

A CADin foi determinada para a profundidade de 0,10 m enquanto que a CADf foi determinada até a profundidade de 0,60 m (Apêndice B) quando a presença natural de raízes era abundante ou não havia nenhum impedimento físico ou químico para as raízes atingirem a

camada até 0,60 m ou, em caso contrário, até 0,40 m (PIRES et al., 1991). A partir do cálculo das CAD(s), os solos da região foram agrupados em classes, conforme o valor da CAD_{in} e CAD_f (Tabela 6).

Os valores utilizados no cálculo das CADs, bem como, as características dos solos da região de estudo foram descritos por Cardoso (2005) e apresentados no Anexo A. Os cálculos foram realizados a partir do desenvolvimento de algoritmos escritos no software Statistical Analysis System (SAS, 2001).

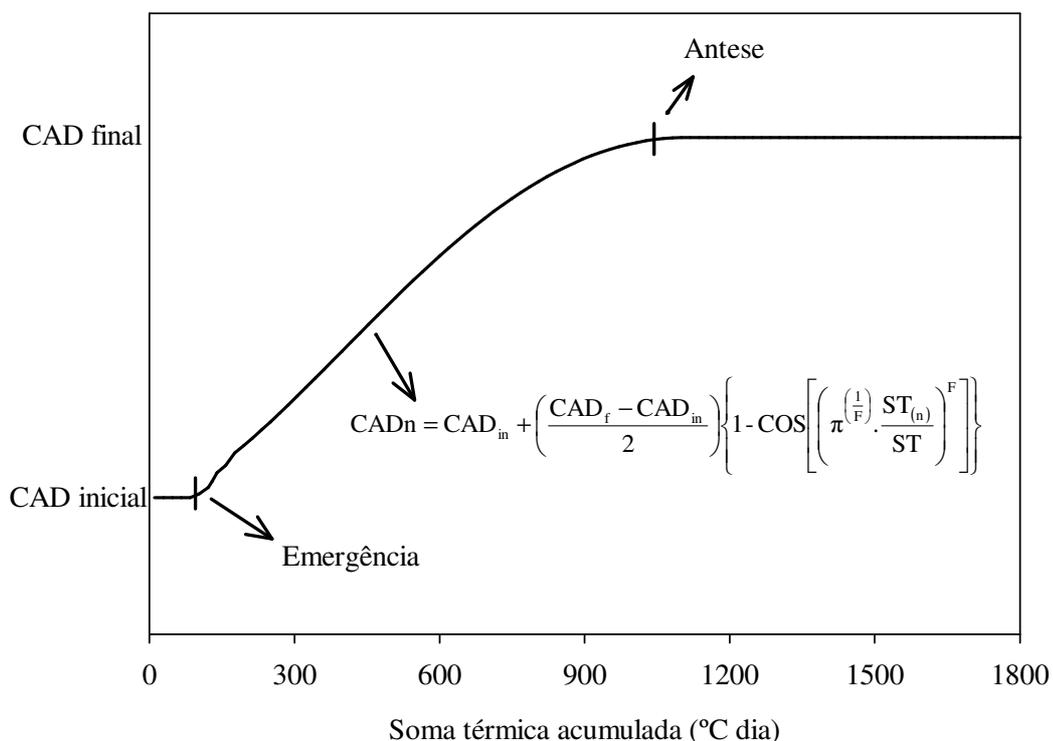


Figura 3 – Variação dos valores de capacidade de armazenamento de água no solo (CAD_n) em função do aprofundamento radicular ao longo do ciclo, determinado pela soma térmica acumulada ($^{\circ}C$ dia) no dia n. Santa Maria, RS, 2012.

Utilizando-se as simulações de desenvolvimento da cultura, para o cálculo da variação do Kc e variação do CAD considerando o aprofundamento radicular, foram obtidos os valores de deficiência hídrica simulada pelo cálculo do balanço hídrico diário, para os diferentes solos e diferentes datas de semeadura (DS) e em cada ano do período de estudo. Esses valores foram somados para todos os anos agrícolas, obtendo-se a deficiência hídrica acumulada por subperíodo e ciclo de desenvolvimento da cultura do girassol para cada data de semeadura e tipo de solo.

Tabela 6 – Capacidade de armazenamento de água disponível no solo inicial (CAD_{in}) e final (CAD_f), curva número (CN), unidades de mapeamento (BRASIL, 1973) e classes de solos conforme classificação de Streck et al. (2008) na área de abrangência da estação meteorológica principal de Santa Maria, RS, utilizados no estudo simulado para os período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

CAD_{in} (mm)	CAD_f (mm)	CN	Unidades de Mapeamento	Classificação dos solos
15	60	72	São Pedro	Argissolo vermelho distrófico arênico
15	60	72	Venda Grande	Chernossolo Argilúvico órtico saprolítico
15	60	72	Cerrito	Latossolo Vermelho Distrófico típico
22	105	72	Vacacaí	Planossolo Háplico Eutrófico Arênico
22	85	72	Santa Maria	Argissolo Amarelo Alítico típico
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	80	91	Alto das Canas	Argissolo vermelho distrófico úmbrico
15	80	91	Cambai	Luvisso Crômico Pálico saprolítico
22	80	91	Oásis	Argissolo Bruno Acinzentado Alumínico típico
22	80	91	São Gabriel	Planossolo Háplico Eutrófico típico

* CN = 72 para os solos com teor de areia maior que 50% e 91 com teor de areia menor que 50%.

3.5 Efeitos associados ao fenômeno ENOS

Na análise dos efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña nas condições hídricas da região central do Rio Grande do Sul, foram considerados os anos de ocorrência desses eventos no período de estudo. Essa classificação foi realizada para as unidades de mapeamento São Pedro, Venda Grande, Cerrito e Santa Maria, pois estas abrangem a maior área de solos de coxilha da região. Também foi realizada a classificação para as unidades de mapeamento Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos por representarem o grupo de solos com menor profundidade explorável pelas raízes das plantas e, portanto, menor CAD.

Tabela 7 – Classificação dos anos em função dos fenômenos ENOS ocorridos no período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Ano ¹	Classificação ²	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	N	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		

¹De julho de um ano até junho do ano seguinte; ² La niña (LN), El niño (EN) e Neutro (NT). Fonte: Climate Prediction Center (2012).

3.6 Análise Estatística

A duração dos subperíodos do ciclo, duração total do ciclo e deficiência hídrica foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância, considerando-se como fonte de variação as épocas de semeadura, para a duração dos subperíodos e do ciclo. Para os dados de deficiência hídrica as fontes de variação foram os tipos de solos, épocas de semeadura e suas interações.

Os valores de duração dos subperíodos e do ciclo, para as 14 épocas de semeadura e para os valores de deficiência hídrica, obtidos para cada época de semeadura e tipo de solo foram submetidos à análise de distribuição de probabilidade e aos testes avaliativos para a qualidade do ajuste das funções, para verificar qual a função de probabilidade que melhor representa a distribuição destes dados.

Primeiramente, as funções de melhor ajuste aos dados foram escolhidas visualmente, através da plotagem da distribuição de dados. Após foram testados os ajustes das fdp: normal, exponencial, gama, lognormal e weibull, reduzidas a dois parâmetros, conforme recomendam Campos (1979), Assis et al. (1996) e Catalunha et al. (2002). Para facilitar o processamento, agilizar o ajuste das funções de distribuição de probabilidades e realizar os testes de aderência, foi utilizado o software estatístico SAS. O critério para a escolha das melhores funções para cada situação foi o nível de significância de 10% para pelo menos um dos testes de aderência, de Chi-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Quando houve mais de uma função de distribuição ajustada, para cada caso, foi escolhida aquela que apresentou maior nível de significância indicado pelo teste do Chi-Quadrado. Nesses dois testes utilizados, a hipótese nula é que não há diferença entre a frequência relativa empírica e a frequência relativa teórica, definida matematicamente. Portanto, nesse caso não se desejou rejeitar a hipótese nula (H_0).

Uma descrição mais detalhada das características das principais funções de densidade de probabilidade e suas funções acumuladas podem ser encontradas em Silva (2008) e Trentin (2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Duração dos subperíodos e do ciclo do girassol

A análise da duração dos subperíodos é importante para estudos com deficiência hídrica, uma vez que as culturas apresentam subperíodos mais críticos à deficiência hídrica e o coeficiente de cultura varia com o desenvolvimento das plantas. O cultivo de girassol depende de condições meteorológicas favoráveis para seu crescimento e desenvolvimento, principalmente nos subperíodos críticos que, geralmente, iniciam no período reprodutivo. A data de semeadura da cultura influencia diretamente a duração dos subperíodos e o consumo de água, sendo este último influenciado pela variabilidade espacial e temporal dos elementos meteorológicos, principalmente a precipitação pluvial. Assim, períodos de maior necessidade de água pela cultura poderão ou não coincidir com épocas do ano com maior disponibilidade hídrica.

Os resultados gerados por meio de simulação da duração dos subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol são indispensáveis para utilizar valores adequados de coeficiente de cultura e, desta maneira, realizar um balanço hídrico sequencial diário mais realístico para cada época de semeadura de cada ano da série histórica de dados.

Nas semeaduras realizadas em agosto e início de setembro é comum ocorrer atrasos na emergência das plantas, devido às baixas temperaturas do solo e do ar. Os resultados mostram que o subperíodo mais longo foi emergência – botão visível, com média de 54 dias de duração (Figura 4). O subperíodo início da antese – início do enchimento de grãos foi o mais curto, com duração inferior a 11 dias, seguido do subperíodo semeadura – emergência com duração inferior a 12 dias.

Com a análise da variância foi possível verificar que, em todas as datas de semeadura, as variáveis duração do ciclo e dos subperíodos de desenvolvimento da cultura do girassol foram estatisticamente significativas em nível de 1% de probabilidade de erro (Apêndice C), portanto, há diferenças entre as datas de semeadura para as variáveis duração do ciclo e dos subperíodos.

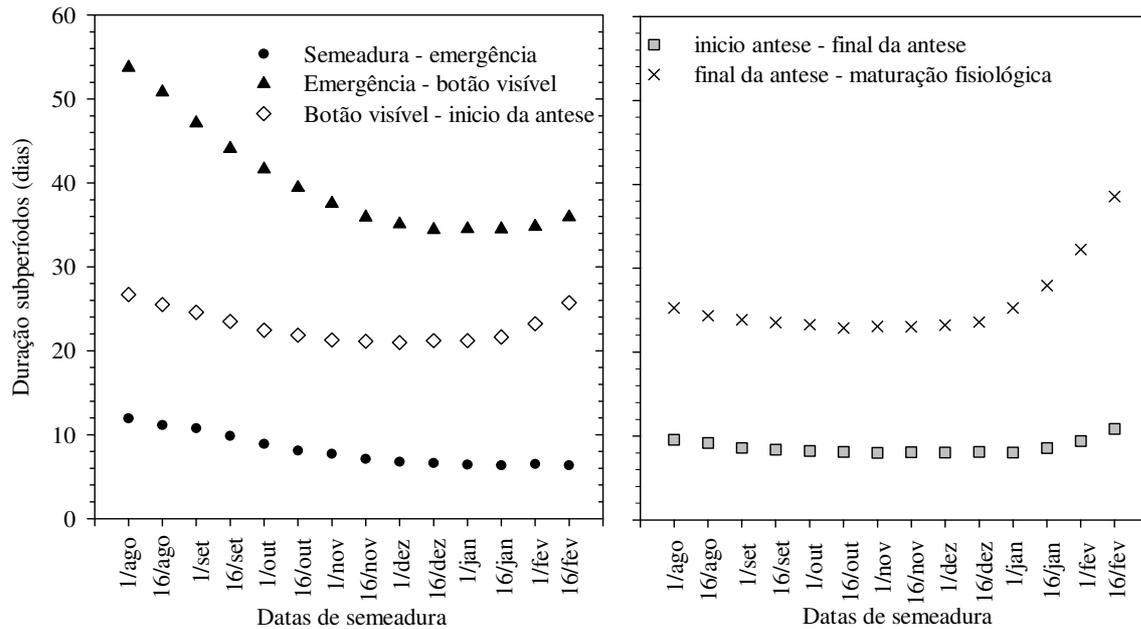


Figura 4 – Duração média dos subperíodos do ciclo do girassol calculados em função das datas de semeadura simuladas e das variáveis meteorológicas diárias para a série histórica de dados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Na Tabela 8, observa-se a duração média dos subperíodos e do ciclo em função das datas de semeadura. Verifica-se que o subperíodo semeadura – emergência (S–E) é maior nas primeiras datas de semeadura e a partir de dezembro sua duração média tende a estabilizar em torno de 6 a 7 dias. Isso ocorre devido à temperatura do solo ser mais baixa nas datas de semeadura de agosto e primeira quinzena de setembro e com isso aumenta a duração do subperíodo, devido à menor soma térmica acumulada (TRENTIN, 2009). A duração média do subperíodo emergência – botão floral (E-R1) variou entre as datas de semeadura de 34,4 (16/12) até 53,7 dias (01/08). Nesse subperíodo observa-se também a maior duração do ciclo na primeira data de semeadura (01/08), decrescendo gradativamente para os menores valores nas datas de semeadura mais próximas ao solstício de verão, de 01/12 a 16/01. Por outro lado, nas semeaduras realizadas em 01/02 e 16/02 ocorre um aumento na duração do subperíodo emergência – botão visível. Isso é explicado pelas oscilações de temperatura, observadas no final do verão – início de outono, em que ocorrem períodos com dias menos quentes e noites mais frias do que em dezembro e janeiro devido às passagens de massas de ar frio mais frequentes (RODRIGUES et al., 2004) e também pela menor disponibilidade de radiação solar em função de um menor comprimento do dia.

No subperíodo compreendido entre o botão floral visível e o início da antese (R1 – R5.1), as datas de semeadura de agosto apresentam os maiores valores médios, seguidas da

data de semeadura de 16/02. Os menores valores de duração desse subperíodo foram obtidos para as datas de semeadura de 01/11 a 01/01. Estes valores são esperados para este subperíodo, nestas datas de semeadura, uma vez que a temperatura do ar aumenta, devido à maior duração do dia e maior disponibilidade de radiação solar para essa época do ano, resultando em maior saldo de radiação, que, por sua vez, resulta em maior energia disponível para o aquecimento do solo e do ar e maior desenvolvimento das plantas.

No subperíodo de início da antese - início do enchimento de aquênios (R5.1 - R6), as datas de semeadura de 01/10 a 01/01 apresentam os menores valores de duração; isso é devido ao início deste subperíodo ocorrer entre os meses de dezembro e fevereiro, período em que ocorrem temperaturas do ar mais elevadas. Para o subperíodo início do enchimento de aquênios até maturação fisiológica (R6 - R9) a maior duração foi verificada para as datas de semeadura a partir de 16/01, pois este subperíodo coincide com o início do outono (abril a maio) em que a temperatura diminui com a proximidade do inverno.

Mello et al. (2006) obtiveram ciclos de 95, 94 e 90 dias da semeadura até maturação fisiológica em semeaduras realizadas em 26/out, 21/nov e 23/dez de 2001, respectivamente, para cultivares de girassol de ciclo precoce em Santa Maria, RS. Comparando esses valores de duração com os apresentados na Tabela 8, verifica-se que existe uma relação entre os dados observados a campo e a duração provável do ciclo do girassol determinado com os dados de temperatura registrados em 43 anos de observação meteorológica. Maldaner (2009) estudou a cultura do girassol precoce nas datas de semeadura de 04/set e 21/jan, sendo que a duração do subperíodo da emergência até maturação foi de 112 dias e 88 dias, respectivamente.

A diferença de até cinco dias no trabalho de Mello et al. (2006) e de três e onze dias para as datas 01/set e 16/jan, respectivamente, encontradas no experimento de Maldaner (2009), decorrem provavelmente das diferenças de temperatura ocorridas a campo no ano dos respectivos experimentos em relação a média da duração dos ciclos de desenvolvimento da cultura do girassol obtida por meio de simulação em função das condições térmicas ocorridas nos 43 anos de dados da estação meteorológica de Santa Maria.

Tabela 8 – Duração média dos subperíodos compreendidos entre a semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para as 14 datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Data semeadura	Subperíodo (dias)					S-R9
	S-E	E-R1	R1-R5.1	R5.1-R6	R6-R9	
01/08	11,91 a*	53,74 a	26,70 a	9,58 b	25,27 d	127,20 a
16/08	11,12 b	50,81 b	25,51 b	9,19 b	24,35 e	120,98 b
01/09	10,74 b	47,12 c	24,58 c	8,60 c	23,86 e	114,91 d
16/09	9,81 c	44,09 d	23,49 d	8,37 c	23,53 e	109,30 e
01/10	8,88 d	41,63 e	22,44 e	8,23 d	23,28 f	104,47 g
16/10	8,09 e	39,42 f	21,86 f	8,12 d	22,88 f	100,37 h
01/11	7,72 e	37,53 g	21,28 g	8,02 d	23,07 f	97,62 i
16/11	7,09 f	35,91 h	21,13 g	8,07 d	23,02 f	95,23 j
01/12	6,74 f	35,09 i	20,98 g	8,05 d	23,23 f	94,09 j
16/12	6,58 g	34,42 i	21,21 g	8,12 d	23,58 e	93,91 j
01/01	6,39 g	34,53 i	21,21 g	8,05 d	25,30 d	95,48 j
16/01	6,34 g	34,51 i	21,63 f	8,58 c	27,95 c	99,02 i
01/02	6,49 g	34,81 i	23,23 d	9,42 b	32,26 b	106,21 f
16/02	6,33 g	35,93 h	25,72 b	10,86 a	38,53 a	117,37 c

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

A variação da duração do ciclo de desenvolvimento em função das datas de semeadura apresentou um formato de parábola (Figura 5). As primeiras e últimas datas de semeadura apresentam os maiores valores de duração do ciclo, sendo a maior duração da data de semeadura de 01/08, com 127 dias. Os menores ciclos foram verificados para as datas de semeadura de 16/11 a 01/01, o que também pode ser atribuído às maiores temperaturas a partir dessas datas, sendo a menor duração de 94 dias para a data de semeadura de 16/12 (Tabela 8). Esses resultados concordam com os dados obtidos por Guse (2009) em trabalho realizado em Santa Maria, RS, no qual o autor observou que para a data de semeadura de 01/08 a duração da emergência até a maturação fisiológica foi de 125 dias para um genótipo precoce e para a data de semeadura de 01/12 a duração foi de 80 dias. As diferenças do

trabalho em campo obtido por Guse (2009) para esses dados obtidos por simulação foi de dez e sete dias para as datas de 01/08 e 01/12, respectivamente. Segundo Trentin (2009), essa variação de duração do ciclo é esperada, uma vez que os experimentos de campo apresentam a variação de um ano de dados enquanto que a simulação tem a variação de um conjunto de uma série longa de dados.

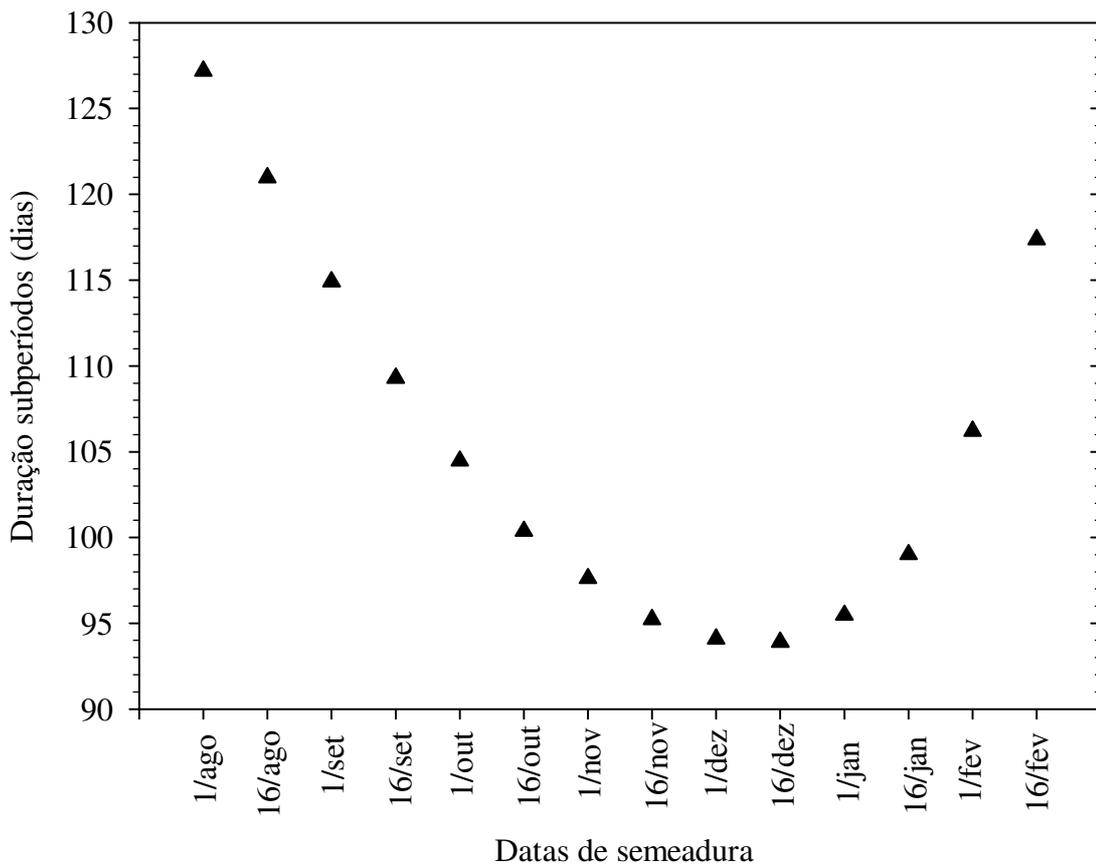


Figura 5 – Duração média do ciclo do girassol, em função das datas de semeadura simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

A duração do ciclo e dos subperíodos foi representada pelas funções de distribuição de probabilidade (fdp) sempre que houve ajuste aos dados. Das fdp, Exponencial, Gama, Lognormal, Normal e Weibull testadas para cada data de semeadura, não foi possível obter ajuste de fdp em todos os subperíodos e ciclos totais das 14 datas de semeadura. Para os cinco subperíodos foram ajustadas 47 fdp e para o ciclo 34 fdp. Para os subperíodos, as fdp com melhor ajuste foram a Gama, Lognormal e Normal, seguida pela Weibull (Tabela 9). Esses resultados concordam com os obtidos por Trentin (2009) e Silva (2008) para a duração dos

subperíodos do milho e do feijoeiro, em que predominou o ajuste das fdp Gama, Lognormal, Weibull e Normal para a variável duração dos subperíodos. Para o ciclo, a função Lognormal foi a que apresentou melhor ajuste das frequências, com 32,3 %, (32,3%), seguida da Gama e Normal (29,4%) e Weibull (8,8%). Silva (2008) também observou maior ajuste da função Lognormal seguida da função Gama para a duração do ciclo do feijoeiro. Por outro lado, Trentin (2009) observou melhor ajuste da função Normal para a duração total do ciclo da cultura do milho.

Tabela 9 – Frequência de casos com ajuste estatisticamente significativos das funções de distribuição de probabilidades (fdp) Gama, Lognormal, Normal e Weibull para a duração dos subperíodos e do ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

fdp	%Frequência (Subperíodos)	% Frequência (Ciclo)
Gama	27,7	29,4
Lognormal	27,7	32,3
Normal	27,7	29,4
Weibull	17,0	8,8
Total*	47	34

*Total de fdp ajustadas.

As fdp tiveram ajuste para apenas 13 subperíodos dos 70 analisados, para o ciclo (Apêndice D) três datas não tiveram ajuste. Com as fdp selecionadas, calculou-se a duração provável dos subperíodos e do ciclo para cada data de semeadura para as probabilidades de 95, 90 e 75% de ocorrência. A partir das probabilidades, pode-se afirmar que em 95% dos casos, isto é, em 95 de cada 100 anos, o ciclo do girassol semeado em 16/10 será menor ou igual a 104 dias (Tabela 10). Pode-se utilizar esta interpretação para as demais datas de semeadura e subperíodos estudados. Os valores obtidos pelos níveis de probabilidade são semelhantes aos valores médios da duração do ciclo. A menor duração do ciclo em 95% dos anos ocorre na data de semeadura (DS) próxima a 16/12, com os valores máximos de duração do ciclo de 97 dias (Tabela 10).

