

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

Camila Coelho Becker

**DATA DE PLANTIO DE GLADIÓLO PARA COMERCIALIZAÇÃO EM
DOIS PICOS DE CONSUMO NO CLIMA ATUAL E EM CLIMAS
FUTUROS NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO O MODELO
PhenoGlad**

Santa Maria, RS
2017

Camila Coelho Becker

**DATA DE PLANTIO DE GLADIÓLO PARA COMERCIALIZAÇÃO EM DOIS
PICOS DE CONSUMO NO CLIMA ATUAL E EM CLIMAS FUTUROS NO RIO
GRANDE DO SUL UTILIZANDO O MODELO PhenoGlad**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS
2017

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

Coelho Becker, Camila

Data de plantio de gladiolo para comercialização em dois picos de consumo no clima atual e em climas futuros no Rio Grande do Sul utilizando o modelo PhenoGlad / Camila Coelho Becker.- 2017.

122 p.; 30 cm

Orientador: Nereu Augusto Streck

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2017

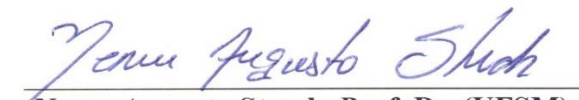
1. PhenoGlad 2. Gladiolus x grandiflorus Hort. 3. Agendamento do florescimento 4. El Niño-Oscilação Sul 5. Mudança climática I. Augusto Streck, Nereu II. Título.

Camila Coelho Becker

**DATA DE PLANTIO DE GLADIÓLO PARA COMERCIALIZAÇÃO EM DOIS
PICOS DE CONSUMO NO CLIMA ATUAL E EM CLIMAS FUTUROS NO RIO
GRANDE DO SUL UTILIZANDO O MODELO PhenoGlad**

Dissertação apresenta ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.


Aprovado em 21 de fevereiro de 2017:



Nereu Augusto Streck, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)



Simone Erotildes Teleginski Ferraz (UFSM)



Leosane Cristina Bosco (UFSC)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar este estudo.

Ao professor Dr. Nereu Augusto Streck pelas orientações, ensinamentos e incentivo durante o curso de Graduação e Pós-Graduação.

À minha mãe e minhas irmãs por me apoiarem e estarem junto comigo durante os momentos difíceis.

Ao meu namorado e amigo Felipe Lamberti Pivoto pela paciência e compreensão nos momentos que estive ausente.

Ao colega de pesquisa Rômulo Pulcinelli Benedetti pela automatização das simulações que possibilitou que esse trabalho fosse concluído a tempo.

À colega de pós-graduação Lilian Osmari Uhlmann pela ajuda e apoio que me foram dados.

À querida colega Jossana Ceolin Cera pela paciência e grande ajuda que me foi dada.

À colega de pesquisa Bruna San Martin Rolim Ribeiro por ter me ensinado a utilizar o software QGIS para elaboração dos mapas.

Aos queridos alunos de graduação que me auxiliaram na organização dos resultados das simulações Waleska Bolson Silveira, Simone Puntel, Mara Braga, Darlan Balest e Melina Bonatto.

Aos alunos de Ensino Médio Eduarda Becker, Eduardo Evaldt Silveira, Jaíne Shroter que também fizeram parte da realização deste estudo.

À professora Fernanda Alice Antonello Londero Backes pela colaboração durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo de pesquisa em Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela companhia diária.

Ao produtor de gladiólo, senhor Milton Cauzzo, que nos recebe de portas abertas em sua propriedade para conduzirmos nossa pesquisa.

À CAPES pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos.

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

DATA DE PLANTIO DE GLADIÓLO PARA COMERCIALIZAÇÃO EM DOIS PICOS DE CONSUMO NO CLIMA ATUAL E EM CLIMAS FUTUROS NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO O MODELO PhenoGlad

AUTORA: Camila Coelho Becker
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck

O gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) é uma importante flor de corte cultivada a céu aberto. A temperatura do ar é o principal fator abiótico que dirige sua fenologia, portanto os agricultores agendam o florescimento de gladiólo para os picos de demanda, definindo a data ótima de plantio. O objetivo desse estudo foi determinar a data ótima de plantio de gladiólo visando colheita das espigas para comercialização no Dia de Finados e Dia das Mães no clima atual e em cenários climáticos do CMIP5 no Rio Grande do Sul. O modelo PhenoGlad foi usado para simular os estágios de desenvolvimento do gladiólo e danos nas plantas por calor e geada. Para simular a data ótima de plantio no clima atual, os dados de entrada no modelo foram temperatura mínima e máxima diária do ar de 55 anos (1961-2015) de dezoito estações meteorológicas distribuídas no estado. Uma vez que a data ótima de plantio foi simulada para cada grupo de maturação e estação meteorológica, com todos os anos, foi realizada a média da data ótima de plantio para cada fase do El Niño Oscilação Sul (ENOS) para acessar o efeito do fenômeno na data ótima de plantio de gladiólo. Para simular a data ótima de plantio nos cenários climáticos, os dados de entrada no modelo foram temperatura mínima e máxima diária do ar de 32 pontos distribuídos no estado, para os cenários RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. A data ótima de plantio no período futuro (2070-2098) foi apresentada como anomalias (diferença entre a data ótima de plantio do período futuro e a média da data ótima de plantio do período baseline (1976-2005) para cada ponto e grupo de maturação. A porcentagem de anos que ocorreu danos também foi apresentada como anomalias. O fenômeno ENOS afeta a data ótima de plantio de gladiólo para colheita no Dia de Finados. Neste período de cultivo, a data de plantio foi antecipada em anos de La Niña (temperaturas baixas) e atrasada em anos de El Niño muito forte (temperaturas altas). Para o Dia das Mães, somente eventos de El Niño muito forte afetaram o desenvolvimento do gladiólo, mas diferente do período de cultivo de Finados, a data de plantio foi antecipada para anos de El Niño muito forte e atrasada para as demais fases do ENSO. Assim como para anos de El Niño muito forte no cultivo de Dia de Finados, a data ótima de plantio foi atrasada nos cenários climáticos devido ao encurtamento do ciclo em condições de aumento de temperatura. Para o período de cultivo de Dia das Mães, a temperatura média ultrapassou a temperatura ótima da cultura nas regiões mais quentes do estado. Nessas regiões, as anomalias de data de plantio foram negativas porque a taxa de desenvolvimento diminuiu, atrasando a floração. O risco de danos nas espigas por calor é maior no cultivo de Dia de Finados, principalmente no cenário RCP8.5 e nas regiões mais quentes, onde as anomalias atingiram +70% dos anos. Esses resultados proporcionarão subsídios para a expansão da produção de gladiólo para outras regiões do estado, visando colheita das hastes para comercialização no Dia de Finados e no Dia das Mães.

Palavras-chave: PhenoGlad. *Gladiolus x grandiflorus* Hort. Agendamento do florescimento. ENOS. Mudança climática. Danos por calor. Aumento da temperatura.

ABSTRACT

PLANTING DATE OF GLADIOLA FOR SELLING IN TWO PEAKS OF MARKET IN THE CURRENT CLIMATE AND FUTURE CLIMATE USING THE PhenoGlad MODEL

AUTHOR: Camila Coelho Becker

ADVISOR: Nereu Augusto Streck

Gladiola (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) is an important cut flower cultivated under field conditions. The air temperature is the main abiotic factor that drives their phenology, therefore the scheduling flowering of gladiola for target markets by defining the optimum planting date. The objective this study was determine the optimum planting date of gladiola aiming harvest spikes for selling on All Souls' Day and Mother's Day under current climate and in CMIP5 scenarios in the Rio Grande do Sul State. The PhenoGlad model was used for simulates the developmental stages of gladiola and plant injuries by heat and frost. For simulates the optimum planting date under current climate, input data in the model was minimum and maximum daily temperature of 55 years (1961-2015) from eighteen weather stations across the State. Once optimum planting date was simulated for each maturation group and weather station, with all years, the planting date was averaged for each El Niño Southern Oscillation (ENSO) phases to access the ENSO effect on the optimum planting date of gladiola. For simulates the optimum planting date under climate scenarios, input data in the model was minimum and maximum daily temperature of the 32 grid points in the State, for RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. The optimum planting date in the future period (2070-2098) was presented as anomalies (difference between the optimum planting date and average optimum planting date in the baseline period (1976-2005) for each grid point and maturation group. The percentage of years with damage was also presented as anomalies. The phenomenon ENSO affects the optimum planting date of gladiola for harvesting on All Souls' Day. For this growing season, planting date was anticipated for La Niña years (low temperatures) and delayed for Very Strong El Niño (high temperatures). For Mother's Day, only Very Strong El Niño events affect the development of the gladiola, but different of the growing season for All Souls' Day, planting date was anticipated for Very Strong El Niño years, and delayed for others ENSO phases. As well as for Very Strong El Niño years, for harvesting on All Souls' Day, the optimum planting date was delayed in the climate scenarios, due to shortening of the cycle on rising temperatures conditions. For Mother's Day, the average air temperature exceeded the optimum temperature of the crop in the warmest regions of the State. In these regions, the anomalies of the optimum planting date were negatives because the development rate decreased, delaying flowering. The risk of injuries by heat is more severe in the growing season for harvesting on All Souls' Day, mainly in the scenario RCP8.5 and warmest regions, where the anomalies reached +70% of years. This results will provide subsidies for the production expansion for others regions of the State in order to harvesting spikes for selling on All Souls' Day and Mother's Day.

Keywords: *Gladiolus x grandiflorus* Hort. Scheduling flowering. ENSO. Climate change. Injuries by heat. Rising temperature.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA.....	23
Figura 1 – Regiões do Oceano Pacífico consideradas para monitorar a Temperatura da Superfície do Mar, componente oceânico do fenômeno El Niño-Oscilação Sul.	32
Figura 2 – Regiões opostas no Oceano Pacífico consideradas para monitorar o Índice de Oscilação Sul, componente atmosférico do fenômeno El Niño-Oscilação Sul.....	32
ARTIGO 1.....	45
Fig. 1. Maps of South America and Brazil (a) and the State of Rio Grande do Sul State (b) with the locations of weather stations of the Brazilian National Weather Service (INMET) used in this study.	63
Fig. 2. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls’ Day in several locations across the Rio Grande do Sul State, Brazil, in Very Strong El Niño, El Niño and La Niña years for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). The dashed line indicates the average of Neutral years.	64
Fig. 3. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother’s Day in several locations across the Rio Grande do Sul State, Brazil, in Very Strong El Niño, El Niño and La Niña years for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). The dashed line indicates the average of Neutral years.	65
Fig. 4. Optimum planting date for Early maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls’ Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.....	66
Fig. 5. Optimum planting date for Intermediate I maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls’ Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.....	67
Fig. 6. Optimum planting date for Intermediate II maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls’ Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.....	68
Fig. 7. Optimum planting date for Late maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls’ Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.....	69
Fig. 8. Optimum planting date for Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d) maturation group of gladiola in Very Strong El Niño years in order to harvesting spikes for selling on Mother’s Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.	70

Fig. 9. Optimum planting date for Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d) maturation group of gladiola in El Niño, La Niña and Neutral years in order to harvesting spikes for selling on Mother's Day holidays in the Rio Grande do Sul State, Brazil. 71

Fig. 10. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Bom Jesus, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent the outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event. 72

Fig. 11. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Iraí, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent the outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event..... 73

Fig. 12. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Porto Alegre, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event. 74

ARTIGO 2.....76

Fig. 1. Maps of South America and Brazil (a) and the State of Rio Grande do Sul State (b) with the 32 grid points network of weather data used in this study. 91

Fig. 2. Day of the year for planting aiming harvesting gladiola on All Souls' Day simulated with observed weather data (INMET) and simulated with the baseline period (1976-2005) of climate scenarios from the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) for 18 locations in the Rio Grande do Sul State and different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). 92

Fig. 3. Day of the year for planting aiming harvesting gladiola on Mother's Day simulated with observed weather data (INMET) and simulated with the baseline period (1976-2005) of climate scenarios from the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) for 18 locations in the Rio Grande do Sul State and different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d)..... 93

Fig. 4. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP2.6 (2070-

2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	94
Fig. 5. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls’ Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	95
Fig. 6. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls’ Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	96
Fig. 7. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother’s Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP2.6 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	97
Fig. 8. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother’s Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	98
Fig. 9. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother’s Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).....	99
Fig. 10. Locations in the Rio Grande do Sul State, Brazil, that gladiola crop was killed by frost in the baseline period (1976-2005) (a) and that the crop was killed by heat in future period (2070-2098) (b) of the RCP8.5 scenario during the growing season for harvesting gladiola on All Souls’ Day.	100
Fig. 11. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls’ Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP2.6 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). ..	101
Fig. 12. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls’ Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). ..	102
Fig. 13. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls’ Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). ..	103

- Fig. 14. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). 104
- Fig. 15. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). 105
- Fig. 16. Average daily temperature during the growing season of gladiola for harvesting on All Souls' Day, in the baseline period (1976-2005) and scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 (2070-2098) in north grid point (a-d), south (e-h), west (i-l), center (m-p) and east (q-t) of Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile. The filled circles represent outliers. 106
- Fig. 17. Average daily temperature during the growing season of gladiola for harvesting on Mother's Day, in the baseline period (1976-2005) and scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 (2070-2098) in north grid point (a-d), south (e-h), west (i-l), center (m-p) and east (q-t) of Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile. The filled circles represent outliers. 107
- Fig. 18. Minimum temperature during the growing season for harvesting on All Souls' Day (panels: a, b, c, d, e) and on Mother's Day (panels: f, g, h, i, j) for five grid points: north, south, west, center and east in the Rio Grande do Sul State, Brazil. The dotted line indicates the temperature of -2°C 108
- Fig. 19. Maximum temperature during the reproductive phase for harvesting on All Souls' Day (panels: a, b, c, d, e) and on Mother's Day (panels: f, g, h, i, j) for five grid points: north, south, west, center and east in the Rio Grande do Sul State, Brazil. The dotted line indicates the temperature of 34°C 109

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA.....	23
Tabela 1 – Escala fenológica do gladiolo.....	29
ARTIGO 1.....	45
Table 1. Weather stations, their geographical coordinates, number of years used in the simulations and summary of air temperature (annual average of minimum and maximum temperature) used in this study.	60
Table 2. Very Strong El Niño, El Niño, La Niña and Neutral years included in this study.	61
Table 3. Planting date used by farmer and recommended planting date by this study for target R2 stage tree days before the All Souls’ Day holiday for different cultivars, in Santa Maria, RS, Brazil.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR5	Assessment Report Five
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
DVS	Developmental stage/ Estágio de desenvolvimento
ENMF	El Niño Muito Forte
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ENSO	El Niño Southern Oscillation
f(T)	Função de temperatura
IDW	Inverse Distance Weighted
IOS	Índice de Oscilação Sul
INMET	Brazilian National Weather Service
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MCGs	Modelos de Circulação Global
ONI	Oceanic Niño Index
PL	Plantio
QGIS	Quantum GIS Software
r	Taxa de desenvolvimento diária
R1.0	Espigamento
R1.1	Metade da espiga visível
R1.2	Espiga completamente visível no cartucho da planta
R2	Desenvolvimento dos botões florais
R3	Início da antese
R3.4	Metade da antese
R3.5	Início da senescência da haste floral
R3.6	Metade da senescência da haste floral
R4	Final da antese
R5	Senescência completa da haste floral
R6	Senescência da planta
RegCM4	Regional Climate Model, version 4
RMSE	Root-Mean-Squared Error
rmax	Taxa máxima de desenvolvimento diária
rmax _f	Taxa máxima de desenvolvimento durante o florescimento
rmax _h	Taxa máxima de desenvolvimento durante o espigamento
rmax _s	Taxa máxima de desenvolvimento durante a brotação
rmax _v	Taxa máxima de desenvolvimento durante a fase vegetativa
S0	Corno dormente
S1	Aparecimento das raízes
S2.1	Aparecimento do primeiro catafilo
S2.4	Aparecimento do quarto catáfilo
SST	Sea Surface Temperature
TAF	Taxa de aparecimento de folhas
TAFmax	Taxa máxima de aparecimento de folhas
T	Temperatura média do ar
Tb	Temperatura basal inferior
Topt	Temperatura ótima
TB	Temperatura basal superior
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VE	Emergência
V1	Primeira folha

Vn
VF

Enésima folha
Folha bandeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	IMPORTÂNCIA DA FLORICULTURA BRASILEIRA.....	23
2.2	A CULTURA DO GLADIÓLO	25
2.2.1	Escala fenológica	27
2.3	CLIMA NO RIO GRANDE DO SUL.....	30
2.3.1	El Niño Oscilação Sul	30
2.3.2	Influência do ENOS nas variáveis meteorológicas	33
2.3.3	Efeito do ENOS na agricultura	34
2.4	MUDANÇA CLIMÁTICA	36
2.4.1	Mudança climática e as culturas agrícolas	37
2.5	DATA ÓTIMA DE PLANTIO.....	38
2.6	MODELOS DE SIMULAÇÃO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS.....	39
2.6.1	Modelo PhenoGlad	41
3	ARTIGO 1	44
3.1	INTRODUCTION	46
3.2	MATERIAL AND METHODS.....	47
3.2.1	Site and weather data	47
3.2.2	Crop model	47
3.2.3	Optimum planting date simulations	48
3.2.4	A case study	48
3.3	RESULTS	49
3.3.1	ENSO effect on anomaly of optimum planting date	49
3.3.2	Optimum planting date for harvesting on All Souls' Day and Mother's Day holidays	50
3.3.3	A case study	51
3.4	DISCUSSION.....	51
3.4.1	ENSO effect on anomaly of optimum planting date	51
3.4.2	Optimum planting date for harvesting on All Souls' Day and Mother's Day holidays	52
3.4.3	A case study	53
3.5	CONCLUSIONS	54
3.6	REFERENCES	55

4	ARTIGO 2.....	75
4.1	INTRODUCTION.....	77
4.2	MATERIAL AND METHODS	78
4.2.1	Study region.....	78
4.2.2	Crop model.....	78
4.2.3	Climate scenarios.....	79
4.2.4	Simulations of optimum planting date	80
4.2.5	Plant injuries.....	80
4.3	RESULTS.....	81
4.3.1	Simulations of optimum planting date	81
4.3.2	Plant injuries.....	82
4.4	DISCUSSION	82
4.4.1	Simulations of optimum planting date	82
4.4.2	Plant injuries.....	84
4.5	CONCLUSIONS.....	85
4.6	REFERENCES.....	86
5	DISCUSSÃO GERAL.....	110
6	CONCLUSÃO	114
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O mercado brasileiro de flores tem apresentado elevado crescimento nos últimos anos (IBRAFLOR, 2015) e representa uma das principais atividades geradoras de emprego e renda para pequenos produtores (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014). Uma importante característica do mercado brasileiro é a sazonalidade de consumo, focado principalmente em datas comemorativas como os feriados do Dia das Mães, Finados, Dia dos Namorados e Natal (JUNQUEIRA; PEETZ, 2008). Essa característica mostra a grande necessidade de planejamento e agendamento da produção de flores pelo produtor (FISCHER; LIETH, 2000; CHEN; FUNNELL; MORGAN, 2010) para atender esses picos de demanda.

A cultura do gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.) é uma importante flor de corte comercializada no Brasil, principalmente no Dia de Finados (SCHWAB et al., 2015a) com potencial para ser comercializada em outras datas comemorativas como Dia das Mães. É uma flor bastante utilizada na ornamentação de casamentos e nas oferendas de Iemanjá (TOMBOLATO, 2010) além da possibilidade de uso na composição de jardins. A temperatura é o principal fator que determina a taxa de desenvolvimento do gladiólo (STRECK et al., 2012) podendo ocasionar danos na planta e afetar a qualidade do produto final (SCHWAB et al., 2015b).

O agendamento da produção de gladiólo é importante porque as hastes florais não são comercializáveis se não apresentarem algum florete aberto, e terão valor de venda reduzido ao serem comercializadas após o pico de consumo (FISCHER; LIETH, 2000). Em culturas produzidas a céu aberto, como o gladiólo, a determinação da data de plantio é a principal alternativa para agendar a produção e possibilitar que as hastes florais atinjam o ponto de colheita poucos dias antes da data de comercialização.

Produtores locais, que por muitos anos realizam o plantio de gladiólo na mesma época visando comercialização no Dia de Finados, relatam que há variação na data de florescimento da cultura de ano para ano. No Rio Grande do Sul a variabilidade interanual é atribuída ao fenômeno El Niño Oscilação Sul, que afeta o regime de precipitação e temperatura da região, portanto, o efeito desse fenômeno foi considerado no desenvolvimento da cultura e consequentemente na data de plantio de gladiólo.

Como o desenvolvimento da cultura do gladiólo é fortemente controlado pela temperatura do ar, estudos relacionados à mudança climática também são importantes para

encontrar maneiras de mitigar os efeitos negativos. Estudos tem relatado aumento da temperatura nos últimos anos devido ao aumento da emissão de gases de efeito estufa e relatam que o aumento da temperatura afeta a duração do ciclo das culturas e a produtividade, e sugerem a adaptação da data de plantio com o objetivo de reduzir os efeitos negativos do aumento da temperatura (ALEXANDROV; HOOGENBOOM, 2000).

Modelos de simulação do desenvolvimento das culturas facilitam a realização desses estudos que seriam muito demorados e caros se fossem realizados com experimentos de campo, por isso esses modelos tem sido amplamente utilizados com vários anos de dados meteorológicos para determinar a data ótima de plantio (SOLER et al., 2008; ANAPALLI et al., 2005, ANDARZIAN et al., 2015) e também para quantificar o impacto da mudança climática nas culturas (ANDRESEN et al., 2001; GROSSI et al., 2013; WALTER et al., 2014). Para o gladiolo, recentemente foi desenvolvido o modelo PhenoGlad que simula a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento e alerta o usuário sobre a ocorrência de danos por altas e baixas temperaturas (UHLMANN et al., 2017) e foi utilizado como ferramenta na realização desse estudo.

O objetivo dessa pesquisa foi determinar a data ótima de plantio de gladiolo, no clima atual, visando colheita das hastes em dois picos de consumo, Dia de Finados e Dia das Mães, e quantificar as mudanças que ocorrerão na data ótima de plantio de gladiolo, bem como a ocorrência de danos nas hastes florais no final do século, em três cenários do CMIP5.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA FLORICULTURA BRASILEIRA

A floricultura brasileira está em constante crescimento (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014), passando de um faturamento de 4,8 bilhões de reais em 2012 para mais de 6 bilhões reais em 2015 (IBRAFLOR, 2015). De acordo com o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR, 2015), aproximadamente 9000 produtores trabalham na floricultura com uma área total cultivada de cerca de 15000ha e um tamanho médio da propriedade de 1,8ha. A região sudeste do país apresenta a maior área destinada para a produção de flores, com cerca de 9000ha, seguida da região sul do país com cerca de 3000ha. A floricultura representa uma das principais atividades geradoras de emprego e renda para pequenos produtores em todo o país, incorporando importantes parcelas do trabalho feminino rural (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014).

Os principais consumidores brasileiros são os estados de São Paulo e Distrito Federal, com um consumo de mais de 43 reais per capita anual. O Rio Grande do Sul é o terceiro maior consumidor de flores e plantas ornamentais, com um consumo de mais de 38 reais per capita (LIMA JÚNIOR et al., 2015). Esse valor é maior que o consumo brasileiro que é de aproximadamente 27 reais per capita (IBRAFLOR, 2015).

Apesar do grande crescimento observado, o mercado brasileiro de flores ainda é focado em datas comemorativas como Dia das Mães, Dia dos Namorados, Finados e Natal (JUNQUEIRA; PEETZ, 2008) diferente do mercado Europeu cujo consumo de flores ocorre ao longo de todo o ano e para consumo pessoal (IBRAFLOR, 2016). Segundo Lima Júnior et al. (2015) o consumo de flores e plantas ornamentais varia de acordo com a renda, conjuntura econômica e classe social, sendo que a variação desses fatores ao longo dos anos exerce influência direta na demanda por esses produtos.

A produção de flores e plantas ornamentais no Brasil tem como principal destino o mercado interno. Em 2014, o segmento flores de corte, botões e arranjos para buquês foi responsável por 58% das importações brasileiras, enquanto mudas de plantas ornamentais e plantas vivas foi responsável por 22% e o de folhagens e gramíneas 20% (LIMA JÚNIOR et al., 2015). Por outro lado, o país também é um grande exportador de bulbos de gladiólos, amarílis e caladium (TOMBOLATO, 2010). As exportações estiveram concentradas principalmente nos segmentos de bulbos, rizomas e tubérculos, assim como em mudas de plantas ornamentais e plantas vivas na última década (LIMA JÚNIOR et al., 2015).

Os principais polos de produção de flores e plantas ornamentais no Rio Grande do Sul são as regiões do Litoral Norte, São Sebastião do Caí, Planalto, Santa Maria, grande Porto Alegre, Serra Gaúcha, Santa Cruz do Sul, Noroeste, Lajeado, Sul e das Hortênsias (LIMA JÚNIOR et al., 2015). A região do Litoral Norte é responsável pela produção de rosas, flores de corte, folhagens, mudas de bromélia e orquídea, e grama. São Sebastião do Caí produz crisântemos, rosas, árvores e arbustos, folhagens e samambaias. A região do Planalto produz flores e folhosas de vaso, crisântemos e flores de estação e a região de Santa Maria produz flores de estação, rosas e crisântemos. A região Metropolitana de Porto Alegre produz mudas de bromélias e orquídeas, flores de corte temperada, gramas e flores de estação. A Serra Gaúcha produz flores de corte temperada, flores de estação e rosas. A região de Santa Cruz do Sul produz crisântemos, gérberas, begônias, flores de vaso e folhagens. A região Noroeste rosas, crisântemos, flores de estação e plantas ornamentais. A região de Lajeado produz flores de estação e plantas ornamentais. A região Sul produz rosas e flores de estação e a região das Hortênsias produz flores de corte, hortênsias, mudas, rosas, crisântemos, flores de estação e flores de vaso.

Apesar de haver diferentes regiões produtoras, o Estado necessita importar para atender a demanda interna. Cerca de 70% do que é consumido no estado tem origem em outros estados produtores, como São Paulo e Santa Catarina (LIMA JÚNIOR et al., 2015). A produção de plantas ornamentais no Rio Grande de Sul é dificultada porque o estado tem somente uma safra de cultivo, principalmente de flores de corte como as rosas, devido à dificuldade de produção nos meses de outono e inverno em que a menor luminosidade prejudica o cultivo. Outra dificuldade é a falta de incentivos e apoio do Estado para a produção (LIMA JÚNIOR et al., 2015).

O Rio Grande do Sul tem grande potencial para crescer na produção de flores devido a seu grande mercado consumidor, porém ainda faltam pesquisas na área. Os maiores melhoristas não fazem o trabalho para o Brasil e sim para outros países que apresentam condições climáticas diferentes. O Rio Grande do Sul tem na logística um dos principais desafios para alavancar os negócios, pois além de cuidar da produção os floricultores gaúchos são responsáveis também pela distribuição e comercialização dos produtos, diferentemente do estado de São Paulo que dispõe de centrais de distribuição de flores para todo o país. Outro problema é que a intensificação da produção necessita de tecnologias que tem um custo elevado. A grande área com monocultura existente no Estado também dificulta a produção de flores, pois os produtores que trabalham com as grandes culturas tem uma certa resistência em inovar e são os que tem mais recursos financeiros para investir em tecnologias. Apesar disso, pequenos produtores

aceitam mais facilmente novas ideias, principalmente novas culturas, porque já estão inseridos em uma realidade de diversificação da produção, porém sua competitividade é menor em relação aos grandes centros de produção.

2.2 A CULTURA DO GLADIÓLO

O gladiólo (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.), conhecido como Palma-de-Santa-Rita, é uma planta herbácea propagada através de bulbos sólidos denominados de cormos (BARBOSA, 2011). A parte comercial é uma espiga composta de vários floretes que podem apresentar diversas cores como branco, rosa, vermelho, amarelo, roxo, laranja e lilás (TOMBOLATO, 2010). É amplamente utilizada para a confecção de vasos e arranjos florais para ornamentação de cerimônias, como flor de corte, e também como planta de jardim (TRINKLEIN, 2005). No Brasil, seu comércio é realizado principalmente no Dia de Finados, mas também é bastante utilizado na ornamentação de casamentos e nas oferendas de Iemanjá (TOMBOLATO, 2010).

O cultivo de gladiólo é facilmente realizado, pois é uma planta rústica que necessita baixo custo de implantação, pode ser cultivado a céu aberto e apresenta grande produção em pequenas áreas (BARBOSA et al., 2011). Além de apresentar o ciclo curto tem um alto valor no mercado, possibilita rápido retorno financeiro, sendo uma boa alternativa para pequenos produtores (PAIVA et al., 1999).

A cultura se adapta a vários tipos de solo, porém é importante evitar seu cultivo em solos mal drenados que pode acarretar o apodrecimento dos cormos (BASTUG et al., 2006). Quando a área de cultivo apresenta dificuldade de drenagem, o cultivo em canteiros é amplamente recomendado (BARBOSA et al., 2011). O cultivo na mesma área por muitos anos também não é recomendado pois favorece a incidência de doenças fúngicas, como a fusariose (*Fusarium oxysporum* sp. *gladioli*) e a ferrugem (*Uromyces transversalis*), e populações de insetos em níveis prejudiciais para a cultura (TOMBOLATO, 2004).

As plantas de gladiólo, apesar de não tolerarem o encharcamento do solo, também não devem ficar expostas a longos períodos sem irrigação. A deficiência hídrica pode acarretar em antecipação do florescimento (PAIVA et al., 2012) e levar à redução da porcentagem de florescimento, número de floretes e tamanho da haste floral (BASTUG et al., 2006; PORTO et al., 2014). Recomenda-se a irrigação por gotejamento para evitar molhamento das folhas e reduzir a incidência de doenças como a ferrugem.

O plantio pode ser realizado em qualquer época do ano, desde que a temperatura média não fique fora da ideal para a cultura (10 – 25°C) (TOMBOLATO, 2004) e não ocorram geadas

(BARBOSA et al., 2011). Quando as temperaturas são elevadas, acima de 34°C, mesmo com irrigação (SCHWAB et al., 2015b) podem ocorrer queimaduras nas sépalas e pétalas e os últimos floretes da espiga podem não abrir (UHLMANN et al., 2017). Para evitar a ocorrência de queimadura das hastes florais, uma alternativa seria o uso de telas de sombreamento durante a fase reprodutiva. Porém, mais estudos devem ser realizados sobre o assunto, pois até então as informações a respeito indicam que há uma redução no número de floretes e na porcentagem de florescimento quando o sombreamento é aplicado na fase vegetativa da cultura (SHILLO; HALEVY, 1976).

Estudo realizado em Santa Maria por Schwab et al. (2015b) avaliou a possibilidade de cultivo de gladiolo ao longo do ano com plantios mensais e concluiu que plantios realizados no fim do inverno e início da primavera, e fim do verão e início do outono são os mais indicados para Santa Maria. Nos meses de verão há possibilidade de queimadura das sépalas e pétalas, além de murchamento da espiga, e no inverno pode ocorrer morte da espiga devido a ocorrência de geada. No Brasil, como o principal mercado de gladiolo é no feriado de Finados, o plantio é predominantemente realizado durante a segunda metade de julho até início de agosto, para que o ponto de colheita, estágio R2, ocorra de 2 a 4 dias antes do feriado (SCHWAB et al., 2015a).

Além de causar danos, a temperatura tem grande influência na duração do ciclo da cultura. Cultivos realizados em meses mais frios apresentam maior duração do ciclo, ou seja, ocorre um atraso no florescimento, enquanto cultivos realizados nos meses mais quentes tem o florescimento antecipado (SCHWAB et al., 2015a). Essa diferença no ciclo ocorre devido ao aumento ou diminuição do período de emissão de folhas. Com o aumento da temperatura, menos dias são necessários para emitir uma nova folha e conseqüentemente a duração da fase vegetativa é menor (STRECK et al., 2012).

Uma prática de manejo importante, que deve ser realizada, é o tutoramento das plantas a fim de evitar seu tombamento e conseqüente entortamento das hastes florais, o que deprecia a qualidade do produto (PAIVA et al., 2012). Para isso, utiliza-se fios de ráfia amarrados à estacas de bambu que são fixadas nas extremidades dos canteiros e conforme o desenvolvimento da planta vai ocorrendo, novos fios são colocados na parte superior (SCHWAB et al., 2015b).

O ponto de colheita do gladiolo é considerando quando os três primeiros floretes da base da espiga mostram a cor característica da cultivar, chamado de estágio R2 (SCHWAB et al., 2015a). A colheita neste momento é possível devido à característica da cultura, que permite que a abertura dos floretes ocorra após alguns dias em vaso com água (TOMBOLATO et al., 2005), possibilitando que as hastes florais cheguem ao consumidor com aspecto atraente. Hastes

colhidas com floretes abertos podem ser danificadas durante o transporte e armazenamento (PAIVA et al., 2012).

Caso o agendamento da colheita não ocorra conforme planejado e as hastes atinjam o estágio R2 alguns dias antes da data desejada, as hastes podem ser armazenadas em câmaras de refrigeração com temperatura de 2 a 5°C (SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2008) por até 20 dias (PAIVA et al., 1999). Essa prática permite que a taxa de abertura dos floretes seja reduzida devido à temperatura mais baixa (SCHWAB et al., 2014). Após o armazenamento, com a exposição das hastes à temperatura ambiente, os botões abrem normalmente. Após a colheita das hastes deve-se ter o cuidado de mantê-las na posição vertical a fim de evitar sua deformação em função do geotropismo negativo (TOMBOLATO, 2004).

Para produzir bulbos é preciso realizar a colheita das hastes evitando ao máximo a retirada das folhas (PAIVA et al., 1999), pois estas deverão produzir carboidratos que serão deslocados para o corno novo e cormilhos (GUTIÉRREZ, 2010). Após cerca de 8 semanas as folhas se tornam amareladas e secas, e os cormos e cormilhos podem ser colhidos. A colheita deve ser realizada de modo a evitar o corte dos bulbos para que não ocorra entrada de patógenos. Os cormos e cormilhos devem ser espalhados à sombra por uma semana para que ocorra a cura e após esse processo devem ser classificados e tratados com fungicida. Os bulbos de gladiolo apresentam dormência, por isso quando se deseja plantá-los novamente logo após a colheita é preciso quebrar a dormência artificialmente armazenando-os em câmara fria com 5 a 6°C por dois meses (PAIVA et al., 2012). Caso contrário a dormência é quebrada naturalmente após 4 a 6 meses. É importante armazenar os bulbos em ambiente arejado sem amontoar o material, podendo ser em galpões ou geladeiras quando não se dispõe de câmara fria (BARBOSA et al., 2011).

2.2.1 Escala fenológica

A escala fenológica da cultura do gladiolo foi proposta por Schwab et al. (2015a) e descreve os principais estágios de desenvolvimento da cultura do gladiolo (Tabela 1). Através dessa escala, pode-se identificar os estágios da cultura facilmente, pois utiliza critérios simples, visíveis a olho nu e não destrutivos. A escala foi inicialmente dividida em quatro fases principais: fase de dormência dos cormos, fase de brotação (do aparecimento das raízes filiformes ao aparecimento dos catáfilos), fase vegetativa (da emergência até o aparecimento da última folha) e fase reprodutiva (do início do espigamento até a planta senescente).

Durante a fase de dormência (S0), o corno permanece em repouso vegetativo devido à ação de inibidores de crescimento. A fase de brotação inicia logo após o plantio dos cornos, que em condições ideais de temperatura e umidade inicia a formação das raízes filiformes na base do corno (S1). Em seguida, ocorre o desenvolvimento do broto na parte superior do corno, com o aparecimento dos catáfilos, que são as folhas da bainha reduzidas com a função de proteção das folhas verdadeiras. O broto inicialmente apresenta um catáfilo (S2.1) e pode chegar até quatro catafilos (S2.4).

A fase vegetativa (estágios V) inicia com a emergência da cultura, que ocorre quando o broto é visível acima da superfície do solo (VE). Após algum tempo, ocorre o aparecimento da primeira folha, momento em que a lâmina da primeira folha é visível (estágio V1). Sucessivamente, irá ocorrer o aparecimento das folhas seguintes até a *n*-ésima folha verdadeira visível (Vn). No estágio V3, ocorre a diferenciação da espiga floral dentro do cartucho da planta, momento recomendado para a aplicação da adubação nitrogenada. Quando a ponta da espiga se torna visível ao observador, ocorre a emissão da última folha (VF). Nesse momento termina a fase vegetativa e inicia-se a fase reprodutiva.

A fase reprodutiva (estágios R) inicia quando a ponta da espiga floral se torna visível ao observador (estágio R1.0). Na sequência, a metade da espiga fica visível ao observador (R1.1), que é caracterizado quando a ponta da espiga está nivelada com a folha bandeira. Após, ocorre o espigamento completo (R1.2), quando é possível visualizar o pedúnculo da espiga e vai ocorrendo o alongamento da ráquis e aumentando a distância entre os floretes. O ponto de colheita da haste floral é considerado quando os três primeiros botões da parte inferior da espiga mostram a cor característica da cultivar (estágio R2). O estágio R3 ocorre em seguida, e é caracterizado pela abertura do primeiro florete denominado início da antese.

A abertura dos floretes da espiga prossegue até a abertura do botão localizado na porção média da espiga (R3.4). Quando o primeiro florete da parte inferior da espiga senesce, inicia-se a senescência da haste floral (R3.5). A abertura e senescência dos floretes prosseguem até a senescência do florete localizado na porção média da espiga (estágio R3.6), momento em que todos os floretes abaixo deste já estão senescentes.

Tabela 1 – Escala fenológica do gladiolo.

Fase	Estágio	Código	Descrição
Dormência	Cormo Dormente	S0	O cormo se mantém dormente pela ação de inibidores de crescimento, como ácido abscísico como estratégia que possibilita a sobrevivência da estrutura em condições adversas, tais como frio e baixa umidade. A dormência pode ser quebrada artificialmente pelo uso de armazenamento à frio.
	Aparecimento das raízes	S1	Raízes filiformes começam a aparecer na base do cormo a partir de nódulos radiculares.
Brotação	Aparecimento do primeiro catáfilo	S2.1	O desenvolvimento do broto promove o deslocamento das escamas no ápice do cormo. Há um catáfilo presente no broto.
	Aparecimento do segundo catáfilo	S2.2	O broto ultrapassa as escamas no ápice do cormo. Há dois catáfilos presentes no broto.
	Aparecimento do terceiro catáfilo	S2.3	O broto apresenta três catáfilos.
Vegetativa	Emergência	VE	Plântula visível acima da superfície do solo, composta de 3 a 4 catáfilos.
	Primeira folha	V1	Primeira folha verdadeira visível.
	Segunda folha	V2	Segunda folha verdadeira visível.
	Terceira folha	V3	Terceira folha verdadeira visível. Nesse momento inicia o desenvolvimento da espiga floral no interior do cartucho (R0).
	Enésima folha	Vn	Enésima folha verdadeira visível.
	Folha bandeira	VF	Folha bandeira visível.
Reprodutiva	Espigamento	R1.0	Início da espiga visível.
		R1.1	Metade da espiga visível.
		R1.2	Espiga completamente visível no cartucho.
	Desenvolvimento dos botões florais	R2	Primeiros três botões na parte inferior da espiga mostram a cor da corola. Este é o ponto de colheita comercial.
		R3	A corola do primeiro florete na parte inferior da espiga aberto e com anteras visíveis.
	Metade da antese	R3.4	A corola do florete localizado na porção média da espiga apresenta anteras visíveis.
		R3.5	Primeiro florete na parte inferior da espiga inicia a senescência.
	Metade da antese	R3.6	Quando o florete localizado na porção média da espiga inicia a senescência. Os floretes localizados abaixo deste senesceram.
		R4	A corola do último florete da espiga apresenta anteras visíveis (antese concluída).
	Senescência completa da haste floral	R5	Último florete da espiga apresenta senescência. A corola de todos os floretes senesceu. Após a floração, e se as condições meteorológicas (temperatura e radiação solar) forem favoráveis, há o crescimento do novo cormo e dos cormilhos.
		R6	A planta apresenta senescência completa da parte aérea (planta seca ou morta), o tamanho máximo do cormo e número máximo de cormilhos são definidos.

Fonte: Adaptação de Schwab et al. (2015a).

A antese acaba com a abertura do último florete da espiga (estágio R4) e a senescência completa da haste floral se dá com a senescência do último florete da espiga (estágio R5). A haste floral completa seu ciclo, porém a planta continua realizando fotossíntese e translocando carboidratos para o cormo e cormilhos. Passados 4 a 6 meses a planta fica totalmente senescida (folhas e haste) e completa seu ciclo de desenvolvimento (estágio R6). Neste estágio, é recomendada a colheita dos cormos e cormilhos, pois seu tamanho e número máximo já foram definidos.

2.3 CLIMA NO RIO GRANDE DO SUL

De acordo com a classificação de Köppen, o Rio Grande do Sul tem áreas de clima subtropical úmido com estação seca e verão quente (Cfa) e áreas com verão temperado (Cfb) (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do ar varia de 9,1°C a 19,1°C na região nordeste do estado e de 15°C a 26°C na região oeste do estado, nos meses de julho e janeiro respectivamente. Uma importante causa da variabilidade interanual no Rio Grande do Sul é o fenômeno El Niño Oscilação Sul.

2.3.1 El Niño Oscilação Sul

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala que ocorre na região do Oceano Pacífico Equatorial e afeta as condições normais do clima de diversas regiões do mundo, como África, Europa, Ásia e América do Sul, sendo que no Brasil os impactos são principalmente no nordeste e sul (ACEITUNO et al., 2009). O ENOS é um fenômeno resultante da ação conjunta do componente oceânico, denominado El Niño, e o componente atmosférico, denominado Oscilação Sul (TRENBERTH, 1997).

Na condição normal ou de neutralidade, os ventos alísios sopram de leste para a oeste, transportando água quente superficial para oeste, portanto há concentração de águas quentes na região oeste do oceano pacífico e de águas frias na região leste (BERLATO; FONTANA, 2003; de PAULA et al., 2010). O movimento das águas quentes para oeste faz com que ocorra ressurgência de águas frias na região leste. Com isso a termoclina, que é o limite entre as águas quentes superficiais e as águas frias profundas, fica mais próxima da superfície na região leste e mais profunda na região oeste.

Quando ocorre condição de neutralidade no oceano, automaticamente afeta o que ocorre na atmosfera. Na região oeste onde as águas são mais quentes, ocorre mais evaporação e mais

subida de ar, e conseqüentemente a pressão atmosférica é mais baixa. O ar que sobe na região oeste desce na região leste resultando em pressão atmosférica mais alta, e como consequência tem-se ausência de precipitação na região leste. Esse comportamento normal da circulação atmosférica é denominado de Célula de Circulação Equatorial de Walker (GRIMM, 2003).

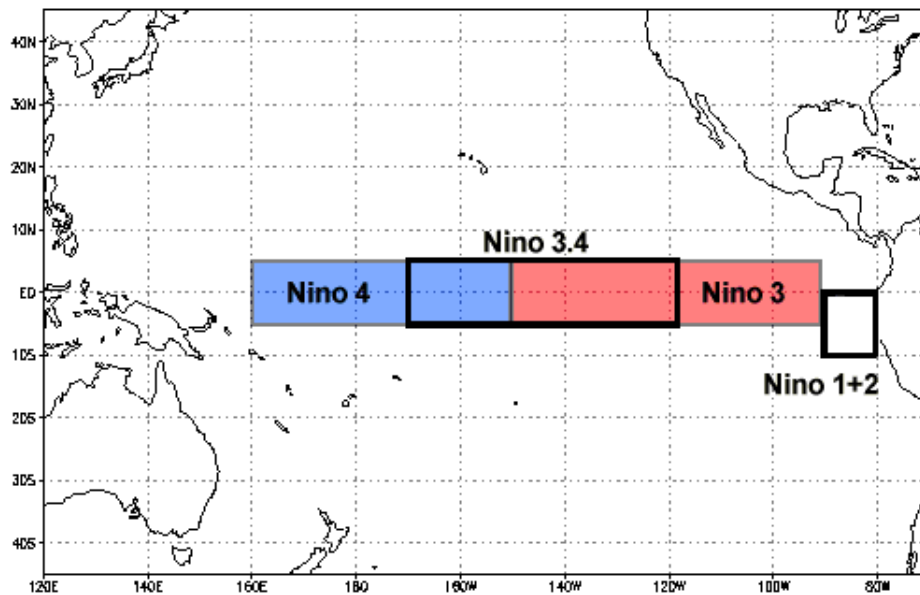
Segundo Berlato; Fontana (2003), a fase quente, chamada de El Niño, ocorre quando os ventos alísios enfraquecem (anomalias de oeste). Nesse caso, as águas quentes se distribuem ao longo de todo o Oceano Pacífico e há diminuição da ressurgência de águas frias na região leste. Com isso a diferença de temperatura do oceano entre as regiões leste e oeste é mínima, assim como a diferença de pressão entre as duas. Há um enfraquecimento da Célula de Circulação de Walker, sendo que o ar passa a subir na região central do Pacífico e descer no Pacífico oeste e no norte da América do Sul, diminuindo a precipitação nessas regiões.

Na fase fria, denominada de La Niña, há uma intensificação das condições de neutralidade do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico (BERLATO; FONTANA, 2003). Os ventos alísios de leste fortalecem e causam grande concentração de águas quentes a oeste e conseqüentemente aumenta o ressurgimento de águas frias profundas a leste. As diferenças de temperatura e pressão entre as regiões leste e oeste são maiores e portanto tem-se uma intensificação da Célula de Circulação de Walker. Os efeitos do fenômeno ENOS na América do Sul, se devem à perturbação que ocorre na Célula de Circulação de Walker, que afeta a circulação de Hadley (GRIMM, 2003).

Para realizar o monitoramento do componente oceânico do ENOS utiliza-se a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em regiões opostas pré-definidas ao longo do Oceano Pacífico Equatorial e no Pacífico Subtropical próximo à costa da América do Sul (Figura 1). O componente atmosférico é monitorado através do Índice de Oscilação Sul (IOS) que é definido pela diferença entre os desvios normalizados da pressão entre o Taiti, na Polinésia Francesa e Darwin, no norte da Austrália que são regiões opostas no Oceano Pacífico (ROPELEWSKI; JONES, 1987) (Figura 2). De maneira geral, em condição de El Niño tem-se TSM positiva e IOS negativo, e em condição de La Niña tem-se TSM negativa e IOS positivo.

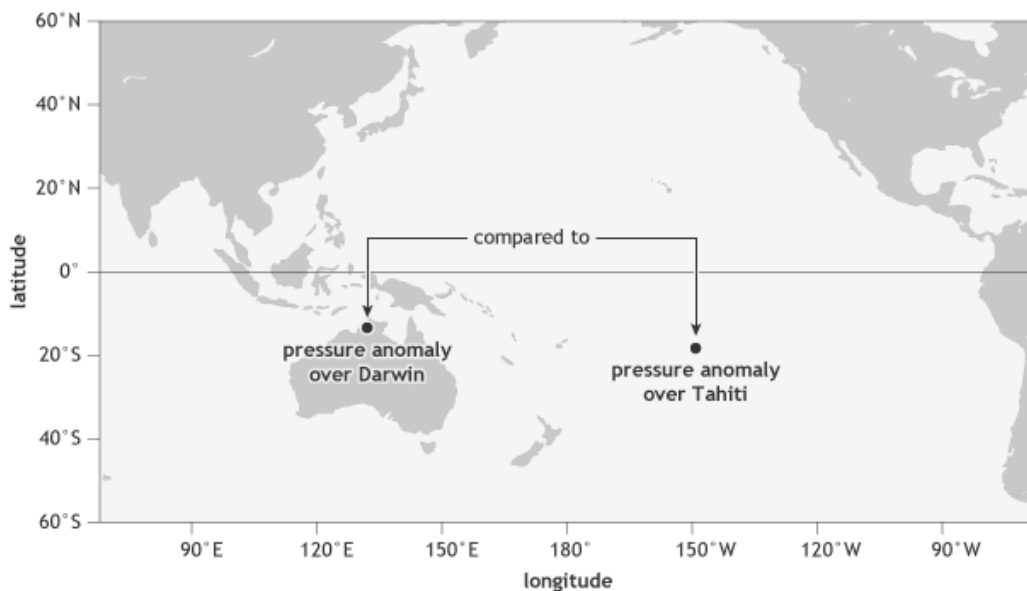
Diferentes critérios podem ser considerados para definir a ocorrência de El Niño ou La Niña em um determinado ano (TRENBERTH, 1997). A Agência Japonesa de Meteorologia utiliza a região do Niño 3 para monitorar a TSM e considera que a anomalia da média de TSM de 5 meses deve ser $+0,5^{\circ}\text{C}$ ($-0,5^{\circ}\text{C}$) durante 6 meses consecutivos ou mais (JMA, 2017). O Centro de Previsão Climática da NOAA utiliza a região do Niño 3.4 para monitorar a TSM e considera que a anomalia da média da TSM de 3 meses deve ser $+0,5^{\circ}\text{C}$ ($-0,5^{\circ}\text{C}$) durante 5 meses consecutivos ou mais para configurar um evento de El Niño (La Niña) (NOAA, 2017a).