Na safra 2009/2010 em trabalho realizado em Santa Maria, Lucas (2011) trabalhou com um híbrido de girassol de ciclo precoce semeado em 15/10/2009, verificando que a duração dos subperíodos S – E, E – R5.1 e R5.1 – R6, foi de 9, 66 e 10 dias, respectivamente. Comparando-se os dados obtidos nesse experimento de campo com a probabilidade de duração destes subperíodos, para a data de semeadura de 16/10 observa-se que para os subperíodos S – E, E – R5.1 e R5.1 – R6 em 95% dos anos a duração é de 9, 66 e 9 dias, respectivamente (Tabela 10). Resultados semelhantes de campo daqueles obtidos nesse trabalho foram encontrados por Lucas (2011) na safra 2010/2011, com semeadura realizada em 09/09/2010, quando verificou que a duração dos subperíodos S – E e E – R6 foi de 15 e 82 dias, respectivamente, valores semelhantes para a probabilidade de 95% para a data de semeadura de 16/09, observa-se a duração de 11 e 82 dias para os subperíodos S - E e E – R6, respectivamente (Tabela 10). Com base nesses resultados verifica-se grande concordância entre os dados de análise numérica e experimentais de campo, indicando que a metodologia utilizada está adequada para determinar a duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento do girassol. Essa metodologia também se mostra adequada para outras culturas anuais, a exemplo dos resultados obtidos por Silva (2008) para a cultura do feijoeiro e Trentin (2009) para a cultura do milho.

Assim, pode-se inferir que a duração dos subperíodos de desenvolvimento do girassol, para um genótipo precoce, pode ser determinada com boa exatidão pelo cálculo da probabilidade, sendo esta uma ferramenta útil para o agricultor para as práticas de manejo e planejamento do cultivo de girassol em sua propriedade e para um melhor detalhamento do zoneamento agrícola para a cultura do girassol.

Tabela 10 – Duração provável dos subperíodos (dias) compreendidos entre a semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9) e o ciclo (S – R9) para as datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Subperíodo	DS	Probabilidade %			DS	Probabilidade %			DS	Probabilidade %		
		95	90	75		95	90	75		95	90	75
S – E		15	14	13		9	9	8		7	7	6
E – R1	01/Ago	60*	58*	56*	16/Out	42	41	40	01/Jan	37*	36*	35*
R1 – R5.1		28	28	28		24	23	22		22	22	21
R5.1 – R6		11	10	10		9	9	8		9	9	8
R6 – R9		27	26	25		24	24	23		29	27	26
S – R9		134*	132*	130*		104	103	101		100*	99*	97*
S – E			15*	14*		13*		9		8	8	
E – R1	16/Ago	55*	55*	53*	01/Nov	40*	39*	39*	16/Jan	36*	36*	35*
R1 – R5.1		28*	27	26*		23	22	21		23	23	22
R5.1 – R6		11	10	9		9	9	8		10	9	9
R6 – R9		26	25	24		25	24	23		32	30	28
S – R9		127	126	123		100*	100*	99*		105*	104*	102*
S – E			14*	13*		12*		8		8	7	
E – R1	01/Set	51*	50*	49*	16/Nov	37	37	36	01/Fev	36	36	35
R1 – R5.1		27*	26*	25*		23	22	21		26	25	24
R5.1 – R6		10	9	9		9	9	8		11	10	9
R6 – R9		25	25	24		25	24	23		38*	36*	34*
S – R9		120*	119*	117*		99*	98*	97*		115*	113*	110*
S – E			11	11		10		7		7	7	
E – R1	16/Set	47	47	46	01/Dez	37*	37*	36*	16/Fev	38	38	37
R1 – R5.1		26	25	24		22	22	21		29	28	27
R5.1 – R6		9	9	8		9	9	8		13	12	11
R6 – R9		25	25	24		24	24	23		48*	46*	42*
S – R9		114*	113*	111*		98	96	94		130*	127*	123*
S – E			11*	11*		9*		8		7	7	
E – R1	01/Out	45	44	43	16/Dez	36	36	35				
R1 – R5.1		23	23	22		23	22	21				
R5.1 – R6		9	9	8		9	9	8				
R6 – R9		25	24	23		25*	25*	24*				
S – R9		109*	108*	106*		97*	96*	95*				

*Valores determinados pelas fdp ajustadas.

4.2 Deficiência hídrica nos subperíodos e durante o ciclo do girassol

A deficiência hídrica provoca alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas (SINCLAIR; MUCHOW, 2001). A resposta das plantas à deficiência hídrica manifesta-se na forma de decréscimo da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e da abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER 2004). A manutenção da turgescência das células é importante, pois possibilita a continuidade dos processos de crescimento vegetal, divisão celular e fotossíntese. No girassol, segundo Casadebaig et al. (2011) a acumulação de biomassa é uma função da expansão foliar e da eficiência do uso da radiação, que são funções de múltiplos efeitos associados à temperatura, nutrição de nitrogênio e, principalmente, à disponibilidade de água no solo.

A produtividade potencial de uma cultura é influenciada diretamente pela disponibilidade hídrica. Um dos indicadores para quantificá-la é a evapotranspiração relativa, definida como a relação entre a disponibilidade hídrica existente, a Evapotranspiração real (E_{Tr}) e a Evapotranspiração máxima (E_{Tm}) da cultura, que pode ser quantificada para cada subperíodo de desenvolvimento. Desta maneira, a produtividade potencial de uma cultura pode ser explicada pela relação $E_{Tr} E_{Tm}^{-1}$ (JENSEN, 1968; NIED et al. 2005). A partir dos valores médios diários de E_{Tm} e E_{Tr} para o girassol (Figura 6), pode-se verificar variabilidade de ocorrência de deficiência hídrica entre as datas de semeadura.

Considerando as 14 datas de semeadura, observa-se que a E_{Tm} sempre foi superior a E_{Tr} , evidenciado, na média de todos os anos deficiência hídrica em todas as datas de semeadura (Figura 6F). Observa-se que a demanda hídrica da cultura aumenta até o início do enchimento de grãos e, então, diminui até a maturação fisiológica. Entre as datas de semeadura em geral a E_{Tm} aumentou para cultivos semeados até 16 de novembro (Figura 6F). Entre os subperíodos ocorre um maior incremento da demanda hídrica até o subperíodo compreendido entre o início da antese e o início do enchimento de aquênios (Figura 6D). Nesse subperíodo, a E_{Tm} é máxima, devido ao maior índice de área foliar (IAF), principalmente pelo coeficiente de cultura (K_c) ser uma função direta do IAF. Portanto, ao longo do crescimento e desenvolvimento da cultura, geralmente a maior exigência hídrica coincide com o subperíodo crítico (R5.1 – R6), em que a deficiência hídrica mais afeta a produtividade (DOOREMBOS; KASSAM, 1979). A diferença entre E_{Tm} e E_{Tr} é maior nos três últimos subperíodos (Figura 6C, 6D e 6E), ou seja, a partir do início do período reprodutivo do girassol (aparecimento do botão visível), em decorrência da exigência por água da cultura ser maior nesse período.

O aumento da ETm média com o decorrer das datas de semeadura é verificado até a data de 16 de novembro ($3,73 \text{ mm dia}^{-1}$) e diminui até a data de semeadura de 16 de fevereiro ($1,66 \text{ mm dia}^{-1}$). O aumento da ETm até a data de semeadura de 16 de novembro pode ser explicado pelo aumento da demanda atmosférica associada ao elevado IAF, pois quanto mais próximo do solstício de verão maior é a disponibilidade de radiação solar. A ETr apresenta essa mesma tendência, porém não na mesma magnitude da ETm, pois a precipitação pluvial não apresenta a mesma tendência da demanda atmosférica, haja visto que a precipitação pluvial média varia pouco entre os meses do ano (BURIOL et al., 2006), enquanto que a demanda atmosférica é maior nos meses mais quentes do ano (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Estes resultados apresentam tendência similar com o decorrer das datas de semeadura aos resultados apresentados por Nied (2003) para a cultura do milho e de Silva (2005) para a cultura do feijoeiro. Para a cultura do milho, a ETm variou de 2,7 a $3,5 \text{ mm dia}^{-1}$ nas diferentes datas de semeadura, enquanto que para o feijoeiro esses valores foram menores devido a necessidade de água da cultura do feijoeiro ser menor.

Conforme Heldwein, Buriol e Streck (2009), em Santa Maria na média da série histórica (1912 – 2004) os meses com maior evapotranspiração de referência são dezembro e janeiro. Essa maior evapotranspiração potencial está associada a períodos com precipitação pluvial levemente menor, mas de maior intensidade e maior variabilidade espacial (BERLATO, 1992; BURIOL et al., 2006). Esse período do ano também coincide com o período em que a planta de girassol apresenta maior índice de área foliar, que é o estágio de florescimento, e assim, as diferenças de ETm e ETr serão maiores, evidenciando deficiências hídricas mais acentuadas.

A precipitação pluvial normal para o Rio Grande do Sul é uniformemente distribuída ao longo do ano (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). O problema é a sua variabilidade nos diferentes anos e quando esta ocorre somente em uma parte do período mensal (NIED et al., 2005; SILVA et al., 2005). Isso ocorre pois a precipitação pluvial é mais irregular nos meses de verão, geralmente de grande variabilidade espacial e de alta intensidade, ocasionando perdas por escoamento superficial e não representando, assim, acréscimo de água no solo correspondente a precipitação pluvial. Disso resulta que para todas as datas de semeadura analisadas há pelo menos alguns dias com importante deficiência hídrica.

A análise da variância da variável deficiência hídrica revelou que a interação dupla solo x DS não foi estatisticamente significativa, visto que os efeitos simples solo e DS, foram estatisticamente significativos a 1% de probabilidade de erro, para todos os subperíodos analisados, incluindo o ciclo do girassol (Apêndice E).

As diferentes datas de semeadura apresentam condições meteorológicas distintas para as simulações do ciclo de desenvolvimento do girassol. Dessa forma, houve diferença na deficiência hídrica entre as datas de semeadura para todos os subperíodos analisados (Tabela 11).

Tabela 11 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) nos subperíodos compreendidos entre as datas de semeadura (DS) para os subperíodos semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9). Simulação para 14 datas de semeadura em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

DS	Subperíodo					S-R9
	S-E	E-R1	R1-R5.1	R5.1-R6	R6-R9	
01/08	0,85 e*	7,59 f	17,38 g	12,52 e	44,02 c	82,33 e
16/08	4,09 c	10,51 e	19,95 f	17,67 c	48,80 b	101,03 d
01/09	4,60 c	11,97 e	27,00 e	20,76 b	51,22 a	115,54 c
16/09	4,57 c	14,67 d	34,80 c	20,52 b	53,60 a	128,17 b
01/10	5,35 b	20,65 c	37,49 b	23,10 a	50,78 a	137,39 a
16/10	6,18 b	25,40 b	40,35 a	22,69 a	48,26 b	142,88 a
01/11	6,10 b	32,02 a	39,73 a	20,53 b	42,72 c	141,11 a
16/11	7,74 a	34,60 a	36,75 b	18,59 c	35,88 d	133,57 b
01/12	7,52 a	32,96 a	31,64 d	15,40 d	31,56 e	119,10 c
16/12	7,69 a	31,31 a	25,26 e	13,00 e	28,05 e	105,30 d
01/01	7,44 a	25,44 b	21,36 f	11,57 f	24,35 f	90,14 e
16/01	5,75 b	19,89 c	19,50 f	10,66 f	17,16 g	72,95 f
01/02	4,13 c	18,00 c	16,32 g	6,90 g	9,46 h	54,81 g
16/02	3,44 d	15,84 d	10,46 h	4,03 h	4,65 i	38,41 h

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

No subperíodo S – E observa-se que a deficiência foi maior na data de semeadura de 16/11, não diferindo estatisticamente das datas de semeadura de 01/12 a 01/01 (Tabela 11), possivelmente não sendo atendida a necessidade inicial de 0,5 a 0,7 mm dia⁻¹ (CASTRO; FARIAS, 2005) para essas datas de semeadura. Nessas datas de semeadura deve-se ter maior

cuidado em cultivos não irrigados, pois é provável que ocorram problemas de estabelecimento da cultura. O não atendimento às necessidades leva à redução, atrasos e desuniformidade na emergência das plântulas (UNGARO et al., 2009). Mesmo que em condições de baixa população, as plantas de girassol têm capacidade de compensar os espaços, expandindo o sistema radicular e aumentando a área foliar (SADRAS et al., 1989), segundo Merrien e Milan (1992), sob estandes desuniformes há reduções na produção de até 43%. A data de semeadura de 01/08 apresenta a menor deficiência nesse subperíodo indicando que na maioria dos anos dificilmente se observa problemas de emergência e estabelecimento do girassol nessa data.

No subperíodo E – R1 a deficiência hídrica foi maior para a data de semeadura de 16/11 não diferindo significativamente das datas de semeadura de 01/11, 01/12 e 16/12 (Tabela 11). A menor deficiência hídrica foi observada para a data de 01/08, similar ao obtido para a análise do subperíodo S-E. No subperíodo E - R1 anterior a formação dos capítulos o girassol é considerado mais tolerante ao déficit hídrico (AGUIRREZÁBAL et. al. 2001b; CASTRO; FARIAS, 2005; THOMAZ, 2008). O girassol apresenta alguns mecanismos de adaptação, como a redução na abertura dos estômatos, diminuição da taxa de expansão das folhas e, em menor escala, do número de folhas, reduzindo assim a superfície de transpiração (AGUIRREZÁBAL et. al. 2001b; CASADEBAIG et al., 2008). Desta maneira, deve-se dar uma atenção maior para os subperíodos reprodutivos do girassol para fins de escolha da data de semeadura.

Considerando o subperíodo R1 – R5.1, a maior deficiência hídrica foi verificada para cultivos semeados na data de 01/10, não diferindo significativamente da DS de 16/10. A DS com menor deficiência hídrica para esse subperíodo foi a de 16/02. A menor deficiência hídrica para os cultivos com semeaduras mais tardias, 16/02 coincide esse subperíodo com o outono, em que a demanda atmosférica está diminuindo.

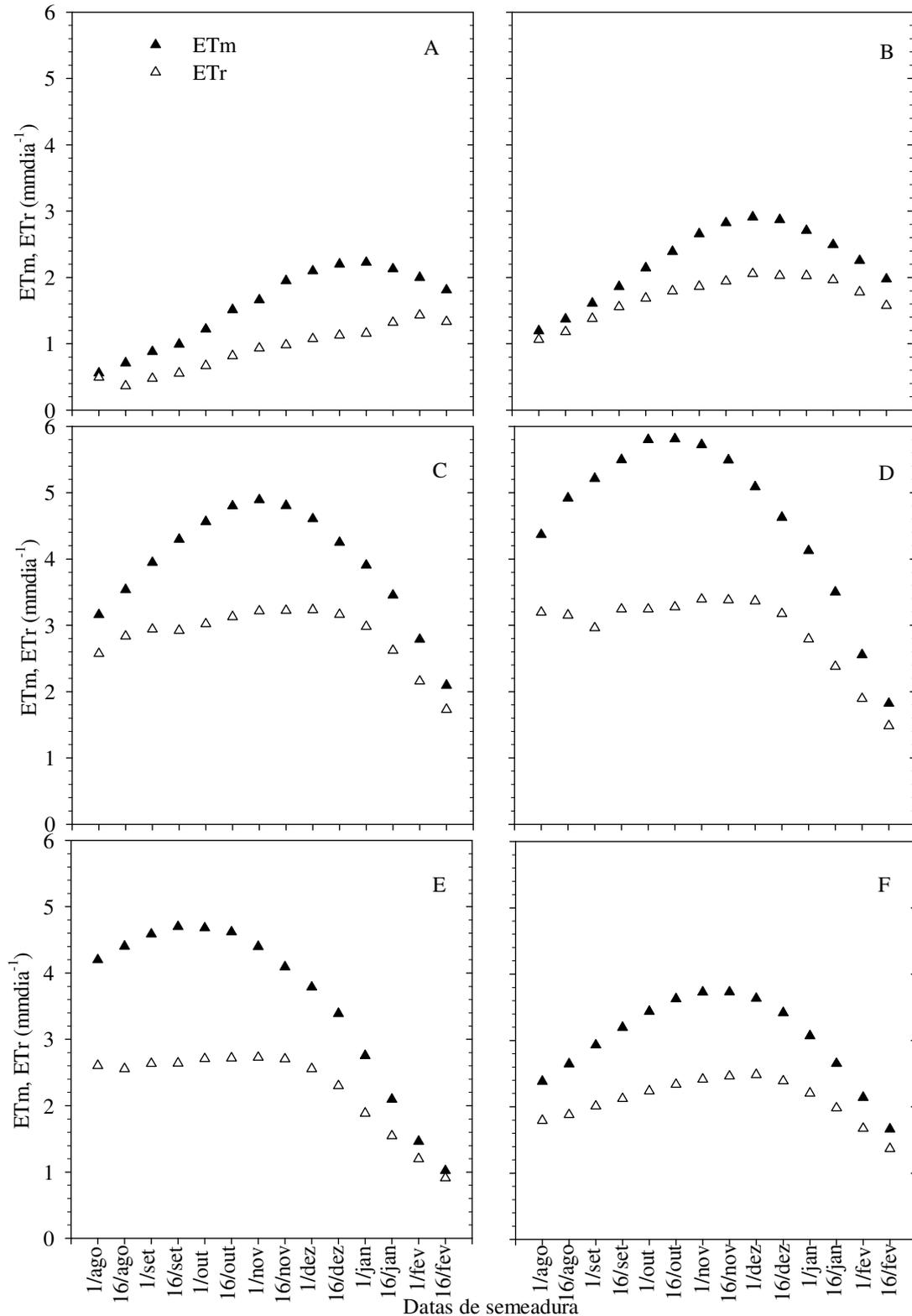


Figura 6 – Médias diárias de evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real (ETr) que ocorreram durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração, (E) final da floração - maturação fisiológica e (F) semeadura – maturação fisiológica para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

As maiores deficiências hídricas no subperíodo R5.1-R6 ocorrem quando a semeadura foi simulada para as datas de 01/10 e 16 /10. Como esse é o subperíodo mais crítico para a deficiência hídrica no girassol, deve-se ter maior atenção na escolha da DS, de modo que esse subperíodo não coincida com as maiores deficiências hídricas para a região de Santa Maria. A falta de água compromete a expansão das células, de modo que a expulsão das anteras, a deiscência do pólen e a extensão dos estigmas, bem como sua receptividade não fiquem todos comprometidos (UNGARO et al., 2009). Assim, comparando com os subperíodos anteriores, verifica-se que para esse subperíodo deve-se ter um maior cuidado nas semeaduras realizadas em agosto e setembro, pois as perdas de produtividade nessas DS podem ser maiores. Isso foi observado também por Nied et al. (2005) e Silva et al. (2006) para a cultura do milho e do feijoeiro, respectivamente, na região central do RS com a semeadura de outubro apresentando as maiores deficiências hídricas para o subperíodo mais crítico.

As datas de semeadura de 01/09 a 01/10 foram as com maior deficiência hídrica para o subperíodo R6 – R9. Uma deficiência hídrica nesse subperíodo afeta mais o teor de óleo dos aquênios do que a produtividade (DOOREMBOS; KASSAM, 1979). Nesse subperíodo são as semeaduras realizadas em setembro que geralmente resultam em um maior problema com relação à deficiência hídrica, como verificado por Guse (2009) para a cultura do girassol em Santa Maria, em que a data de semeadura de setembro apresentou a maior redução na produtividade em função de uma deficiência hídrica ocorrida no subperíodo R6 – R9. Novamente a data de semeadura de 16/02 apresentou a menor deficiência hídrica, pelas mesmas razões observadas nos subperíodos R1 – R5.1 e R5.1 – R6.

A deficiência hídrica acumulada no ciclo do girassol (S-R9) foi maior para a data de semeadura de 16/10 (142,9 mm), a qual não diferiu significativamente dos valores observados das DS de 01/10 e 01/11 (Tabela 11). O girassol é cultivado durante o período de primavera – verão, período em que no Rio Grande do Sul geralmente ocorre deficiência hídrica. Isso ocorre devido à demanda atmosférica por vapor de água ser alta nesse período (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009), em função da maior energia disponível para o aquecimento do ar e do alto déficit de saturação do ar (TRENTIN, 2009). Quando essas condições ambientais coincidem com os subperíodos em que as plantas necessitam de mais água, ocorre deficiência hídrica maior, caso não haja precipitação pluvial suficiente para atender as necessidades hídricas para a ETm. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Silva et al. (2006) para a cultura do feijoeiro, em que a maior deficiência hídrica ocorre nas datas de semeadura de 1 e 15 de novembro. Por outro lado, Nied et al. (2005) verificaram que as datas de semeadura de outubro e novembro são as que expõe a cultura do milho às maiores deficiências hídricas e há

um maior risco de elas se repetirem. Analisando os resultados obtidos neste trabalho em relação aos obtidos para a cultura do feijoeiro e do milho, observa-se que as datas de semeadura de outubro e novembro na região central do Rio Grande do Sul são as que apresentam os maiores riscos de deficiência hídrica acumulada no ciclo para as diferentes culturas.

A menor deficiência hídrica acumulada no ciclo do girassol foi de 38,4 mm determinada para a data de semeadura de 16/02 (Tabela 11), embora deva ser considerado que o ciclo do girassol é mais longo nessa DS. Isso pode ser explicado pelo ciclo das plantas a partir de fevereiro ocorrer no fim do verão e início do outono, quando a demanda evaporativa da atmosfera está em diminuindo. Com isso, não ocorre coincidência entre os períodos de maior exigência hídrica da planta com a maior demanda atmosférica. Silva et al. (2006) e Nied et al. (2005) também observaram menores valores de deficiência hídrica acumulada para as datas de semeadura de fevereiro. Nied et al. (2005) alertou para o fato de que semeaduras de milho a partir de 15 de janeiro devem visar mais a produção de fitomassa para a alimentação animal, pois em muitos anos a soma térmica é insuficiente para o milho atingir a maturação fisiológica. No caso do girassol, deve-se ter em mente que nas semeaduras a partir de 1º de fevereiro o girassol apresenta um ciclo mais longo, principalmente o subperíodo R6-R9, o que poderia comprometer a colheita dos aquênios devido a vários fatores relacionados à menor disponibilidade de radiação solar, maior umidade relativa do ar, maior período de molhamento foliar e maior tempo de secagem dos capítulos e dos aquênios para alcançar o ponto de colheita.

A deficiência hídrica acumulada variou entre os grupos de solos (Tabela 12), apresentando em geral menores valores para os solos Vacacaí e Santa Maria. Os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos apresentaram os maiores valores de deficiência hídrica. Os demais solos pertencentes as unidades de mapeamento Oásis, São Gabriel, Alto das Canas, Cambai, São Pedro, Venda Grande e Cerrito, apresentaram valores intermediários de deficiência hídrica acumulada para o ciclo do girassol na região estudada.

Para o subperíodo S – E deve-se ter maior atenção para os solos Alto das Canas, Cambaí, Charrua, Ciríaco, Guassupi, Júlio de Castilhos, Oásis e São Gabriel com relação ao momento da semeadura, pois apresentam as maiores deficiências hídricas nesse subperíodo. Para os demais subperíodos observa-se a mesma tendência em que os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos apresentam a maior deficiência hídrica e o solo Vacacaí a menor deficiência hídrica (Tabela 12).

Tabela 12 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) nos subperíodos compreendidos entre a semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os diferentes solos simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Grupos de solo	Subperíodo					
	S-E	E-R1	R1-R5.1	R5.1-R6	R6-R9	S-R9
Alcampi	5,94*a	21,46 c	26,86 b	15,91 b	37,08 b	107,24 b
Oagabri	5,60 a	21,12 c	26,96 b	15,95 b	37,12 b	106,77 b
Chaci	5,45 a	26,32 a	34,87 a	19,31 a	41,63 a	127,59 a
Savence	5,25 b	23,10 b	28,67 b	16,05 b	34,70 c	107,78 b
Vacacai	5,14 b	17,67 d	20,91 d	12,40 d	28,66 d	84,77 d
Santama	4,97 b	19,26 d	23,72 c	13,79 c	31,02 d	92,73 c

*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).

A diferença de deficiência hídrica para cada grupo de solos mostra que nos solos com menor CAD, como o grupo Chaci, a deficiência hídrica é maior, pois o conteúdo de água armazenado é menor nesses solos devido ao impedimento físico e/ou químico ao aprofundamento radicular ou ainda a baixa taxa de infiltração de água no solo, como visto na Tabela 6 com os valores das CN. (CARDOSO, 2005). Nos solos com maior CAD, como o grupo Santama e Vacacai, a deficiência hídrica é menor, devido a serem solos mais profundos e o conteúdo de água armazenado nesses solos ser maior. Para fins de irrigação, Trentin (2009) e Silva et al. (2011) estudaram o mesmo grupo de solos para as culturas do milho e do feijoeiro, respectivamente, e verificaram a mesma tendência, sendo que a lâmina total de irrigação foi semelhante entre os grupos de solos. A maior variação entre os grupos de solos foi no número de irrigações, mostrando que a diferença foi na lâmina de irrigação requerida em cada aplicação. Os autores associam isso à CAD dos solos, pois a irrigação deve ser mais frequente. Porém a quantidade de água necessária para completar o ARM é menor quando a CAD é baixa. Nos solos com maior CAD a irrigação é menos frequente, mas o volume necessário para repor o conteúdo de água até completar a CAD é maior para cada irrigação, razão pela qual a lâmina total de água foi semelhante nos dois casos, diferenciando somente o número de irrigações.

4.3 Deficiência hídrica nos subperíodos e no ciclo do girassol: Análise de distribuição de probabilidade

Nas datas de semeadura analisadas foi possível ajustar pelo menos uma das cinco fdp testadas para a variável deficiência hídrica. Para os cinco subperíodos foram ajustadas 414 fdp e para o ciclo 80 fdp (Tabela 13). Para a deficiência hídrica nos subperíodos, a função weibull foi predominante com 41,8% dos ajustes, seguida da função lognormal (24,6%), gama (15,2%), exponencial (14%) e normal (4,4%). Para descrever a distribuição dos dados de deficiência hídrica no ciclo do girassol, a função com melhor ajuste foi a lognormal, com 46,3% dos ajustes, seguida da gama, com pelo menos 37,5%, weibull com 12,5% e normal com 3,7%. Esses resultados concordam com os obtidos por Silva et al. (2008), que observaram para dados de obtidos a partir de balanço hídrico mensal, um melhor ajuste das funções lognormal e exponencial e, para dados decendiais, melhor ajuste das funções lognormal, exponencial e gama.

Para dados de deficiência hídrica diária da cultura do feijoeiro Silva et al. (2006) verificaram melhor ajuste das funções gama, lognormal e exponencial. Comparando os parâmetros para as funções gama e lognormal nos subperíodos, observou-se valores maiores do que os obtidos por Silva (2005) para a cultura do feijoeiro (Apêndice F). Isso pode ser explicado pela maior necessidade hídrica da cultura do girassol durante os subperíodos de desenvolvimento do que o feijoeiro. Constatação semelhante foi obtida por Trentin (2009) com a cultura do milho, na comparação dos parâmetros da função gama para as variáveis lâmina de irrigação e número de irrigações, com aqueles obtidos por Silva (2008) para a cultura do feijoeiro, em que, para a cultura do milho, os parâmetros da função são maiores do que para a cultura do feijoeiro. Silva (2008) atribuiu essa diferença para a maior necessidade hídrica da cultura do milho. Para dados de precipitação pluvial em Santa Maria, RS, Silva et al. (2007a) obtiveram melhor ajuste para as funções gama e weibull e verificaram que o parâmetro forma, de modo geral, é menor nos meses com menor precipitação pluvial e maior nos meses com maior precipitação pluvial.

Tabela 13 – Frequência de casos com ajuste estatisticamente significativos das funções de distribuição de probabilidades (fdp) gama, lognormal, normal, weibull e exponencial para a variável deficiência hídrica nos subperíodos e no ciclo, simulados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Fdp	% Frequência (Déficit nos Subperíodos)	% Frequência (Déficit Ciclo)
gama	15,2	37,5
Lognormal	24,6	46,3
Normal	4,4	3,7
Weibull	41,8	12,5
Exponencial	14	SA
Total*	414	80

*Total de fdp ajustadas. SA = Sem ajustes.

Com as fdp selecionadas, calculou-se a probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de deficiência hídrica para os subperíodos e o ciclo de desenvolvimento da cultura do girassol.

As probabilidades de ocorrência de diferentes níveis de déficit hídrico para os cinco subperíodos e o ciclo do girassol considerando os diferentes tipos de solo, calculadas com as fdp selecionadas, são apresentadas nas Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Considerando o grupo dos solos das unidades de mapeamento Savence, verifica-se variação da probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm, durante os diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol quando comparadas as diferentes DS (Figura 7).

Para o subperíodo inicial, da semente até a emergência (Figura 7A.), a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica de até 5 mm e 10 mm é variável conforme as DS. Há uma tendência de aumento da probabilidade até a DS de 16/11. Após, verifica-se que a mesma diminui. As DS de maior risco de ocorrência de deficiência hídrica durante a germinação e emergência são as datas de 16/11 a 01/01. As deficiências hídricas maiores que 50 mm e 40 mm tem probabilidade praticamente nula e para uma deficiência hídrica de 20 mm não há risco maior do que 4% dos anos (Figura 7A). Apenas níveis de deficiência hídrica

menores, de 10 mm e, principalmente de 5 mm apresentam riscos a serem considerados. Esses resultados são decorrentes principalmente do fato de que no subperíodo S-E não há transpiração, mas apenas evaporação e, portanto, o Kc e, conseqüentemente, a Etm, estimados são pequenos. Assim, pode-se inferir que uma deficiência hídrica de 10 mm, por exemplo, num período curto (de apenas 6 a 9 dias), pode ser um problema para obter uma uniforme e elevada percentagem de emergência de plantas. Para as semeaduras de meados de novembro até início de janeiro o risco disso ocorrer nesse subperíodo é de 23 a 28% dos anos (um em cada quatro anos).

Durante o subperíodo da emergência-botão visível (E-R1), subperíodo vegetativo anterior à formação do capítulo do girassol, a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica acumulada de até 10 e 20 mm aumenta com o decorrer das DS até a data de 16/11 (Figura 7B), alcançando valores de alto risco, de aproximadamente 99% e 84% dos anos, respectivamente. Após essa data o risco decresce acentuadamente para níveis de déficit hídrico de 20 mm, alcançando 44% dos anos para as semeaduras de meados de janeiro. Deficiências hídricas acumuladas superiores a 40 e 50 mm tem probabilidade nula para as primeiras três DS, alcançam um valor máximo entre meados de novembro e início de dezembro, decrescendo após até a DS de 16/02, quando novamente alcança valores próximos de zero. A probabilidade de ocorrerem deficiências hídricas maiores do que 5 mm no subperíodo E-R1 é próxima de 100% para todas as DS.

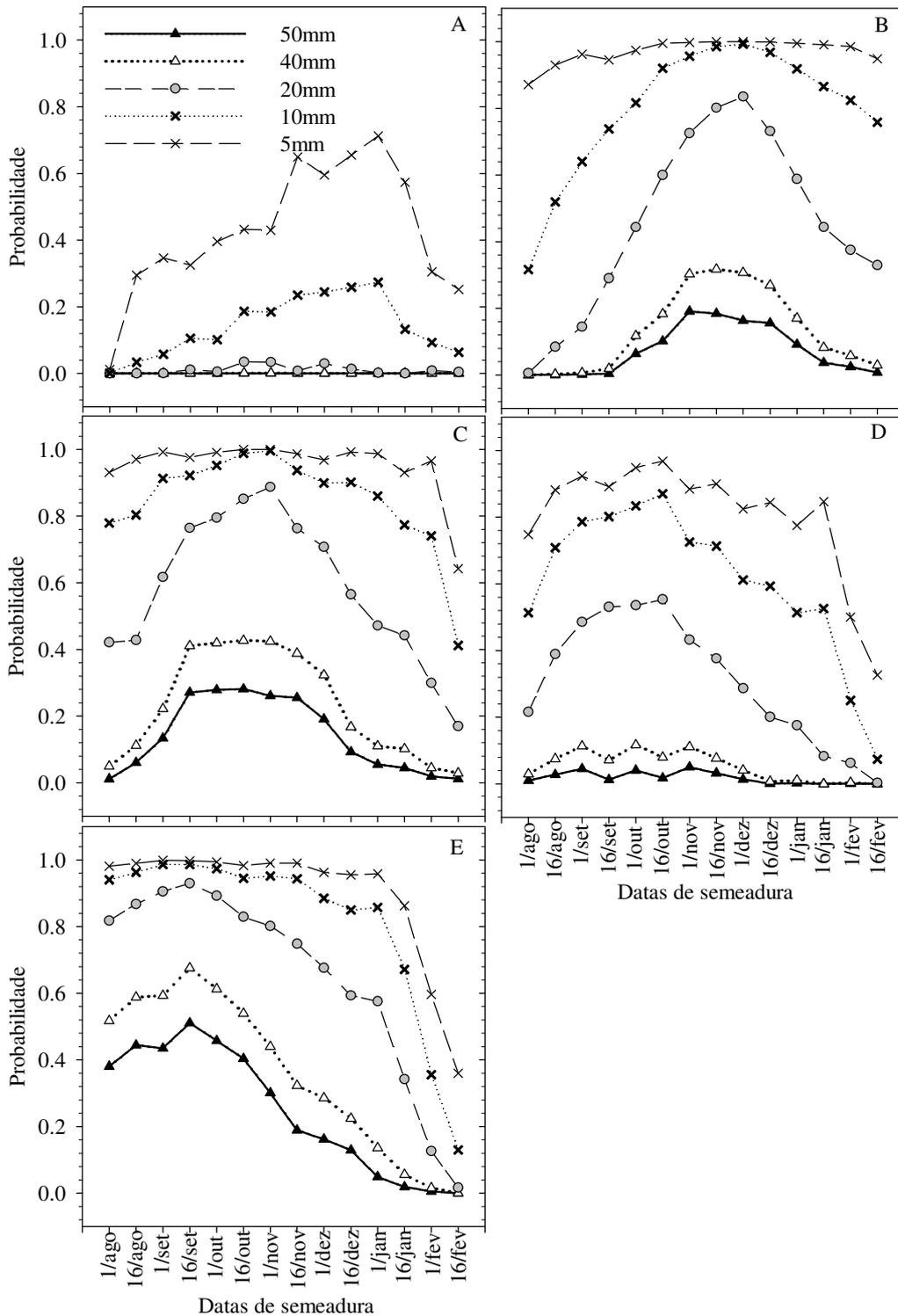


Figura 7 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol para o grupo dos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início até o final da antese (E) final da antese - maturação fisiológica para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Segundo Aguirrezábal et al. (2001b), o girassol apresenta redução na abertura dos estômatos, diminuição da taxa de expansão das folhas e, em menor escala, do número de folhas, como mecanismos de adaptação ao déficit hídrico no período vegetativo, reduzindo assim a superfície de transpiração. Em trabalho realizado no Paraná com diferentes datas de semeadura (julho a fevereiro), Thomaz (2008) observou que a produtividade de aquênios e componentes de rendimento do girassol apresentaram baixa correlação com a precipitação pluvial ocorrida nesse subperíodo, indicando uma maior tolerância à deficiência hídrica nesse subperíodo de desenvolvimento. Além disso, a alta probabilidade de ocorrer deficiência hídrica permite inferir que os excessos hídricos sejam menos prováveis, o que para o girassol pode ser um fator positivamente correlacionado com a produção (SCHACH et al., 2011), visto que existe a tendência de menor incidência de doenças (BORTOLUZZI et al., 2011).

Dessa maneira, pode-se afirmar que para fins de recomendação das datas de semeadura com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica para o girassol, esse subperíodo pode ser considerado como o de menor restrição a essa cultura. Portanto, caso o girassol apresente bom estabelecimento, pode-se semear o essa cultura em datas com maior probabilidade de ocorrer deficiência hídrica nesse subperíodo, desde que nos próximos subperíodos (fase reprodutiva) o risco de deficiência hídrica seja pequeno.

No início do período reprodutivo, que compreende o subperíodo de R1-R5.1, observa-se a mesma tendência verificada para o subperíodo vegetativo (E-R1), sendo a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica crescente até a DS de 01/11, principalmente para o nível de 20 mm (88% dos anos) e após esta decrescendo até a DS de 16/02 (Figura 7C). Para deficiências de 5 mm a probabilidade é maior ou igual a 90%, exceto para a semeadura em 16/02. Deficiência hídrica de 10 mm também tem alto risco de ocorrer, sendo maior ou igual a 90% dos anos para as semeaduras de início de setembro a meados de dezembro, de 74 a 80% dos anos para as datas de semeadura de agosto e de meados de janeiro a início de fevereiro. No entanto, não se espera redução significativa de produção do girassol sob déficit hídrico pequeno de até 10 mm nesse subperíodo (SCHACH et al., 2011), pois apresenta certa tolerância a estiagens leves (CASTRO; FARIAS, 2005). Porém déficits maiores nesse subperíodo são prejudiciais o suficiente para reduzir significativamente a produção (DOOREMBOS; KASSAM, 1979). Doorembos e Kassam (1979) afirmam que nesse subperíodo a adequada disponibilidade de água é necessária para o bom desenvolvimento e crescimento do capítulo e que o subperíodo seguinte, que abrange a antese é o de maior sensibilidade do girassol ao suprimento hídrico insuficiente. Barni et al. (1996), ao utilizarem modelos preditivos de redução da produtividade em função de períodos de deficiência hídrica,

verificaram que a disponibilidade hídrica no subperíodo R1-R6 é determinante para a produtividade final e que modelos que incluem outros subperíodos não apresentaram bom ajuste.

Assim, deve-se evitar DS com maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica no subperíodo R1–R5.1, devido à sua importância na área foliar final. Ao considerar os dados experimentais de campo obtidos por Maldaner (2009) e Lucas (2011), observa-se que mais de 50% da área foliar do girassol é acrescida nesse subperíodo. Dessa forma, caso ocorra deficiência hídrica, as primeiras estratégias da planta, para a minimização de perda de água é o fechamento dos estômatos seguida de redução na expansão foliar (CASADEBAIG; DEBAEKE; LECOEUR, 2008), resultando em uma menor área foliar para interceptar radiação solar para o enchimento de aquênios. Arguirrezabal et al. (2003) afirma que a manutenção da fotossíntese após a antese é fundamental para que o girassol apresente elevado teor de óleo nos aquênios e maior peso de aquênios, sendo estes influenciados diretamente pela radiação interceptada durante o enchimento dos aquênios e pela disponibilidade de água no solo. Ao analisar as probabilidades de ocorrência de deficiências hídricas de 20 mm e principalmente de 40 e 50 mm (Figura 7c), verifica-se que as datas de semeadura de meados de setembro a meados de dezembro são as mais críticas no subperíodo R1- R5.1 (início da antese), esperando-se redução de produção em pelo menos 40% dos anos.

No subperíodo de início da antese até o final da antese (R5.1-R6), considerado o subperíodo mais crítico do girassol com relação a deficiência hídrica (DOOREMBOS; KASSAM, 1979; ERDEM; DELIBAS, 2003), a probabilidade de ocorrer uma deficiência de 5, 10 e 20 mm aumenta até a DS de 16/10, decrescendo nas demais. Para deficiências hídricas mais intensas e danosas de até 40 e 50 mm é menor que 12% e 5%, respectivamente, para a maioria das DS, sendo próxima de zero para semeaduras a partir de 16/12. Isso pode ser explicado pelo fato de que esse subperíodo tem duração de aproximadamente 10 dias, desse modo, deficiências de até 20 mm devem ser consideradas elevadas.

Castro et al. (1996) consideraram este subperíodo como sendo o mais crítico para déficit hídrico no girassol. Segundo os autores, esse período mais crítico do girassol se estende de 10 a 15 dias antes do início da antese até 10 a 15 dias após o seu final. Restrições hídricas, durante este subperíodo, afetam os processos de fertilização e início de desenvolvimento dos grãos, tendo, como consequência, capítulos de diâmetro reduzido e com elevada percentagem de aquênios estéreis no centro dos mesmos (UNGARO et al., 2009). Portanto, em caso de irrigação complementar no girassol, esta deve ser programada priorizando este subperíodo. No subperíodo de florescimento – enchimento de aquênios,

Thomaz (2008) encontrou alta correlação entre a precipitação pluvial e a produtividade de aquênios da cultura do girassol, demonstrando que datas de semeadura que apresentem alto risco de deficiência hídrica devem ser evitadas durante esse subperíodo. No subperíodo de R5.1-R6 o estresse causado por deficiência hídrica resulta em maior redução na produtividade de aquênios, enquanto que, o teor de óleo nos aquênios é mais afetado se o mesmo ocorrer no subperíodo R6-R9 (DOOREMBOS; KASSAM, 1979). Nesse contexto, para o grupo dos solos das unidades de mapeamento Savence na região central do RS as datas de semeadura de início de setembro até meados de novembro deveriam ficar em segundo plano, o que deixa em segundo plano, a recomendação de Ungaro et al. (2009) para o girassol, em que as semeaduras são recomendadas de final de julho a meados de outubro.

Durante o subperíodo de enchimento de grãos à maturação fisiológica (R6 – R9), a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica de até 5, 10 e 20 mm é próxima de 100% até a DS de 16/09, decrescendo a partir de então. Para deficiências de até 40 e 50 mm a mesma tendência pode ser observada, embora maior a probabilidade seja de 70 e 48%, respectivamente. Nas demais DS entre meados de agosto e meados de outubro o risco é de 6 a 10% mais baixo e após decresce continuamente até ser praticamente nula na DS de início de fevereiro. Nesse subperíodo do ciclo de desenvolvimento do girassol é importante que não ocorram problemas com deficiência hídrica e/ou que afetem a sanidade das plantas, pois o déficit hídrico ou redução da área foliar fotossinteticamente ativa podem reduzir significativamente o teor de óleo nos aquênios (ORTA; ERDEM; ERDEM, 2002), além de antecipar a senescência das folhas e a maturação (AGUIRREZÁBAL et. al., 2001a).

No entanto, nesse subperíodo, a duração da área foliar sadia é mais determinante para a produção (MERRIEN, 1992; ARGUIRREZABAL et al., 2003; UNGARO et al., 2009) do que o efeito negativo de um pequeno à moderado déficit hídrico no solo (BARNI et al., 1996). Assim, em anos com maior probabilidade de deficiência hídrica, tal como acontece nos anos em que atuam os efeitos do fenômeno La Niña, deve ser dada preferência à semeadura em início de agosto. No entanto, em anos chuvosos, típicos da atuação do fenômeno El Niño as plantas de girassol não conseguem se estabelecer e crescer adequadamente para a formação da produção se for semeada no início do período de produção, tal como vivenciado a campo no ano agrícola de 2009/2010. Nessa safra, as semeaduras realizadas no início de agosto e início de setembro a produção foi nula, mesmo com a aplicação dos tratamentos culturais recomendados, e para o cultivo semeado em outubro se obteve produção muito baixa, devido aos frequentes excessos hídricos.

Os solos Oásis, São Gabriel (Figura 9), Alto das Canas e Cambaí (Figura 10), apresentam deficiência hídrica semelhante aos solos São Pedro, Venda Grande, Cerrito (Figura 7), nos cinco subperíodos de desenvolvimento analisados. Portanto, as interpretações e a discussão referentes aos resultados apresentados nas figuras 9 e 10 devem ser consideradas as mesmas que as efetuadas para os resultados apresentados na Figura 7.

Visando facilitar a interpretação e discussão dos resultados obtidos para os demais solos, sua análise será conduzida de forma comparativa aos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito discutidos anteriormente. Assim, os resultados obtidos em relação aos grupos de solos que apresentam, respectivamente, menor (Santa Maria e Vacacaí) e maior, (Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos) probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica foram comparados entre si. Além disso, como no subperíodo S-E a CAD é similar para todos os solos as interpretações e a discussão são as mesmas e não foram repetidas.

Na Figura 8B pode ser observado que a partir do subperíodo E-R1 os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos apresentam maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica quando comparados aos solos citados anteriormente. Para esses solos, a probabilidade de ocorrer uma deficiência hídrica maior que 20 mm no subperíodo R1 – R5.1 (Figura 8C) para as DS de 1/09 à 16/11 é superior a 80%. Se compararmos com o grupo Savence, somente as DS de 1/10, 16/10 e 1/11 possuem probabilidade superior a 80%. Para o subperíodo R5.1 – R6 (Figura 8D) verifica-se que a probabilidade de ocorrer uma deficiência hídrica maior que 20 mm, para as DS de 1/09 à 16/10 é próxima de 60%, enquanto que para o grupo Savence essa probabilidade fica em torno de 50%. Verifica-se então, que para o grupo Chaci deve-se ter um maior cuidado ao optar pelas DS de 1/09 a 16/11, pois o risco de deficiência hídrica é maior devido à menor CAD desses solos. No subperíodo R6 – R9, para uma deficiência hídrica de 40 mm no grupo Savenci, somente as DS de 16/09 e 01/10 apresentam probabilidade maior que 60% enquanto que, para o grupo Chaci as DS de 01/08 a 16/10 os riscos são superiores a 60% (Figura 8E).

Nos solos Santa Maria (Figura 11) e Vacacaí (Figura 12), por apresentarem maior CAD, foi verificada menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica quando comparados ao grupo Savence. Isso possibilita ao produtor um maior período de semeadura com menor risco de perdas por deficiência hídrica. No entanto, por ser um planossolo mal drenado, o solo Vacacaí é pouco utilizado para cultivo de girassol, embora em anos de La Niña se possa inferir maior potencialidade.

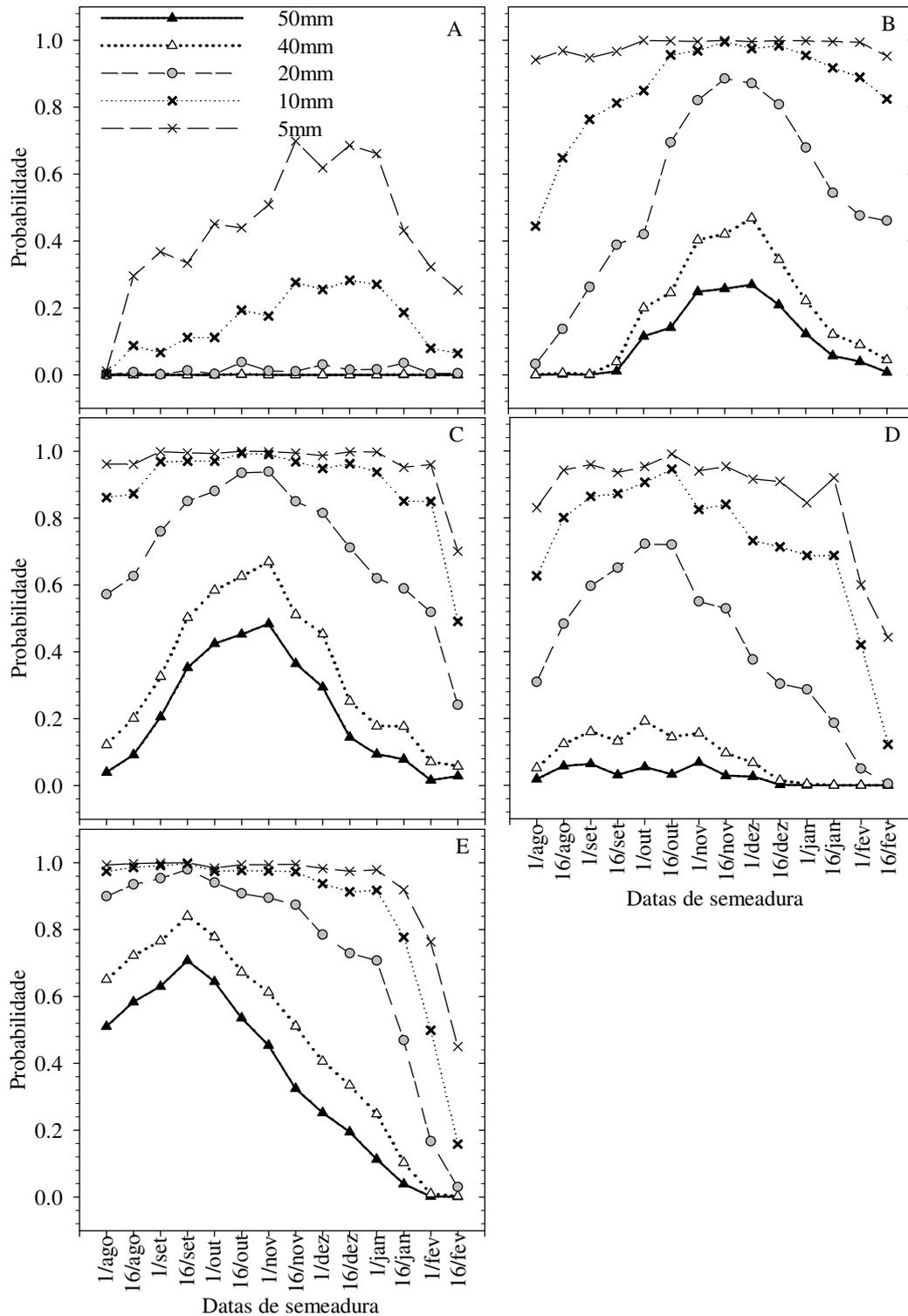


Figura 8 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica (acumulada no subperíodo), para o grupo Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