Figura 1 – Regiões do Oceano Pacífico consideradas para monitorar a Temperatura da Superfície do Mar, componente oceânico do fenômeno El Niño-Oscilação Sul.



Fonte: NOAA, (2017b).

Figura 2 – Regiões opostas no Oceano Pacífico consideradas para monitorar o Índice de Oscilação Sul, componente atmosférico do fenômeno El Niño-Oscilação Sul.



Fonte: NOAA, (2015).

O Governo australiano determina que um evento ocorre quando no mínimo três dos quatro critérios abaixo é satisfeito: a anomalia de TSM no Niño 3 ou Niño 3.4 deve ser $+0,8^{\circ}\text{C}$ ($-0,8^{\circ}\text{C}$) para um evento de El Niño (La Niña), os ventos alísios serem mais fracos (fortes) do

que a média no Oceano Pacífico equatorial ocidental ou central durante qualquer três dos últimos quatro meses, a média de três meses do IOS ser -7 ($+7$), a maioria dos modelos climáticos pesquisados mostram anomalia de TSM $+0,8^{\circ}\text{C}$ ($-0,8^{\circ}\text{C}$) nas regiões do Niño 3 ou Niño 3.4 até o final do ano (BOM, 2017). Trenberth (1997) indica a utilização do Niño 3.4 para monitorar a TSM e a utilização do limiar de $0,4^{\circ}\text{C}$ de anomalia de TSM em relação à média de três meses.

2.3.2 Influência do ENOS nas variáveis meteorológicas

O sul do Brasil é uma região que sofre importantes impactos dos eventos de ENOS na precipitação agindo principalmente na primavera, tendo um enfraquecimento em dezembro e revertendo o sinal de anomalias em janeiro tanto para eventos de El Niño quanto para La Niña (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). Em eventos de El Niño ocorre aumento da precipitação no sul do país e secas devastadoras no nordeste, como a que ocorreu em 1877/79 (ACEITUNO et al., 2009).

Estudo realizado por Grimm (2003) em uma análise mensal revelou que no mês de novembro há excesso de precipitação no sul do Brasil e deficiência no norte e centro leste em evento de El Niño, podendo ocasionar grandes enchentes no sul como ocorrido no El Niño muito forte de 1982/83 (CAMILLONI; BARROS, 2000). Essas anomalias são parte de uma forte perturbação nas circulações de Walker e Hadley no leste do Pacífico e América do Sul (GRIMM, 2003). Já em eventos de La Niña, o contrário é observado, tem-se secas na região sul (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) e a temperatura é mais baixa devido ao deslocamento de frentes frias para o norte (GRIMM, 2004).

Segundo Grimm (2003), durante a primavera dos anos de El Niño, ocorre o deslocamento do jato subtropical para o sul, dificultando o deslocamento de frentes frias para o norte. Ao mesmo tempo, o ar quente do norte persiste por longo período acarretando aumento da temperatura do ar sobre a região subtropical, principalmente o sudeste do Brasil. Em dezembro as anomalias de temperatura desaparecem e tendem a reverter o sinal em janeiro e fevereiro devido a consistentes anomalias positivas de precipitação em janeiro e também devido a mudança nas anomalias de circulação que agora favorecem entrada de frentes frias pelo sul.

Anomalias positivas de temperatura ocorrem no trimestre junho, julho, agosto na maior parte da região subtropical da América do Sul em eventos de El Niño, indicando correlação entre precipitação e fluxo meridional ao longo do ano, de maneira que mais precipitação está associada a aumento do fluxo da região norte que traz ar quente para a região subtropical,

levando a aumento da temperatura (BARROS; GRIMM; DOYLE, 2002). Isso ocorre porque o resfriamento por evaporação e o menor aquecimento por radiação, geralmente associado ao aumento da precipitação, são mascarados e superados pelo aquecimento resultante dos processos de advecção que normalmente acompanham o aumento da precipitação (BARROS; GRIMM; DOYLE, 2002). Outro fator que pode influenciar a temperatura é a ocorrência de ondas de frio e de calor que ocorrem no Rio Grande do Sul influenciadas pelo ENOS (FIRPO; SANSIGOLO; ASSIS, 2012). Para a maioria dos meses ocorrem mais ondas de frio em eventos de La Niña, da mesma forma que mais ondas de calor ocorrem em eventos de El Niño.

No Rio Grande do Sul, anomalias de precipitação e circulação atmosférica em eventos de ENOS além de influenciar nas anomalias de temperatura, estão associados com variação interanual de brilho solar (de PAULA et al., 2015), com a evaporação e com a umidade relativa do ar (STRECK et al., 2008). Eventos de El Niño estão associados a alta cobertura de nuvens devido a maior precipitação na primavera (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) e assim, há uma redução do brilho solar nesta estação do ano, enquanto que em eventos de La Niña o máximo brilho solar é observado na primavera (CARMONA; BERLATO, 2002; de PAULA et al., 2015).

A evaporação do Tanque Classe é maior em eventos de La Niña, ao mesmo tempo em que a umidade relativa do ar é menor (STRECK et al., 2008). Isso está diretamente associado à pouca precipitação e pouca nebulosidade que ocorre nessa fase do ENOS (CARMONA; BERLATO, 2002) resultando em alta demanda evaporativa da atmosfera. A disponibilidade hídrica no solo em Santa Maria, RS, varia com a fase do ENOS. Em condição de El Niño a disponibilidade hídrica no solo é maior, enquanto em anos Neutros a disponibilidade hídrica é menor (ALBERTO et al., 2006). Condição de neutralidade normalmente determina precipitação irregular de ano para ano, podendo ocasionar chuva acima da média ou abaixo da média (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005), devido à maior instabilidade da atmosfera nesses anos.

2.3.3 Efeito do ENOS na agricultura

Precipitação e temperatura são variáveis climáticas que tem grande influência no desenvolvimento e produtividade das culturas, pois a maioria delas é cultivada a campo e passa todo o ciclo exposta às condições ambientais. Por isso, estudos em diversos locais do mundo são realizados visando identificar os efeitos do ENOS no desenvolvimento e produção das culturas agrícolas e então encontrar maneiras de mitigar esses efeitos.

O efeito da precipitação na produtividade do algodão foi verificado no estado da Georgia, EUA, em que o efeito negativo do ENOS na produtividade se deve à menor precipitação no período de maior exigência da cultura, com isso as maiores produtividades foram alcançadas nas datas de plantio iniciais para La Niña e finais para El Niño (PAZ et al., 2012). Na cultura da soja cultivada no Paraguai, resultados semelhantes foram encontrados, sendo que a maior produtividade normalmente é alcançada em anos de El Niño e a menor em anos de La Niña devido a precipitação (FRAISSE et al., 2008).

No entanto para algumas culturas, como o trigo cultivado no Rio Grande do Sul, a menor ocorrência de precipitação que ocorre em eventos de La Niña não é um fator limitante (ALBERTO et al., 2006). Pelo contrário, o excesso de chuva prejudica a cultura devido a maior incidência de doenças e reduz a qualidade do grão devido ao atraso da colheita. Portanto, anos de La Niña são mais favoráveis para a produção de trigo no Rio Grande do Sul enquanto as culturas de soja e milho são favorecidas em anos de El Niño, por serem culturas de verão em que a demanda hídrica é maior (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005; ALBERTO et al., 2006). No caso da cultura do arroz irrigado, o principal fator que determina a produtividade é a radiação solar. A maior produtividade para esta cultura é alcançada em anos de La Niña (MOTA, 2000), em que a disponibilidade de radiação solar é maior (de PAULA et al., 2015).

Além de afetar a produtividade das culturas, o ENOS pode afetar também alguns manejos da lavoura. Culturas irrigadas necessitam um planejamento prévio por parte do produtor, para ter quantidade de água suficiente nos reservatórios da propriedade em anos de La Niña cuja necessidade hídrica é maior (STRECK et al., 2008). Em anos de El Niño, a incidência de doenças é maior (OLATINWO et al., 2010), e também pode haver dificuldade de entrada na lavoura para preparo do solo (de PAULA et al., 2015) principalmente em áreas de várzea.

Muitos estudos a respeito da influência do ENOS são encontrados para as grandes culturas, porém nenhum estudo foi encontrado para culturas ornamentais. Isso ocorre porque a maioria das culturas ornamentais são cultivadas em ambiente controlado e a maioria dos estudos com essas culturas é destinado a quantificar a influência das variáveis climáticas no desenvolvimento dessas culturas (BLANCHARD; RUNKLE, 2011). Assim, o manejo das condições da estufa é realizado a fim de agendar a produção para determinadas datas de comercialização (VAID; RUNKLE; FRANTZ, 2014). Porém culturas ornamentais que são cultivadas a céu aberto, como o gladiolo, tem grande influência das condições ambientais. A temperatura do ar é a principal variável que influencia no seu desenvolvimento (STRECK et al., 2012).

2.4 MUDANÇA CLIMÁTICA

A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera tem aumentado desde a Revolução Industrial. Atualmente a concentração de CO₂ está em 400 ppm, podendo até o final do século atingir de 490 a 1370 ppm, dependendo do cenário (IPCC, 2013). Apesar de algumas divergências no meio científico sobre as causas (MCINTYRE; MCKITRICK, 2003; 2005a,b; VON STORCH et al., 2004; MOLION, 2008), fica evidente no último relatório do IPCC (AR5) que a temperatura global está em ascensão, tanto em nível continental como nos oceanos, e que a área coberta com geleiras no Planeta está em declínio (IPCC, 2013). Durante o século XX, a temperatura média da superfície global teve um aumento médio de 0,85°C no período de 1880 a 2012, e o maior aumento ocorreu entre 1967 e 2000, sendo que a década de 1990 foi a mais quente do último milênio (KERR, 2005; IPCC, 2013).

Diversos estudos relatam que o aumento da temperatura mínima é maior do que o aumento da temperatura máxima, reduzindo a amplitude térmica de regiões como Filipinas (PENG et al., 2004) e China (TAO et al., 2006). No Rio Grande do Sul, estudos foram realizados em Pelotas (STEINMETZ et al., 2005) e Santa Maria (STRECK et al., 2011) e também encontraram tendência de aumento maior da temperatura mínima do ar.

Considerando todo o estado do Rio Grande do Sul, valores crescentes foram encontrados de leste para oeste do estado, variando de 0,8 a 1,8°C, no período de outubro a dezembro (MARQUES et al., 2005). Marengo; Camargo (2008) constataram redução na amplitude térmica diária nos meses de verão no RS e Sansigolo e Kayano (2010) relataram aumento de 1,7°C/100 anos na média anual de temperatura mínima no RS e não observaram tendência na média da temperatura máxima anual.

Projeções até o final deste século indicam aumentos de 0,3 a 4,8°C na temperatura média do ar, dependendo do cenário, em vários locais do Planeta (IPCC, 2013). Devido à grande influência das condições climáticas no desenvolvimento das culturas, muitos estudos vem sendo realizados a fim de quantificar os efeitos da mudança climática nas culturas agrícolas (WEISS; HAYS; WON, 2003; LI et al., 2015).

Há pelo menos três métodos de geração de cenários climáticos futuros: sintético, análogo e cenários gerados por Modelos de Circulação Global (MCGs) (WEISS; HAYS; WON, 2003). Cenários sintéticos são desenvolvidos pelo ajuste da baseline através da fixação de um valor, como por exemplo 2°C de aumento na temperatura. Cenários análogos são baseados em registros do passado que pode representar o clima futuro. No presente estudo o MCG HadGEM2-ES (JONES et al., 2011) foi utilizado como condição de contorno que foram

regionalizadas por downscaling dinâmico (HOSTETLER et al., 2011) a partir do modelo RegCM4 (Regional Climate Model versão 4). Além do cenário de referência, foram utilizados os cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5 (CMIP 5 – Climate Model Intercomparison Project 5) do 5º relatório do IPCC (IPCC, 2013).

2.4.1 Mudança climática e as culturas agrícolas

Mudanças climáticas podem afetar muitos setores da economia mas a agricultura é o setor mais sensível e vulnerável (ALEXANDROV; HOOGENBOOM, 2000; IPCC, 2013). Esta vulnerabilidade é esperada porque a maioria das culturas agrícolas fica exposta aos elementos meteorológicos durante todo o seu ciclo de desenvolvimento e se confirma em trabalhos realizados no Brasil com diferentes culturas como o café (ASSAD et al., 2004), trigo, soja, milho (STRECK; ALBERTO, 2006a,b; do RIO et al., 2016), batata (STRECK et al., 2006) e arroz (LAGO et al., 2008; WALTER et al., 2014), na Bulgária com milho e trigo (ALEXANDROV; HOOGENBOOM, 2000), na China com trigo (LI et al., 2015) em que pequenos aumentos da temperatura já afetam o desempenho dos agroecossistemas, alterando o ciclo de desenvolvimento das culturas e sua produtividade.

Estudo realizado com a cultura do arroz na China identificou redução do ciclo de arroz precoce e aumento do ciclo de arroz tardio como resultado da mudança climática. A explicação é que o arroz de ciclo tardio é cultivado no sul da China, onde as temperaturas ultrapassam a temperatura ótima da cultura e por isso a duração do ciclo aumenta (WANG et al., 2017). Na Austrália, o trigo de primavera terá antecipação no florescimento e o trigo de inverno terá atraso no florescimento devido a redução do número de dias de temperatura baixa para o processo de vernalização. Tanto o trigo de inverno como o de primavera terão maior risco de estresse por calor devido as altas temperaturas (WANG et al., 2015b).

Para as culturas ornamentais não foram encontrados estudos envolvendo mudança climática. Porém estudos em ambiente controlado demonstraram que o aumento da temperatura pode resultar no encurtamento do ciclo de diversas culturas como *Antirrhinum majus* L. (MUNIR et al., 2015), *Brunonia australis* e *Calandrinia* sp. (CAVE et al., 2013). A redução do ciclo das culturas devido ao aumento da temperatura pode levar à redução do número de flores, tamanho das flores e quantidade de biomassa (PRAMUK; RUNKLE, 2005; MOCCALDI; RUNKLE, 2007; VAID; BLANCHARD; RUNKLE, 2011; RUNKLE; FRANTZ, 2014). Na cultura do gladiolo, cultivado a céu aberto, temperaturas acima de 34°C podem ocasionar danos na haste floral como queimadura das sépalas e pétalas, além do murchamento da espiga que

pode resultar em entortamento e redução da qualidade do produto (SCHWAB et al., 2015b, UHLMANN et al., 2017).

2.5 DATA ÓTIMA DE PLANTIO

A principal alternativa para mitigar os efeitos negativos do fenômeno ENOS e da mudança climática na produção e desenvolvimento das culturas é a adaptação da data de plantio (ALEXANDROV; HOOGENBOOM, 2000; PAZ et al., 2012; WOLI et al., 2013; ZHANG et al., 2015; do RIO et al., 2016). Essa prática é utilizada para que os períodos críticos de desenvolvimento da cultura coincidam com períodos de condições climáticas favoráveis e a produtividade seja a maior possível (BANNAYAN; REZAEI; HOOGENBOOM, 2013; ANDARZIAN et al., 2015), principalmente em anos que as condições climáticas são desfavoráveis às maiores produtividades.

Para as culturas de grãos a data ótima de plantio é aquela cuja produtividade é máxima, e normalmente é determinada com o objetivo de otimizar a produção (ANDARZIAN et al., 2015). Sendo assim, estudos para adaptar a data ótima de plantio em função das fases do ENOS vem sendo realizados com diversas culturas em diferentes locais, como a cultura do amendoim no sudeste dos Estados Unidos (WOLI et al., 2013), algodão na Geórgia - EUA (PAZ et al., 2012) e batata na China (WANG et al., 2015a). No sul do Brasil com a cultura da soja (do RIO et al., 2016) o objetivo foi quantificar as perdas de produtividade em cenários de mudança climática. A principal causa da redução da produtividade é a deficiência hídrica, porém conforme o estudo, o ajuste da data de semeadura poderá mitigar os efeitos negativos da mudança climática. Para a cultura do trigo cultivado na Austrália, a mudança da data de plantio visa a redução de estresse por calor no período da antese (WANG et al., 2015b). No Rio Grande do Sul, para a cultura do arroz irrigado, foi encontrado que semeaduras em agosto serão mais indicadas para o oeste do estado no fim do século, já que quando realizadas mais tarde terão maior risco de esterilidade de espiguetas devido ao aumento da temperatura (WALTER et al., 2014).

Nas culturas ornamentais a data ótima de plantio é aquela em que a planta irá atingir o ponto de colheita próximo aos picos de demanda do mercado. Culturas ornamentais produzidas em estufa, tem o ambiente de desenvolvimento totalmente controlado, possibilitando manejar essas condições a fim de agendar a produção (FISHER; LIETH, 2000; CHEN; FUNNELL; MORGAN, 2010). Porém para o gladiolo, que é produzido a céu aberto, a determinação da melhor data de plantio é uma importante alternativa para minimizar as perdas da produção

devido a variabilidade interanual e mudança climática. Culturas ornamentais, que apresentam determinados picos de consumo, não são comercializáveis nesses momentos se não apresentarem flores abertas e terão um valor de venda reduzido ao serem comercializadas após essas datas de grande consumo (FISHER; LIETH, 2000).

Estudos de determinação da data ótima de plantio, por demandarem muito trabalho, tempo e recurso financeiro (MARIN 2006) normalmente utilizam modelos de simulação do desenvolvimento das culturas como o CSM-CROPGRO-Peanut (WOLI et al., 2013), CSM-CROPGRO-Cotton (PAZ et al., 2012), CSM-CROPGRO-Millet (SOLER et al., 2008), CSM-CERES-Wheat (ANDARZIAN et al., 2015), CSM-CROPGRO-Soybean (do RIO et al., 2016) e vários anos de dados meteorológicos para simular o desenvolvimento e produtividade das culturas e identificar a melhor data de plantio para cada cultura.

2.6 MODELOS DE SIMULAÇÃO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS

Modelos agrícolas são uma simplificação da realidade e quando bem calibrados permitem sua utilização para auxiliar no manejo das culturas agrícolas, bem como avaliar o efeito da mudança climática nas culturas (do RIO et al., 2016), previsão de safra (da SILVA et al., 2016) e a determinação da melhor data de plantio (ANDARZIAN et al., 2015). Modelos utilizam dados de temperatura, radiação solar, fotoperíodo e precipitação (LENTZ, 1998) como dados de entrada para simular o desenvolvimento e crescimento das plantas e por isso, são muito importantes em estudos que se deseja verificar a influência das condições climáticas nas culturas possibilitando economia de tempo e recursos (MARIN et al., 2006; OTENG-DARKO et al., 2013).

Os estudos de modelagem são focados principalmente em grandes culturas. Existem modelos que simulam o crescimento e desenvolvimento das culturas da soja (SoySim, SoyDev, CSM-CROPGRO-Soybean), arroz (SimulArroz) (STRECK et al., 2013), milho (CERES-Maize), mandioca (Simanihot) (STRECK et al., 2015) e trigo (CSM-CROPGRO-Wheat). Esses modelos estão disponíveis em versões de fácil utilização pelo usuário.

Em horticultura os modelos tem aplicações mais específicas. Além de auxiliar na previsão da produtividade, o tempo de produção é importante para o agendamento da comercialização dos produtos (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998). No caso de flores de corte, que tem o maior preço em momentos específicos do ano como Dia das Mães, Dias dos Namorados e Natal, é importante que os modelos auxiliem o produtor a realizar o agendamento

da produção, seja realizando o plantio no momento adequado ou através do manejo das condições climáticas da estufa.

Modelos para as culturas ornamentais são desenvolvidos principalmente para conhecer o efeito das condições ambientais no tempo de florescimento das culturas. Para a cultura do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) foi desenvolvido um modelo para simular o florescimento em resposta à temperatura e a intensidade luminosa para diferentes cultivares. Os resultados foram bastante diferentes entre as cultivares sugerindo a utilização de modelos cultivar-específicos na produção comercial (LARSEN; PERSSON, 1999).

Para a cultura do Limonium (*Limonium sinuatum* x *Limonium perezii*), um modelo foi desenvolvido para simular o florescimento da cultura em função do fotoperíodo. Durante a condução dos experimentos, a temperatura da estufa foi mantida constante e utilizou-se diferentes datas de plantio para se obter diferentes níveis de luz diária. Os autores afirmam que o modelo pode auxiliar produtores a agendar a data de plantio e prever o tempo de florescimento baseado em dados históricos de luz diária (CHEN; FUNNELL; MORGAN, 2010).

Um modelo foi desenvolvido para o lírio de Páscoa (*Lilium longiflorum* Thunb.), chamado LilyDate, com o objetivo de otimizar a temperatura da estufa para garantir que a maioria das plantas estejam no ponto de colheita em uma data alvo (FISHER; LIETH, 2000). O usuário pode controlar a temperatura da estufa conforme a indicação do modelo sobre qual temperatura resultará em uma proporção aceitável de flores em ponto de colheita na data desejada.

Pramuk; Runkle (2005) cultivaram plantas de celosia (*Celosia argentea* L.) e impatiens (*Impatiens walleriana* Hook.) em diferentes condições de temperatura e luz integral diária para simular o tempo de florescimento das culturas e alguns parâmetros de qualidade como diâmetro da flor, número de botões florais e massa seca da planta. Eles encontraram que o tempo de florescimento é amplamente controlado pela temperatura e luz diária, sendo que temperatura acima de 25°C não acelera o florescimento. A influência da luz integral diária nos parâmetros de qualidade variam com a temperatura, sendo que temperatura de 23°C e luz diária de 16 mol m⁻² d⁻¹ aumentaram o número de botões em 49% e a massa seca em 84%. Ao mesmo tempo, aumento da temperatura sem aumento da luz diária acarreta redução dos parâmetros de qualidade de ambas as culturas estudadas.

Existem também trabalhos com diferentes cultivares de petúnia (*Petunia* × *hybrida*) (BLANCHARD; RUNKLE; FISCHER, 2011) e para 18 espécies de plantas anuais (BLANCHARD; RUNKLE, 2011) em que os modelos simularam diminuição do tempo de

florescimento com o aumento da temperatura. Para as cultivares de petúnia houve redução no número de flores com o aumento da temperatura. Resultados semelhantes foram encontrados para a maioria das espécies anuais estudadas por Vaid et al. (2014), que apresentaram redução do número de flores em condições de maiores temperaturas devido a curta duração do ciclo nessa condição.

Moccaldi e Runkle (2007) calibraram um modelo para prever os efeitos da temperatura e regime integral de luz diária no crescimento e florescimento de tagetes (*Tagetes patula* L.) e salvia (*Salvia splendens* F. Sello) em diferentes ambientes, analisando ciclo da cultura, massa seca e número de flores. O número de flores e a massa seca de plantas normalmente diminuiu com o aumento da temperatura e diminuição de luz integral diária.

Um modelo que empregou taxa de desenvolvimento, uma função de temperatura, fotoperíodo e resposta à vernalização foi desenvolvido para *Brunonia australis* e *Calandrinia* sp. a fim de prever a duração do ciclo do plantio até o primeiro botão floral visível e do primeiro botão visível até a antese (CAVE et al., 2013). Os autores encontraram forte relação entre a duração do ciclo e o número de botões florais, sendo que em condições de temperaturas mais amenas, o ciclo aumenta e o número de botões florais também aumenta. Para *Calandrinia*, o número de botões tem relação com a duração do plantio ao primeiro botão visível, que depende da vernalização. Plantas que foram expostas ao frio imediatamente após o plantio tiveram menor número de botões florais do que as plantas que levaram mais tempo para serem expostas ao frio, indicando relação com a duração do ciclo.