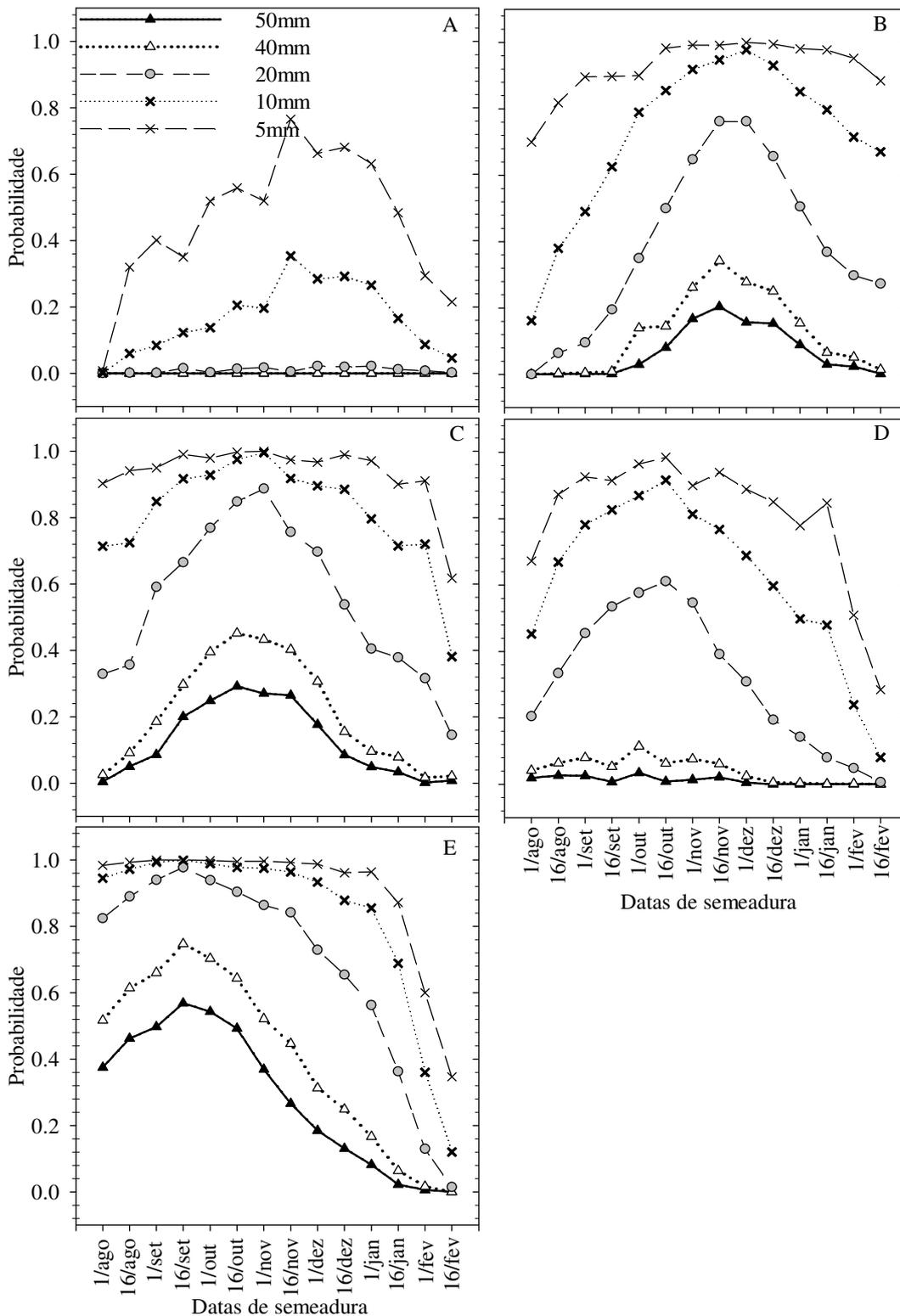


Figura 9 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o grupo dos solos Oásis e São Gabriel, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada durante os subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A.) semeadura – emergência, (B.) emergência - botão floral visível, (C.) botão floral visível - início da antese, (D.) início da antese - final da floração e (E.) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura, simuladas durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

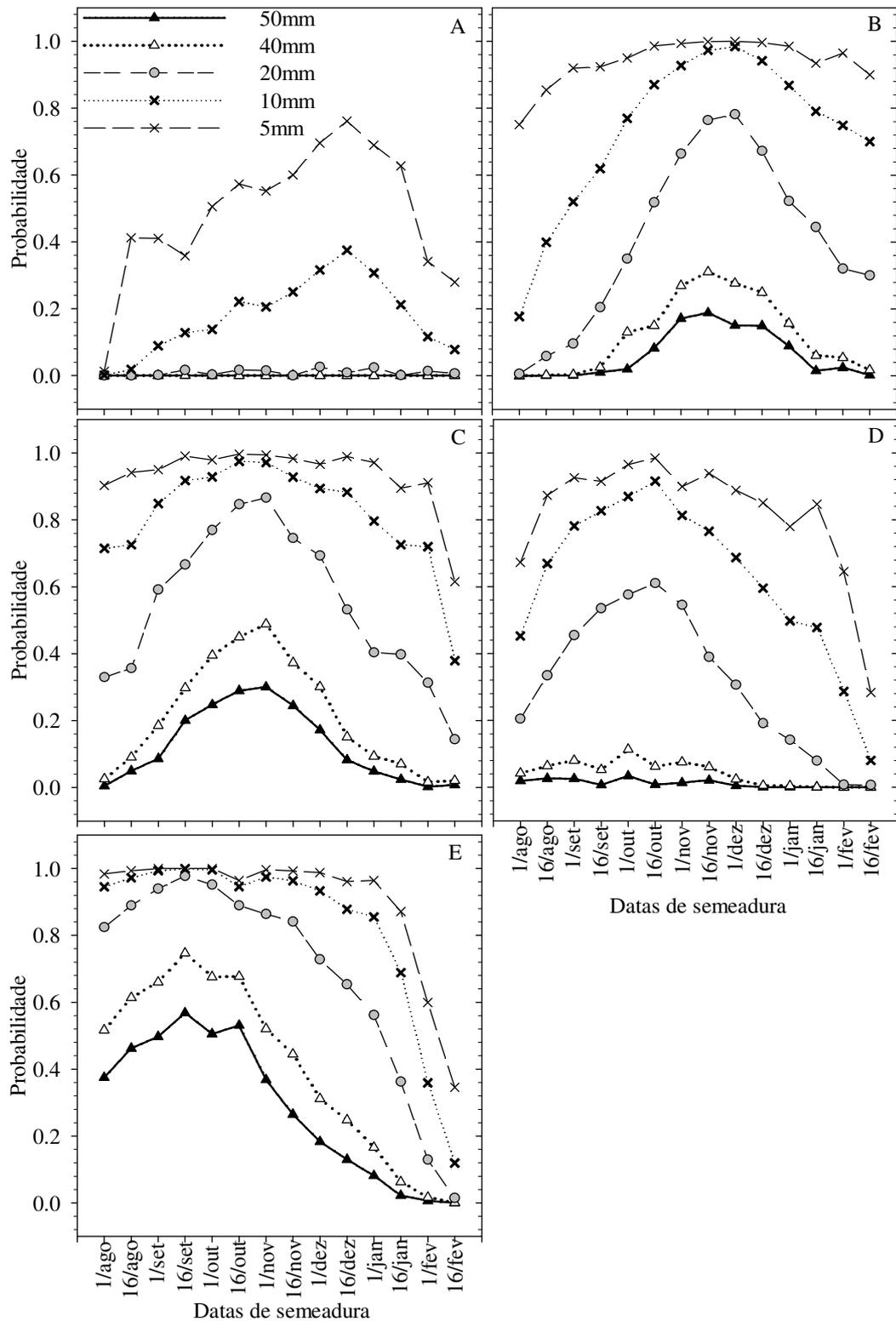


Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o grupo dos solos Alto das Canas e Cambaí, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada nos diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) sementeira – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de sementeira simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

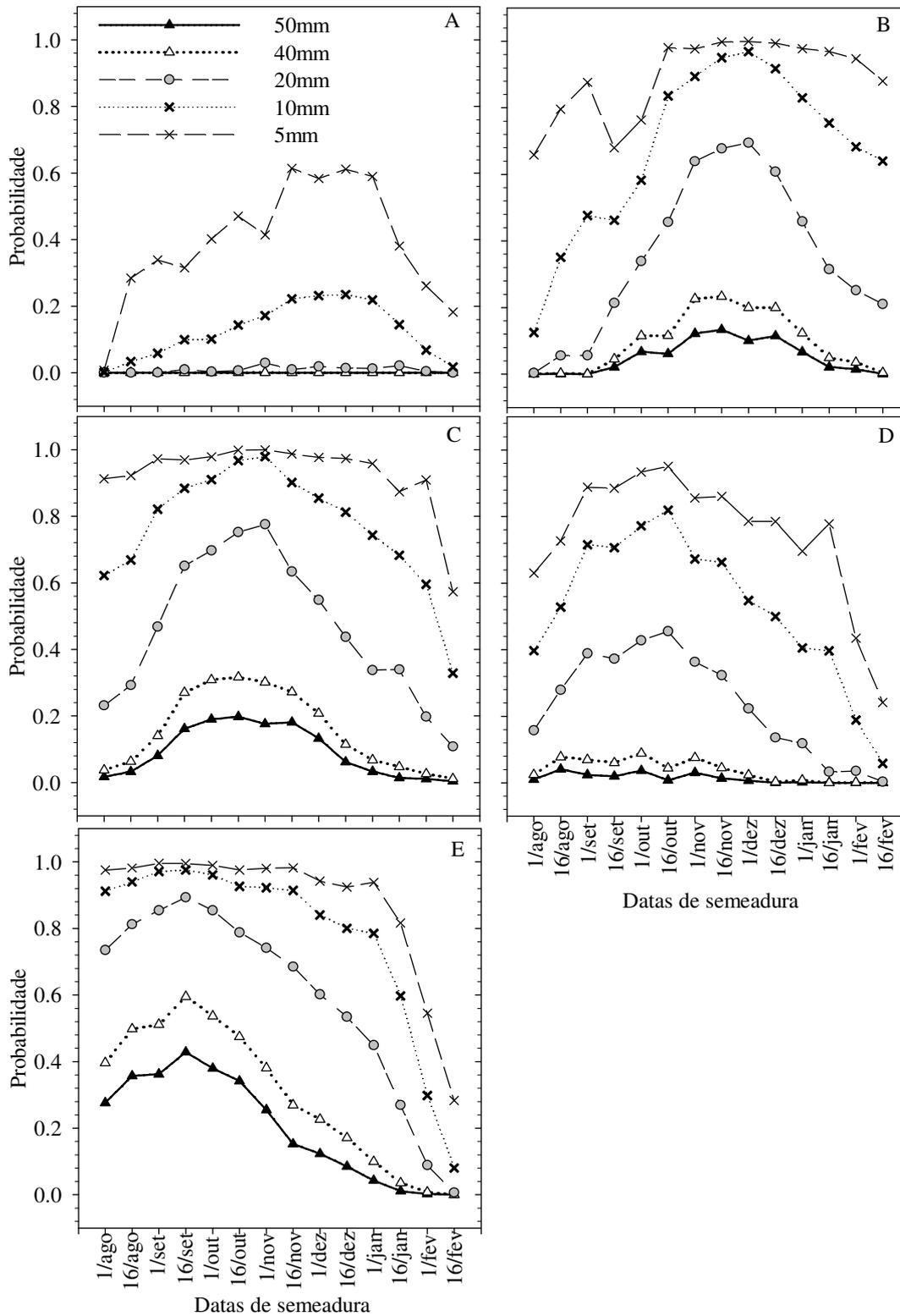


Figura 11 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, para o solo Santa Maria, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm acumulada nos subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) sementeira – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de sementeira simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

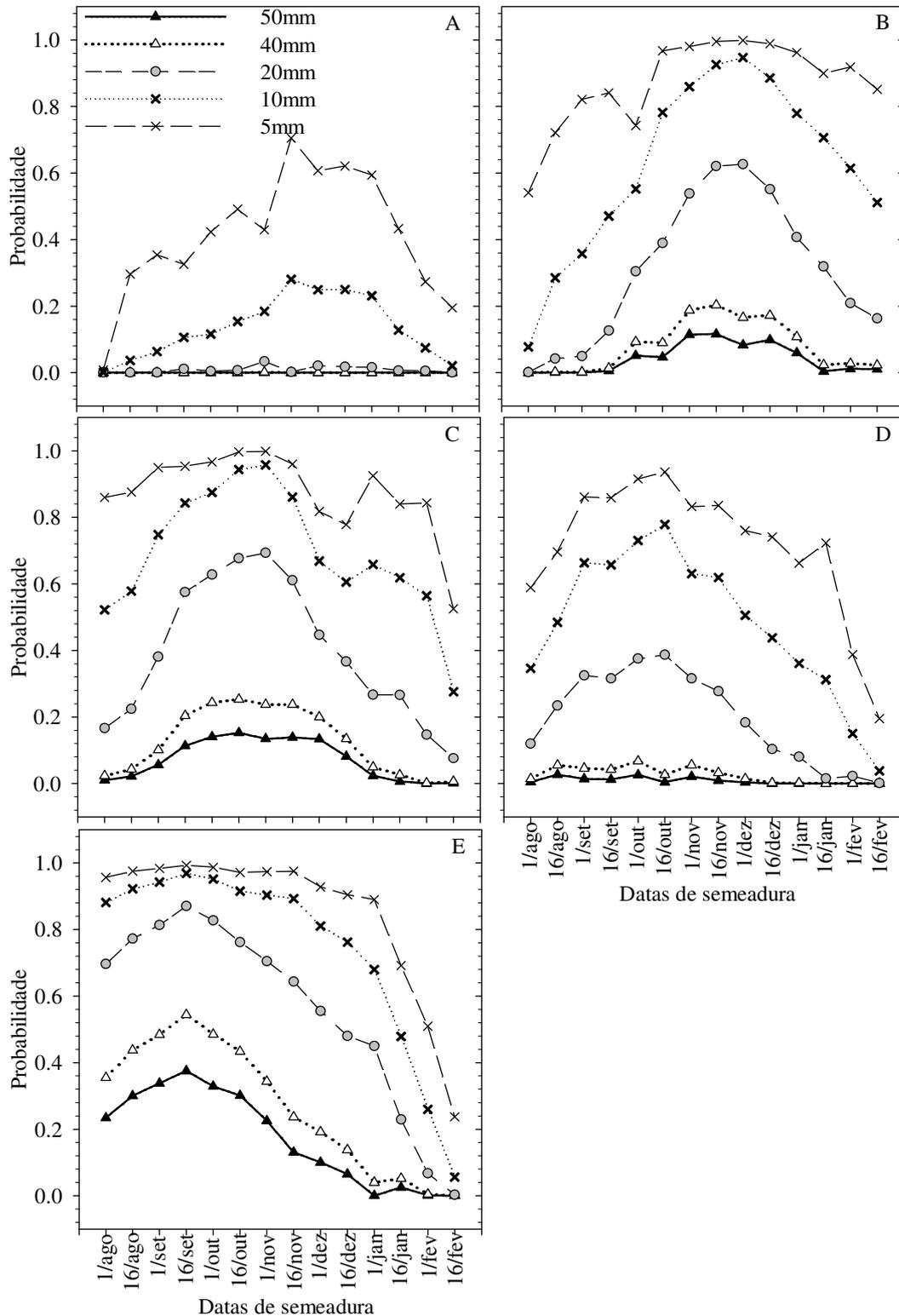


Figura 12 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica para o solo Vacacaí, maior do que 50 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm e 5 mm, acumulada nos subperíodos do ciclo de desenvolvimento do girassol: (A) semeadura – emergência, (B) emergência - botão floral visível, (C) botão floral visível - início da antese, (D) início da antese - final da floração e (E) final da floração - maturação fisiológica, para cada data de semeadura simulada durante os anos de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Na Figura 13 são apresentadas as probabilidades de ocorrer em todo o ciclo da cultura do girassol uma deficiência hídrica de até 20, 40, 50, 75 e 100 mm, considerando as diferentes DS para os variados grupos de solos da região central do Rio Grande do Sul. Observa-se que para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica principalmente nos níveis de até 75 e 100 mm, é maior que para os demais solos. Para o solo Vacacaí tem-se a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica quando comparado aos demais solos para os diferentes níveis analisados. Nos demais solos, como São Pedro, Venda Grande, Cerrito, Santa Maria, Alto das Canas Cambai, Oásis e São Gabriel a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica é intermediária e com uma pequena variação entre os grupos.

Verifica-se que as DS de 16/09 a 16/12 são as que apresentam, nos diferentes níveis, as maiores probabilidades de ocorrer uma deficiência hídrica até os níveis indicados, durante o ciclo (Figura 13).

As DS de agosto, janeiro e fevereiro, por sua vez, apresentaram as menores probabilidades. Porém, as DS realizadas a partir do início de fevereiro, em geral são mais destinadas à produção de fitomassa para alimentação de animais do que para grãos, uma vez que, em muitos anos, a soma térmica é insuficiente para a cultura completar o ciclo, o que também foi constatado por Nied et al. (2005) para a cultura do milho.

O efeito mais drástico de redução de produtividade do girassol, devido à deficiência hídrica, ocorre, no entanto, se esta coincidir com o subperíodo R5.1 – R6 (CASTRO; FARIAS, 2005). Na Figura 7D, verifica-se que a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica de até 20 mm é próxima de 60% no subperíodo R5.1 – R6, quando a cultura do girassol é semeada de setembro até início de dezembro no grupo de solos savence. Verifica-se também que de meados de dezembro a meados de janeiro ocorre uma gradativa redução da probabilidade de ocorrência dos diferentes níveis de deficiência hídrica, ressaltando-se as DS do mês de agosto e de 16 de dezembro em diante são as de menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica no subperíodo R5.1-R6.

Guse (2009) também observou em Santa Maria que a semeadura no início de setembro, em outubro e em novembro são as que proporcionam maiores reduções na produtividade potencial de aquênios de girassol. O autor explica isso pelo fato de que o déficit hídrico que ocorreu no subperíodo R6 – R9 coincidiu com o período de alta demanda atmosférica e o máximo da área foliar, explicando o porque dessas três datas de semeadura terem sido as mais críticas com relação a deficiência hídrica do girassol. Ainda que

apresentando maior redução no rendimento potencial, na semeadura de início de setembro obteve-se maior produtividade de aquênios.

Considerando-se uma análise conjunta para os dois subperíodos e que o efeito de redução de produtividade do girassol é mais drástico se a deficiência hídrica ocorrer no subperíodo R5.1 – R6 e metade inicial do subperíodo R6 – R9, pode-se inferir que as melhores DS do girassol para a região de Santa Maria, em termos de menor risco de ocorrência de deficiência hídrica, situam-se no mês de agosto e de dezembro à primeira quinzena de janeiro. A semeadura no início de agosto, no entanto, fica condicionada à não ocorrência de geadas e chuvas excessivas e as semeaduras de dezembro e janeiro limitadas às condições de umidade no solo em nível adequado para a germinação e estabelecimento inicial da cultura.

Esses resultados concordam com os obtidos em experimentos para o Sul do Brasil. Guse (2009) verificou que, para Santa Maria – RS, as datas de semeadura de início de agosto e setembro apresentaram a maior produtividade. Oliveira et al. (2007) observou maior potencial produtivo da cultura do girassol na semeadura de agosto/setembro no Rio Grande do Sul, com produtividade maior que 3000 kg ha⁻¹ de para essas datas e 1500 kg ha⁻¹ em semeadura de safrinha (janeiro/fevereiro). No Estado do Paraná, Silveira et al. (2005) indicaram que a semeadura de girassol pode ser realizada em dois períodos, de agosto à setembro e de janeiro à fevereiro, possibilitando o cultivo em épocas distintas àquelas destinadas à produção da cultura principal (soja ou milho). Esses resultados estão de acordo com estudo realizado por Thomaz (2008), que obteve maior produtividade de aquênios nas semeaduras de julho, agosto e setembro, e com resultados de Sangoi e Kruze (1993), que obtiveram para o planalto catarinense maior rendimento de grãos e óleo na semeadura realizada em meados de setembro. Na região Central do Rio Grande do Sul, as datas de semeadura recomendadas são de 21 de julho a 10 de agosto e 11 de janeiro a 20 de fevereiro (MAPA, 2010). Assim, observa-se de maneira geral que as datas com menor risco de ocorrer deficiência hídrica estão compreendidas entre agosto e início de setembro e de 15 de dezembro à 15 de janeiro, diferindo na safrinha da recomendação feita no zoneamento agrícola (MAPA, 2010).

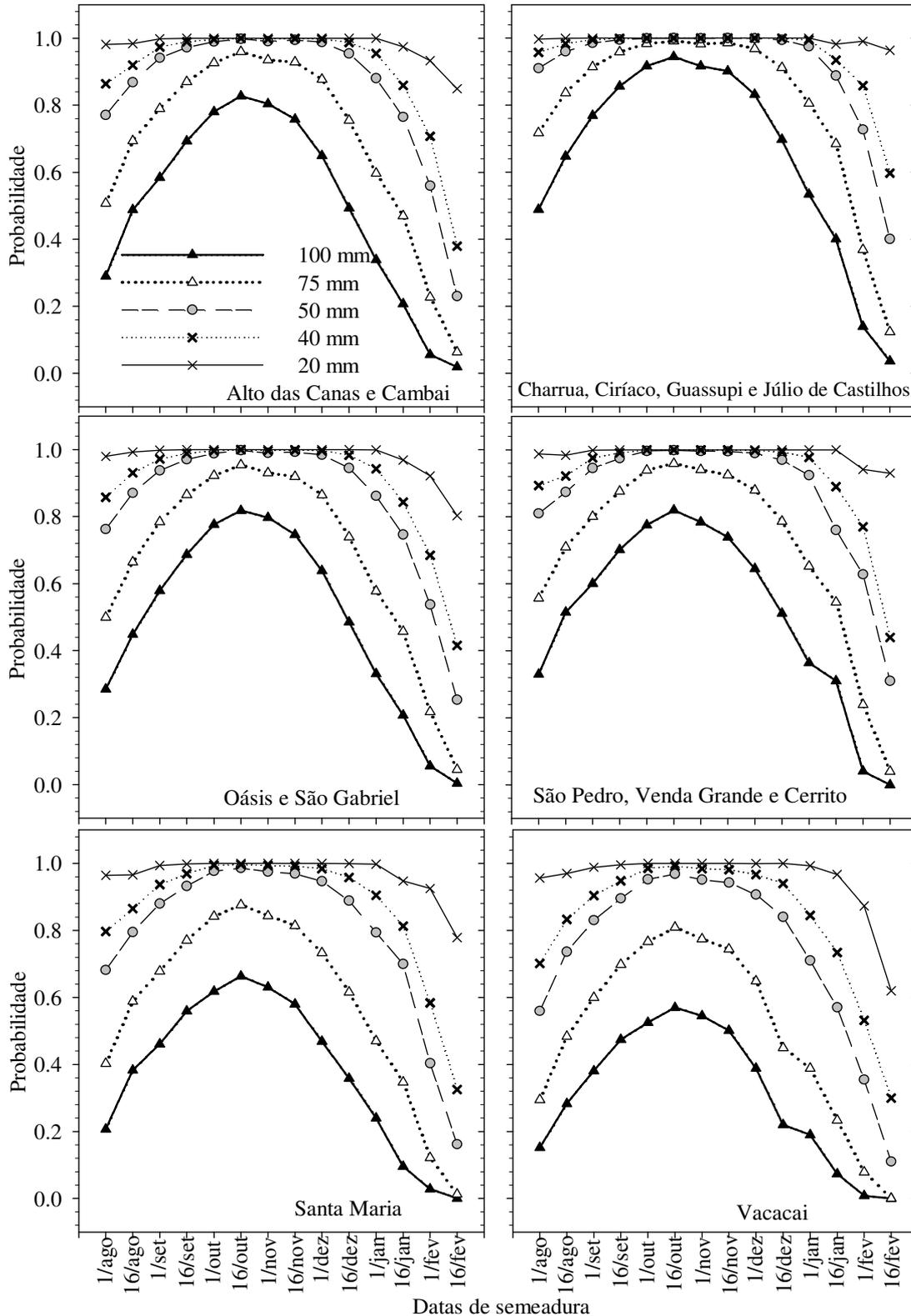


Figura 13 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior ou igual a 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo do girassol (S-R9) semeadura - maturação fisiológica, para os diferentes solos e datas de semeadura, simuladas para todos os anos da série histórica de dados de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

4.4 Deficiência hídrica do ciclo do girassol associada ao fenômeno ENOS

A classificação dos anos do período de 1968 a 2011 com base no fenômeno ENOS indica a ocorrência de 13 anos com La Niña, 14 anos Neutros e 16 anos com El Niño (Tabela 7). Na Figura 14, para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, observa-se que em anos de El Niño a deficiência hídrica apresenta os maiores valores na faixa dos 120 mm aos 126 mm para as DS de 01/10 a 16/11.

Nos anos com La Niña verifica-se que a maior deficiência hídrica é de 156,1 mm na DS de 01/10 e que uma deficiência hídrica superior a 120 mm (maior valor médio observado para anos com El Niño), para os solos citados anteriormente, pode ser observada nas DS de 01/08 a 01/11, ou seja, para as primeiras sete datas de semeadura são observadas deficiências hídricas elevadas. Em anos classificados como Neutros a partir da DS de 16/09 se observam deficiências hídricas maiores que em anos de El Niño, sendo que a maior deficiência ocorre na DS de 01/11 com 170,4 mm (Tabela 14). Deficiências maiores que 120 mm são observadas nas DS de 16/09 a 16/12. De maneira geral, verifica-se que em anos Neutros a partir de 16/10 a deficiência hídrica é maior que em anos de La Niña e El Niño. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Alberto et al. (2006) para as culturas da soja e do milho, considerando um balanço hídrico para um solo pertencente a unidade de mapeamento São Pedro, em que a menor disponibilidade hídrica está associada a anos Neutros, enquanto que a maior disponibilidade hídrica no solo está associada a eventos de El Niño. Isso também foi verificado na região do Baixo Vale do Uruguai e Missões, em que a deficiência hídrica foi maior nos anos Neutros do que nos anos de La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003).

Para o solo Santa Maria a deficiência hídrica apresenta semelhança aos solos do Grupo São Pedro na tendência dos dados. Entretanto, essa se manifesta em uma magnitude um pouco menor, ou seja, a maior deficiência hídrica é de 151,5 mm em um ano Neutro (Tabela 15) enquanto que no grupo de solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito a deficiência alcançou valor máximo de 170,4 mm. Isso se deve ao solo Santa Maria apresentar uma CAD maior que os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, resultando, dessa forma, em deficiências hídricas menores. Nos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos a deficiência hídrica é maior que nos demais solos, sendo a maior média de deficiência hídrica (195,2 mm) verificada para ciclos iniciados na DS de 01/11 dos anos classificados como Neutros (Tabela 16). Essa diferença de deficiência hídrica quando comparada a dos solos São Pedro, Venda Grande, Cerrito e Santa Maria se deve a menor CAD desses solos, por serem solos rasos e/ou pedregosos, o que resulta em maior deficiência hídrica.

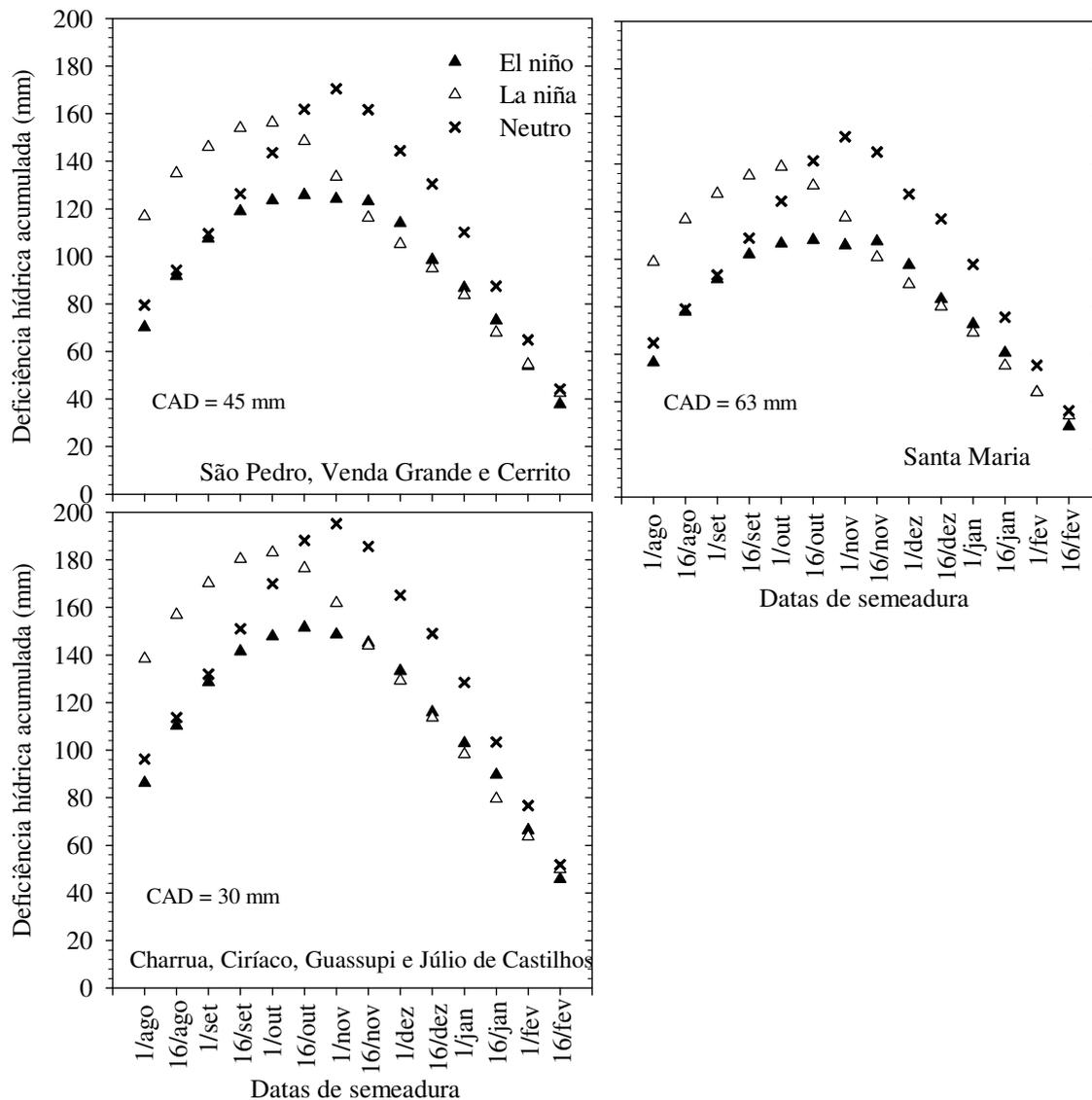


Figura 14 – Médias de deficiência hídrica acumulada no ciclo do girassol (semeadura – maturação fisiológica), em anos classificados como Neutros e com eventos El Niño e La Niña, considerando diferentes datas de semeadura simuladas para todos os anos da série histórica de dados meteorológicos de 1968 a 2011, em diferentes grupos de solos (conforme sua capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012.

A análise da variância da variável deficiência hídrica revelou que foram estatisticamente significativos os efeitos simples ENOS e DS e a interação dupla ENOS x DS em nível de 1% de probabilidade de erro para o ciclo do girassol (Apêndice L).

Conforme pode ser observado na Tabela 14, para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito e na Tabela 15 para o solo Santa Maria, nos anos de El Niño a maior deficiência hídrica foi de 125,7 mm na DS de 16/10, não diferindo estatisticamente das DS de 16/08 a 16/12. A menor deficiência foi de 37,8 mm na DS de 16/02, a qual não diferiu das DS de

01/02, 16/01, 01/01 e 01/08. Verifica-se ainda, que além da deficiência hídrica ser menor em anos de El Niño, a maior deficiência hídrica é semelhante para a maioria das DS entre meados de setembro e meados de novembro ou até início de dezembro para os solos com menor CAD. Anos de El Niño, resultam em ganhos de produtividade na cultura da soja e milho em relação à média histórica de produtividade dessas culturas (BERLATO; FONTANA, 2003). A variável precipitação pluvial explica mais de 50% da variação interanual da produtividade da cultura do milho (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005) e 80% da variação da produtividade média da cultura da soja (BERLATO; FONTANA, 1999) no Estado do Rio Grande do Sul. Segundo Berlato, Farenzena e Fontana (2005), anos com El Niño causaram impacto positivo na produtividade do milho em nove dos 11 anos estudados com a presença desse fenômeno.

Isso também foi verificado para Santa Maria por Alberto et al. (2006) em que a produtividade das culturas de soja e milho, em 80% dos anos classificados como El Niño, foi superior à obtida em anos classificados como Neutros. Esses resultados para a soja e milho são opostos aos observados por Loose et al. (2010) para a cultura do girassol na região pampeana da Argentina, na qual, em anos de presença de El Niño, a produtividade dessa cultura foi menor que em anos de La Niña. Segundo os autores, isso se deveu a maior suscetibilidade do girassol a doenças que são favorecidas por maiores precipitações pluviais e maior umidade relativa do ar. Além da maior ocorrência de doenças em anos de El Niño, o excesso hídrico reduz a produtividade do girassol, principalmente, se ocorrer no período reprodutivo (GRASSINI et al., 2007). Para Santa Maria, Bortoluzzi et al. (2011) verificaram que o excesso hídrico em qualquer fase do ciclo reduz a produtividade da cultura do girassol e que esta redução é mais acentuada quando o excesso hídrico ocorre no subperíodo R6-R9. Esses autores verificaram também, que o número de dias com excesso hídrico apresentou alta correlação com a redução na produção de girassol.

Nos anos de La Niña, a deficiência hídrica é maior nas datas de semeadura de 16/08 a 01/11, com o maior valor de 156,2 mm observado na DS de 01/10. A menor deficiência hídrica ocorre na DS de 16/02, cujo valor é de 42,7 mm, não diferindo estatisticamente das DS de 16/01 e 01/02 (Tabela 14). Em anos com a presença de La Niña, observam-se produtividades menores, em relação a anos Neutros e de El Niño, como verificado nas culturas de milho (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005) e soja (BERLATO; FONTANA, 1999). Esses autores atribuem isso à menor precipitação pluvial ocorrida, em anos de La Niña, no Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 14 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no girassol para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Datas de Semeadura	ENOS		
	El Niño	La Niña	Neutro
01/08	70,20 b*B	116,84 bA	79,68 cB
16/08	91,80 aB	135,08 aA	94,20 cB
01/09	107,40 aB	145,92 aA	109,60 cB
16/09	118,80 aA	154,00 aA	126,27 bA
01/10	123,53 aA	156,15 aA	143,67 bA
16/10	125,67 aA	148,54 aA	161,80 aA
01/11	124,20 aB	133,38 aB	170,40 aA
16/11	123,00 aB	116,31 bB	161,60 aA
01/12	114,13 aB	105,15 bB	144,40 bA
16/12	98,47 aB	94,92 cB	130,33 bA
01/01	86,80 bA	83,69 cA	110,20 cA
16/01	73,00 bA	68,08 dA	87,53 cA
01/02	53,87 cA	54,61 dA	64,87 dA
16/02	37,80 cA	42,69 dA	44,33 dA

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

Em anos Neutros as DS de 16/10 a 16/11 apresentam as maiores deficiências hídricas no ciclo de desenvolvimento do girassol. A menor deficiência hídrica em anos Neutros foi de 44,3 mm para o ciclo para a DS de 16/02, não diferindo estatisticamente da DS de 01/02 (Tabela 14). Esses resultados estão em concordância com os obtidos por Alberto et al. (2006), que observou que o baixo conteúdo de água no solo é um fator limitante para a produtividade das principais culturas de verão (soja e milho), especialmente durante anos classificados como neutros em relação ao fenômeno ENOS. Consequentemente, é nos anos neutros que se têm maiores riscos de perdas de rendimento de grãos das culturas de verão em Santa Maria, incluindo a cultura do girassol.

As deficiências hídricas no solo Santa Maria (Tabela 15) apresentaram tendência similar às dos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, embora menores em função da maior CAD desse solo Santa Maria. A maior média de deficiência hídrica nos anos de El Niño foi de

108,1 mm para a DS de 16/10, que não apresentou diferença estatística significativa das DS de 16/08 a 16/12. Por outro lado, para anos de La Niña, a maior deficiência hídrica média no ciclo foi de 138,9 mm na DS de 01/10, não diferindo estatisticamente das DS de 16/08, 01/09, 16/09, 16/10 e 01/11. A DS com maior deficiência hídrica média no ciclo em anos classificados como neutros, é observada na DS de 01/11 (151,5 mm), não diferindo das deficiências hídricas relativas as DS de 16/10 e 16/11. Verifica-se que, semelhante ao que ocorre nos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, as deficiências hídricas para o solo Santa Maria em anos de La Niña são maiores nas DS de 01/08 a 01/10 em relação aos anos de El Niño e Neutros. Em anos Neutros, as deficiências hídricas são maiores após a DS de 16/10 em relação a anos de El Niño e La Niña.

No grupo de solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos a deficiência hídrica foi maior que nos demais solos citados anteriormente, pois estes solos apresentam a menor CAD dos solos abordados nesse estudo. As maiores deficiências hídricas foram de 151,6, 183,2 e 195,2 mm para os anos classificados como El Niño, La Niña e Neutros, respectivamente. Para esse grupo de solos deve-se ter um maior cuidado na escolha da DS, pois a capacidade de armazenamento de água é menor, comprometendo o desenvolvimento das plantas. Especificamente nesses solos deve-se priorizar a irrigação, conforme verificado por Silva et al. (2011).

Tabela 15 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no ciclo do girassol para o solo Santa Maria classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Datas de Semeadura	ENOS		
	El Niño	La Niña	Neutro
01/08	56,60 b*B	98,85 bA	64,80 dB
16/08	77,87 AB	116,77 aA	79,07 cB
01/09	91,60 aB	127,54 aA	93,33 cB
16/09	101,93 aA	135,15 aA	108,87 bA
01/10	106,53 aA	138,92 aA	124,40 bA
16/10	108,07 aA	131,00 aA	141,33 aA
01/11	105,87 aB	117,61 aB	151,47 aA
16/11	107,53 aB	100,77 bB	145,07 aA
01/12	97,60 aB	89,46 bB	127,40 bA

Datas de Semeadura	ENOS		
	El Niño	La Niña	Neutro
16/12	83,20 aB	80,15 cB	116,93 bA
01/01	72,67 bA	69,15 cA	97,80 cA
16/01	60,60 bA	55,31 dA	75,60 cA
01/02	44,00 bA	44,08 dA	55,33 dA
16/02	29,67 bA	34,23 dA	36,20 dA

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

Para a maioria das DS analisadas nos eventos de El Niño, La Niña e Neutros foi possível ajustar pelo menos uma fdp para a variável deficiência hídrica (Apêndice M). Para as DS em que não foi possível o ajuste de uma fdp dos dados, calculou-se a probabilidade empírica. Nos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, a probabilidade de ocorrer 100 mm ou mais de deficiência hídrica no ciclo é menor em anos de El Niño, quando comparado a anos de La Niña e Neutros. Nas DS de 16/09 a 01/12, há probabilidade de aproximadamente 70% de ocorrer deficiência hídrica de até 100 mm para anos de El Niño (Figura 15). Em anos de La Niña, as DS com maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica são as de 01/09 a 01/12. Nessas DS a probabilidade de ocorrer 100 mm ou mais de deficiência hídrica no ciclo se mantém em aproximadamente 82% (Figura 15).

Tabela 16 – Comparação das deficiências hídricas médias (mm) no ciclo do girassol para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, classificando os dados com base nos anos com eventos de El Niño, La Niña e Neutros, para as 14 datas de semeadura simuladas em cada um dos anos do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Datas de Semeadura	ENOS		
	El Niño	La Niña	Neutro
01/08	86,27 b*B	138,38 bA	96,07 cB
16/08	110,20 aB	156,92 aA	113,73 cB
01/09	128,67 aB	170,23 aA	132,00 cB
16/09	141,67 aB	180,38 aA	151,00 bB
01/10	147,93 aA	183,23 aA	169,93 bA

Datas de Semeadura	ENOS		
	El Niño	La Niña	Neutro
16/10	151,60 aA	176,46 aA	188,20 aA
01/11	148,73 aB	161,85 aB	195,20 aA
16/11	145,27 aB	144,00 bB	185,67 aA
01/12	133,27 aB	129,23 bB	164,93 bA
16/12	115,93 aB	113,77 cB	149,07 bA
01/01	102,93 bA	98,23 cA	128,47 cA
16/01	89,73 bA	79,46 dA	103,40 cA
01/02	66,47 cA	63,69 dA	76,67 dA
16/02	45,93 cA	50,15 dA	51,80 dA

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

Durante anos Neutros, a maior probabilidade (acima de 90%) de ocorrer deficiência hídrica ocorre na DS de 16/10 seguida das DS de 01/11, 16/11 e 01/10, todos com risco superior a 80% dos anos ocorrer deficiência hídrica maior ou igual a 100 mm. A partir dos dados citados acima, é possível constatar que o risco de deficiência hídrica para a região de Santa Maria, é maior em anos neutros. Anos de El Niño geralmente apresentam menor deficiência hídrica. Esses resultados concordam com os obtidos por Alberto et al. (2006), em Santa Maria, RS, que anos com ocorrência de El Niño foram os mais favoráveis para a produção de soja e milho. Esses autores verificaram que nos anos Neutros são observadas as maiores deficiências hídricas, evidenciando a importância do cuidado com a data de semeadura. Nos anos com La Niña deve-se ter atenção com as semeaduras precoces, pois o risco de deficiência hídrica é maior nas primeiras DS (Figura 15).

A tendência de maior irregularidade, em termos de distribuição de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, em anos classificados como Neutros, é a explicação para as maiores probabilidades de deficiências hídricas verificadas nesses anos, conforme o exemplo da safra de 2004/2005, ano classificado como Neutro em relação ao fenômeno ENOS. Durante a safra desse ano foi registrada precipitação pluvial de 62,2 mm concentrada na primeira quinzena de dezembro de 2004, e 49,8 mm, 59,4 mm e 55,4 mm em janeiro, fevereiro e março de 2005, respectivamente, o que causou uma das maiores reduções de produtividade das principais

culturas de verão no município de Santa Maria, na região noroeste e metade sul do Estado do Rio grande do Sul (RS).

Para o solo Santa Maria (Figura 16), quando comparado aos solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito (Figura 15), o risco de ocorrer 100 mm de deficiência hídrica no ciclo do girassol nas diferentes DS e classificação do fenômeno ENOS é menor devido ao solo Santa Maria apresentar uma CAD maior.

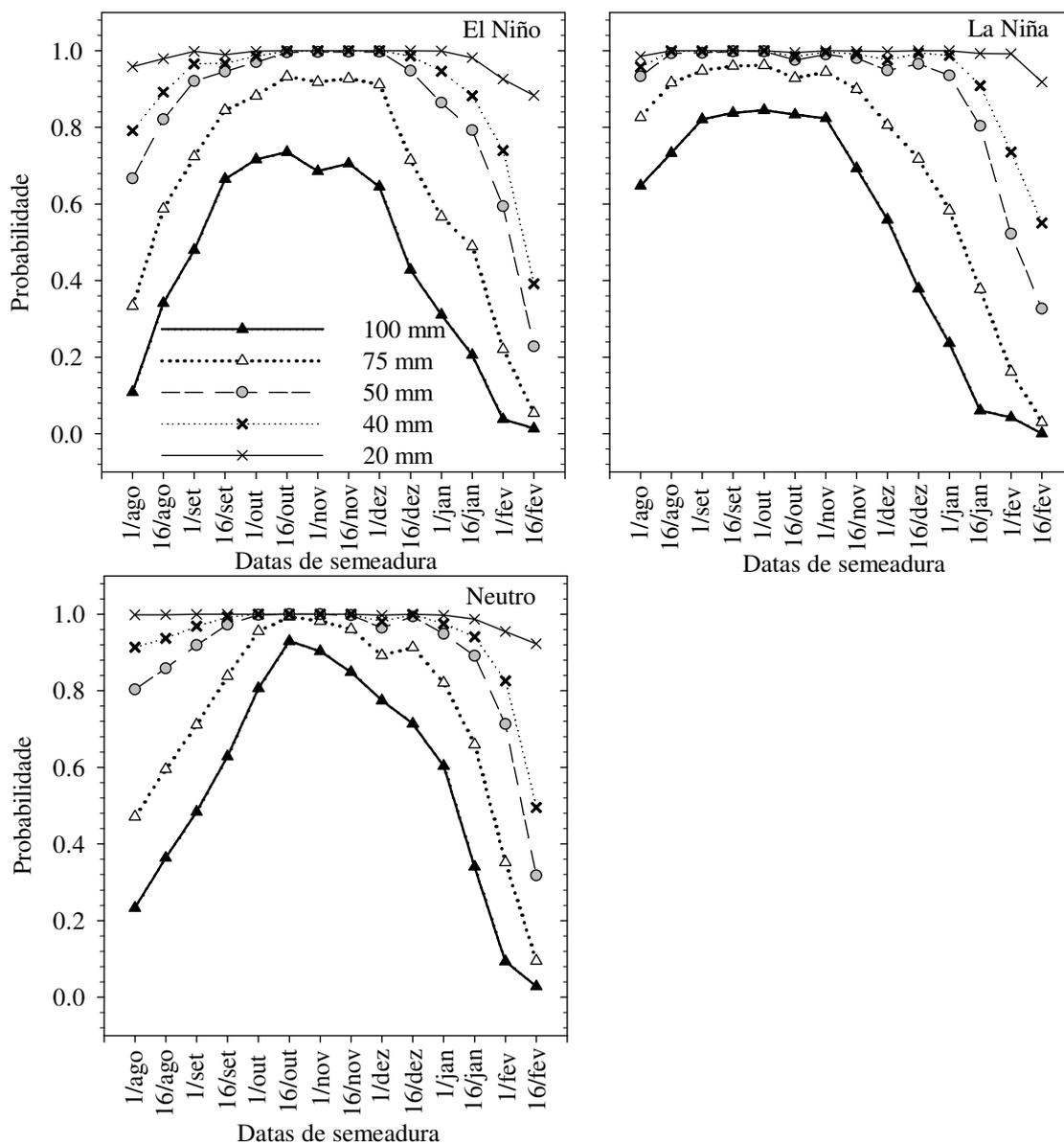


Figura 15 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo de desenvolvimento da sementeira até a maturação fisiológica do girassol (S-R9) para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito em anos classificados como Neutros e com eventos El Niño e La Niña, considerando diferentes datas de sementeira simuladas para todos os anos da série histórica de dados meteorológicos de 1968 a 2011, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012.

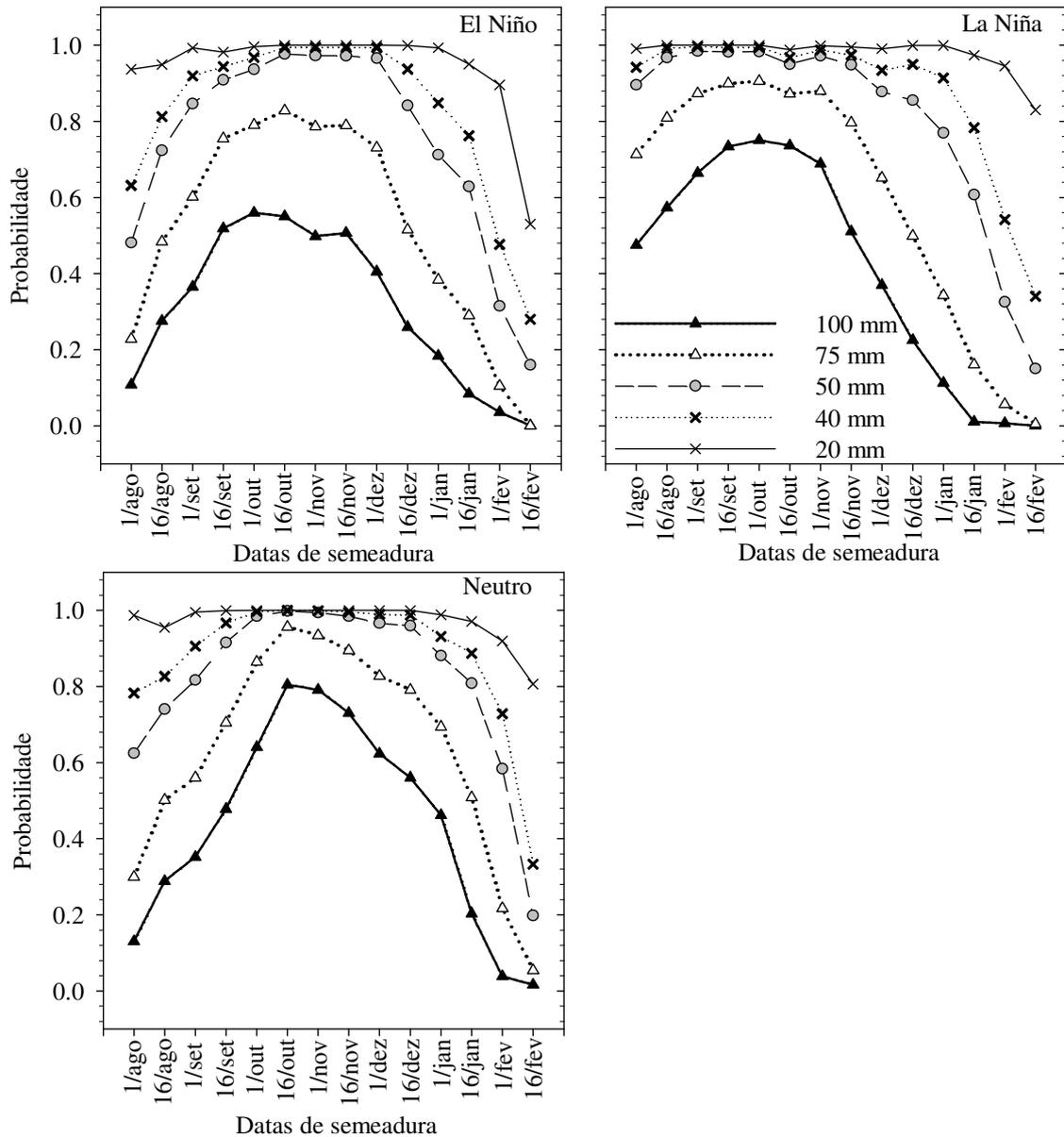


Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm durante o ciclo de desenvolvimento do girassol da semeadura à maturação fisiológica (S-R9) no solo Santa Maria para diferentes datas de semeadura, simuladas para os anos com El Niño, La Niña e Neutros, do período de 1968 a 2011. Santa Maria, RS, 2012.