Os resultados gerados por estes estudos podem auxiliar o produtor a agendar a sua produção para datas de maior demanda, como feriados, além de quantificar os efeitos das condições ambientais na qualidade das flores e o melhor planejamento das condições da estufa a fim de reduzir os custos sem afetar a qualidade do produto (PRAMUK; RUNKLE, 2005; BLANCHARD; RUNKLE, 2011; CAVE et al., 2013).

2.6.1 Modelo PhenoGlad

Para a cultura do gladiolo, o modelo PhenoGlad foi recentemente proposto para simular a ocorrência dos estágios de desenvolvimento da cultura (UHLMANN et al., 2017), baseado em três fases principais da escala fenológica da cultura desenvolvida por Schwab et al. (2015a). A fase de brotação inicia no plantio (PL) e vai até a emergência (VE), a fase vegetativa vai da emergência até o início do espigamento (R1.0), e a fase reprodutiva vai do início do espigamento até o estágio de último florete senescente (R5).

A taxa diária de aparecimento de folhas (TAF) é calculada com a equação descrita por Wang e Engel (1998):

$$\text{TAF} = \text{TAF}_{\text{max}} \cdot f(T) \quad (1)$$

em que: TAF é a taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{max} é taxa máxima diária de aparecimento de folhas, f(T) é a função de resposta a temperatura :

$$f(T) = [2(T - T_b)^\alpha (T_{\text{ot}} - T_b)^\alpha - (T - T_b)^{2\alpha}] / (T_{\text{ot}} - T_b)^{2\alpha} \quad \text{se } T_b \leq T \leq T_B$$

$$f(T) = 0 \quad \text{se } T < T_b \text{ ou } T > T_B \quad (2)$$

$$\alpha = \ln 2 / \ln [(T_B - T_b) / (T_{\text{ot}} - T_b)] \quad (3)$$

em que: T_b, T_{ot}, T_B, são as temperaturas mínima, ótima e máxima, cardinais para a fase vegetativa da cultura, T é a temperatura média diária do ar, TAF_{max} é taxa máxima diária de aparecimento de folhas que é específico para cada cultivar. As temperaturas cardinais utilizadas para a TAF são T_b = 2°C, T_{ot} = 27°C e T_B = 45°C.

O número acumulado de folhas é calculado acumulando-se os valores diários de TAF, do VE até o estágio R1.0, que é quando cessa o aparecimento de folhas. Algumas cultivares aceleram a emissão das últimas folhas, por isso afim de melhorar a estimativa pelo modelo, foi adicionado um fator de correção, específico para cada cultivar, ao CLN para calcular o número final de folhas da cultura.

Os estágios de desenvolvimento da cultura (DVS) são calculados usando a equação descrita por Wang e Engel (1998), acumulando-se os valores de taxa diária de desenvolvimento:

$$r = r_{\text{max}} \cdot f(T) \quad (4)$$

em que: r é a taxa de desenvolvimento diária da cultura, r_{max} taxa máxima diária de desenvolvimento da cultura que ocorre quando a temperatura do ar é ótima, f(T) é a função de resposta a temperatura, conforme equações (2) e (3). Cada fase de desenvolvimento tem temperaturas cardinais específicas. Na fase de brotação a T_b = 5°C, T_{ot} = 25°C e a T_B = 35°C, na fase vegetativa a T_b = 2°C, T_{ot} = 27°C e T_B = 45°C, e na fase reprodutiva a T_b = 6°C, T_{ot} = 25°C e T_B = 42°C.

O r_{max} é específico para cada cultivar e varia de acordo com a fase de desenvolvimento: r_{max_s} = taxa máxima de desenvolvimento diário para a fase de brotação, r_{max_v} = taxa máxima de desenvolvimento diário para a fase vegetativa, r_{max_h} = taxa máxima de desenvolvimento diário para a sub-fase de espigamento, r_{max_f} = taxa máxima de desenvolvimento diário para a sub-fase de florescimento. O DVS foi definido como sendo -1 no PL, 0 na VE, 0.8 no R1.0, 1 no R2, 1.13 no R3, 1.32 no R3.4 e R3.5, 1.56 no R3.6, 1.84 no R4 e 2.0 no R5.

Além de simular o número de folhas e os estágios de desenvolvimento da cultura, o modelo também emite alertas sobre possíveis danos por altas e baixas temperaturas que possam

ocorrer na cultura nas condições de temperatura que foi realizada a simulação. Quando a temperatura mínima do ar é menor que -2°C durante pelo menos quatro dias consecutivos da emergência (DVS=0) ao estágio R5 (DVS=2.0) então a cultura é morta por geada. Quando a temperatura mínima do ar é menor ou igual a -2°C durante um dia ou entre -2°C e 3°C durante quatro dias consecutivos para $\text{DVS} \geq 0.64$ então a espiga é morta por geada mas as folhas sofrem somente danos leves.

Os danos por altas temperaturas são considerados pelo modelo da seguinte maneira: se a temperatura máxima do ar é maior ou igual a 34°C por três dias consecutivos durante a fase reprodutiva (DVS=0.8 a 2.0), o modelo emite um alerta sobre a ocorrência de queimadura severa nos floretes e risco dos últimos floretes da espiga não abrirem. E quando a temperatura máxima for maior que 48°C a cultura morre por excesso de calor.

O código do modelo foi desenvolvido em FORTRAN 77, porém uma versão amigável do modelo PhenoGlad foi desenvolvida em JAVA (versão 1.8.0_66) para atingir maior número de pessoas que tenham interesse em utilizar essa ferramenta. Para realizar uma simulação, o usuário precisa introduzir os dados meteorológicos, temperatura mínima e máxima do ar, informar a cultivar para a qual deseja simular o desenvolvimento (Green Star, Amsterdam, Peter Pears, Rose Friendship, Gold Field, Jester, White Goddess, White Friendship e Purple Flora). Quando a cultivar desejada não se encontra nas opções listadas o usuário pode selecionar um ciclo de desenvolvimento (precoce, intermediário I, intermediário II ou tardio). Em seguida é necessário informar se deseja realizar a simulação do plantio ou da emergência e fornecer a data desejada. Além disso é possível escolher entre realizar a simulação para o ciclo completo (até R5) ou até o ponto de colheita (R2).

Para que o modelo simule o ciclo completo da cultura, o período de dados inseridos no modelo precisa conter o número de dias suficiente para que a cultura complete o seu ciclo, que pode ser até o estágio R2 se o modelo foi rodado até o ponto de colheita ou até o estágio R5 se o modelo foi rodado para o ciclo total. O modelo não faz uma previsão do desenvolvimento da cultura, ele apenas simulará o desenvolvimento para o período de dados que foram inseridos no modelo.

3 ARTIGO 1

Determining optimum planting date for Gladiolus in Southern Brazil using a crop model¹

¹ Artigo formatado nas normas da revista European Journal of Agronomy.

ABSTRACT

The scheduling of gladiola production, grown in the open field, is largely dependent on planting at the correct time because its development is heavily controlled by air temperature. The objective of this study was to determine the optimum planting date of gladiola considering the El Niño Southern Oscillation (ENSO) effect in order to harvest spikes for selling them on All Souls Day and Mother's Day holidays in the Rio Grande do Sul State, Brazil, using a dynamic crop model. The PhenoGlad model was used to simulate the development stages of gladiola. Daily minimum and maximum temperature of 55 years (1961-2015) from eighteen weather stations across the Rio Grande do Sul State, Brazil, were used as input data in the model. Once optimum planting date was simulated for each maturation group and weather station, with all years, the planting date was averaged for each ENSO phase to assess the ENSO effect on the optimum planting date of gladiola. We have identified that the phenomenon ENSO affects the development of the gladiola in the growing season for harvesting on All Souls' Day due to the interannual temperature variability. Therefore, the optimum planting date was determined separately for the different ENSO phases (Very Strong El Niño, El Niño, La Niña and Neutral years). For Mother's Day, only Very Strong El Niño events affected the development of the gladiola. In these events, the planting date must be anticipated and for the other ENSO phases should be delayed. Already for harvest in All Souls' Day, the planting date should be delayed in Very Strong El Niño years and anticipated in La Niña years. This information is important to assist the producer in scheduling the production of this cut flower, reducing the chances that the harvesting point will occur before or after the target date.

Keywords: *Gladiolus x grandiflorus* Hort., scheduling flowering, ENSO, temperature, PhenoGlad.

3.1 INTRODUCTION

Floriculture is constantly growing sector (Ibraflor, 2015), both in developed and in developing countries (Corrêa and Paiva, 2009) and represents one of the main activities generating employment and income for small farmers (Junqueira and Peetz, 2014). The cut flower sector is most important, followed by the live plants, bulbs and foliage sector (Buainain and Batalha, 2007). An important feature of Brazilian flower market is an irregular consumption of flowers and ornamental plants throughout the year, with peaks on festive days like All Souls' Day (02 November) and Mother's Day (second Sunday of May) (Junqueira and Peetz 2008).

Gladiola is a cut flower, propagated from corms, and the marketable flower is a spike-type inflorescence, which composed of several florets (Schwab et al., 2015). It is recommended that gladiola inflorescences are harvested when the first three florets at the bottom of the spike show the characteristic color of the cultivar, R2 stage of scale by Schwab et al. (2015), so that no damage to florets occur during transport until the market place. Florets open in sequence acropetally, even after harvest (Dwivedi et al., 2016). Therefore, knowing the optimum planting date is crucial for the success of harvesting gladiola spikes at the right time before specific holidays.

Crop simulation models are important tools for assisting farmers in planning their planting schedule, yield forecast, policy analysis and management (Gary et al., 1998). Models of field crops have been successfully used with long term weather records for determining optimum sowing date to optimize yield (Anapalli et al., 2005; Soler et al., 2008; Andarzian et al., 2015). Specifically for crop flowers, crop models were developed to predict flowering time (Pramuk and Runkle, 2005; Chen et al., 2010; Blanchard et al., 2011; Cave et al., 2013; Vaid et al., 2013) and to support growers in determining optimum greenhouse conditions for production of flowers that have a specific market window, as Easter for Lily and Christmas for Poinsetia (Snipen et al., 1999; Fisher and Lieth, 2000). When costs to maintain temperature or light in a suitable range for production are high, crop models can potentially be used in order to schedule planting dates and to predict flowering time based on historical daily weather data (Chen et al., 2010).

In order to schedule production of field grown crops, like gladiola, to target a particular marked window, best planting date needs to be known. Growing conditions change from year to year, and interannual variability in climate play an important role in plant development. In Southern Brazil, which includes the State of Rio Grande do Sul, the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), is a major cause of interannual variability on rainfall and temperature (Grimm et al., 1998, 2000; Barros et al., 2002; Grimm, 2003; Firpo et al., 2012). So these events should be considered when assessing the optimum planting date for gladiola whose development has great influence of the air temperature (Streck et al.,

2012). Recently, a phenological model for gladiola was proposed (Uhlmann et al., 2017), and in this model gladiola development is driven by air temperature. The model accurately simulated the development of several gladiola cultivars in different planting dates in several locations in the Rio Grande do Sul State.

The objective of this study was to determine the optimum planting date of gladiola considering the ENSO effect in order to harvest spikes for selling them on All Souls Day and Mother's Day holidays in the Rio Grande do Sul State, Brazil, using a dynamic crop model.

3.2 MATERIAL AND METHODS

3.2.1 Site and weather data

This study was performed for the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil (Fig. 1). Daily minimum and maximum air temperature of 55 years (1961-2015) from eighteen weather stations of the Brazilian National Weather Service (INMET), distributed across the State (Fig. 1b), were used in this study. More details on weather are in Table 1. Missing data for the period 1980-2013 were filled with data from Xavier et al. (2016), a high-resolution data set of daily minimum and maximum temperature for Brazil. Missing data of the 1961-1979 and 2014-2015 periods, were filled with the daily mean of the time series of each location considering El Niño, La Niña and Neutral years.

3.2.2 Crop model

The PhenoGlad model (Uhlmann et al., 2017) was used to simulate the development of gladiola. PhenoGlad simulates gladiolus phenology on a daily time steps and considering three main phases based on the developmental scale by Schwab et al. (2015): corms sprouting phase, vegetative phase and reproductive phase. Starting at planting, the developmental stage is calculated by accumulating the daily developmental rate values with the approach by Wang and Engel (1998). The input data in the model are daily minimum and maximum air temperature, planting or emergence date, and cultivar or maturation group, if cultivar is unknown. This model was previous calibrated and evaluated for nine different cultivars and four maturation group in Southern Brazil, Version 1.0 of PhenoGlad (available for free download at www.ufsm.br/phenoglad) was used in this study.

3.2.3 Optimum planting date simulations

The PhenoGlad model was run for four maturation groups of gladiola (Early, Intermediate I, Intermediate II and Late) and for each year of historical weather data. The optimum planting date was considered the simulated day when the harvest point, which corresponds to the R2 stage of the Schwab et al. (2015) scale, was achieved three days before the Mother's Day (second Sunday of May) and All Souls' Day (2 November) holidays. Mother's Day was considered as May 11 so the planting date should be anticipated or delayed to fit Mother's Day each year.

Each year of historical weather data was classified in an ENSO phase (Very Strong El Niño, El Niño, La Niña or Neutral), according to the Oceanic Niño Index (ONI) anomaly averaged in the Niño 3.4 region (5°N-5°S, 120°W-170°W) (NOAA, 2017). ENSO events were defined when a minimum of five consecutive 3-month running mean of SST (Sea Surface Temperature) anomalies equal to or greater than +0.5 for warm events (El Niño) and equal to or lower than -0.5 for cold events (La Niña). The events lasts from July through the following June. Once planting date were simulated for each maturation group and location, with all years, the planting date were averaged for each ENSO phase to assess the ENSO effect on the optimum planting date of gladiola.

Maps with the best planting dates of each county of the Rio Grande do Sul State were developed using the software Quantum GIS (QGIS), the interpolation method was based on Inverse Distance Weighting (IDW), after this, the counties were grouped into classes with five days period as the best planting date.

3.2.4 A case study

In Santa Maria (latitude: 29° 42'S, longitude: 53° 42'W and altitude: 95m), we accompany the production of gladiolus for sale on the All Souls' Day on a commercial farm. The corms were planted in beds with two rows, 40 cm among rows and 20 cm among plants within the rows. The planting depth was approximately 10 cm. The cultivars were Gold Field, Red Beauty, Peter Pears, Black Velvet, Green Star, Amsterdam and White Friendship, totaling seven cultivars of different maturation groups and colors. The planting of the cultivars Gold Field (Late maturation group), Red Beauty (Intermediate II maturation group) and Peter Pears (Intermediate I maturation group) was carried out on 21 July 2016. The cultivars Black Velvet and Green Star (Intermediate II maturation group), Amsterdam (Intermediate I maturation

group) and White Friendship (Early maturation group) were planted on the day 04 August 2016. The farmer defined the management practices and planting date of the corms. No irrigation was used. For each cultivar, 12 plants were tagged and used to register R2 stage.

3.3 RESULTS

Table 2 displays the years of Strong El Niño, El Niño, La Niña and Neutral events used in the study. The study period totalized 3 Very Strong El Niño events, 16 El Niño, 16 La Niña events and 20 Neutral events.

3.3.1 ENSO effect on anomaly of optimum planting date

The effect of ENSO on optimum planting date of gladiola in Rio Grande do Sul varied for different locations and maturation groups. For harvest point on All Souls' Day, the anomalies of optimum planting date for Early maturation group, varied from +15 days (later planting date compared to Neutral years) for Very Strong El Niño to -11 days (earlier planting date compared to Neutral years) for La Niña years (Fig. 2a). For Intermediate I maturation group (Fig. 2b), varied from +17 days to -11 days, for Intermediate II maturation group (Fig. 2c), the anomaly of optimum planting date varied from +13 days late to -11 days and for Late maturation group (Fig. 2d), the anomaly varied from +19 days for Very Strong El Niño to -9 days for La Niña years. These results indicate a wide range of the optimum planting date among the ENSO phases.

The location with higher differences in optimum planting date among the ENSO phases is Bom Jesus whereas Iraí had lower effect of ENSO phases. The differences in anomalies between Very Strong El Niño and La Niña years in Bom Jesus, was 23 days for Early maturation group, 21 days for Intermediate I maturation group, 15 days for Intermediate II maturation group and 22 days for Late maturation group. These differences are very large and considering a single planting date for both ENSO phases, leads to a failure in achieving the R2 stage of the target marketing day in several years. In Iraí, the anomaly difference between Very Strong El Niño and La Niña years, was only 5 days in Early maturation group, 4 days in Intermediate I, 1 day in Intermediate II and 6 days in Late maturation group.

For harvesting on Mother's Day, the effect of the ENSO phases was different. The anomalies of optimum planting date had a small range among the ENSO phases and the effect was the opposite, so that on Very Strong El Niño years, the optimum planting date was anticipated (Fig. 3). The major anomaly in Very Strong El Niño was -7 days on Intermediate II maturation group (Fig. 3b), -3 days in La Niña years for Intermediate I (Fig. 3b) and Late (Fig. 3d), +2 days in El Niño years for Intermediate

II (Fig. 3c) and Late maturation group. For practical purposes, the differences for El Niño (except Very Strong El Niño) and La Niña years is small and for practical applications can be neglected. However, a difference of seven days on the planting date should be considered, so the optimum planting date was recommended separately for Very Strong El Niño years.

Just as occurred for harvesting on All Souls' Day, some locations were more affected by the ENSO phases. The location with higher differences in optimum planting date among of the ENSO phases was Bom Jesus (Fig. 3). The differences in anomalies between Very Strong El Niño and El Niño years was 6 days in Early gladiola, of 5 days in Intermediate I gladiola, and of 7 days in Intermediate II and Late gladiola. One of the locations that has less effect of the ENSO phases is Porto Alegre (Fig. 3), with a range of 1 day in Early, Intermediate II and Late gladiola, and three days in Intermediate I gladiola between Very Strong El Niño and El Niño years.

3.3.2 Optimum planting date for harvesting on All Souls' Day and Mother's Day holidays

For harvest point of gladiola on All Souls' Day, the optimum planting date for Early maturation group varied from 22 July to 15 August in Very Strong El Niño, from 10 July to 11 August in El Niño, from 30 June to 18 August in La Niña years and from 08 July to 16 August in Neutral years (Fig. 4). For Intermediate I maturation group, the optimum planting date varied from 17 July to 15 August in Very Strong El Niño, from 07 July to 10 August in El Niño, from 28 June to 11 August in La Niña years and from 02 July to 10 August in Neutral years (Fig. 5). The optimum planting date varied from 04 July to 02 August in Very Strong El Niño, from 24 June to 02 August in El Niño, from 20 June to 03 August in La Niña years and from 22 June to 31 July in Neutral years, for Intermediate II (Fig. 6). For Late maturation group, the optimum planting date varied from 22 June to 26 July in Very Strong El Niño, from 08 June to 27 July in El Niño, from 03 June to 22 July in La Niña years and from 06 June to 20 July in Neutral years (Fig. 7). These results indicate that in La Niña years the planting date should be anticipated, whereas in Very Strong El Niño years the planting date should be delayed. The length of the optimum planting date window across the Rio Grande do Sul State, was larger in La Niña years and smaller in Very Strong El Niño years.

The effect of ENSO phases for harvesting on Mother's Day was only significant in Very Strong El Niño years, so the optimal planting date was indicated separately for this phase of the ENSO. The optimum planting date varied from 13 February to 02 March in Early maturation group (Fig. 8a), from 12 February to 26 February in Intermediate I maturation group (Fig. 8b),

from 02 February to 21 February in Intermediate II maturation group (Fig. 8c) and from 27 January to 15 February in Late maturation group (Fig. 8d). In El Niño, La Niña and Neutral years, the recommendation of planting date was the same. For Early maturation group the optimum planting date varied from 17 February to 03 March (Fig. 9a), from 15 February to 01 March in Intermediate I (Fig. 9b), from 08 February to 22 February in Intermediate II (Fig. 9c) and from 31 January to 14 February in Late maturation group (Fig. 9d). The planting date was anticipated in Very Strong El Niño years compared to the others ENSO phases.

3.3.3 A case study

The farmer used the same planting date for different maturation groups (Table 3). Nevertheless, all cultivars reached R2 stage before the target date. The cultivar Peter Pears was planted 6 days before the recommended period and the R2 stage occurred 11 days before the target data. The cultivar Red Beauty was planted within the recommended period and the R2 stage occurred 5 days before the target data. Even the planting being carried out 11 days late, the cultivar Gold reached R2 two days before the target date.

3.4 DISCUSSION

3.4.1 ENSO effect on anomaly of optimum planting date

The differences in the anomalies of optimum planting date among ENSO phases for the locations in Rio Grande do Sul suggest that the ENSO signal is strong enough to have impact on the air temperature that drive gladiola phenology. Considering the two different locations relative to the influence of ENSO for harvesting on All Souls' Day, it was observed that the largest anomalies in the optimum planting date in Bom Jesus (Fig. 2) was due to higher average temperature in Very Strong El Niño years and lower average temperature in La Niña years (Fig. 10a, b, c, d). The opposite, was observed in Iraí, where the lower anomalies in the optimum planting date (Fig. 2) were due to smaller mean temperature differences among the ENSO phases (Fig. 11a, b, c, d). Bom Jesus is located at 1,047.5 meters of altitude and presents average maximum temperature of 30.8 degrees while Iraí has 247.1 m of altitude and average maximum temperature of 37.1 degrees (Table 1), indicating that the effect of ENSO is more pronounced in the coldest regions of the Rio Grande do Sul State. These results agree with other studies, which attribute the variable ENSO effect between regions to site-specific microclimates, which are defined by elevation,

latitude, vegetation, and the distance from large water bodies such as the Atlantic Ocean (Firpo, 2012; Paz et al., 2012; Woli et al., 2013).

In El Niño events, the increase in temperature is a consequence of increased precipitation. According to Barros et al. (2002) the warm anomaly observed during the June, July and August composite of El Niño events results from the enhancement of the warm advection at low levels. In addition, Firpo et al. (2012) identified that there are more cold waves in La Niña years and more heat waves El Niño years.

Considering the two different locations relative to the influence of ENSO for harvesting on Mother's Day, it was observed that the largest anomalies in the optimum planting date in Bom Jesus (Fig. 3) was due to lower mean temperature in Very Strong El Niño years and higher mean temperature in La Niña years (Fig. 10e, f, g, h). The opposite, Porto Alegre, had lower anomalies in the optimum planting date due to smaller mean temperature differences between the ENSO phases, except in March when mean temperatures are lower in Very Strong El Niño (Fig. 12e, f, g, h). These results agree with Grimm (2003) that the temperature anomalies disappear and even tend to reverse signal in months of year after the onset of the event due to change in circulation anomalies that favor cold advection from the south into southeast Brazil in El Niño events.

The largest anomalies observed in the cultivation for harvesting on All Souls' Day (Fig. 2) indicate the major effect of ENSO in the spring (Grimm 1998; 2004). However, the smaller anomalies for harvesting on Mother's Day show the lower variability between the different ENSO phases and confirm that the ENSO signal is weaker in those months. The influence of ENSO was also identified in southeastern USA, Northeast China, Georgia – EUA e Paraguai affecting the yield of peanut (Woli et al., 2013), maize (Zhang et al., 2015), cotton (Paz et al., 2012) and soybean (Fraisse, 2008) mainly due to the critical stages of the crop coinciding with periods of water deficiency. Just as for gladiola, setting the planting date is a good way to mitigate the negative effects of ENSO (Fraisse et al., 2008; Paz et al., 2012; Woli et al., 2013).