Nos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos o risco de deficiência hídrica é maior (Figura 17) do que nos demais solos da região estudada (Figura 15 e 16). Mesmo em anos de El Niño, que na maioria dos anos não apresentam precipitação pluvial abaixo da normal climatológica, nas DS de 16/09 a 01/12 verifica-se probabilidade maior que 80% de ocorrência de pelo menos 100 mm de deficiência hídrica. Em anos de La Niña, praticamente o mesmo pode ser observado desde a DS de 01/08 até 01/12, sendo que, para as

DS de setembro e outubro verificou-se probabilidade próxima de 100% para esse nível de deficiência hídrica.

Em anos classificados como Neutros, para níveis de deficiência hídrica de 100 mm por ciclo, a probabilidade é maior de 80% para DS de 16/09 a 16/12, isto é, o risco de 80% nos anos Neutros é alcançado cerca de 45 dias mais tarde do que nos anos típicos de La Niña. Isso confirma o que foi verificado para os Solos São Pedro, Venda Grande, Cerrito e Santa Maria, de que o risco de ocorrer deficiência hídrica é superior para anos Neutros nas DS após 16/09, enquanto que em anos de La Niña esse risco é maior desde as datas de 01/08. Para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos deve-se ter atenção redobrada quanto a disponibilidade hídrica no decorrer do ciclo da cultura do girassol em função da DS, pois são solos que demonstram menor capacidade de armazenar e disponibilizar água para as culturas de verão em casos de períodos longos sem ocorrência de precipitação pluvial. Também são os solos que podem apresentar menor disponibilidade hídrica no momento da semeadura quando semeados a partir do início até meados de outubro. Havendo disponibilidade de equipamentos de irrigação e reserva de água, esses solos devem ser irrigados mais frequentemente e com uma lâmina de irrigação menor, tal como foi determinado para o feijoeiro (SILVA et al., 2011) e para cultura do milho (TRENTIN, 2009) para esses mesmos solos nessa região do RS.

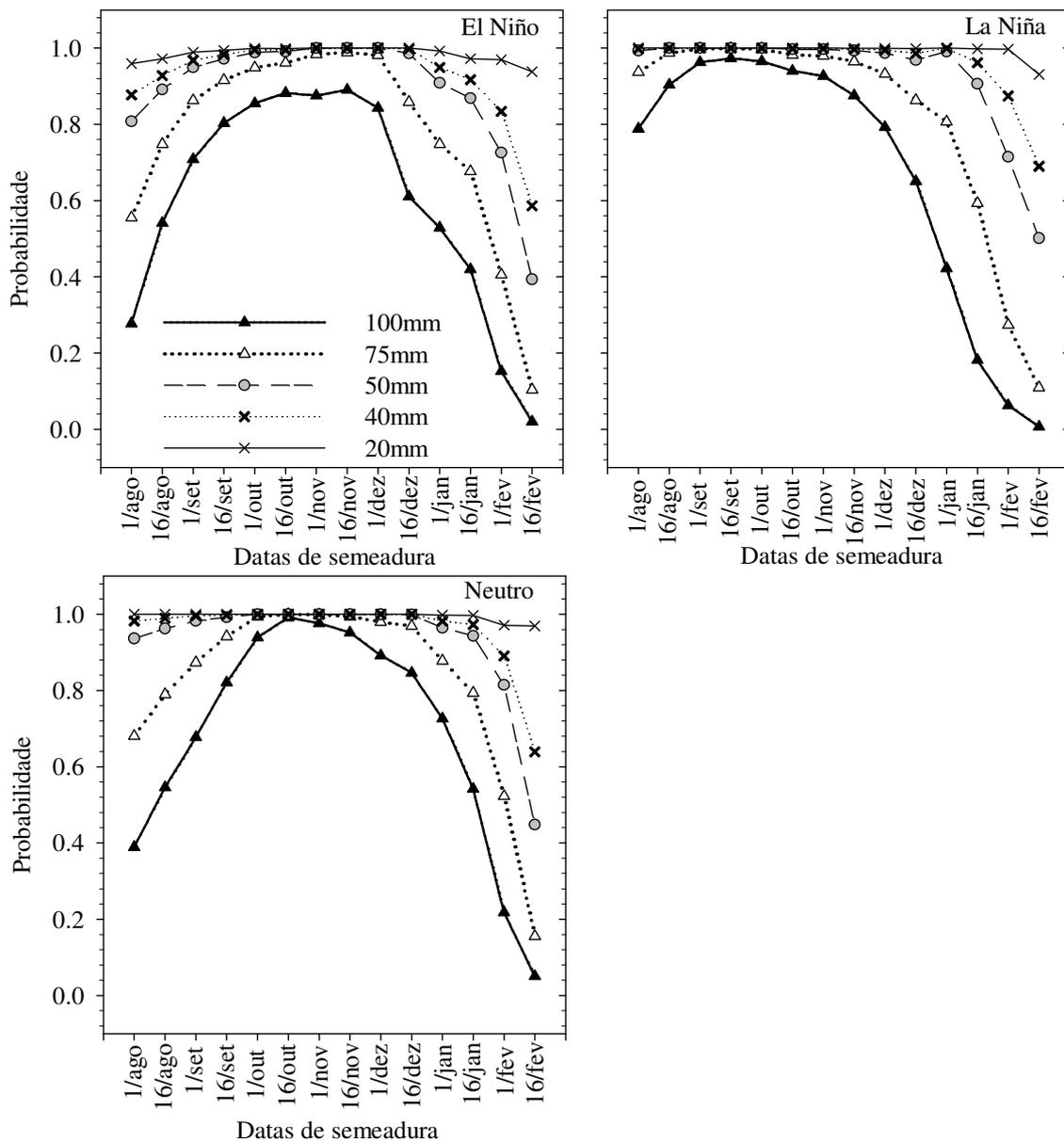


Figura 17 – Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica maior do que 100 mm, 75 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm no ciclo de desenvolvimento do girassol, desde a semeadura até a maturação fisiológica (S-R9), nos solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, para diferentes datas de semeadura simuladas para cada um dos anos com El Niño, La Niña e Neutros, no período de 1968 a 2011, na região central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2012.

Com base nos dados desse estudo associado ao fenômeno ENOS para anos com El Niño, as DS com risco menor que 50% de ocorrer 100 mm ou mais de deficiência hídrica durante o ciclo do girassol seriam as de agosto, 01/09, 16/12, 01/01 e 16/01. As DS de fevereiro não seriam recomendadas, principalmente, por problemas de doenças na fase final do ciclo, como verificado por Loose et al. (2010) na Argentina, e devido a menor disponibilidade de radiação solar, que diminui a produtividade do girassol (LUCAS, 2011),

pois em anos de El Niño em geral se observa precipitação pluvial acima da média no Rio Grande do Sul, resultando em excesso hídrico, o que diminui a produtividade do girassol, principalmente se ocorrer na fase reprodutiva (GRASSINI et al., 2007; BORTOLUZZI et al., 2011).

Para anos de La Niña, uma vez que as deficiências hídricas geralmente ocorrem mais cedo, as DS com risco menor que 50% de ocorrer 100 mm ou mais de deficiência hídrica ocorrem a partir de dezembro.

Em anos classificados como Neutros, as DS com menor risco de ocorrer deficiência hídrica são as de 01/08, 16/08, 01/09 e a partir de 16 de janeiro. Nas Figuras 15, 16 e 17 pode ser visualizado também que em anos Neutros a probabilidade de ocorrerem deficiências hídricas maiores do que 75 mm e, principalmente, maiores do que 100 mm nas datas de 16/12 e 01/01 é expressivamente maior do que nos anos de La Niña e de El Niño. Nesse contexto pode-se inferir que a escolha das DS que resultam em menor risco de redução de produção do girassol deve estar atrelada às previsões sobre o fenômeno ENOS.

Os modelos macroclimáticos atualmente existentes têm habilidade em prever as anomalias do fenômeno ENOS, que caracterizam o El Niño ou La Niña, com certa antecedência. Essa previsão quando aliada aos resultados da análise numérica de probabilidade sobre possíveis níveis de estresse hídrico pode resultar em recomendações técnicas para os produtores rurais e constituir valiosas informações para o manejo de culturas, do solo e da água, no sentido de minimizar riscos nas diferentes datas de semeadura ou de tirar proveito de situações meteorológicas favoráveis, frente a uma previsão de El Niño, La Niña ou ano Neutro.

5 CONCLUSÕES

A duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento do girassol é variável conforme a data de semeadura. A duração dos subperíodos que ocorrem da semeadura até o botão floral visível do girassol são maiores na primeira data de semeadura (01/08). Após a antese a maior duração dos subperíodos ocorre na semeadura mais tardia (16/02).

As distribuições lognormal, normal e gama representam melhor o desenvolvimento do girassol para estimar a duração dos subperíodos e do ciclo.

Na data de semeadura de 16/12, ao nível de 90% de probabilidade de ocorrência, o girassol tem a menor duração do ciclo, completando o período semeadura – maturação fisiológica em no máximo de 96 dias. A maior duração do ciclo do girassol ocorre na data de semeadura de 01/08, para a qual alcança 132 dias, em nível de 90% de probabilidade de ocorrência.

As datas de semeadura de início de outubro até o início de novembro são as que apresentam a maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, considerando todo o ciclo de desenvolvimento do girassol, independente do tipo de solo; a escolha de outra data de semeadura reduz o risco e o nível de deficiência hídrica durante o ciclo do girassol.

Nos solos em que a capacidade de armazenamento de água disponível é menor, a deficiência hídrica é maior tanto nos subperíodos quanto no ciclo do girassol em relação aos demais solos e é pouco variável ao longo das datas de semeadura.

Os melhores ajustes da distribuição dos valores deficiência hídrica nos subperíodos são as funções de distribuição de probabilidade weibull, lognormal, gama, exponencial e normal, sendo que nas duas primeiras o ajuste é superior a 65% dos casos. Para a deficiência hídrica no ciclo do girassol, as funções de distribuição de probabilidade que melhor se ajustam são a lognormal, gama, weibull e normal, sendo o ajuste das duas primeiras superior a 80% dos casos.

Para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito a maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica ocorre para as datas de semeadura de 16 de setembro a 16 de dezembro, porém as maiores probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica maior ou igual a 100 mm são de 80% e ocorrem nas datas de semeadura de início de outubro a início de novembro.

Para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos a probabilidade de ocorrer uma deficiência hídrica superior a 100 mm durante o ciclo de desenvolvimento do girassol é superior a 90% para as datas de semeadura de outubro e novembro.

Semeaduras de girassol na primeira quinzena de agosto e a partir do mês de dezembro são as que apresentam os menores riscos de ocorrer deficiência hídrica no transcorrer do subperíodo mais crítico do girassol, desde que se tenham condições favoráveis para a semeadura e o estabelecimento inicial das plantas.

Em anos de El Niño os riscos e os níveis da deficiência hídrica são menores que em anos Neutros e de La Niña.

Os maiores riscos de ocorrência de certos níveis de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do girassol não ocorrem nas mesmas datas se considerado o efeito do fenômeno ENOS sobre a disponibilidade hídrica no solo.

Em anos de La Niña, a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica no ciclo de desenvolvimento do girassol é alta para semeaduras programadas desde início de agosto até meados de dezembro, principalmente se o solo apresentar baixa capacidade de armazenar água.

Em anos classificados como neutros, as deficiências hídricas para o girassol na região central do Rio Grande do Sul são maiores e a maior deficiência hídrica com valores máximos para semeaduras de meados de outubro, sendo para esses anos as datas de semeadura de agosto as mais recomendadas para diminuir o risco de deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRREZÁBAL, L. A. N. et al. La implantación del cultivo. In: **Girassol - Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento**. INTA, Buenos Aires, Argentina, 2001a, p. 16-23.

AGUIRREZÁBAL, L. A. N. et al. La absorción del agua y los nutrientes minerales. In: **Girassol - Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento**. INTA, Buenos Aires, Argentina, 2001b, p. 24-35.

AGUIRREZABAL, L. A. N. et al. Intercepted Solar Radiation during Seed Filling Determines Sunflower Weight per Seed and Oil Concentration. **Crop Science**, v. 43, n. 1, p.152–161, 2003.

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.

ALBERTO, C. M. et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p.1067-1075, 2006.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO – Irrigation and drainage, paper 56, 1999.

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

ANASTASI, U.; C. et al. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 119, n. 1, p. 145-153, out. 2010.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 74, p. 430-445, 1959.

ASBAG, F. T. et al. Effects of planting date and irrigation management on sunflower yield and yield components. **Research Journal of Biological Sciences**, v. 4, n.3, p. 306-308, 2009.

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.

AVILA, A. M. H. et al. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 2, p. 149-154, 1996.

BALDINI, M. et al. Effects of water regime on fatty acid accumulation and final fatty acid composition in the oil of standard and high oleic sunflower hybrids. **Italian Journal of Agronomy**, v.6, p.119-126, 2002.

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

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39. n. 9, p. 831-839, 2004.

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

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 11-23.

BERLATO, M. A. et al. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 111-113, 1995.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n. 1, p.119-125, 1999.

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.; 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: Ed. da UFRGS, 2003. 110p.

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.

BÖHM, W. **Methods of studyng root systems**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1979. 190p.

BORTOLUZZI, et al. Excesso hídrico e produtividade do girassol em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17, Guarapari, **Anais...** Guarapari, SESC, 2011. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Convênio MA/DPP–SA/DRNR, 1973. (Boletim Técnico, 30). 431 p.

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. 1980. Suplemento.

BURIOL, G. A. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz na região da depressão central, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 1-9, 1998.

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**, 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**, v. 11, n. 4, p.89-97, 2006.

BURIOL, et al. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, 2012 (aceito para publicação).

CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. Piracicaba: ESALQ, 1979. 343p.

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.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. da. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1157-1166, 2004.

CASADEBAIG, P.; DEBAEKE, P.; LECOEUR, J. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. **European Journal Agronomy**, v. 28, n. 4, p.646–654, 2008.

CASADEBAIG, P. et al. SUNFLO, a model to simulate genotype-specific performance of the sunflower crop in contrasting environments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 163–178, 2011.

CASTRO, C. et al. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1996. (Circular técnica, 13).

CASTRO, C; OLIVEIRA de, F. A. Nutrição e adubação 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. 13, p. 317-373.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed). **Girassol no Brasil**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. cap. 9, p. 163-218.

CASTELLVÍ, F.; MORMENEO, I.; PEREZ, P. J. Generation of daily amounts of precipitation from standard climatic data: a case study for Argentina. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.289, n.1-4, p.286-302, 2004.

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 na Internet: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis-monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acessado em 12 de janeiro de 2012.

CORBINEAU, F. et al. Decrease in sunflower (*Helianthus annuus*) seed viability caused by high temperature as related to energy metabolism, membrane damage and lipid composition. **Physiologia plantarum**, v. 116, p. 489-496, 2002.

CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011, 67 p. disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_17_17_46_06_ia-dez11.pdf. Acesso em: 25 jan. 2012.

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de água em El suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 537-546, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

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

ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar prejudiciais aos cultivos agrícolas em Santa Maria-RS, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 57-63, 1994.

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.

FANCELLI, A.L. et al. **Milho**: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ, 1982. 112p.

FARIAS, C. H. A. et al. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.3, p.494-506, jul./set. 2008.

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

FLAGELLA, Z. et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 3, p. 221-230, 2002.

FONTANA, D. C. et al. Monitoramento da cultura da soja no centro-sul do Brasil durante La Niña 1998/2000. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 343-351, 2002.

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do 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, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 626 p. 2005.

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

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

GUSE, F. I. **Produtividade, severidade de mancha de alternaria e deficiência hídrica em diferentes épocas de semeadura do girassol em Santa Maria – RS**. 2009. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HASTINGS, N.A.J., PEACOCK, J.B. **Statistical distributions**: A handbook for students and practitioners, Longon Butterworths, England, 1975. 129 p.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O Clima de Santa Maria. **Revista Ciência Ambiente**, v.38, p.43-58, 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.

IQBAL, N.; ASHRAF, M.Y.; ASHRAF, M. Influence of water stress and exogenous glycinbetain on sunflower achene weight and oil percentage. **Environmental Science**, v. 2, n. 2, p. 155-160, 2005.

JENSEN, M. E. Water consumptions by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T. T (Ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v.2, 1968. p. 1-22.

KITE, G.W. **Frequency and risk analysis in hydrology**. Water Resources Publications, Fort Collins, v.3, 395p., 1978.

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.

LEITÃO, M. de M. V. B. R. **Curso de atualização para observador meteorológico de superfície**. Porto Alegre: 8º DISME/INMET – MAPA, 2004, 135p.

LEIVAS, J. F. et al. Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.397-407, 2006.

LOOSE, L. H. et al. Variabilidade dos rendimentos de girassol na Argentina em função da variabilidade climática interanual. **Revista Facultad de Agronomía UBA**, v. 30, n. 3, p. 169-178, 2010.

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

MALDANER, I. C. **Irrigação e aplicação de fungicida na ocorrência de doenças e produtividade do girassol**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

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.

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**. Portaria nº 106, de 6 de maio de 2010.

MARQUES, S. J.; SAAD, J. C. C.; MOURA, M. V. T. de. Modelo Iterativo para Estimativa da Evapotranspiração de Referência Provável. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.221-225, 1995.

MASSIGNAM , A. M.; ANGELOCCI, L. R. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, n.1, p. 63-69, 1993a.

MASSIGNAM , A. M.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura- base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, n. 1, p. 71-79, 1993b.

MATZENAUER, R. et al. 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.

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

MELLO, R.; NÖNBERG, J. L; RESTLE, J. et al. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 672-682, 2006.

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

MIRSHAWKA, V. **Estatística**, Vol II, São Paulo: Nobel, 1971. 367 p.

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

NIED, A.H. **Balço hídrico diário do solo simulado para diferentes épocas de sementeira do milho em Santa Maria, RS.** 2003. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

NIED, A. H. et al. Épocas de sementeira 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.

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

ORTA; A. H.; ERDEM; T. ERDEM, Y. Determination of water stress index in sunflower. **Héla**, 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 Ciência do Solo**, v.34, n. 4, p.1315-1323, 2010.

PERAZA, J. E. S. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul.** 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

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

PIRES, R. C. M. et al. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v.50, n.1, p.153-162, 1991.

REICHARDT, K. et al. **Solo, planta e atmosfera:** Conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RIBAS-CARBO, M. et al. Effects of water stress on soybean leaves. **Plant Physiology**, v. 139, p. 466-473, 2005.

RIBEIRO JÚNIOR, J. A. **Análises estatísticas no Excel:** guia prático. Viçosa: UFV, 2004.

RODRIGUES, M. L. G. et al. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22, n. 2, p. 135-151, 2004.

ROBINSON, R. G. et al. Sunflower development at latitudes ranging from 31 to 49 degrees. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 2, p. 134-136, 1967.

SADRAS, V. O. et al. Dynamics of rooting and root length:leaf area relationships as affected by plant population in sunflower crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 45-57, 1989.

SANGOI, L.; KRUIZE, N. D. Comportamento de cultivares de girassol em diferentes épocas de semeadura no planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 81-91, jan, 1993.

SANTOS, A. C. et al. Variabilidade temporal da precipitação pluvial: nível de nitrogênio no solo e a produtividade de cultivares de girassol. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 757-764, 2002.

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

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.

SCHNEITER, A. A., MILLER, J. F. Description of Sunflower growth stages. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 901-903, nov./dez. 1981.

SENTELHAS, P. C. et al. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, p. 43-49, 1994.

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, J. C. da. **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) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVA, J. C. et al. Simulação para determinação das épocas de semeadura com menor risco de estresse hídrico para o feijão na região central do Rio Grande do Sul. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p.188-197, 2006.

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, 2007a.

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) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

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

SILVA, J. C. et al. Necessidade de irrigação para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1030-1036, 2011.

SILVA, M. L. O. 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, 2007b.

SILVEIRA, J. M. et al. Semeadura e manejo da cultura de girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed). **Girassol no Brasil**. [Londrina]: Embrapa Soja, 2005. p. 375-406.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 2, p.263–270, 2001.

SORIANO, M. A. et al. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. **European Journal of Agronomy**, v. 21, n. 1, p. 465–476, 2004.

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, L. S. B. de et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v.10, p.105- 111, 2002.

TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Piracicaba: Artmed, 2004. 720 p.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 86, p. 117-122. 1958.

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.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology, v l. VIII, No. 1, Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

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

UNGARO, M. R. G. et al. Girassol. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos Cultivos – o Fator Meteorológico na Produção Agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p. 205-221.

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

YANG, S. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 61-74, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Determinação da duração dos subperíodos e do ciclo do girassol

Os experimentos foram conduzidos durante três anos agrícolas (2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010), na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W e altitude: 95 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida com verões quentes (Heldwein; Buriol; Streck, 2009). O solo do local é uma transição entre a Unidade de mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado alítico típico) (EMBRAPA, 2006).

Foram realizadas 18 datas de semeadura: 31/07/2007(1), 30/08/2007(2), 02/10/2007(3), 06/11/2007(4), 06/12/2007(5), 07/01/2008(6) e 08/02/2008(7) para o ano agrícola 2007/2008; 08/08/2008(8), 03/09/2008(9), 02/10/2008(10), 06/11/2008(11), 05/01/2009(12) e 13/02/2009(13) para o ano agrícola de 2008/2009; e nas datas de 31/08/2009(14), 05/10/2009(15), 10/11/2009(16), 04/12/2009(17), 08/01/2010(18) e 29/01/2010(19) para o ano agrícola de 2009/2010. Estas datas foram eleitas para abrangerem semeaduras realizadas antes, durante e depois das duas épocas de semeadura recomendadas para o girassol na região central do Rio Grande do Sul, que são de 21 de julho a 10 de agosto e 11 de janeiro a 20 de fevereiro (MAPA, 2010). Assim, ter as plantas desenvolvendo-se em diferentes condições de temperatura, o que é importante neste tipo de estudo.

O genótipo utilizado foi o híbrido simples Aguará 03 de ciclo precoce. As datas de semeadura constaram dos tratamentos com quatro repetições de cada genótipo, sendo o delineamento experimental utilizado o de blocos ao acaso.

As observações fenológicas foram realizadas a cada 3 dias, em quatro plantas por parcela, sendo observadas as datas de ocorrência da semeadura (S), emergência das plantas (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese -início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9). Para a determinação desses estádios fenológicos foram utilizados os critérios descritos por Schneiter e Miller (1981).

A soma térmica diária (STd, °C.dia) foi calculada por três métodos (ARNOLD, 1960):

Método 1: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$

Método 2: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ e se $T_{med}>T_{tot}$, então $T_{med}=T_{opt}$

Método 3: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia quando $T_b<T_{med} \leq T_{tot}$ e $STd=(T_{tot}-T_b).(T_{max}-T_{med})/(T_{max}-T_{tot})$ quando $T_{tot}<T_{med} \leq T_{max}$

onde: T_b é a temperatura base, T_{ot} é a temperatura ótima e T_{max} é a temperatura máxima para o desenvolvimento do girassol. Para o genótipo Agurá 03, utilizou-se T_b de 3,9 °C, MALDANER et al. (2011). Para todos os genótipos utilizou-se $T_{ot}=27$ °C e $T_{max} = 34$ °C (FAGUNDES et al., 2007). A temperatura média (T_{med}) foi calculada pela média aritmética entre a temperatura mínima e a temperatura máxima diária do ar. A soma térmica acumulada (ST_a , °C dia) a partir da emergência foi calculada por $ST_a = \sum 1nST_d$, em que n é a duração da fase de desenvolvimento em dias. A análise estatística utilizada constou do cálculo da média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis número de dias e soma térmica das cinco fases de desenvolvimento do girassol.

(Continuação) Apêndice A – Duração média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV%) dos subperíodos semeadura - emergência (S - EM), emergência - botão visível (EM - R1), botão floral visível - início da antese (R1 - R5.1), início da antese - início do enchimento de aquênios (R5.1 - R6), início do enchimento de aquênios - maturação fisiológica (R6-R9) e semeadura - maturação fisiológica (S-R9), em dias do calendário civil e °C.dia calculado pelos diferentes métodos de soma térmica para o girassol genótipo aguará 03.

Subperíodo		Dias	STa ₁	STa ₂	STa ₃
	Média	8,5	147,7	145,2	136,8
S-EM	DP	2,9	44,8	40,4	34,3
	CV	33,7	30,3	27,8	25,1
	Média	40,2	725,9	719,1	696,9
EM-R1	DP	9,0	81,2	81,7	91,4
	CV	22,4	11,2	11,4	13,1
	Média	22,5	434,2	431,2	421,5
R1-R5.1	DP	1,2	42,3	40,3	35,6
	CV	5,4	9,7	9,4	8,4
	Média	8,8	170,1	167,7	159,8
R5.1-R6	DP	1,6	29,4	30,3	36,7
	CV	18,0	17,3	18,1	23,0
	Média	24,9	489,3	482,8	474,3
R6-R9	DP	5,6	149,3	143,4	127,3
	CV	22,6	30,5	29,7	26,8
	Média	105,8	1959	1938	1869
S-R9	DP	14,4	189,7	181,6	169,0
	CV	13,6	9,7	9,4	9,0

Dias = Dias do calendário civil (dias)

STa₁ = Soma térmica acumulada pelo método 1 (°C dia)

STa₂ = Soma térmica acumulada pelo método 2 (°C dia)

STa₃ = Soma térmica acumulada pelo método 3 (°C dia)

APÊNDICE B – Aprofundamento radicular do girassol

As amostragens foram realizadas quando a cultura do girassol se encontrava na antese, fez-se a avaliação da profundidade máxima do sistema radicular do girassol, usando o método do perfil cultural descrito por Böhm (1979). O perfil foi feito perpendicularmente à linha de semeadura, com a parede vertical do perfil distante 3 cm da planta de girassol. Essa amostragem foi realizada em quatro plantas do genótipo aguará, em duas datas de semeadura. Foram utilizadas varetas de metal para retirar uma camada de aproximadamente 1,5 cm do perfil, expondo cuidadosamente as raízes. Após a exposição das raízes, mediu-se a profundidade máxima alcançada pelas raízes de girassol. O solo do local é uma transição entre a Unidade de mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado alítico típico) (EMBRAPA, 2006).

Apêndice B. Profundidade máxima do sistema radicular do girassol (cm) realizada em duas datas de semeadura.

Planta	Profundidade máxima do sistema radicular (cm)	
	05/10/2009*	08/01/2010
1	62	63
2	58	62
3	64	56
4	58	58
Média	60,50	59,75

*Datas de semeadura do girassol.

APÊNDICE C – Análise de variância da duração do ciclo e dos subperíodos de semeadura - Emergência, Emergência - botão floral visível (R1), botão floral visível (R1) - início da antese (R5.1), início da antese (R5.1) - final da antese (R6) e final da antese (R6) - maturação fisiológica (R9), em função das datas de semeadura (DS) para o grupo de maturação precoce de girassol, para os municípios da região central do RS.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Semeadura – emergência				
DS	13	2197,42	169,03	109,71*
Erro	588	905,95	1,54	
Total	601	3103,37		
Emergência –R1				
DS	13	23981,98	1844,77	475,67*
Erro	588	2280,42	3,88	
Total	601	26262,40		
R1–R5.1				
DS	13	2172,60	167,12	94,65*
Erro	588	1038,19	1,76	
Total	601	3210,78		
R5.1–R6				
DS	13	383,38	29,49	43,85*
Erro	588	395,49	0,67	
Total	601	778,87		
R6–R9				
DS	13	11243,11	864,85	190,67*
Erro	588	2667,12	4,53	
Total	601	13910,22		
Ciclo				
DS	13	66935,07	5148,85	397,76*
Erro	588	7611,39	12,94	
Total	601	74546,46		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE D – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a duração dos subperíodos e do ciclo do girassol, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da floração-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para as diferentes datas de semeadura (DS) simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E						-	-	-
E – R1		Normal	53,7442	3,6193				
R1 – R5.1	01/Ago				16/Nov			
R5.1 – R6								
R6 – R9								
S – R9		Normal	127,2093	4,1148		Inormal**	4,5561	0,0216
S – E		Normal	11,1163	2,2700				
E – R1		Weibull	52,2564	18,8729		Normal	35,0930	1,1714
R1 – R5.1	16/Ago	Inormal	3,2373	0,0612	01/Dez			
R5.1 – R6								
R6 – R9								
S – R9								
S – E		Normal	10,7442	1,9160				
E – R1		Normal	47,1163	2,3925				
R1 – R5.1	01/Set	Normal	24,5814	1,4012	16/Dez			
R5.1 – R6								
R6 – R9						Normal	23,5814	1,0055
S – R9		Normal	114,9070	2,9826		Normal	93,9070	2,0449
S – E								
E – R1						Normal	34,5349	1,2411
R1 – R5.1	16/Set				01/Jan			
R5.1 – R6								
R6 – R9								
S – R9		Normal	109,3023	2,6416		Normal	95,4884	2,7025
S – E	01	Normal	8,8837	1,2763	21	1		

E – R1				Normal	34,5116	1,2223	
R1 – R5.1							
R5.1 – R6							
R6 – R9							
S – R9	Normal	104,4651	2,7460	Normal	99,0233	3,7511	
<hr/>							
S – E							
E – R1							
R1 – R5.1	16/Out			01/Fev			
R5.1 – R6							
R6 – R9				Normal	32,2558	3,3459	
S – R9				Normal	106,2093	5,2124	
<hr/>							
S – E							
E – R1		Normal	37,5349	1,4856			
R1 – R5.1	01/Nov			16/Fev			
R5.1 – R6							
R6 – R9				Normal	38,5349	5,7502	
S – R9		Normal	97,6279	1,7324	Normal	117,3721	7,8499

*Os parâmetros das fdp Gama, Weibull e Lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função Normal. ** Inormal = Função lognormal.

APÊNDICE E – Análise de variância da deficiência hídrica no ciclo e nos subperíodos de desenvolvimento em função das 14 datas de semeadura (DS) simuladas para os municípios da região central do RS.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Semeadura emergência				
DS	13	12855,16	988,86	66,63*
Solo	5	366,23	73,24	4,94*
DS*Solo	65	110,12	1,69	0,11 ^{ns}
Erro	3528	52355,20	14,84	
Total	3611	65686,72		
Emergência –R1				
DS	13	268388,33	20645,25	106,08*
Solo	5	27484,46	5496,89	28,24*
DS*Solo	65	2522,67	38,81	0,20 ^{ns}
Erro	3528	686608,43	194,62	
Total	3611	985003,89		
R1-R51				
DS	13	322251,76	24788,60	84,72*
Solo	5	67821,13	13564,23	46,36*
DS*Solo	65	5996,52	92,25	0,31 ^{ns}
Erro	3528	1032290,67	292,60	
Total	3611			
R51-R6				
DS	13	119033,08	9156,39	85,91*
Solo	5	16680,32	3336,06	31,30*
DS*Solo	65	1777,20	27,34	0,26 ^{ns}
Erro	3528	375996,66	106,57	
Total	3611	513487,26		
R6-R9				
DS	13	885268,98	68097,61	159,74*
Solo	5	65574,29	13114,86	30,76*
DS*Solo	65	11787,47	181,34	0,42 ^{ns}
Erro	3528	1504037,50	426,31	
Total	3611	2466668,50		
Ciclo				
DS	13	3657922,86	281378,68	139,59*
Solo	5	652640,54	130528,11	64,75*
DS*Solo	65	46282,18	712,03	0,35 ^{ns}
Erro	3528	7111498,14	2015,73	
Total	3611	11468343,72		

*Significativo em nível de 1% de probabilidade de erro; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE F – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Alto das Canas e Cambai, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, 2012.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		lnormal	-0,5633	0,9713				
E – R1		lnormal	1,9023	0,4321		lnormal	3,4068	0,5714
R1 – R5.1	01/Ago	weibull	18,8302	1,7254	16/Nov	gama	15,2391	2,4482
R5.1 – R6		expontl	12,6051			gama	7,3804	2,5911
R6 – R9		weibull	50,5416	1,7727		weibull	43,9856	2,2213
S – R9		gama	21,2741	3,8878		lnormal	4,8692	0,3769
S – E		normal	2,6845	4,4041		weibull	9,1823	1,6670
E – R1		lnormal	2,1679	0,5283		lnormal	3,3891	0,5052
R1 – R5.1	16/Ago	lnormal	2,7324	0,7156	01/Dez	weibull	35,9558	1,7132
R5.1 – R6		gama	9,5714	1,8322		weibull	18,0707	1,6556
R6 – R9		weibull	56,7031	2,05416		gama	11,8202	2,8546
S – R9		weibull	115,1944	2,3443		lnormal	4,7472	0,3699
S – E		weibull	5,4149	1,4385		normal	4,8618	8,4526
E – R1		lnormal	2,3291	0,5118		lnormal	3,2713	0,6168
R1 – R5.1	01/Set	weibull	29,3353	1,6821	16/Dez	lnormal	3,0455	0,6240
R5.1 – R6		weibull	23,0434	1,6779		weibull	14,8074	1,6742
R6 – R9		gama	13,2849	4,0773		weibull	32,9415	1,7113
S – R9		gama	22,2995	5,2669		lnormal	4,5983	0,4069
S – E		expontl	4,8729			weibull	9,0488	1,6642
E – R1	16/Set	lnormal	2,4893	0,6139	01/Jan	lnormal	3,0321	0,6523
R1 – R5.1		lnormal	3,3057	0,7217		lnormal	2,8379	0,6455

(**Continuação**) Apêndice F – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Alto das Canas e Cambai, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011. Santa Maria, 2012.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R5.1 – R6		normal	11,7136	21,0293		weibull	12,7385	1,4851
R6 – R9		gama	9,9247	5,757	01/Jan	gama	10,2354	2,4961
S – R9		gama	21,3452	6,1436		lnormal	4,4243	0,4352
S – E		weibull	6,4093	1,5372		normal	4,4493	6,4435
E – R1						weibull	22,4949	1,7895
R1 – R5.1	01/Out	weibull	41,6655	1,8260	16/Jan	weibull	21,0894	1,5266
R5.1 – R6		weibull	27,0139	1,9784		gama	3,3679	3,2008
R6 – R9		gama	11,9688	4,5324		weibull	19,7791	1,4434
S – R9		gama	18,7375	7,5422		weibull	83,6963	2,5547
S – E		weibull	7,5113	1,4368		expontl	4,6551	
E – R1		lnormal	3,0248	0,6399		lnormal	2,7115	0,6092
R1 – R5.1	16/Out	gama	11,6344	3,5340	01/Fev	weibull	18,4226	1,8223
R5.1 – R6		weibull	26,5482	2,4888		normal	5,3406	6,9903
R6 – R9		normal	26,1778	52,0038		expontl	9,7665	
S – R9		lnormal	4,9434	0,3583		weibull	63,2527	2,3144
S – E		weibull	7,2300	1,4119		expontl	3,9207	
E – R1		lnormal	3,2785	0,6681		weibull	18,0017	1,7560
R1 – R5.1	01/Nov	weibull	46,1928	2,3214	16/Fev	expontl	10,3112	
R5.1 – R6		normal	12,9022	21,4627		expontl	3,9630	
R6 – R9		gama	14,6942	3,1328		expontl	4,7043	
S – R9		gama	19,9398	7,3753		lnormal	3,5300	0,5169

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e lnormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. lnormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE G – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		lnormal	-0,5711	0,9593		weibull	8,7192	1,8423
E – R1		lnormal	2,2461	0,4047		lnormal	3,5898	0,4944
R1 – R5.1	01/Ago	weibull	27,1255	1,9098	16/Nov	gama	15,7982	2,9015
R5.1 – R6		weibull	17,7154	1,3290		weibull	25,4235	1,8729
R6 – R9		weibull	60,8533	2,0136		weibull	47,5221	2,3147
S – R9		gama	20,7940	5,0746		lnormal	5,0185	0,3202
S – E		expontl	4,0980			gama	3,6918	2,0354
E – R1		lnormal	2,4817	0,4687		weibull	44,7718	2,4584
R1 – R5.1	16/Ago	weibull	30,6783	1,7792	01/Dez	weibull	45,0992	1,9509
R5.1 – R6		gama	10,0639	2,2505		gama	8,4805	2,2184
R6 – R9		weibull	65,7424	2,2616		weibull	42,2311	1,8976
S – R9		gama	22,2682	5,6400		lnormal	4,9130	0,3206
S – E		weibull	5,0015	1,4408		weibull	8,7432	1,7434
E – R1		weibull	17,6252	2,3156		lnormal	3,4706	0,5454
R1 – R5.1	01/Set	lnormal	3,4187	0,5999	16/Dez	lnormal	3,311	0,5661
R5.1 – R6		weibull	28,7094	1,8209		weibull	18,1509	1,8199
R6 – R9		weibull	68,3943	2,4647		weibull	38,0135	1,7932
S – R9		gama	21,1151	6,7434		lnormal	4,7831	0,3450
S – E		expontl	4,5617			weibull	8,5079	1,6598
E – R1	16/Set	gama	5,4496	3,4729	01/Jan	lnormal	3,2573	0,5629
R1 – R5.1		gama	14,9313	3,0149		lnormal	3,1680	0,5647

(Continuação) Apêndice G – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R5.1 – R6		normal	13,3104	25,1419		normal	9,5084	14,6378
R6 – R9		weibull	70,4743	3,0846	01/Jan	weibull	33,9135	2,0055
S – R9		gama	19,4494	8,0512		lnormal	4,6369	0,3708
S – E		weibull	5,8433	1,4625		expontl	5,9437	
E – R1						lnormal	3,0550	0,5414
R1 – R5.1	01/Out	weibull	53,8727	2,0833	16/Jan	weibull	29,0095	1,7112
R5.1 – R6		normal	13,7165	28,0606		weibull	15,7321	2,1635
R6 – R9		normal	25,2341	59,3174		weibull	23,8472	1,5858
S – R9		gama	16,4753	10,0901		normal	34,0694	91,3991
S – E		expontl	6,0785			weibull	4,5003	1,1649
E – R1		lnormal	3,2908	0,5779		lnormal	2,9629	0,5399
R1 – R5.1	16/Out	gama	11,8249	4,3162	01/Fev	weibull	24,6639	2,0090
R5.1 – R6		weibull	30,8870	2,5562		weibull	13,0527	1,3651
R6 – R9		weibull	63,0051	2,0357		weibull	11,8143	5,8555
S – R9		gama	14,8568	11,5712		gama	11,8143	5,8555
S – E		weibull	6,6645	1,3650		expontl	3,6383	
E – R1		gama	11,1090	3,4756		weibull	22,6977	2,0040
R1 – R5.1	01/Nov	weibull	56,4003	2,6565	16/Fev	expontl	14,0643	
R5.1 – R6		weibull	27,3910	1,6343		weibull	5,8088	1,3671
R6 – R9		weibull	55,8143	2,1387		lnormal	1,5103	0,7919
S – R9		gama	17,6113	9,5890		lnormal	3,7991	0,4479

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e lnormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. . lnormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE H – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Oásis e São Gabriel, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		lnormal	-0,8836	1,0309		normal	4,5459	8,2933
E – R1		weibull	7,7502	2,3505		gama	11,5921	3,0540
R1 – R5.1	01/Ago	weibull	18,799	1,7222	16/Nov	weibull	42,281	1,7014
R5.1 – R6		expontl	12,61			gama	7,3760	2,6020
R6 – R9		weibull	50,5485	1,7723		weibull	44,0765	2,2222
S – R9		gama	21,5894	3,7987		lnormal	4,8648	0,3912
S – E		gama	2,3937	1,7804		weibull	8,6786	1,6100
E – R1		lnormal	2,1281	0,5717		lnormal	3,3752	0,5327
R1 – R5.1	16/Ago	lnormal	2,7311	0,7181	01/Dez	weibull	36,25	1,7122
R5.1 – R6		gama	9,5920	1,8300		weibull	18,1511	1,6569
R6 – R9		weibull	56,720	2,0538		gama	11,8603	2,8515
S – R9		gama	24,260	4,1898		lnormal	4,7414	0,3848
S – E		weibull	5,3237	1,4390		weibull	8,8358	1,6783
E – R1		lnormal	2,2898	0,5398		lnormal	3,2552	0,6440
R1 – R5.1	01/Set	weibull	29,3134	1,6782	16/Dez	lnormal	3,0541	0,6258
R5.1 – R6		weibull	23,0556	1,6776		weibull	14,8757	1,6699
R6 – R9		gama	13,2838	4,0784		weibull	33,0158	1,7106
S – R9		gama	22,7721	5,1415		lnormal	4,5894	0,4245
S – E		expontl	4,7658			weibull	8,3131	1,5286
E – R1	16/Set	gama	4,7945	2,8841	01/Jan	lnormal	3,0046	0,6726
R1 – R5.1		lnormal	3,3036	0,7225		lnormal	2,8395	0,6491

(**Continuação**) Apêndice H – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos Oásis e São Gabriel, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R5.1 – R6		normal	11,716	21,0383		weibull	12,7684	1,4816
R6 – R9		gama	9,9230	5,759	01/Jan	gama	10,2652	2,4924
S – R9		gama	21,6153	6,0368		Inormal	4,4064	0,4551
S – E		weibull	6,5104	1,5946		weibull	6,3820	1,3076
E – R1						Inormal	2,7966	0,5934
R1 – R5.1	01/Out	weibull	41,6743	1,8195	16/Jan	gama	9,6148	1,9796
R5.1 – R6		weibull	27,0423	1,9788		gama	3,3925	3,1865
R6 – R9		weibull	60,9951	2,4745		weibull	19,8085	1,4436
S – R9		gama	19,3301	7,3149		weibull	82,9504	2,4252
S – E		weibull	7,2704	1,4415		expontl	4,0864	
E – R1		Inormal	2,9964	0,6546		Inormal	2,6614	0,6311
R1 – R5.1	16/Out	gama	11,674	3,5320	01/Fev	weibull	18,4814	1,8140
R5.1 – R6		weibull	26,5991	2,4890		weibull	7,1950	1,0831
R6 – R9		weibull	58,7924	2,1243		expontl	9,7877	
S – R9		Inormal	4,9379	0,3668		weibull	61,9568	2,2175
S – E		weibull	6,8956	1,3146		expontl	3,2547	
E – R1		Inormal	3,2545	0,6822		weibull	17,1618	1,6999
R1 – R5.1	01/Nov	Inormal	3,6038	0,5026	16/Fev	expontl	10,3649	
R5.1 – R6		normal	12,916	21,5201		expontl	3,982	
R6 – R9		gama	14,7029	3,1344		expontl	4,7217	
S – R9		gama	20,5607	7,1306		weibull	42,6684	2,0013

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e Inormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. Inormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE I – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		Inormal	-0,5659	0,9661		weibull	8,0900	1,7465
E – R1		gama	1,4098	6,1978		Inormal	3,4400	0,5243
R1 – R5.1	01/Ago	weibull	21,6887	1,7943	16/Nov	gama	14,8434	2,5704
R5.1 – R6		weibull	14,009	1,1996		gama	9,5423	1,9838
R6 – R9		weibull	51,0111	1,7105		gama	11,2942	3,0459
S – R9		gama	20,9436	4,1810		Inormal	4,8363	0,3609
S – E		weibull	4,3665	1,4760		gama	3,8587	1,8961
E – R1		Inormal	2,3260	0,4864		Inormal	3,4522	0,4688
R1 – R5.1	16/Ago	Inormal	2,8738	0,6692	01/Dez	weibull	37,2254	1,7059
R5.1 – R6		weibull	20,8183	1,4549		weibull	16,9573	1,3484
R6 – R9		weibull	55,8236	1,8974		weibull	34,9739	1,6763
S – R9		weibull	119,5899	2,2934		Inormal	4,7386	0,3586
S – E		weibull	4,7995	1,4277		weibull	8,3539	1,6788
E – R1		Inormal	2,4781	0,4887		Inormal	3,3427	0,5621
R1 – R5.1	01/Set	Inormal	3,1897	0,6520	16/Dez	Inormal	3,0962	0,6154
R5.1 – R6		weibull	24,5449	1,5897		weibull	14,9349	1,6214
R6 – R9		gama	14,3496	3,5119		gama	13,5426	2,0887
S – R9		gama	22,7874	5,2588		Inormal	4,6164	0,3760
S – E	16/Set	exponl	4,4462		01/Jan	normal	4,3017	7,4123
E – R1		gama	4,9867	3,2904		Inormal	3,1266	0,5901

(**Continuação**) Apêndice I – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para os solos São Pedro, Venda Grande e Cerrito, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R1 – R5.1		weibull	42,8145	1,7263		lnormal	2,9521	0,6001
R5.1 – R6		normal	12,9715	21,0011	01/Jan	weibull	13,4135	1,3853
R6 – R9		weibull	58,9101	2,4198		weibull	27,5572	1,8496
S – R9		gama	21,0447	6,2764		lnormal	4,4699	0,3900
S – E		gama	2,9019	1,7147		normal	3,8379	5,7153
E – R1		lnormal	2,9012	0,6644		lnormal	2,9167	0,5560
R1 – R5.1	01/Out	gama	14,3745	2,7794	16/Jan	gama	9,6052	2,2005
R5.1 – R6		weibull	26,0501	1,7833		weibull	12,5409	1,9487
R6 – R9		weibull	56,1835	2,1021		weibull	19,0368	1,4281
S – R9		lnormal	4,8806	0,3637				
S – E		expontl	5,9547			expontl	4,2118	
E – R1		lnormal	3,1479	0,6004		lnormal	2,8188	0,5548
R1 – R5.1	16/Out	lnormal	3,5848	0,5648	01/Fev	lnormal	2,6840	0,5919
R5.1 – R6		weibull	25,6904	2,0950		expontl	7,2237	
R6 – R9		weibull	52,9331	1,7192		expontl	9,6694	
S – R9		lnormal	4,9219	0,3466		normal	24,1871	57,9055
S – E		expontl	5,9207			expontl	3,6243	
E – R1		lnormal	3,3680	0,6221		gama	5,5237	3,1469
R1 – R5.1	01/Nov	lnormal	3,5944	0,4946	16/Fev	expontl	11,2738	
R5.1 – R6		weibull	22,6953	1,3880		gama	2,8769	1,5088
R6 – R9		gama	15,4661	2,6758		expontl	4,8959	
S – R9		lnormal	4,8978	0,3720				

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e lnormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. lnormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE J – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Santa Maria, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		Inormal	-0,8829	1,0307		weibull	7,7807	1,6248
E – R1		Inormal	1,7911	0,4446		Inormal	3,2645	0,5830
R1 – R5.1	01/Ago	Inormal	2,5087	0,6628	16/Nov	Inormal	3,2454	0,7312
R5.1 – R6		expontl	10,8209			weibull	18,398	1,4554
R6 – R9		gama	18,9032	2,073		gama	11,58	2,7131
S – R9		gama	20,4146	3,5437		Inormal	4,6891	0,4159
S – E		weibull	4,2582	1,4277		weibull	7,6819	1,4419
E – R1		Inormal	2,0829	0,5733		Inormal	3,2570	0,5119
R1 – R5.1	16/Ago	Inormal	2,6104	0,7051	01/Dez	Inormal	3,0853	0,7416
R5.1 – R6		expontl	15,6622			weibull	14,6986	1,3188
R6 – R9		weibull	49,1721	1,7458		weibull	30,9849	1,5459
S – R9		weibull	102,0480	2,0615		Inormal	4,5731	0,4102
S – E		weibull	4,7238	1,3909		weibull	7,8832	1,5568
E – R1		gama	2,6297	4,0170		Inormal	3,1655	0,6210
R1 – R5.1	01/Set	Inormal	2,9401	0,6936	16/Dez	Inormal	2,8908	0,6633
R5.1 – R6		weibull	20,7679	1,4972		weibull	12,7109	1,5234
R6 – R9		gama	15,1520	3,0122		weibull	27,3407	1,4940
S – R9		gama	23,8598	4,3204		Inormal	4,4463	0,4383
S – E		expontl	4,3332			weibull	7,6002	1,5222
E – R1	16/Set	expontl	12,9471		01/Jan	Inormal	2,9274	0,6553
R1 – R5.1		gama	13,8033	2,2540		Inormal	2,7245	0,6460