3.4.2 Optimum planting date for harvesting on All Souls' Day and Mother's Day holidays

The delay of planting date for harvesting on All Souls' Day in Very Strong El Niño events occurs due to the increase of the temperature in the spring that accelerates the development of the crop (Streck et al., 2012; Adil et al., 2013; Schwab et al., 2015). Already for harvesting on Mother's Day, the planting must be anticipated because the temperature is

smaller in Strong El Niño events and the cycle of crop extends (Schwab et al., 2015). Similar results have been found for various ornamental crops as *Antirrhinum manus* L. (Munir et al., 2004; Munir et al., 2015), *Celosia argentea* L. and *Impatiens walleriana* Hook. F. (Pramuk and Runkle, 2005), *Brunonia australis* and *Calandrinia* sp. (Cave et al., 2013), *Salvia splendens* and *Tagetes patula* (Moccaldi and Runkle, 2007), *Chysanthemum morifolium* (Larsen and Persson, 1999), eighteen species of annual bedding plants (Blanchard and Runkle, 2011), *Petunia x hybrida* (Blanchard et al., 2011) where the increase in temperature anticipates flowering.

La Nina events show lower temperatures during spring due to the northward displacement of cold fronts (Grimm, 2004). Therefore, for harvesting on All Souls' Day the planting needs to be anticipated. In the growing season for harvesting on Mother 's Day, the ENSO effect is weakened and did not indicate differences in the optimum planting date between El Nino, La Nina and Neutral events.

In the northeast and south of Rio Grande do Sul that have milder temperatures, planting is anticipated while in the northwest, that has higher temperatures, the planting is delayed in both ENSO phases for harvesting on All Souls' Day. For harvesting on Mother's Day, the northeast region stands out with planting date most earlier. These results agree with Firpo et al. (2012) about the temperature conditions in Rio Grande do Sul, and are sufficient to affect the crop cycle and consequently the optimum planting date.

3.4.3 A case study

Even cultivars that were planted almost two weeks late (Gold Field, Black Velvet and Green Star) reached the R2 stage before the target date. We believe that the long period without precipitation during the vegetative phase promoted a stress condition that accelerated the crop cycle (Paiva et al., 2012). In *Dendranthema grandiflora* was observed that the inflorescences opened at 62 days after transplanting, in the treatment with 40% replacement of the water consumed, and at 91 days, in the treatment with 100% replacement of the water consumed (Pereira et al., 2003). However, a recent study with gladiola found that number of days to flowering is lower at water replacement level of 134% in relation to field capacity (Porto et al., 2014).

The worst scenario in the production of gladiolus is the delay of the harvest point because in this case the flower stems are not marketable at the peak of demand because they do not present open florets (Snipen et al., 1999). If water stress had not occurred, these cultivars

would not have reached the harvest point in time to be marketed on All Souls' Day and consequently would have a reduced market value (Fisher and Lieth, 2000) if marketed after this consumption peak.

Among all the cultivars, the Peter Pears cultivar reached the R2 stage earlier, about 11 days before the target date. The farmer did not lose the floral stems of this cultivar because it has a cooling chamber, where he stored these spikes in order to reduce the opening rate of the florets (Schwab et al., 2014) until the day of the sale. For farmers that do not have a cooler, knowing the optimal planting date is very important.

The determination of the optimal planting date of gladiola in the Rio Grande do Sul State, will provide subsidies for the production expansion for others regions of the State, in harvesting spikes for selling on All Souls' Day and the Mother's Day holiday. By planting at the right time, the farmer will reduce cooler costs, when the flower stems are ready before the peaks demand, and losses due to inter-annual climate variability, which affects the development of the crop resulting in flower stems ready only after peaks demand where the sale value is lower. The use of irrigation in the beds is widely recommended so that the planting date has a greater chance of success because the PhenoGlad model was calibrated in potential conditions, where the plants did not suffer water deficiency.

3.5 CONCLUSIONS

The optimum planting date of gladiolus for harvesting on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State is affected by the ENSO phases. The planting date should be anticipated in La Nina years and delayed in El Nino years, in relation to Neutral years. Warmer regions, such as the northwest of the State, should carry out planting later than coldest regions such as the northeast and south of the State. The planting date for harvesting on Mother's Day is affected only in Very Strong El Nino years, when planting should be anticipated. Cold regions like the northeast should carry out the planting of the corms before the other regions of the state.

3.6 REFERENCES

- Adil, M., Ahmad, W., Ahmad, K.S., Shafi, J., Shehzad, M.A., Sarwar, M.A., Salman, M., Ghani, M.I., Iqbal, M., 2013. Effect of different planting dates on growth and development of *Gladiolus grandiflorus* under the ecological conditions of Faisalabad, Pakistan. *Universal Journal of Agricultural Research*. 1, 110-117. doi: 10.13189/ujar.2013.010311.
- Anapalli, S.S., Ma, L., Nielsen, D.C., Ahuja, L.R., 2005. Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-Maize models. *Agronomy Journal*, 97, 58-71. doi: 10.2134/agronj2005.0058.
- Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., Andarzian, B., 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 14, 189-199. doi: 10.1016/j.jssas.2014.04.004.
- Barros, V. R.; Grimm, A. M.; Doyle, M. E. 2002. Relationship between temperature and circulation in Southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. *Journal of the Meteorology Society of Japan*. 80, 21-32. doi: 10.2151/jmsj.80.21.
- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., 2011. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. *Scientia Horticulturae*. 128, 30-37. doi: 10.1016/j.scienta.2010.12.010.
- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., Fisher, P.S., 2011. Modeling plant morphology and development of petunia in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *Scientia Horticulturae*. 129, 313-320. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.044.
- Buainain, A.M., Batalha, M.O., 2007. **Série Agronegócios: Cadeias Produtivas de Flores e Mel**. Brasília : IICA : MAPA/SPA. 9, 140p.
- Cave, R.L., Hammer, G.L., McLean, G., Birch, C.J., Erwin, J.E., Johnston, M.E., 2013. Modeling temperature, photoperiod and vernalisation responses of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae) to predict flowering time. *Annals of Botany*. 111, 629-639. doi: 10.1093/aob/mct028.
- Chen, J., Funnell, K.A., Morgan, E.R., 2010. A model for scheduling flowering of a *Limonium sinatum* x *Limonium perezii* hybrid. *HortScience*. 45, 1441-1446.
- Corrêa, P.R., Paiva, P.D.O., 2009. Brazilian floriculture agribusiness. *Magistra*. 21, 253-261. (In Portuguese with Abstract in English).
- Dwivedi, S. K., Arora, A., Singh, V. P., Sairam, R. P., Bhattacharya, R. C., 2016. Effect of sodium nitroprusside on differential activity of antioxidants and expression of SAGs in

relation to vase life of gladiolus cut flowers. *Scientia. Horticulturae*. 210, 158-165. doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.024.

- Firpo, M. A. F.; Sansigolo, C. A.; Assis, S. V., 2012. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associados ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 27, 95-106. doi: 10.1590/S0102-77862012000100010.
- Fisher, P.R., Lieth, J.H., 2000. Variability in flower development of Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.): model and decision-support system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 26, 53-64. doi: 10.1016/S0168-1699(00)00075-2.
- Fraisse, C.W., Cabrera, V.E., Breuer, N.E., Baez, J., Quispe, J., Matos, E., 2008. El Niño – Southern Oscillation influences on soybean yields in eastern Paraguay. *International Journal of Climatology*. 28, 1399-1407. doi: 10.1002/joc.1641.
- Gary, C., Jones, J.W., Tchamitchian, M., 1998. Crop modelling in horticulture: state of the art. *Scientia. Horticulturae*. 74, 3-20. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00080-6.
- Grimm, A. M., 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*. 16, 263-280. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2.
- Grimm, A. M., 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics*. 22, 123-138. doi: 10.1007/s00382-003-0368-7.
- Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E., 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*. 13, 35-58. doi: 10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2.
- Grimm, A. M.; Ferraz, S. E. T.; Gomes, J., 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*. 11, 2863-2880. doi: 10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2.
- Ibraflor, 2015. Instituto Brasileiro de Floricultura. **Números do Setor: Mercado interno. Dados do Setor Condensados**. <http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=246> (accessed 16/jan/2017).
- Junqueira, A.H., Peetz, M.S., 2008. Inner market for the products of the Brazilian floriculture: characteristics, trends and recent social economic importance. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. 14, 37-52. doi: 10.14295/rbho.v14i1.230.
- Junqueira, A.H., Peetz, M.S., 2014. The productive sector of flowers and ornamental plants of Brazil, in the period from 2008 to 2013: updates, balance sheets and prospects. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. 20, 115-120. (In Portuguese with Abstract in English). doi: 10.14295/rbho.v20i2.727.

- Larsen, R.U., Persson, L., 1999. Modelling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Scientia Horticulturae*. 80, 73-89. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00219-2.
- Moccaldi, L.A., Runkle, E.S., 2007. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 132, 283-288.
- Munir, M., Jamil, M., Baloch, J.-U.-D., Khattak, K.R., 2004. Growth and flowering of *Antirrhinum majus* L. under varying temperatures. *International Journal of Agriculture & Biology*. 6, 173-178.
- Munir, M., Hadley, P., Carew, J., Adams, S., Pearson, S., Sudhakar, B., 2015. Effect of constant temperatures and natural daylength on flowering time and leaf number of *Antirrhinum* using the photo-thermal model. *Pakistan Journal of Botany*. 47, 1717-1720.
- NOAA, 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration. **ENSO: Cold and Warm episodes by season.** United States. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. l. (accessed 16/jan/2017).
- Paz, J. O., Woli, P., Garcia y Garcia, A., Hoogenboom, G., 2012. Cotton yields as influenced by ENSO at different planting dates and spatial aggregation levels. *Agricultural Systems*. 111, 45-52. doi: 10.1016/j.agsy.2012.05.004.
- Paiva, P. D. O., Fernandes, K.D., Ceratti, M., 2012. Gladiolo. In: Paiva, P. D. de O.; Almeida, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA. 448-470.
- Pereira, J.R.D., Carvalho, J.A., Paiva, P.D.O., Silva, E.L., Faquin, V., 2003. Efeitos da época de suspensão da fertirrigação e níveis de reposição de água na cultura do crisântemo (*Dendranthema grandiflora*). *Ciência e Agrotecnologia*. 27, 658-664. (In Portuguese with Abstract in English). doi: 10.1590/S1413-70542003000300022.
- Porto, R. de A., Koetz, M., Bonfim-Silva, E.M., Polizel, A.C., da Silva, T.J., 2014. Effects of water replacement levels and nitrogen fertilization on growth and production of gladiolus in a greenhouse. *Agricultural and Water Management*, 131, 50-56. doi: 10.1016/j.agwat.2013.09.007.
- Pramuk, L.A., Runkle, E.S., 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 130, 813-818.

- Schwab, N.T., Streck, N.A., Becker, C.C., Langner, J.A., Uhlmann, L.O., Ribeiro, B.S.M.R., 2015. A phenological scale for the development of *Gladiolus*. *Annals of Applied Biology*. 166, 496-507. doi: 10.1111/aab.12198.
- Schwab, N.T., Streck, N.A., Langner, J.A., Ribeiro, B.S.M.R., Uhlmann, L.O., Becker, C.C., 2014. Applicability of the term anthochron for representing the speed rate of flower opening on the inflorescence. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 49, 657-664. doi: 10.1590/S0100-204X2014000900001.
- Soler, C.M.T., Maman, N., Zhang, X., Mason, S.C., Hoogenboom, G., 2008. Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modelling approach. *Journal of Agricultural Science*. 146, 445-459. doi: 10.1017/S0021859607007617.
- Snipen, L.G., Moe, R., Soreng, J., 1999. Influence of potential growth factors in predicting time to flowering in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). *Scientia Horticulturae*. 81, 345-359. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00008-4.
- Streck, N.A., Bellé, R.A., Backes, F.A.A.L.B., Gabriel, L.F., Uhlmann, L.O., Becker, C.C., 2012. Vegetative and reproductive development in gladiolus. *Ciência Rural*, 42, 1968-1974. (In Portuguese, with Abstract in English). doi: 10.1590/S0103-84782012001100010.
- Uhlmann, L.O., Streck, N.A., Becker, C.C., Schwab, N.T., Benedetti, R.P., Charão, A.S., Ribeiro, B.S.M.R., Silveira, W.B., Backes, F.A.A.L., Alberto, C.M., Muttoni, M., de Paula, G.M., Tomiozzo, R., Bosco, L.C., Becker, D., 2017. PhenoGlad: A model for simulating development in *Gladiolus*. *European Journal of Agronomy*. 82, 33-49. doi: 10.1016/j.eja.2016.10.001.
- Vaid, T.M., Runkle, E.S., 2013. Developing flowering rate models in response to mean temperature for common annual ornamental crops. *Scientia Horticulturae*, 161, 15-23. doi: 10.1016/j.scienta.2013.06.032.
- Xavier, A. C., King, C. W., Scanlon, B. R., 2016. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, 36, 2644-2659, <http://dx.10.1002/joc.4518>.
- Wang, E., Engel, T., 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. *Agricultural Systems*. 58, 1-24. doi: 10.1016/S0308521X(98)000286.
- Woli, P., Paz, J.O., Hoogenboom, G., Garcia y Garcia, A., Fraisse, C.W., 2013. The ENSO effect on peanut yield as influenced by planting date and soil type. *Agricultural Systems*. 121, 1-8. doi: 10.1016/j.agsy.2013.06.005.

Zhang, Z., Feng, B., Shuai, J., Shi, P., 2015. ENSO-climate fluctuation-crop yield early warning system-A case study in Jilin and Liaoning Province in Northeast China. *Physics and Chemistry of the Earth*. 87-88, 10-18. doi: 10.1016/j.pce.2015.09.015.

Table 1

Weather stations, their geographical coordinates, number of years used in the simulations and summary of air temperature (annual average of lowest minimum and highest maximum temperature) used in this study.

Location	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Number of study years
Bagé	54° 03' W	31° 19' S	242.3	-0.4	36.4	55
Bento Gonçalves	51° 30' W	29° 09' S	640.0	-0.8	33.9	53
Bom Jesus	50° 25' W	28° 39' S	1047.5	-2.2	30.8	55
Caxias do Sul	51° 12' W	29° 09' S	759.6	-0.3	32.9	55
Cruz Alta	53° 36' W	28° 37' S	472.5	-0.1	35.4	55
Encruzilhada do Sul	52° 30' W	30° 31' S	427.8	0.3	35.1	55
Iraí	53° 13' W	27° 10' S	247.1	-0.2	37.1	55
Lagoa Vermelha	51° 30' W	28° 12' S	840.0	-1.5	32.7	55
Passo Fundo	52° 24' W	28° 12' S	684.0	-0.6	34.1	55
Pelotas	52° 24' W	31° 46' S	13.0	0.9	35.7	54
Porto Alegre	51° 09' W	30° 03' S	46.9	2.2	37.3	55
Rio Grande	52° 06' W	32° 01' S	2.5	2.0	34.9	54
Santa Maria	53° 42' W	29° 42' S	95.0	0.0	37.0	55
Santa Vitória do Palmar	53° 21' W	33° 03' S	24.0	1.0	35.6	55
Santana do Livramento	55° 35' W	30° 49' S	328.0	0.4	36.1	53
São Luiz Gonzaga	55° 01' W	28° 24' S	245.1	0.6	37.2	55
Torres	49° 43' W	29° 21' S	4.7	2.9	33.5	55
Uruguaiana	57° 04' W	29° 45' S	62.3	0.1	37.8	55

Table 2

Very Strong El Niño, El Niño, La Niña and Neutral years used in this study.

Events	Years
Very Strong El Niño	1982/83, 1997/98, 2015/16
El Niño	1963/64, 1965/66, 1968/69, 1969/70, 1972/73, 1976/77, 1977/78, 1979/80, 1986/87, 1987/88, 1991/92, 1994/95, 2002/03, 2004/05, 2006/07, 2009/10
La Niña	1964/65, 1967/68, 1970/71, 1971/72, 1973/74, 1974/75, 1975/76, 1984/85, 1988/89, 1995/96, 1998/99, 1999/00, 2000/01, 2007/08, 2010/11, 2011/12
Neutral	1961/62, 1962/63, 1966/67, 1978/79, 1980/81, 1981/82, 1983/84, 1985/86, 1989/90, 1990/91, 1992/93, 1993/94, 1996/97, 2001/02, 2003/04, 2005/06, 2008/09, 2012/13, 2013/14, 2014/15

Table 3

Planting date used by the farmer and recommended planting date from this study for target R2 stage tree days before the All Souls' Day holiday for different cultivars, in Santa Maria, RS, Brazil.

Cultivar	Maturation group	Planting date	Recommended planting date*	Observed R2 stage	Target R2 stage
Peter Pears	Intermediate I	21/07/16	27/07 to 31/07	19/10/16	30/10/16
Red Beauty	Intermediate II	21/07/16	17/07 to 21/07	25/10/16	30/10/16
Gold Field	Late	21/07/16	06/07 to 10/07	28/10/16	30/10/16
White Friendship	Early	04/08/16	28/07 to 01/08	22/10/16	30/10/16
Amsterdam	Intermediate I	04/08/16	27/07 to 31/07	26/10/16	30/10/16
Black Velvet	Intermediate II	04/08/16	17/07 to 21/07	29/10/16	30/10/16
Green Star	Intermediate II	04/08/16	17/07 to 21/07	26/10/16	30/10/16

*Recommended planting date refers to Neutral years

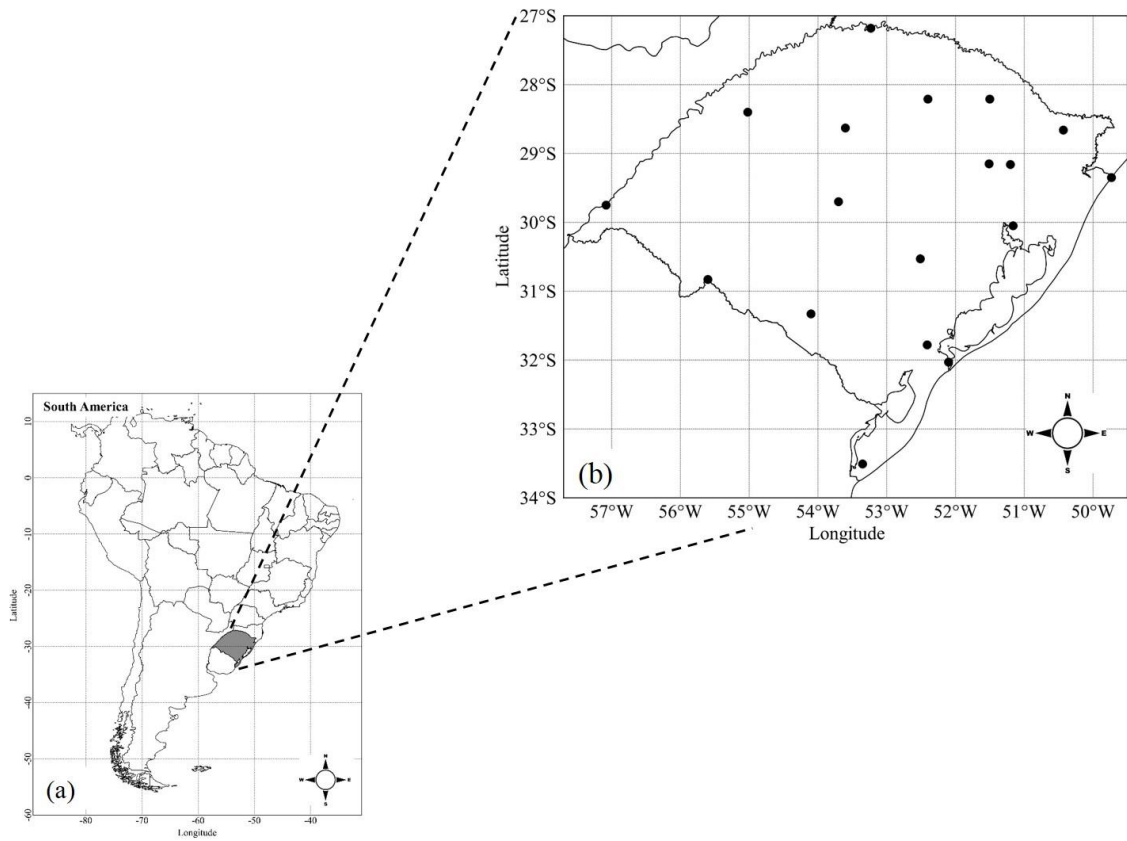


Fig.1. Maps of South America and Brazil (a) and the State of Rio Grande do Sul State (b) with the locations of weather stations of the Brazilian National Weather Service (INMET) used in this study.

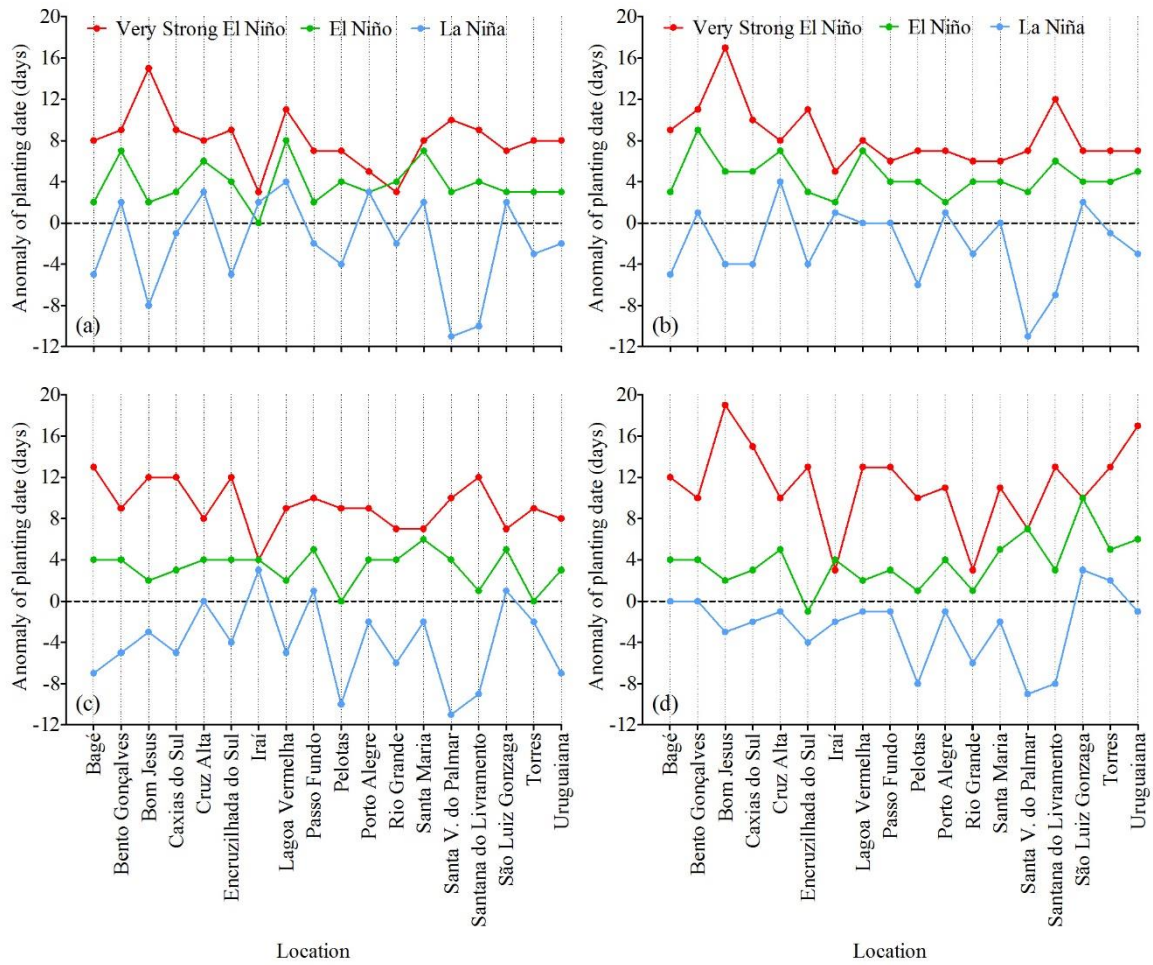


Fig. 2. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day in several locations across the Rio Grande do Sul State, Brazil, in Very Strong El Niño, El Niño and La Niña years for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). The dashed line indicates the average of Neutral years.

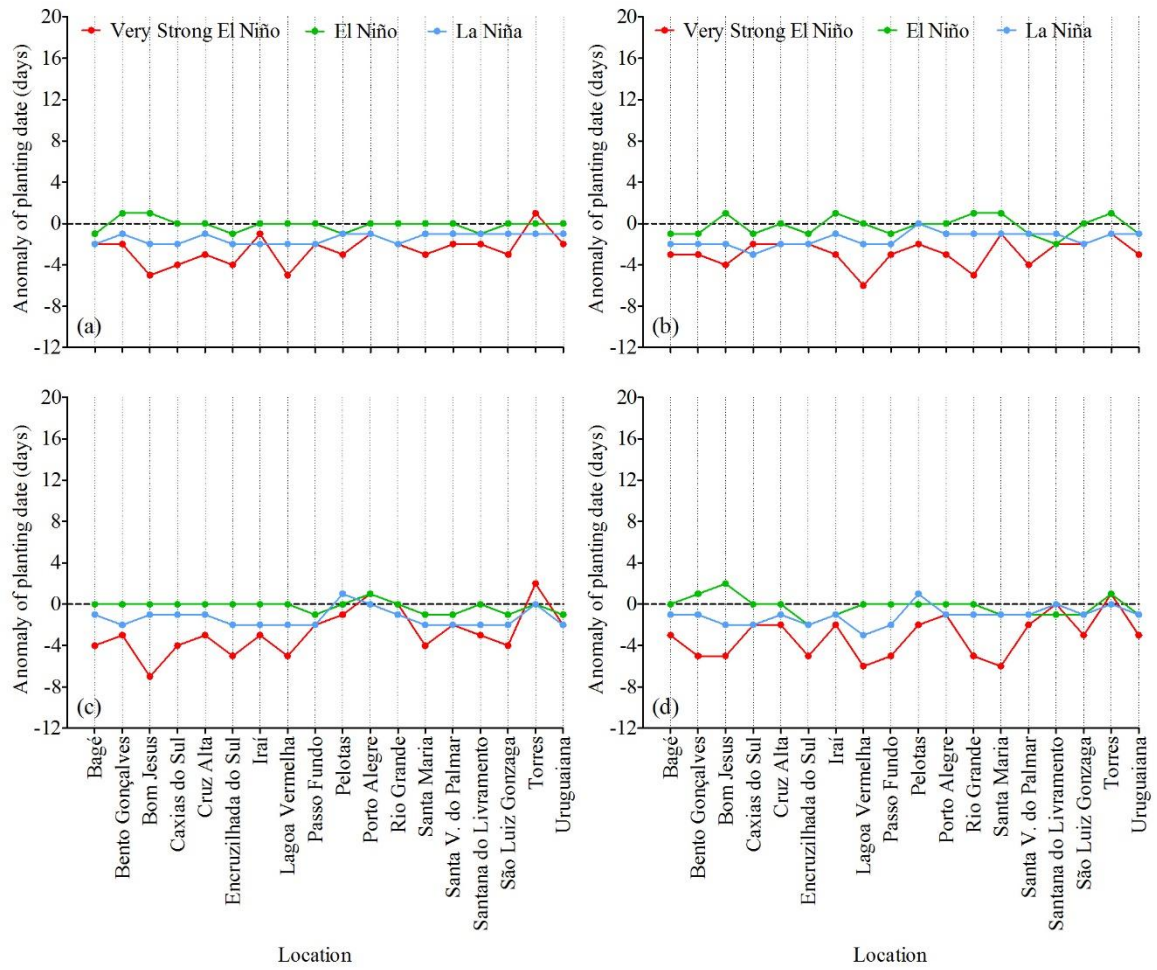


Fig.3. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother's Day in several locations across the Rio Grande do Sul State, Brazil, in Very Strong El Niño, El Niño and La Niña years for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d). The dashed line indicates the average of Neutral years.

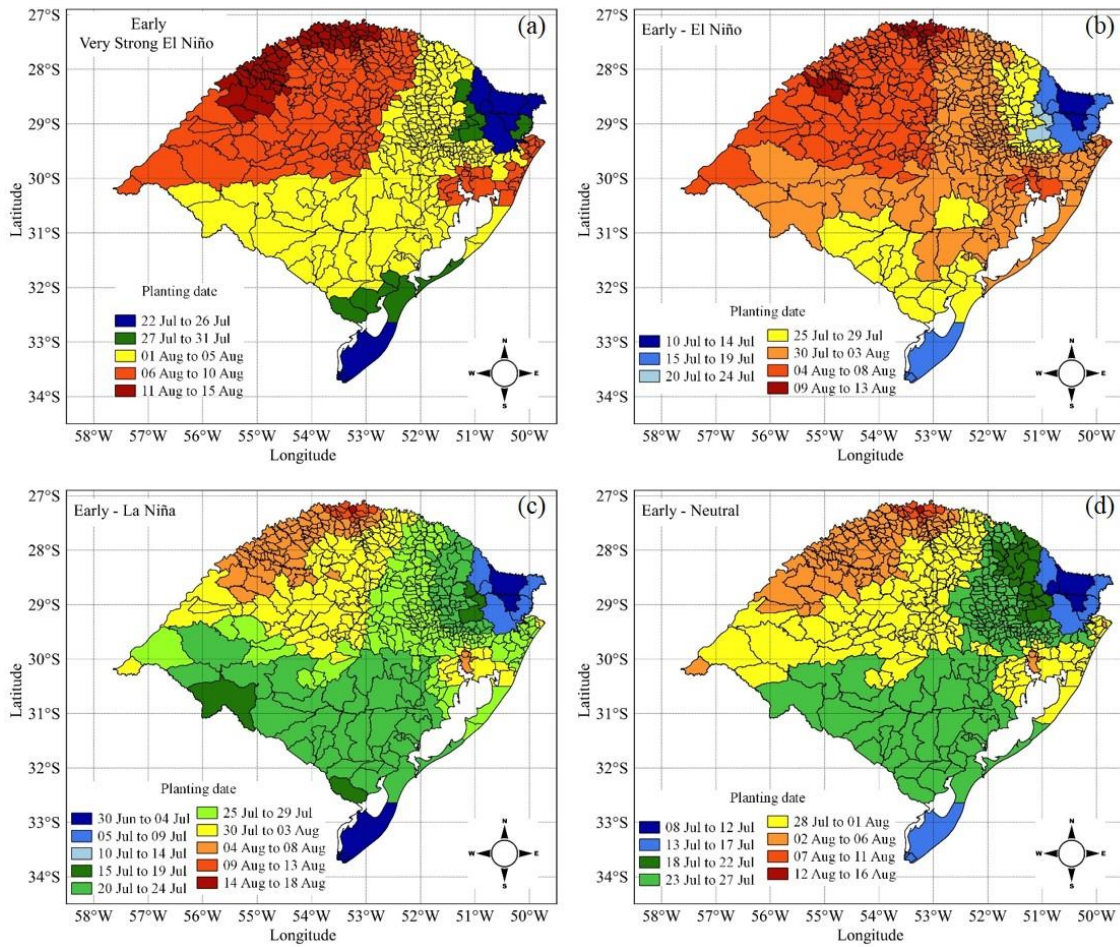


Fig.4. Optimum planting date for Early maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls' Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

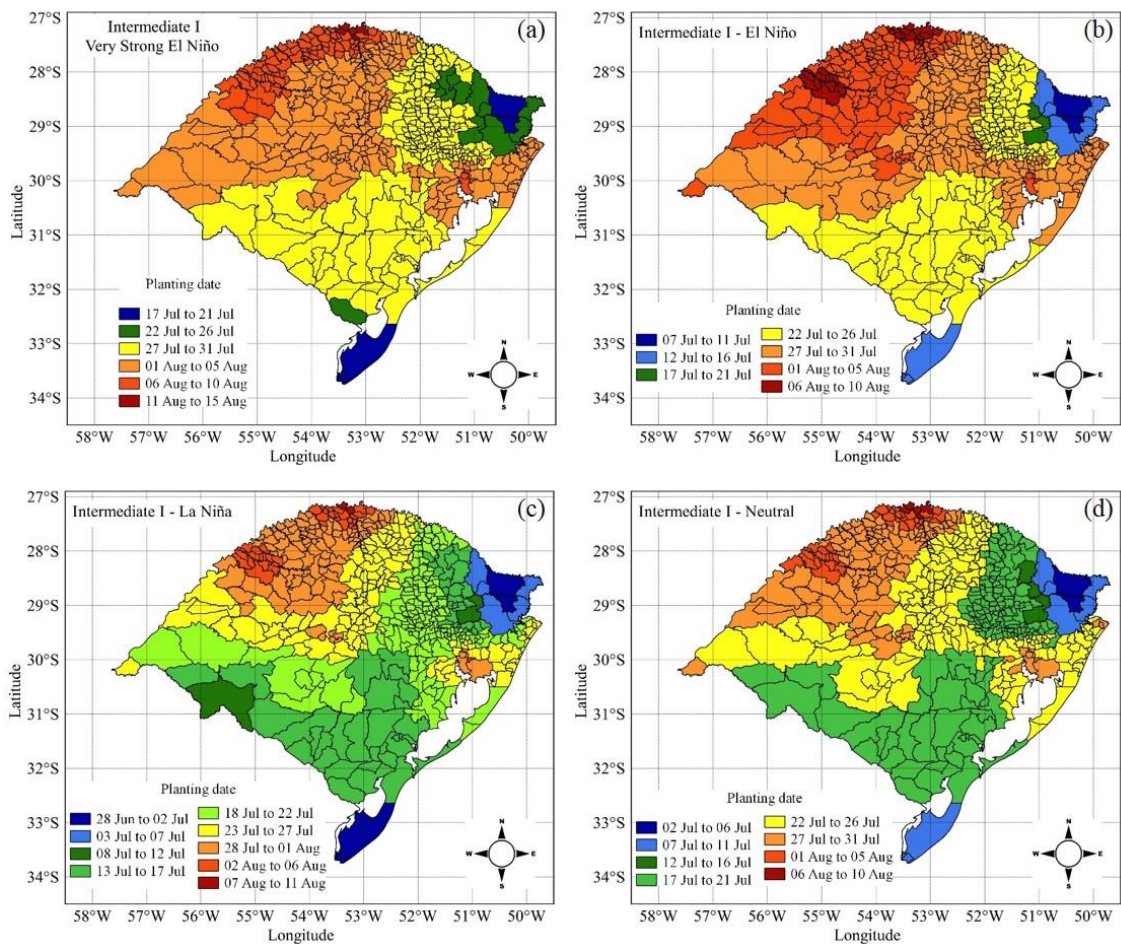


Fig.5. Optimum planting date for Intermediate I maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls' Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

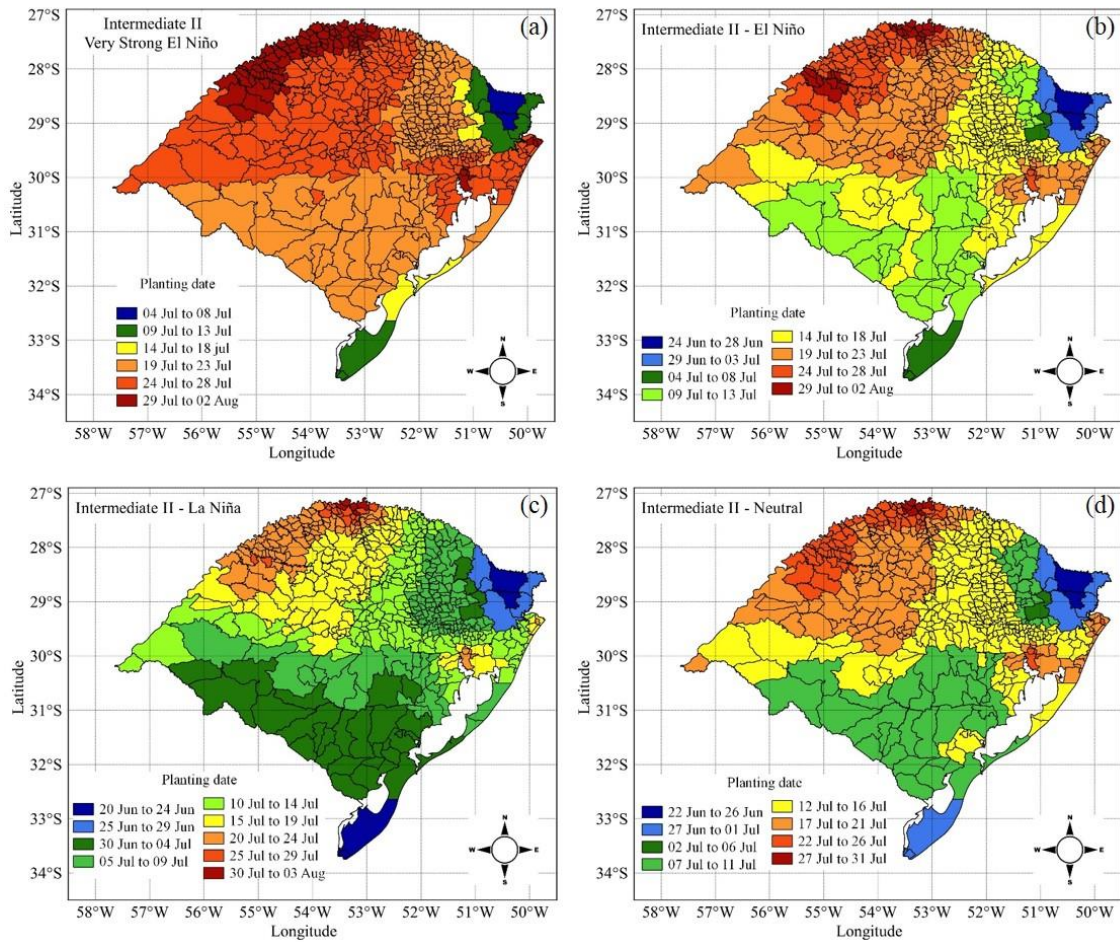


Fig. 6. Optimum planting date for Intermediate II maturation group of gladiolus in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls' Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

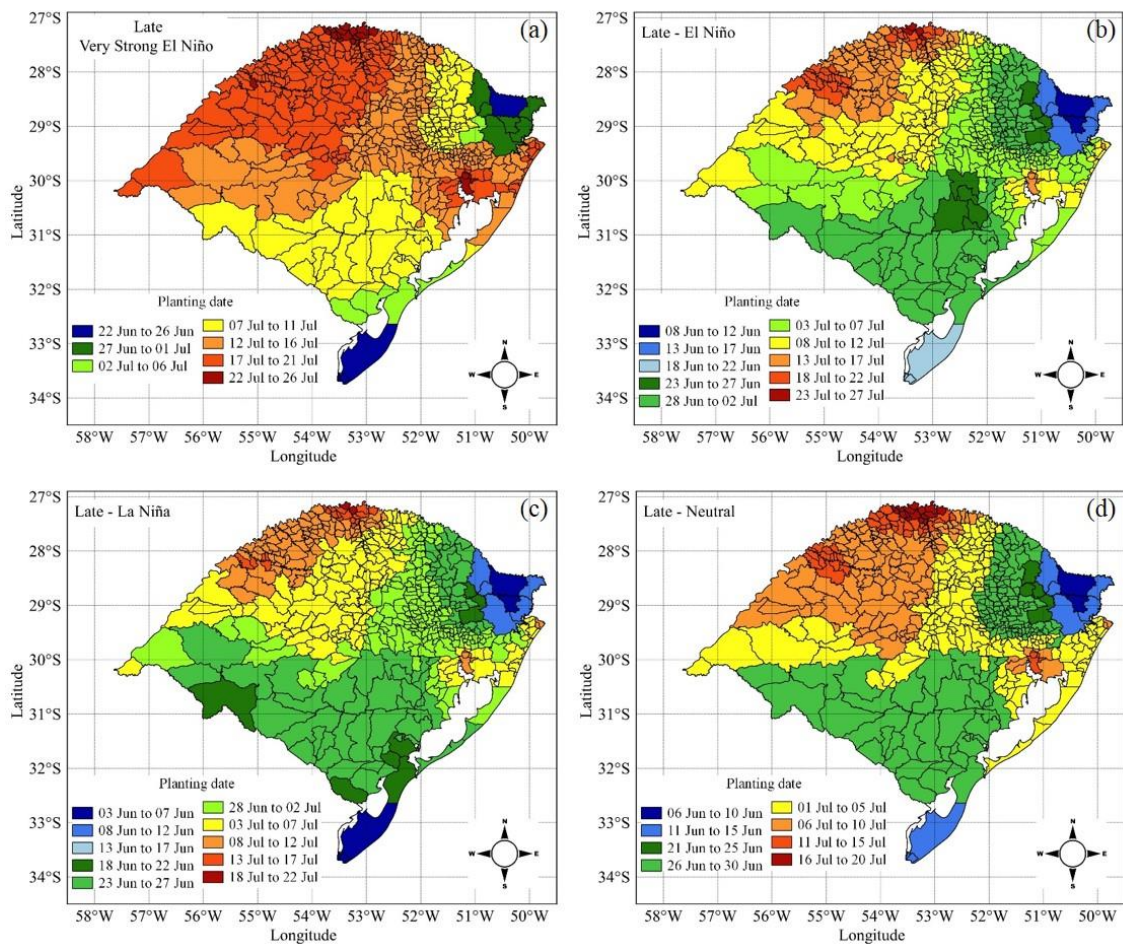


Fig. 7. Optimum planting date for Late maturation group of gladiola in Very Strong El Niño (a), El Niño (b), La Niña (c) and Neutral (d) years in order to harvesting spikes for selling on All Souls' Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

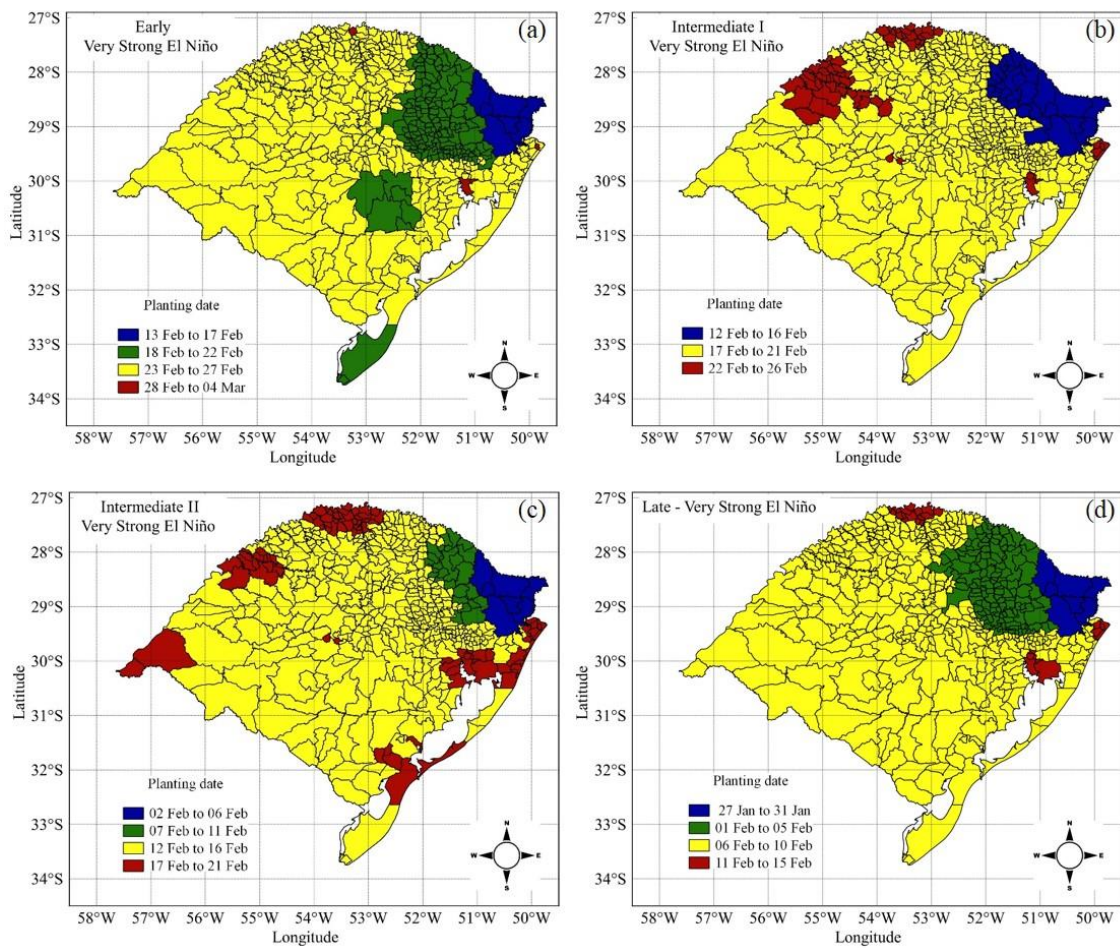


Fig.8. Optimum planting date for Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d) maturation group of gladiola in Very Strong El Niño years in order to harvesting spikes for selling on Mother's Day holiday in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

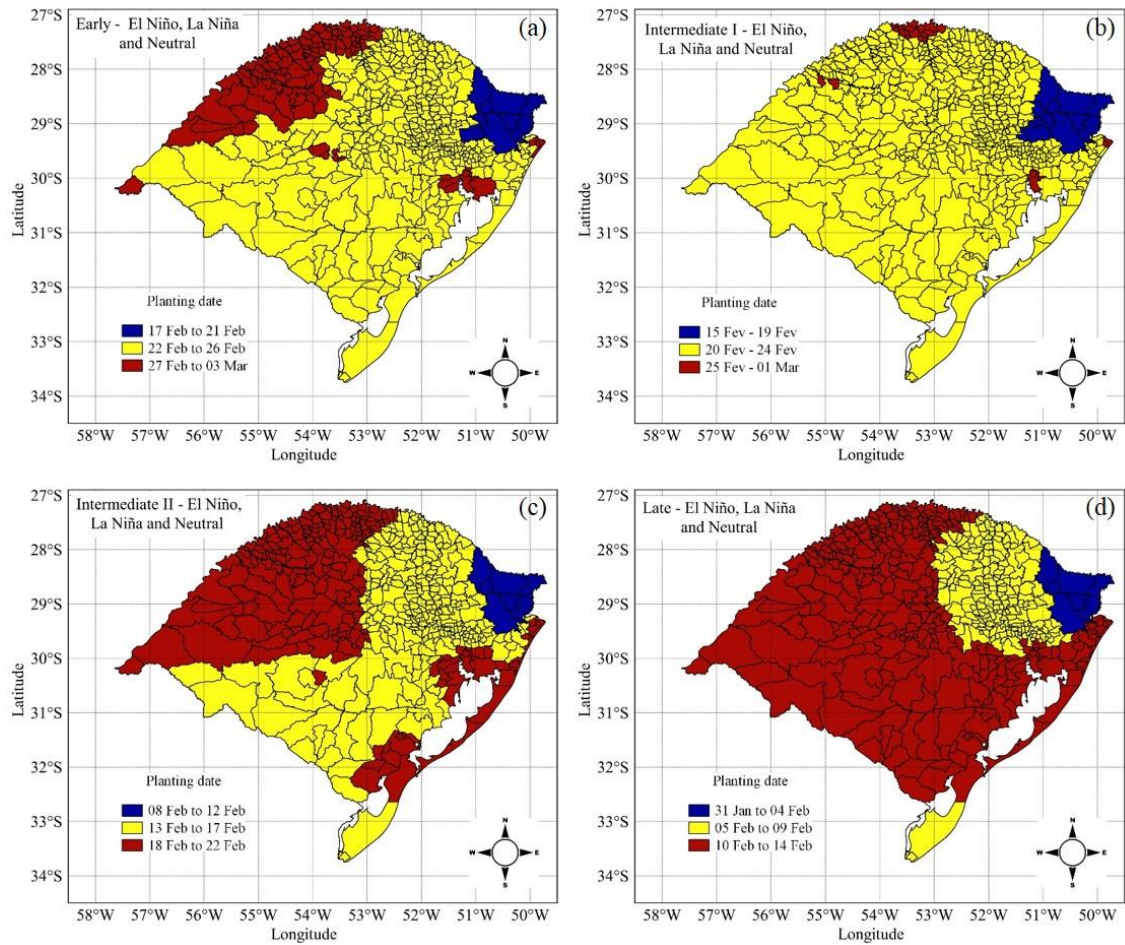


Fig.9. Optimum planting date for Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d) maturation group of gladiola in El Niño, La Niña and Neutral years in order to harvesting spikes for selling on Mother's Day holidays in the Rio Grande do Sul State, Brazil.