(**Continuação**) Apêndice J – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da floração-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Santa Maria, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R5.1 – R6		weibull	20,1736	1,5068		gama	6,6969	1,5339
R6 – R9		weibull	53,8765	2,2012	01/Jan	gama	9,1711	2,3199
S – R9		gama	22,2511	5,1397		lnormal	4,2841	0,4544
S – E		weibull	5,3650	1,32891		expontl	5,1762	
E – R1		expontl	18,503			lnormal	2,7101	0,5924
R1 – R5.1	01/Out	gama	13,7631	2,4309	16/Jan	weibull	18,9973	1,5001
R5.1 – R6		gama	8,8916	2,3096		weibull	10,423	1,8824
R6 – R9		weibull	50,8289	1,9799		weibull	16,3539	1,3480
S – R9		lnormal	4,7277	0,4094		normal	27,3051	64,2839
S – E		weibull	6,1447	1,3641		expontl	3,7244	
E – R1		lnormal	2,9260	0,6372		lnormal	2,5907	0,6057
R1 – R5.1	16/Out	lnormal	3,4031	0,5987	01/Fev	lnormal	2,4560	0,6349
R5.1 – R6		weibull	22,5598	1,9812		expontl	6,0001	
R6 – R9		weibull	47,8508	1,6427		expontl	8,2599	
S – R9		lnormal	4,7702	0,3914		gama	10,8431	4,4278
S – E		expontl	5,6776			weibull	3,2736	1,2543
E – R1		gama	11,0267	2,6320		weibull	15,6443	1,8050
R1 – R5.1	01/Nov	lnormal	3,4064	0,5431	16/Fev	expontl	8,9852	
R5.1 – R6		weibull	19,8164	1,3508		expontl	3,5199	
R6 – R9		gama	16,3955	2,3101		expontl	3,9673	
S – R9		lnormal	4,7464	0,4244		weibull	37,9120	2,1665

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. lnormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE K – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Vacacaí, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
S – E		Inormal	-0,8809	1,034		normal	4,4584	7,4064
E – R1		Inormal	1,6556	0,4543		Inormal	3,1829	0,6095
R1 – R5.1	01/Ago	Inormal	2,3399	0,6773	16/Nov	gama	13,6103	2,1394
R5.1 – R6		expontl	9,4352			weibull	16,7782	1,4193
R6 – R9		weibull	39,1006	1,5148		gama	11,565	2,5510
S – R9		Inormal	3,9996	0,5881		Inormal	4,6064	0,4409
S – E		weibull	4,3639	1,4426		weibull	8,0043	1,4771
E – R1		Inormal	1,9613	0,6007		Inormal	3,1682	0,5360
R1 – R5.1	16/Ago	Inormal	2,4460	0,7245	01/Dez	expontl	24,8337	
R5.1 – R6		expontl	13,7935			weibull	13,3717	1,3141
R6 – R9		weibull	44,7941	1,678		weibull	28,5527	1,4871
S – R9		gama	24,3239	3,3400		Inormal	4,4824	0,4324
S – E		weibull	4,8681	1,4105		weibull	8,0865	1,5426
E – R1		Inormal	2,1058	0,5397		Inormal	3,0786	0,6457
R1 – R5.1	01/Set	Inormal	2,7792	0,7142	16/Dez	expontl	19,9336	
R5.1 – R6		weibull	18,4416	1,4550		weibull	11,4024	1,4619
R6 – R9		weibull	47,8153	1,8060		weibull	24,8128	1,4349
S – R9		gama	23,5240	3,9740				
S – E	16/Set	expontl	4,458		01/Jan	weibull	7,742	1,4929
E – R1		Inormal	2,2554	0,6470		Inormal	2,8334	0,690

(Continuação) APÊNDICE K – Funções de distribuição de probabilidades (fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica nos subperíodos, semeadura (S), Emergência (E), botão floral visível (R1), início da antese (R5.1), final da antese-início do enchimento de aquênios (R6) e maturação fisiológica (R9), para o solo Vacacaí, nas datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2011.

Subperíodo	DS	fdp	a*	b*	DS	fdp	a*	b*
R1 – R5.1		gama	12,757	2,1290		lnormal	2,5767	0,6726
R5.1 – R6		weibull	18,1334	1,4589	01/Jan	weibull	9,8591	1,30678
R6 – R9		weibull	50,4639	2,1303		lnormal	4,1801	0,4841
S – R9		gama	22,2629	4,6852		weibull	5,7356	1,2951
S – E		weibull	5,6026	1,3257		weibull	18,5018	1,7156
E – R1		expontl	16,83			weibull	16,5135	1,4609
R1 – R5.1	01/Out	gama	13,0254	2,2724	16/Jan	weibull	9,2135	1,8441
R5.1 – R6		gama	8,4866	2,2143		expontl	13,5593	
R6 – R9		weibull	47,3102	1,9295		gama	12,0270	4,8487
S – R9		lnormal	4,6323	0,4324		expontl	3,8514	
S – E		weibull	6,3857	1,3976		lnormal	2,4859	0,6292
E – R1		lnormal	2,8121	0,6537		weibull	13,771	1,7469
R1 – R5.1	16/Out	lnormal	3,2786	0,6163	01/Fev	expontl	5,2759	
R5.1 – R6		weibull	20,5379	1,9270		expontl	7,4172	
R6 – R9		weibull	44,6833	1,6196		weibull	49,2040	2,2153
S – R9		lnormal	4,6776	0,4124		expontl	5,9107	
S – E		expontl	5,9107			weibull	3,3673	1,2444
E – R1		lnormal	3,0634	0,7059		lnormal	2,3226	0,6843
R1 – R5.1	01/Nov	lnormal	3,2824	0,5686	16/Fev	expontl	7,7624	
R5.1 – R6		weibull	17,9455	1,3238		expontl	3,0579	
R6 – R9		gama	16,3546	2,1744		expontl	3,4759	
S – R9		lnormal	4,6557	0,4486				

*Os parâmetros das fdp gama, weibull e lnormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. lnormal = Função lognormal. Expontl = Função Exponencial.

APÊNDICE L – Análise de variância da deficiência hídrica para o ciclo do girassol em função das diferentes datas de semeadura (DS) e fenômeno ENOS para os municípios da região central do RS.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
São Pedro, Venda Grande e Cerrito				
DS	13	593500,50	45653,88	24,59*
ENOS	2	44935,11	22467,55	12,10*
DS*ENOS	26	96313,95	3704,38	2,00*
Erro	560	1039476,06	1856,21	
Total	601	1774225,62		
Santa Maria				
DS	13	491656,82	37819,75	21,10*
ENOS	2	42384,61	21192,30	11,83*
DS*ENOS	26	88869,20	3418,05	1,91*
Erro	560	1003560,38	1792,07	
Total	601	1626471,00		
Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos				
DS	13	821349,52	63180,73	31,57*
ENOS	2	50281,92	25140,96	12,56*
DS*ENOS	26	103584,32	3984,01	1,99*
Erro	560	1120595,90	2001,06	
Total	601	2095811,66		

*Significativo em nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE M – Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada 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.

DS	São Pedro, Venda Grande e Cerrito			Santa Maria			Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos		
	El Niño								
	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*
01/08	weibull	72,1962	2,4561	Inormal	3,8846	0,5814	normal	34,2772	79,7812
16/08	weibull	97,0805	2,4413	weibull	88,0554	1,9937	normal	44,2314	104,5635
01/09	gama	18,1655	5,7140	gama	19,8566	4,6148	normal	45,9177	125,1290
16/09	normal	42,4594	118,0516	normal	38,8696	101,8162	normal	47,7098	140,7098
01/10	weibull	137,6804	3,4241	weibull	118,9827	3,1377	weibull	163,6604	3,7625
16/10	gama	10,8627	11,5055	gama	11,3592	9,5088	normal	42,8941	150,8059
01/11	Inormal	4,7575	0,3159	Inormal	4,6035	0,3605	Inormal	4,9480	0,2976
16/11	Inormal	4,7746	0,3140	Inormal	4,6112	0,3653	Inormal	4,9466	0,2782
01/12	Inormal	4,7143	0,2941	Inormal	4,5245	0,3364	Inormal	4,8760	0,2691
16/12	Inormal	4,5354	0,3848	Inormal	4,3337	0,4212	Inormal	4,7073	0,3634
01/01	Inormal	4,3903	0,4350	Inormal	4,1775	0,4744	weibull	117,9408	2,7299
16/01	weibull	84,6828	2,7653	weibull	68,6732	2,4146	normal	37,8088	92,3481
01/02	normal	24,8254	55,8922	Inormal	3,6580	0,5264	weibull	78,0708	2,5509
16/02	Inormal	3,5588	0,4729	-	-	-	gama	9,4118	5,0343
La Niña									
01/08	normal	44,6451	116,8828	weibull	111,3249	2,7535	gama	15,7227	8,8065
16/08	Inormal	4,8406	0,3792	Inormal	4,6826	0,4176	Inormal	5,0125	0,3126
01/09	gama	17,2384	8,4666	Inormal	4,7756	0,4012	Inormal	5,1017	0,2785

(Continuação) Apêndice M – Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada 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.

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*
16/09	lnormal	4,9749	0,3759	gama	19,5668	6,9069	lnormal	5,1576	0,2872
01/10	lnormal	4,9900	0,3797	gama	20,6671	6,7204	lnormal	5,1677	0,3106
16/10	normal	50,2228	148,4973	normal	49,2672	131,0825	weibull	194,9385	4,1712
01/11	weibull	146,9766	4,2546	weibull	130,4736	3,7060	weibull	177,7622	4,4740
16/11	normal	32,2201	116,2340	normal	31,1680	100,8128	normal	38,2293	144,0331
01/12	weibull	117,0405	3,4441	weibull	100,1556	2,9306	weibull	142,3112	4,1348
16/12	lnormal	4,5049	0,3260	lnormal	4,3165	0,3819	weibull	125,4557	3,7255
01/01	lnormal	4,3824	0,3105	lnormal	4,1741	0,3551	lnormal	4,5522	0,2712
16/01	weibull	75,5402	3,6831	weibull	62,1216	3,1994	weibull	87,8206	4,1124
01/02	lnormal	3,9335	0,3895	gama	7,0633	6,2440	gama	7,4611	8,5458
16/02	weibull	48,0297	2,8114	weibull	38,8410	2,5345	normal	20,2922	50,0612
	Neutro								
01/08	lnormal	4,2855	0,4379	lnormal	4,0642	0,4805	lnormal	4,4973	0,3838
16/08	lnormal	4,4348	0,4875	weibull	89,9413	2,0454	lnormal	4,6530	0,4167
01/09	lnormal	4,5856	0,4822	lnormal	4,3997	0,5404	lnormal	4,7990	0,4218
16/09	lnormal	4,7472	0,4353	lnormal	4,5786	0,4850	gama	20,5722	7,3402
01/10	lnormal	4,9041	0,3459	lnormal	4,7445	0,3872	lnormal	5,0874	0,3113
16/10	lnormal	5,0408	0,2961	lnormal	4,8934	0,3362	lnormal	5,2053	0,2516

(Conclusão) Apêndice M – Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas para determinar a deficiência hídrica acumulada 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.

DS	São Pedro, Venda Grande e Cerrito			Santa Maria			Charrua, Ciríaco, Guassupi e Júlio de Castilhos		
	Neutro								
	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*	fdp	a*	b*
01/11	Inormal	5,0750	0,3615	Inormal	4,9376	0,4107	Inormal	5,2272	0,3141
16/11	Inormal	5,0123	0,3952	Inormal	4,8817	0,4508	Inormal	5,1703	0,3399
01/12	weibull	162,7466	2,8024	Inormal	4,7493	0,4581	Inormal	5,0477	0,3578
16/12	Inormal	4,8092	0,3618	Inormal	4,6715	0,4363	Inormal	4,9501	0,3383
01/01	weibull	123,3173	3,2552	weibull	110,4262	2,6045	weibull	143,9384	3,1290
16/01	normal	30,4107	87,4850	normal	29,3914	75,6236	weibull	115,5921	3,3862
01/02	normal	26,5491	64,9109	normal	25,1957	55,3193	normal	29,8678	76,7054
16/02	Inormal	3,6831	0,4831	Inormal	3,4583	0,5343	Inormal	3,8520	0,4590

*Os parâmetros das fdp Gama, Weibull e lognormal são denominados “escalar” e “de forma”, ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função normal. Inormal = Função lognormal. Expon1 = Função Exponencial.

ANEXOS

ANEXO A – Descrição das características dos solos estudados, conforme Cardoso (2005).

Argissolos

O termo Argissolo deriva da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. São geralmente profundos a muito profundos, bem drenados, e podem ser originados a partir de rochas eruptivas, como os basaltos e granitos ou de arenitos e outros sedimentos. A limitação física refere-se à textura, espessura da camada arenosa (que promove rápida infiltração de água) com mudanças abruptas (arênico e espessarênicos), ou só mudança abrupta (abrupticos). A declividade do relevo interfere na erosão hídrica e no potencial de uso, pois ocorrem em relevo suavemente ondulado até fortemente ondulado, formado por elevações (coxilhas) com declives que variam de 5 a 10 % e altitude de 400 a 700m, ocupando a maior área territorial do RGS.

Classe: Argissolo Bruno Acinzentado Alumínico típico.

Unidade de mapeamento: Oásis.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado distrófico húmico textura argilosa.

Sua ocorrência na área de estudo concentra-se na parte alta com menor declive do relevo da borda do Planalto, nos municípios de Itaara, Silveira Martins, Faxinal do Soturno, Agudo. Sob condições de vegetação natural predominam a vegetação rasteira e mata secundária; as raízes são “abundantes” no horizonte A até 25 cm, “muitas” no horizonte A de 25 até 40 cm e “poucas” no horizonte B até 65 cm de profundidade (BRASIL, 1973).

Classe: Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico.

Unidade de mapeamento: Júlio de Castilhos.

Antiga classificação: Podzólico Vermelho Amarelo álico textura argilosa.

Os municípios de maior ocorrência na área de estudo são Santa Maria, São Pedro do Sul, Silveira Martins, Itaara e Nova Palma, parte alta com menos declive na borda do Planalto. Sob condições naturais predominam a vegetação rasteira de campos mistos e matas galerias; as raízes são “abundantes” no horizonte A até 30 cm, “raras” no horizonte AB de 30 até 50 cm, e “escassas” no horizonte B de 50 até 80 cm de profundidade.

Classe: Argissolo vermelho distrófico latossólico (PVD3).

Unidade de mapeamento: Alto das Canas.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado eutrófico textura argilosa.

Na área de estudo tem maior ocorrência nos municípios de São Gabriel e São Sepé. A vegetação natural se apresenta com campos mistos; as raízes, segundo Brasil (1973), são

classificadas como “abundantes” no horizonte A até 40 cm e “poucas” no horizonte A/B de 40 até 55 cm de profundidade.

Chernossolos

Essa classe de solos caracteriza-se pelos solos rasos e profundos (80 a 120 cm em média), com perfil de horizontes A-B-C, com médios e altos teores de material orgânico, desenvolvidos a partir do basalto que lhe confere cores escuras ao horizonte superficial A. Apresenta horizonte B textural, pouco espesso (30-60 cm), de textura argilosa. O horizonte C é composto por material intemperizado (basalto amigdalóide), apresentando grande número de incrustações de vários tamanhos.

Classe: Chernossolo Argilúvico Férrico típico.

Unidade de mapeamento: Ciríaco.

Antiga classificação: Brunizem avermelhado raso textura argilosa.

Os municípios de maior ocorrência na área de estudo são Itaara, São Marinho da Serra e São Pedro do Sul. Sob condições naturais predomina a vegetação de mata subtropical alta, embora atualmente com expressivas áreas cultivadas. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 25 cm, “comuns” de 25 a 48 cm no horizonte AB e de 48 a 90 cm como “ausentes” no horizonte B (BRASIL, 1973).

A unidade de mapeamento Ciríaco não constitui unidade de mapeamento simples no Rio Grande do Sul, estando sempre associados em manchas com os solos Charrua (Neossolos litólico eutrófico chernossólico – Rle1) formando a Associação Ciríaco-Charrua. Esses solos ocupam área de pequena extensão, em relevo ondulado e fortemente ondulado, o que dificulta a mecanização, exigindo práticas conservacionistas intensivas.

Classe: Chernossolo Argilúvico Órtico saprolítico.

Unidade de mapeamento: Venda Grande.

Antiga classificação: Brunizem raso.

Esses solos ocorrem em relevo ondulado com pequenas elevações e declive médio (aproximadamente 8%), em altitudes de 80 a 200 m, aparecendo nos municípios de Restinga Seca, São Sepé, São Gabriel, Santa Maria, Dilermando de Aguiar e Cacequi.

A vegetação natural aparece como mata subtropical arbustiva, mas intensamente modificada e reduzida pelo uso agrícola intenso. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 28 cm e no horizonte B até 42 cm, sendo “comuns” no horizonte C de 42 a 75 cm de profundidade (BRASIL, 1973).

Latosolos

É um solo profundo, que, comparado aos demais solos, apresenta alta capacidade de armazenamento de água.

Classe: Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Unidade de mapeamento: Cerrito.

Antiga classificação: Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico textura argilosa.

Esse solo ocorre na parte central do município de São Sepé. Sob condições naturais predomina a vegetação de campos com pequena cobertura de gramíneas, atualmente com áreas cultivadas intensamente assim como pecuária. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 35 cm e de 35 a 60 cm no horizonte AB e são “comuns” de 60 a 94 cm no horizonte BA e de 94 a 136 cm no horizonte B.

Luvisolos

O termo luvisolo significa acumulação subsuperficial de argila. São solos quase sempre pouco profundos, com drenagem imperfeita, perfil com os horizontes A-B-C, com presença de argilas expansivas que favorecem a erosão, dificultando o manejo e exigindo práticas conservacionistas intensivas.

Classe: Luvisolo Crômico Pálico saprolítico.

Unidade de mapeamento: Cambai.

Antiga classificação: Brunizem Avermelhado raso textura argilosa.

Ocorrem em relevo ondulado nos municípios de Vila Nova, São Gabriel, e Santa Margarida do Sul. São pouco profundos e rasos, associados a afloramentos rochosos.

Sob condições naturais predomina a vegetação de campos finos, com mata galeria nas margens dos rios e arroios. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 40 cm, “poucas” de 40 a 67 cm no horizonte B e “raras” na profundidade de 67 a 85 cm no horizonte BC.

Neossolos

O termo “neossolos” refere-se a solos novos, pouco desenvolvidos. São solos de formação muito recente, derivados do basalto. São encontrados em condições de relevo médio a fortemente ondulado, com drenagem moderada. Devido a sua pouca espessura, possuem

fortes restrições às culturas anuais, mas apresentam aptidão para reflorestamento e fruticultura.

Classe: Neossolo Litólico Eutrófico típico.

Unidade de mapeamento: Charrua.

Antiga classificação: Litólico Eutrófico textura média.

Sua ocorrência na área estudada concentra-se nas encostas da Serra aparecendo sempre associado com solos Ciríaco.

A vegetação original compunha-se de mata subtropical alta, mas está intensamente alterada pelo desmatamento intensivo e uso em áreas ocupadas com culturas regionais. As raízes são classificadas como “abundantes” até 20 cm no horizonte A, sendo que a próxima camada é de rocha matriz.

Classe: Neossolo Litólico Distró-úmbrico fragmentário.

Unidade de mapeamento: Guassupi.

Antiga classificação: Litólico Distrófico textura média.

Área de ocorrência: nos municípios de São Martinho da Serra, São Pedro, Santa Maria, Itaara e Silveira Martins. A vegetação original predominante é a de campos com presença de matas baixas e esparsas, sendo utilizado para pastagens. O sistema radicular apresenta-se “abundante” com pouca profundidade até 20 cm e penetrando nas fendas de rochas.

Planossolos

Os Planossolos, típicos de áreas planas, são imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em várzeas com relevo plano à suave ondulado. São adequados para o cultivo de arroz irrigado, milho, soja e pastagens.

Classe: Planossolo Háptico Eutrófico arênico.

Unidade de mapeamento: Vacacaí.

Antiga classificação: Planosol textura média.

A área de ocorrência concentra-se em altitudes menores do que 150 m em relevo plano à suave ondulado, nas várzeas dos rios, principalmente na Depressão Central. A vegetação predominante é a de campos, mas modificada pelo uso atual com cultivos de arroz e após sua colheita com pastagem de resteva.

O sistema radicular apresenta-se como “abundante” até 45 cm no horizonte A, “comum” de 45 a 70 cm no horizonte e de “poucas” raízes no horizonte B de 70 a 120 cm.

Classe: Planossolo Háplico Eutrófico típico.

Unidade de mapeamento: São Gabriel.

Antiga classificação: Planosol textura argilosa.

A área de sua ocorrência abrange uma faixa de relevo entre a várzea da margem direita do rio Vacacaí e as encostas da Serra do Sudeste nos municípios de São Gabriel, Santa Margarida do Sul, Vila Nova do Sul e São Sepé. O relevo é suavemente ondulado, com altitudes entre 80 a 200m. A vegetação predominante é a de campos finos entremeados de esparsos capões de mato. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 20 cm, “poucas” de 20 a 55 cm no horizonte BC e ainda como “poucas” na profundidade de 55 a 68 cm no horizonte C.

ANEXO B – Descrição das principais funções de densidade de probabilidade, conforme Silva (2008).

A função exponencial é utilizada para dados com forte assimetria à esquerda, ou seja, com forma similar à um “J” invertido (THOM, 1958; KITE, 1978). Sua função de densidade de probabilidade $f(x)$ é expressa por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} e^{-x/\lambda}; & x > 0 \\ 0 & ; x < 0 \end{cases} \quad (26)$$

A probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual à x pode ser calculada pela sua função de distribuição acumulada $[F(x)]$, dada por:

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x) = 1 - e^{-x/\lambda} \quad (27)$$

em que x é a variável aleatória contínua, que neste caso, foi a DHS, e é base do logaritmo neperiano (2,718281828...) e λ é o parâmetro escalar, estimado pela média dos valores de x .

A distribuição com função gama é um caso particular da distribuição de Pearson do Tipo III, com parâmetro de localização igual à zero (THOM, 1958). Sendo x for uma variável aleatória contínua com valores maiores que zero, com distribuição gama de parâmetros $\alpha > 0$ e $\beta > 0$, sua função densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \text{ para } 0 < x < \infty \quad (28)$$

em que β e α são o parâmetro de escala e o parâmetro de forma da variável aleatória contínua x e $\Gamma(\alpha)$ é a função gama incompleta do parâmetro α (THOM, 1958). A média e a variância dos dados são iguais a $\alpha\beta$ e $\alpha\beta^2$. Sua função cumulativa de probabilidade $[F(x)]$ é definida por:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (29)$$

A distribuição lognormal considera que os logaritmos das variáveis aleatórias seguem uma distribuição normal. A função densidade da distribuição lognormal a dois e a três parâmetros são representadas pela seguinte equação (MIRSHAWKA, 1971):

$$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (30)$$

em que $f(x)$ é a função densidade de probabilidade da variável aleatória x ; e a base dos logaritmos neperianos; μ a média dos logaritmos da variável x ; σ o desvio-padrão dos logaritmos da variável x ; e “a” o limite inferior da amostra, sendo “a” igual à zero para a função a dois parâmetros.

Assumindo-se valores entre a e b ($a \leq x \leq b$) para uma variável aleatória x , pode-se encontrar a probabilidade de x por:

$$F(a \leq x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(x-a) - \mu]^2}{2\sigma^2}} dx \quad (31)$$

O valor de “a” pode ser zero ou o valor mínimo da série. O valor de “b” pode ser o valor da variável aleatória quando se considera a probabilidade cumulativa de ocorrência daquele valor (HASTINGS; PEACOCK, 1975).

Uma das mais importantes distribuições de probabilidades, com muitas variáveis modeladas, é a distribuição de probabilidades “Normal”. Se a variável X tem distribuição normal com parâmetros média (μ), variância (σ^2) e desvio-padrão (σ), a sua função densidade de probabilidade é dada por (RIBEIRO JÚNIOR, 2004):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \text{ para } -\infty < \mu < \infty, -\infty < x < \infty \text{ e } \sigma > 0 \quad (32)$$

A função densidade de probabilidade Weibull para a variável X , para os parâmetros escalar (β) e de forma (α), é dada por (RIBEIRO JÚNIOR, 2004):

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, \text{ para } x \geq 0, \alpha > 0 \text{ e } \beta > 0 \quad (33)$$

Utilizando-se os parâmetros das fdp calculou-se os valores de duração do ciclo, de deficiência hídrica por subperíodo e ciclo para cada ano agrícola mais prováveis, para os diferentes solos e épocas de semeadura.