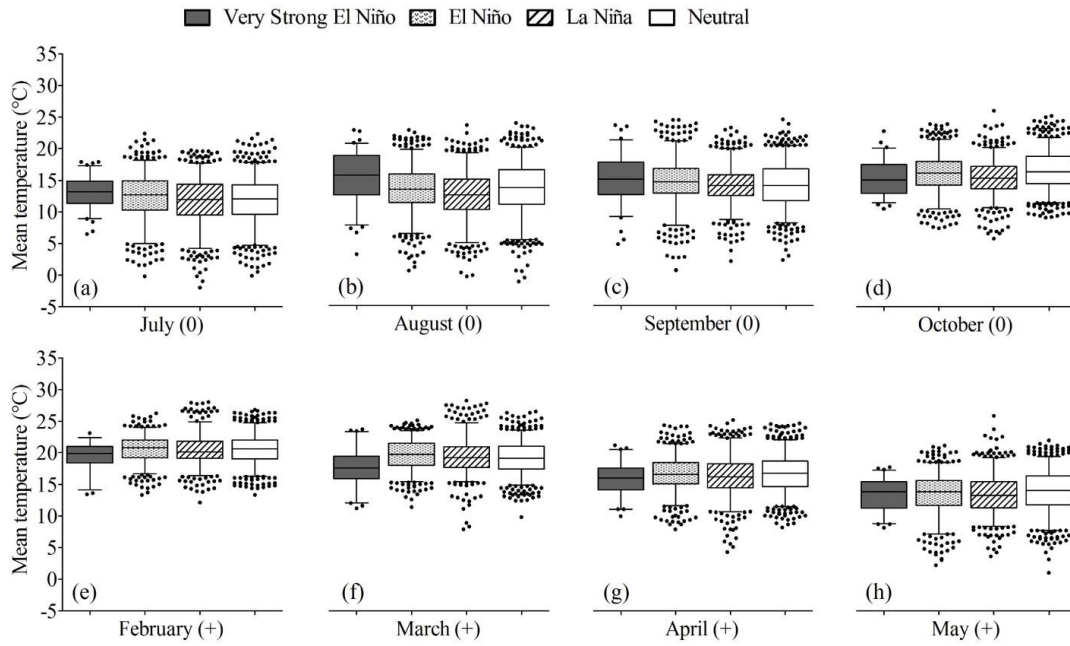


Fig.10. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Bom Jesus, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent the outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event.

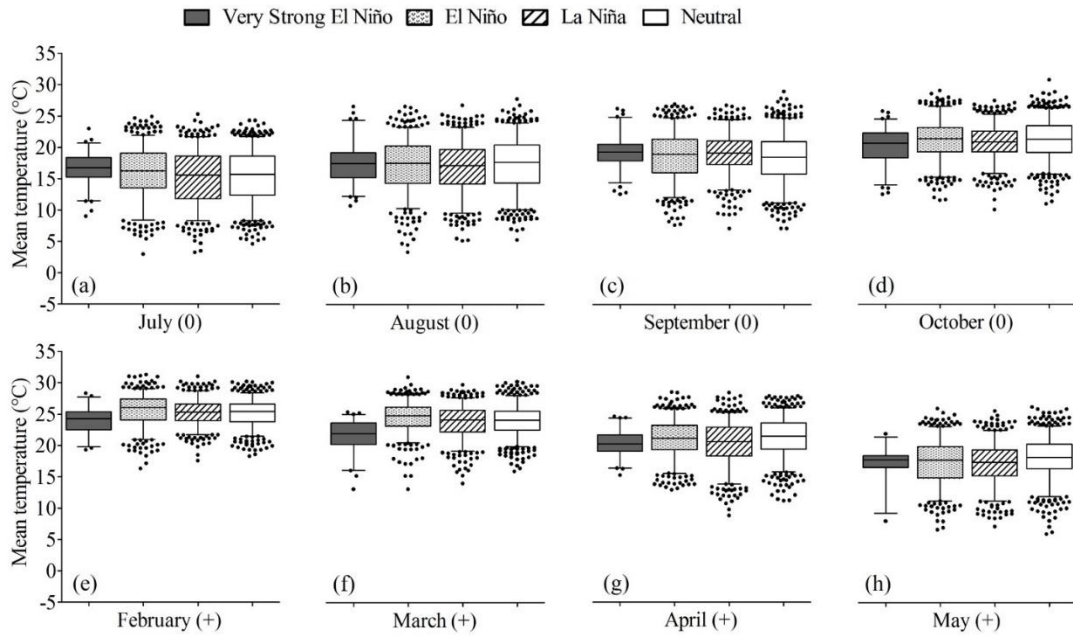


Fig.11. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Iraí, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent the outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event.

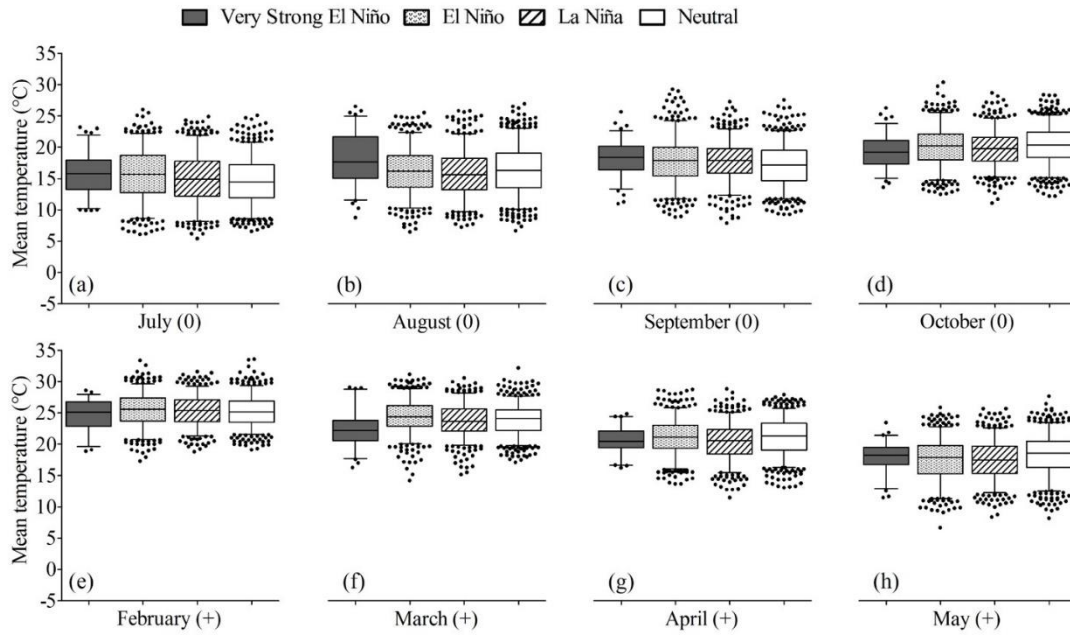


Fig. 12. The average daily temperature, during the growing season of gladiola, from 1961 to 2015 grouped in ENSO phases in Porto Alegre, Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile, and circles represent outliers. The months of cultivation for harvest on All Souls' Day and considered as starting events are named (0) and the months of cultivation for harvest on Mother's Day are named (+) and stands for the calendar year after the onset of the event.

4 ARTIGO 2

Changing planting date of Gladiola for harvesting spikes at specific dates in future climate scenarios on Southern Brazil²

² Artigo formatado nas normas da revista Agricultural and Forest Meteorology.

ABSTRACT

The flowering time of gladiola is strongly controlled by temperature. To scheduling of gladiolus production, it is important to know the optimum planting date that in climate change scenarios needs to be adapted. The objective of this study was to determine the optimum planting date of gladiola in order to harvest spikes for two holidays (All Souls' Day and Mother's Day) in CMIP5 scenarios for the Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. The PhenoGlad model and climate scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 was used for simulated the days of occurrence of major developmental stages as well as simulates damages caused by both high and freezing temperatures on spike. The optimum planting date in the future period (2070-2098) was presented as anomalies calculated from the difference between the optimum planting dates in each year in the future period and average optimum planting date in the baseline period (1976-2005) for each grid point and maturation group. The percentage of years with damage was also presented as anomalies. There is a delay in the optimum planting date for harvesting on All Souls' Day, across the Rio Grande do Sul State. Coldest regions showed the greatest positive anomalies. For harvesting on Mother's Day, negative anomalies occurred in the warmest regions, because the rising temperature extended the development of the crop. The production of gladiolus for sale on All Souls' Day is more affected by climate change. Injuries by heat on spikes reach up 70% of years in the warmest regions for scenario RCP8.5. Therefore, the south and east regions were more favored in the scenario RCP8.5 due to less occurrence of injuries by heat. For harvest on Mother's Day, heat injury not exceed 20% of the years.

Keywords: PhenoGlad model, climate change, rising temperature, injuries by heat, spike quality.

4.1 INTRODUCTION

The increase of greenhouse gases in the atmosphere is a major forcing for increasing global surface temperature. The latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicates an average global temperature increase of 0.85°C over the period from 1880 to 2012, and the larger increase occurred in 90's (Kerr, 2005; IPCC, 2013). At a regional scale, increases in temperature have also been reported. For instance, at Philippines, during the period from 1979 to 2003, the annual mean maximum and minimum temperatures have increased by 0.35 °C and 1.13 °C, respectively (Peng et al., 2004). In Rio Grande do Sul State, Brazil, during the period from 1960 to 2002 daily thermal amplitude decrease for the summer months was reported because of a largest increase in minimum compared to maximum daily temperature (Marengo and Camargo, 2008). For the period 1913-2006 an increase of 1.7°C/100 years was reported in the annual minimum mean temperature in Rio Grande do Sul State, and no trend for the maximum temperature (Sansigolo and Kayano, 2010).

Agriculture is one of the areas more vulnerable to the climate change (Alexandrov and Hoogenboom, 2000; IPCC, 2013), because crops are exposed to the climate conditions throughout the entire growing season. Several studies have shown that air temperature influences the duration of the developmental cycle (Grossi et al., 2013; Mohandass et al., 2015; Wang et al., 2015a; Chen et al., 2016) and crop yields (Grossi et al., 2013; Walter et al., 2014; Wang et al., 2015b), and suggest shifting the sowing date in order to reduce the yield loss caused by an increase in temperature (Alexandrov and Hoogenboom, 2000). For ornamental crops, changes in temperature may cause major losses because the market requires that flowering of these plants must occur within a rather narrow time window (Snipen et al., 1999; Munir et al., 2015), so that plants that are not in flower prior to peak demand are not marketable (Fisher and Lieth, 2000).

Flowering of many ornamental crops is affected by temperature as *Antirrhinum manus* L. (Munir et al., 2004; Munir et al., 2015), *Celosia argentea* L. and *Impatiens walleriana* Hook. F. (Pramuk and Runkle, 2005), *Brunonia australis* and *Calandrinia* sp. (Cave et al., 2013), *Salvia splendens* and *Tagetes patula* (Moccaldi and Runkle, 2007), *Chrysanthemum morifolium* (Larsen and Pesson, 1999), eighteen species of annual bedding plants (Blanchard and Runkle, 2011), *Petunia x hybrida* (Blanchard et al., 2011). In gladiola (*Gladiolus x grandiflorus* Hort.), the increase on temperature accelerates flowering (Streck et al., 2012; Adil et al., 2013; Schwab et al., 2015a) and may cause injuries on petals and sepals by heat (Schwab et al., 2015b; Uhlmann et al., 2017).

Gladiola is an important cut flower with a wide range of colors (Schwab et al., 2015a). Major market days for gladiola in Brazil are All Souls' Day and Mother's Day holidays. Gladiola is cultivated in Brazil under field conditions and air temperature is the main abiotic factor that drives their phenology (Streck et al., 2012; Schwab et al., 2015a; Uhlmann et al., 2017), therefore, farmers schedule gladiola flowering for target markets by defining the optimum planting date.

Crop simulation models are important tools for determining the optimum planting date (Anapalli et al., 2005; Soler et al., 2008; Andarzian et al., 2015), in breeding programs (Banterng et al., 2006) and in studies on the impact of climate change on agricultural crops (Andresen et al., 2001; Streck, 2005; Grossi et al., 2013; Walter et al., 2014). Crop models may have a considerable number of simplifications and assumptions for describing the complex interactions of the ecosystems, but are a cheaper way to test scientific hypotheses, mainly when it refers to future climate scenarios.

For most ornamental crops, crop simulation models are mainly developed to adapt greenhouse management to schedule the flowering date for specific times (Snipen, 1999; Fisher and Lieth, 2000; Pramuk and Runkle, 2005; Blanchard and Runkle, 2011). For gladiola, the PhenoGlad model simulates the days of occurrence of major developmental stages as well as simulates damages caused by both high and freezing temperatures on spike (Uhlmann et al., 2017). Therefore, PhenoGlad is suitable as a tool for optimizing planting date in climate change scenarios. The objective of this study was to determine the optimum planting date of gladiola in order to harvest spikes for two holidays (All Souls' Day and Mother's Day) in CMIP5 scenarios for the Rio Grande do Sul State, Southern Brazil.

4.2 MATERIAL AND METHODS

4.2.1 Study region

This study was performed for the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, located between latitudes 27° and 34°S and longitudes 49° e 58°W (Fig. 1). According to Köppen's climate classification, the State has areas with climate humid subtropical zone without dry season and hot summer (Cfa) and areas with temperate summer (Cfb) (Alvares et al., 2013).

4.2.2 Crop model

The PhenoGlad model (Uhlmann et al., 2017) was used to simulate the development of gladiola. In PhenoGlad, phenology is simulated considering three main phases based on the developmental scale by Schwab et al. (2015a): corms sprouting phase, vegetative phase and reproductive phase. Starting at planting, the developmental stage (DVS) is calculated by accumulating the daily developmental rate values, using daily mean air temperature, with the approach by Wang and Engel (1998). The cardinal temperatures: minimum (T_b), optimum (T_{opt}) and maximum (T_B) considered in the sprouting phase are $T_b = 5^\circ\text{C}$, $T_{opt} = 25^\circ\text{C}$, and $T_B = 35^\circ\text{C}$. In the vegetative phase cardinal temperatures are $T_b = 2^\circ\text{C}$, $T_{opt} = 27^\circ\text{C}$ and $T_B = 45^\circ\text{C}$ and in the reproductive phase, cardinal temperatures are $T_b = 6^\circ\text{C}$, $T_{opt} = 25^\circ\text{C}$ and $T_B = 42^\circ\text{C}$. Input data required to run PhenoGlad include daily minimum and maximum air temperatures, planting or emergence date and cultivar or maturation group (Early, Intermediate I, Intermediate II and Late) if cultivar is unknown. Version 1.0 available at www.ufsm.br/phenoglad was used in the study.

In addition to simulating the development of the crop, the PhenoGlad model simulates the occurrence of crop injuries. When the daily minimum temperature (T_{min}) is lower than -2°C during at least four days in a row, from emergence ($DVS=0$) to R5 stage ($DVS=2.0$) then the crop is killed by frost. If the minimum temperature is lower than or equal to -2°C during one day or if $-2^\circ\text{C} < T_{min} < 3^\circ\text{C}$ during 4 days in a row from $DVS \geq 0.64$, then the spike is killed by frost but leaves are only injured slightly. Heat injury in PhenoGlad is considered when the maximum temperature is greater than or equal to 34°C during three consecutive days during the reproductive phase causing severe burning of sepals and risk that the 3 or 4 uppermost florets on the spike do not open. If the maximum temperature is higher than 48°C from $DVS=0$ to $DVS=2$, the upper lethal temperature is reached and the crop is killed by heat.

4.2.3 Climate scenarios

Climate scenarios were from the Assessment Report Fifth (AR5) of the IPCC (IPCC, 2013), derived from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Three scenarios were used, RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5, which are optimist, intermediate and pessimist scenarios of greenhouse gases emission, respectively (RCP means Representative Concentration Pathway). Data was generated by the global ocean-atmosphere HadGEM-ES model (Jones et al., 2011) with a 250 km of spatial resolution and used as boundary condition for downscaling to a 81km of resolution with the RegCM4 (Regional Climate Model, version 4), totaling 32 grid points across the Rio Grande do Sul State (Fig. 1b). The projection of increase in temperature

and CO₂ concentration until 2100 is 1.7 °C and 421 ppm for the RCP2.6 scenario, 2.6 °C and 538 ppm for the RCP4.5 scenario, and 4.8 °C and 936 ppm for the RCP8.5 scenario (IPCC, 2013). Two periods in the scenarios were used: 1976 to 2005 (baseline) and 2070 to 2098 (future period).

4.2.4 Simulations of optimum planting date

The PhenoGlad model was run for four maturation groups of gladiola (Early, Intermediate I, Intermediate II and Late). For each year and each maturation group, the optimum date of planting was simulated in order to have plants with the first florets showing the characteristic color of the cultivar, R2 stage of the Schwab et al. (2015a) scale, three days before the holidays Mother's Day (second Sunday of May) and All Souls' Day (2 November). For simulation purposes, Mother's Day was considered as 11 May and the optimal planting date should be anticipated if the Mother's Day is earlier 11 May or delay if it is after, according to each year.

Once planting date were simulated for each holiday, grid point and maturation group, with all years, the planting date were averaged for baseline period to assess the optimum planting date of gladiola. The baseline validation was performed comparing the optimal planting date of 18 sites in Rio Grande do Sul with the baseline optimum planting date considering the nearest grid point. Weather data from 18 sites were obtained from Brazilian National Weather Service (INMET) for the same period of the baseline (1976-2005). The comparison was tested with the root-mean-squared error (RMSE) (Willmott, 1981). The optimum planting date in the future period (2070-2098) was presented as anomalies calculated from the difference between the optimum planting dates in each year in the future period and average optimum planting date in the baseline period for each grid point and for each maturation group.

4.2.5 Plant injuries

For each optimum planting date, the occurrence of crop killed by frost and heat, spike killed by frost and heat injuries were verified and the percentage of years with damages for each grid point, gladiola maturation group and climatic scenario was calculated. The percentage of years with injuries in the plants was also presented as anomalies (difference between the percentage of years with damage in the future period and in the baseline for each grid point and for each maturation group). For a better view of the spatial distribution of anomalies of optimum planting dates and percentage of years with damage for all climatic scenarios, maps were generated using a

geographical information system, Quantum GIS (QGIS). The variables were spatialized by the inverse distance weighted (IDW) interpolation method.

4.3 RESULTS

The validation of optimum planting date for the baseline period aiming harvest on All Souls' Day indicates a slightly anticipation (points below the 1:1 line) for both maturation groups (Fig. 2) with an RMSE varying from 5.1 days for Early maturation group to 6.8 days for Late maturation group. This results indicate that the baseline have temperatures slightly lower than observed weather data during the growing season (July, August, September and October). For harvesting spikes on Mother's Day, the maximum RMSE was lower, from 2.2 to 2.9 days (Fig. 3), with a slight delay in the baseline (points above the 1:1 line), indicating slightly higher temperatures in February, March, April and May, period of cultivation of the gladiola for harvest on Mother's Day.

4.3.1 Simulations of optimum planting date

The spatial distribution of anomalies of optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day for each climate scenario is presented in Figures 4 to 6. For the climate scenario RCP2.6 (Fig. 4), optimum planting date anomalies varied from +5 to +10 days (later planting date compared to baseline) for most of Rio Grande do Sul State and in some regions can reach +15 days late.

In the RCP4.5 scenario, the greatest positive anomalies occurred in the coldest regions in the Rio Grande do Sul, indicating greater effect of climate change in these regions (Fig. 5). The anomalies of planting date can reach +35 days for Intermediate II maturation group (Fig. 5c). The most of State presents anomalies from +10 to +15 days for Early maturation group, +15 to +20 days for Intermediate I and Intermediate II maturation groups, and +20 to +25 days for Late maturation group. In RCP8.5, the most of Rio Grande do Sul presents positive anomalies from +20 to +25 days in Early, Intermediate I and II, and +25 to +30 in Late maturation group (Fig. 6) and can reach +55 days in Late maturation group in the northeast region (Fig. 6d).

The spatial distribution of gladiola anomalies of optimum planting date for harvest point in Mother's Day for each climatic scenarios is presented in Figures 7 to 9. For scenario RCP2.6 (Fig. 7) the most of state present anomalies of +5 days and warmer regions such as northwest present negative anomalies of up to -5 days (earlier planting date compared to baseline) for all

gladiola maturation groups. For the scenarios RCP4.5 (Fig. 8) and RCP8.5 (Fig. 9) the most of state present anomalies of +5 days as well as in scenario RCP2.6. However, in scenario RCP8.5 the anomalies can reach -10 days in the northwest of state, and can reach +10 days in northeast of State.

4.3.2 Plant injuries

During the growing season for harvesting on All Souls' Day, the crop was killed by frost in nine grid points in all gladiola maturation groups in one year (Fig. 10a). For scenario RCP8.5 the crop was killed by heat in seven grid points in all gladiola maturation groups in up to two years (Fig. 10b). For harvesting spikes on Mother's Day, no plant and spike damage by heat or frost was simulated in the three climate scenarios.

In most of the State, the anomaly of percentage of years that occurred severe burning of sepals was of up to +20% (more years than baseline) in scenarios RCP2.6 (Fig. 11) and RCP4.5 (Fig. 12). Some regions showed negative anomalies of -10% (less years than baseline). For the Late maturation group in scenario RCP4.5 (Fig. 12d), the western region of the State showed anomalies of +50% of years with injuries by heat. The anomalies reached +70% in the west of Rio Grande do Sul State for the Late maturation group in the scenario RCP8.5 (Fig. 13d) and in the others gladiola maturation groups reached +60% (Fig. 13a, b, c). The lowest anomalies were +10% and occurred in the South and Southeast of the State.

In the growing season for harvesting on Mother's Day, not severe burning of sepals by heat occurred in the baseline period and in the scenario RCP2.6. In the RCP4.5 (Fig. 14) and RCP8.5 (Fig. 15) scenarios, most of state had anomalies of +10% and some particular regions showed anomalies of +20%.

4.4 DISCUSSION

4.4.1 Simulations of optimum planting date

The average air temperature, in the growing season for harvesting on All Souls' Day, for the baseline and climate scenarios is presented in Figure 16. The data refer to the five grid points located in different regions of the state: north (Fig. 16a, b, c, d) (27°42'S; 53°15'W), south (Fig. 16e, f, g, h) (33°22'S; 53°15'W), west (Fig. 16i, j, k, l) (30°08'S; 57°18'W), center (Fig. 16m, n, o, p) (30°08'S; 54°03'W) and east (Fig. 16q, r, s, t) (30°08'S; 50°00'W).

The delay in the optimum planting date for harvesting on All Souls' Day, in both climate scenarios is a consequence of the rising average air temperature that occurs in all regions of Rio Grande do Sul State (Fig. 16). A shorter crop cycle is motivated by temperature rise (Streck et al., 2012; Adil et al., 2013; Schwab et al., 2015a), therefore the delay of planting date is necessary to schedule the production for the All Souls' Day. Similar results were found for *Antirrhinum manus* L. (Munir et al., 2015), *Brunonia australis* and *Calandrinia* sp. (Cave et al., 2013) which had the anticipated flowering with the increase of the temperature. For *Celosia argentea* L. (Pramuk and Runkle, 2005), the rate of progress to flowering increased as temperature increased up to 25°C and reduced when the temperature exceeded this value. This occur because the rate of development is maximum when the temperature is near of the optimum cardinal temperature but as the temperature approaches the minimum cardinal temperature or the maximum cardinal temperature the rate of development decreases (Streck, 2003).

The coolest regions of the State (northeast) show the greatest positive anomalies in the planting date due to the temperatures are closer to the optimum temperature of the crop, considered 27°C for vegetative phase and 25°C for reproductive phase, in the climatic scenarios (Fig. 16q, r, s, t). The scenario RCP8.5 presents the highest values of average air temperature (Fig. 16), therefore presents the highest positive anomalies (+55 days) in the optimum planting date in these regions (Fig. 6d). It is not possible to quantify the effects of cycle reduction on the quantitative parameters of the gladiola spike, because the PhenoGlad model does not simulate the growth of the gladiola. However, several studies have reported a decrease in quality of ornamental crops with increase in temperature, because a fast crop timing lead to reduced flower bud number, flower size and plant biomass (Pramuk and Runkle, 2005; Moccaldi and Runkle, 2007; Blanchard et al., 2011, Vaid et al., 2014). Crops such as soybean (do Rio et al., 2016), potato (Wang et al., 2015b) and wheat (Wang et al., 2015a), cycle reduction leads to shorter leaf development time, leading to a lower amount of radiation being intercepted and consequently lower crop yield.

The average air temperature in the growing season for harvesting on Mother's Day to the baseline and climatic scenarios is presented in Figure 17. The data refer to the five grid points located in different regions of the state: north (Fig. 17a, b, c, d), south (Fig. 17e, f, g, h), west (Fig. 17i, j, k, l), center (Fig. 17m, n, o, p) and east (Fig. 17q, r, s, t). The average air temperature is quite high, mainly in the warmest regions (north and west), exceeding the optimal temperature of the crop, mainly in the scenario RCP8.5 (Fig. 17). When the average air temperature exceed the optimum temperature of the crop, the rate of development decreases

(Shaykewich, 1995; Blanchard and Runkle, 2011; Cave et al., 2013; Uhlmann et al., 2017) resulting in longer cycle duration as occurs in cultivation of gladiola in autumn (Schwab et al., 2015a). In the western region of the State the occurrence of negative anomalies (earlier planting date) in the optimum planting date for harvesting on Mother's Day can be explained by the longer duration of the cycle, mainly in scenario RCP8.5, which has the highest temperatures (Fig. 17i, j, k, l). The northeast of the State presents positive anomalies even in the scenario RCP8.5. This region is colder, and the increase in the temperatures in the scenario RCP8.5 is not sufficient to exceed the optimal temperature of the crop (Fig. 17q, r, s, t).

4.4.2 Plant injuries

Crop killed by frost occurred only in the baseline period and north region of the state, because the initial development of crop happen in the end of winter, when minimum temperatures are lower (Fig. 18a). The increase in the minimum temperature observed in the climate scenarios justifies the non-occurrence of crop killed by frost in the growing season of the All Souls' Day (Fig. 18a, b, c, d, e). In the growing season for harvesting on Mother's Day, the minimum temperatures are not so low so it refers to the end of summer and fall (Fig. 18f, g, h, i, j). Therefore, for this growing season no crop was killed by frost.

The risk of injuries by heat is more severe in the growing season for harvesting on All Souls' Day than on Mother's Day, mainly in the scenario RCP8.5 and warmest regions (north and west). This is justified by high maximum temperature in these regions (Fig. 19a, c) at the end of the growing season (when plants are in reproductive phase), that for Mother's Day are less frequent (Fig. 19f, g, h, i, j). The scenario RCP8.5 was also considered the most damaging to winter wheat in Australia, because the lower frequency of cold days affects the process of vernalization (Wang et al., 2015a).

The production of gladiola for sale on All Souls' Day is more affected by climate change than on Mother's Day. Although there is a reduction in the occurrence of crop killed by frost, in the scenario RCP8.5, there is occurrence of crop killed by heat (Fig. 10). The south and east regions are more favored in the scenario RCP8.5 due to less occurrence of injuries by heat. A similar result was observed for rice in Rio Grande do Sul State, which had better conditions for cultivation in the South region due to the reduction of damages caused by the low temperatures, while in the western region the increase in temperature intensifies the spikelet sterility (Walter et al., 2014).

Considering the impacts of raising temperatures on spikes quality, mainly in the growing season of All Souls' Day, it is necessary to adopt management strategies. Structures covered with plastic nets have become more popular in hot and sunny regions like Saudi Arabia to protect crops from high solar radiation levels in summer (Al-Helal and Abdel-Ghany, 2010) and enhance quality of plants and fruits (Briassoulis et al., 2007). The shading screens reduce the temperature near the plant (Gent, 2007) and may be an alternative to keep the quality of the flower stems of gladiola in pessimist scenarios. In Anthurium the use of shading screens aims to reduce damage on leaves and flowers (Omar et al., 2004). In tomato, the shading screens reduce the occurrence of physiological disturbances, as cracked fruit, due to a decrease in fruit temperature, and increase the number of marketable fruits (Ilic et al., 2012).

4.5 CONCLUSIONS

The planting date of gladiola was delayed for harvesting on All Souls' Day in both scenarios, reach up 55 days more late in scenario RCP8.5 for coldest regions. For harvesting on Mother's Day, negative anomalies or anticipated planting date occurred in warmest regions due to highest temperature, above the optimum cardinal temperature, that extend the development of the crop. The production of gladiolus to target sale on All Souls' Day was more affected by climate change due to the greater occurrence of injuries by heat, mainly in the warmest region indicating that alternatives should be considered to make feasible the production at these locations.

4.6 REFERENCES

- Adil, M., Ahmad, W., Ahmad, K.S., Shafi, J., Shehzad, M.A., Sarwar, M.A., Salman, M., Ghani, M.I., Iqbal, M., 2013. Effect of different planting dates on growth and development of *Gladiolus grandiflorus* under the ecological conditions of Faisalabad, Pakistan. *Universal Journal of Agricultural Research*. 1, 110-117. doi: 10.13189/ujar.2013.010311.
- Alexandrov, V.A., Hoogenboom, G., 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*. 104, 315-327. doi: 10.1016/S0168-1923(00)00166-0.
- Al-Helal, I.M., Abdel-Ghany, A.M., 2010. Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR transfer: Optical properties and evaluation. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 57, 125-132. doi: 10.1016/j.njas.2010.02.002.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711-728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Anapalli, S.S., Ma, L., Nielsen, D.C., Ahuja, L.R., 2005. Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-Maize models. *Agronomy Journal*, 97, 58-71. doi: 10.2134/agronj2005.0058.
- Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., Andarzian, B., 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 14, 189-199. doi: 10.1016/j.jssas.2014.04.004.
- Andresen, J.A., Alagarswamy, G., Rotz, C.A., Ritchie, J.T., LeBaron, A.W., 2001. Weather impacts on maize, soybean, and alfalfa production in the Great Lakes region, 1895-1996. *Agronomy Journal*, 93, 1059-1070. doi: 10.2134/agronj2001.9351059x.
- Banternng, P., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S., Hoogenboom, G., 2006. Yield stability evaluation of peanut lines: A comparison of an experimental versus a simulation approach. *Field Crops Research*. 96, 168-175. doi: 10.1016/j.fcr.2005.06.008.
- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., 2011. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. *Scientia Horticulturae*. 128, 30-37. doi: 10.1016/j.scienta.2010.12.010.

- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., Fisher, P.S., 2011. Modeling plant morphology and development of petunia in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *Scientia Horticulturae*. 129, 313-320. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.044.
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., Eleftherakis, D., 2007. Mechanical behaviour and properties of agricultural nets - Part I: Testing methods for agricultural nets. *Polymer Testing*. 26, 822-832. doi: 10.1016/j.polymertesting.2007.05.007.
- Cave, R.L., Hammer, G.L., McLean, G., Birch, C.J., Erwin, J.E., Johnston, M.E., 2013. Modeling temperature, photoperiod and vernalisation responses of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae) to predict flowering time. *Annals of Botany*. 111, 629-639. doi: 10.1093/aob/mct028.
- Chen, J., Funnell, K.A., Morgan, E.R., 2010. A model for scheduling flowering of a *Limonium sinatum* x *Limonium perezii* hybrid. *HortScience*. 45, 1441-1446.
- Chen, P.-A., Roan, S.-F., Lee, C.-L., Chen, I.-Z., 2016. Temperature model of litchi flowering- From induction to anthesis. *Scientia Horticulturae*. 205, 106-111. doi: 10.1016/j.scienta.2016.04.012.
- do Rio, A., Sentelhas, P.C., Farias, J.R.B., Sibaldelli, R.N.R., Ferreira, R.C., 2016. Alternative sowing dates as a mitigation measure to reduce climate change impacts on soybean yields in southern Brazil. *International Journal of Climatology*, 36, 3664-3672. doi: 10.1002/joc.4583.
- Fisher, P.R., Lieth, J.H., 2000. Variability in flower development of Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.): model and decision-support system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 26, 53-64. doi: 10.1016/S0168-1699(00)00075-2.
- Gent, M.P.N., 2007. Effect of degree and duration of shade on quality of greenhouse tomato. *HortScience*. 42, 514-520.
- Grossi, M.C., Justino, F., Andrade, C.L.T., Santos, E.A., Rodrigues, R.A., Costa, L.C., 2013. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. *European Journal of Agronomy*. 51, 53-64. doi: 10.1016/j.eja.2013.07.002.
- Ilic, Z.S., Milenkovic, L., Stanojevic, L., Cvetkovic, D., Fallic, E., 2012. Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*. 139, 90-95. doi: 10.1016/j.scienta.2012.03.009.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

- Jones, C.D., Hughes, J.K., Bellouin, N., Hardiman, S.C., Jones, G.S., Knight, J., Liddicoat, S., O'Connor, F.M., Andres, R.J., Bell, C., Boo, K.-O., Bozzo, A., Butchart, N., Cadule, P., Corbin, K.D., Doutriaux-Boucher, M., Friedlingstein, P., Gornall, J., Gray, L., Halloran, P.R., Hurtt, J., Ingram, W.J., Lamarque, J.F., Law, R.M., Meinshausen, M., Osprey, S., Palin, E.J., Chini, L.P., Raddatz, T., Sanderson, M.G., Sellar, A.A., Schurer, A., Valdes, P., Wood, N., Woodward, S., Yoshioka, M., Zerroukat, M., 2011. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development*. 4, 543-570. doi: 10.5194/gmd-4-543-2011.
- Keer, R.A., 2005. Millennium's hottest decade retains its title, for now. *Science*. 307, 828-829. doi: 10.1126/science.307.5711.828a.
- Larsen, R.U., Persson, L., 1999. Modelling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Scientia Horticulturae*. 80, 73-89. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00219-2.
- Marengo, J.A., Camargo, C.C., 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology*. 28, 893-904. doi: 10.1002/joc.1584.
- Moccaldi, L.A., Runkle, E.S., 2007. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 132, 283-288.
- Mohandass, D., Zhao, J.-L., Xia, Y.-M., Campbell, M.J., Li, Q.J., 2015. Increasing temperature causes flowering onset time changes of alpine ginger *Roscoea* in the Central Himalayas. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 8, 191-198. doi: 10.1016/j.japb.2015.08.003.
- Munir, M., Hadley, P., Carew, J., Adams, S., Pearson, S., Sudhakar, B., 2015. Effect of constant temperatures and natural daylength on flowering time and leaf number of *Antirrhinum* using the photo-thermal model. *Pakistan Journal of Botany*. 47, 1717-1720.
- Munir, M., Jamil, M., Baloch, J.-U.-D., Khattak, K.R., 2004. Growth and flowering of *Antirrhinum majus* L. under varying temperatures. *International Journal of Agriculture & Biology*. 6, 173-178.
- Omar, M.H., Hashim, N., Cheong, T.K., 2004. **For market access on Anthurium**. Kuala Lumpur, Malaysia: Crop Protection & Plant Quarantine Services Division, Department of Agriculture, 2004. 44p. (Technical Document).
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S., Cassman, K.G., 2004. Rice yields decline with higher night temperature from

- global warming. *National Academy of Sciences of the USA*. 101, 9971-9975. doi: 10.1073/pnas.0403720101.
- Pramuk, L.A., Runkle, E.S., 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 130, 813-818.
- Sansigolo, C.A., Kayano, M.T., 2010. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. *Theoretical and Applied Climatology*. 101, 209-216. doi: 10.1007/s00704-010-0270-2.
- Schwab, N.T., Streck, N.A., Becker, C.C., Langner, J.A., Uhlmann, L.O., Ribeiro, B.S.M.R., 2015a. A phenological scale for the development of Gladiolus. *Annals of Applied Biology*. 166, 496-507. doi: 10.1111/aab.12198.
- Schwab, N.T., Streck, N.A., Ribeiro, B.S.M.R., Becker, C.C., Langner, J.A., Uhlmann, L.O., Ribas, G.G., 2015b. Quantitative parameters of gladiolus stems according to planting dates in a subtropical environment. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 902-911. (In Portuguese with Abstract in English). doi: 10.1590/S0100-204X2015001000006.
- Soler, C.M.T., Maman, N., Zhang, X., Mason, S.C., Hoogenboom, G., 2008. Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modelling approach. *Journal of Agricultural Science*. 146, 445-459. doi: 10.1017/S0021859607007617.
- Shaykewich, C.F., 1995. An appraisal of cereal crop phenology modeling. *Canadian Journal of Plant Science*. 75, 329-341. doi: 10.4141/cjps95-057
- Snipen, L.G., Moe, R., Soreng, J., 1999. Influence of potential growth factors in predicting time to flowering in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). *Scientia Horticulturae*. 81, 345-359. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00008-4.
- Streck, N.A., 2003. A generalized nonlinear temperature response function for some growth and developmental parameters in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C. F. Liang & A. R. Ferguson). *Ciência Rural*. 33, 255-262. doi: 10.1590/S0103-84782003000200012.
- Streck, N.A., 2005. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*. 35, 730-740. doi: 10.1590/S0103-84782005000300041.
- Streck, N.A., Bellé, R.A., Backes, F.A.A.L.B., Gabriel, L.F., Uhlmann, L.O., Becker, C.C., 2012. Vegetative and reproductive development in gladiolus. *Ciência Rural*, 42, 1968-

1974. (In Portuguese, with Abstract in English). doi: 10.1590/S0103-84782012001100010.
- Shillo, R., Halevy, A.H., 1976. The effect of various environmental factors on flowering of gladiolus. I. Light intensity. *Scientia Horticulturae*. 4, 131-137. doi: 10.1016/S0304-4238(76)80004-0.
- Uhlmann, L.O., Streck, N.A., Becker, C.C., Schwab, N.T., Benedetti, R.P., Charão, A.S., Ribeiro, B.S.M.R., Silveira, W.B., Backes, F.A.A.L., Alberto, C.M., Muttoni, M., de Paula, G.M., Tomiozzo, R., Bosco, L.C., Becker, D., 2017. PhenoGlad: A model for simulating development in Gladiolus. *European Journal of Agronomy*. 82, 33-49. doi: 10.1016/j.eja.2016.10.001.
- Walter, L.C., Streck, N.A., Rosa, H.T., Ferraz, S.E.T., Cera, J.C., 2014. Climate change and its effects on irrigated rice yield in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 49, 915-924. (In Portuguese with Abstract in English). doi: 10.1590/S0100-204X2014001200001.
- Wang, B., Liu, D.L., Asseng, S., Macadam, I., Yu, Q., 2015a. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 209-210, 11-21. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.04.028.
- Wang, C.-L., Shen, S.-H., Zhang, S.-Y., Li, Q.-Z., Yao, Y.B., 2015b. Adaptation of potato production to climate change by optimizing sowing date in the Loess Plateau of central Gansu, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14, 398-409. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60783-8.
- Wang, E., Engel, T., 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. *Agricultural Systems*. 58, 1-24. doi: 10.1016/S0308521X(98)000286.
- Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography*. 2, 184-194. doi: 10.1080/02723646.1981.10642213.
- Vaid, T.M.; Runkle, E.S.; Frantz, J.M., 2014. Mean daily temperature regulates plant quality attributes of annual ornamental plants. *HortScience*, 49, 574-580.

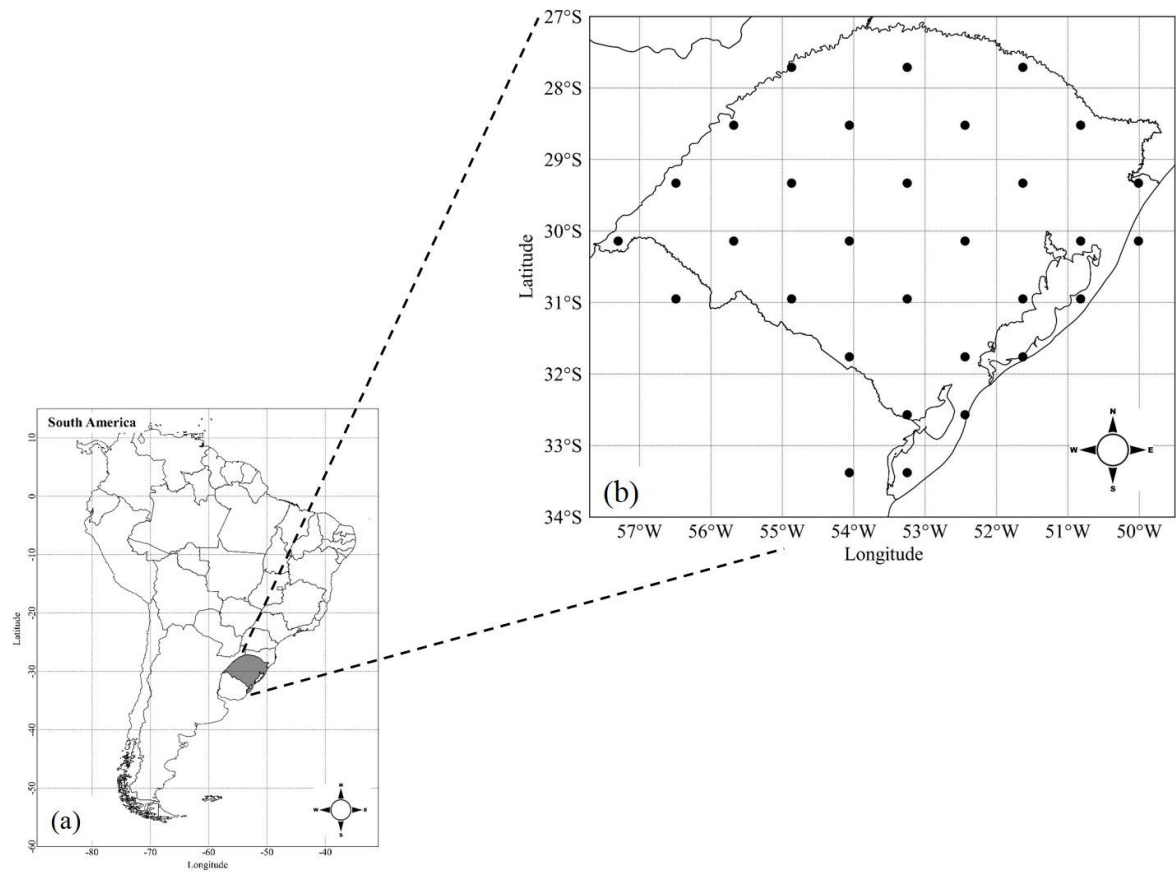


Fig. 1. Maps of South America and Brazil (a) and the State of Rio Grande do Sul State (b) with the 32 grid points network of weather data used in this study.

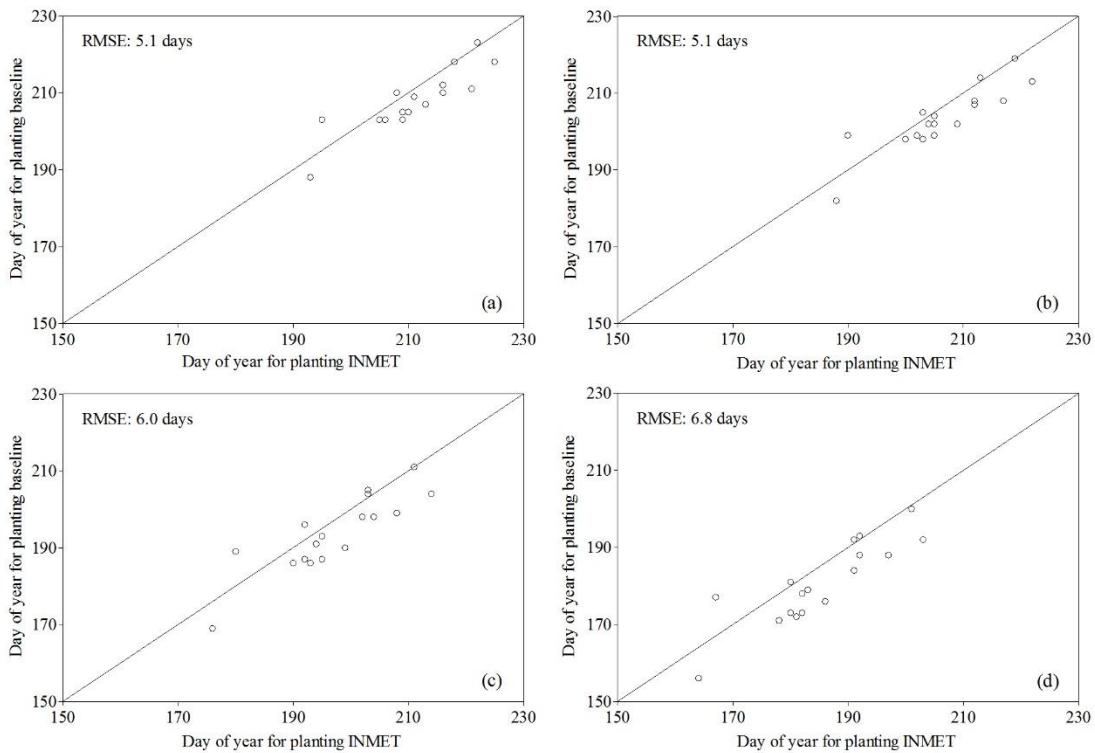


Fig. 2. Day of the year for planting aiming harvesting gladiola on All Souls' Day simulated with observed weather data (INMET) and simulated with the baseline period (1976-2005) of climate scenarios from the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) for 18 locations in the Rio Grande do Sul State and different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

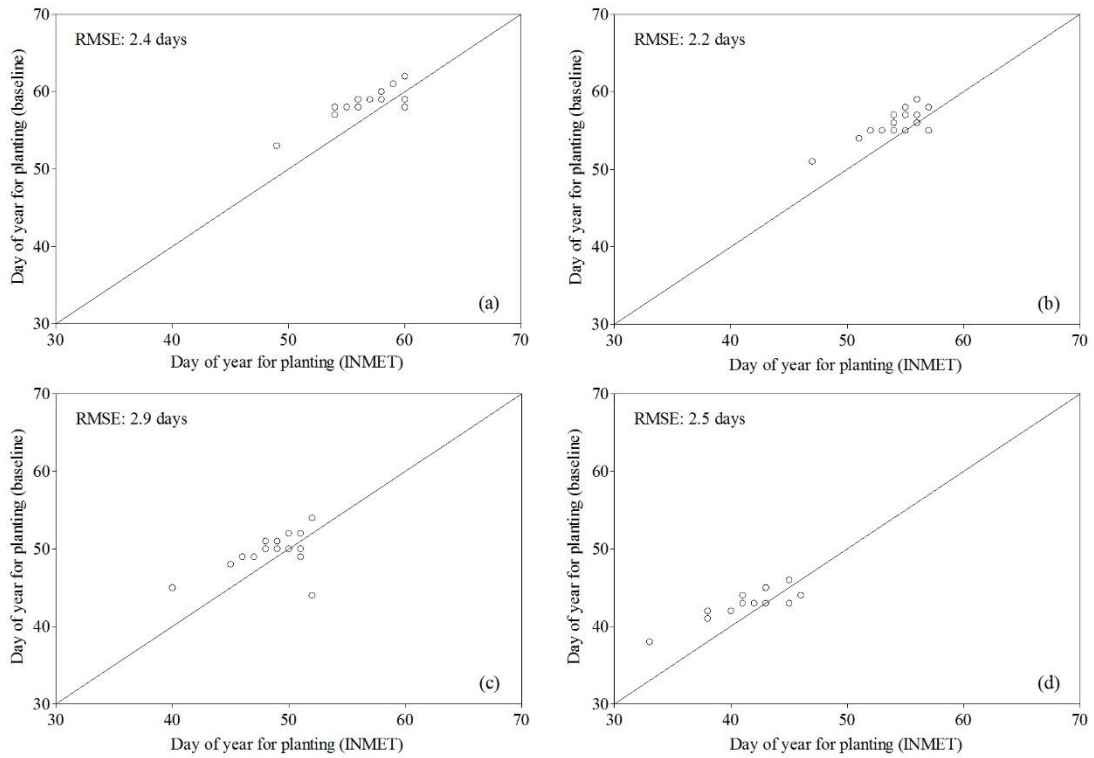


Fig. 3. Day of the year for planting aiming harvesting gladiola on Mother's Day simulated with observed weather data (INMET) and simulated with the baseline period (1976-2005) of climate scenarios from the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) for 18 locations in the Rio Grande do Sul State and different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

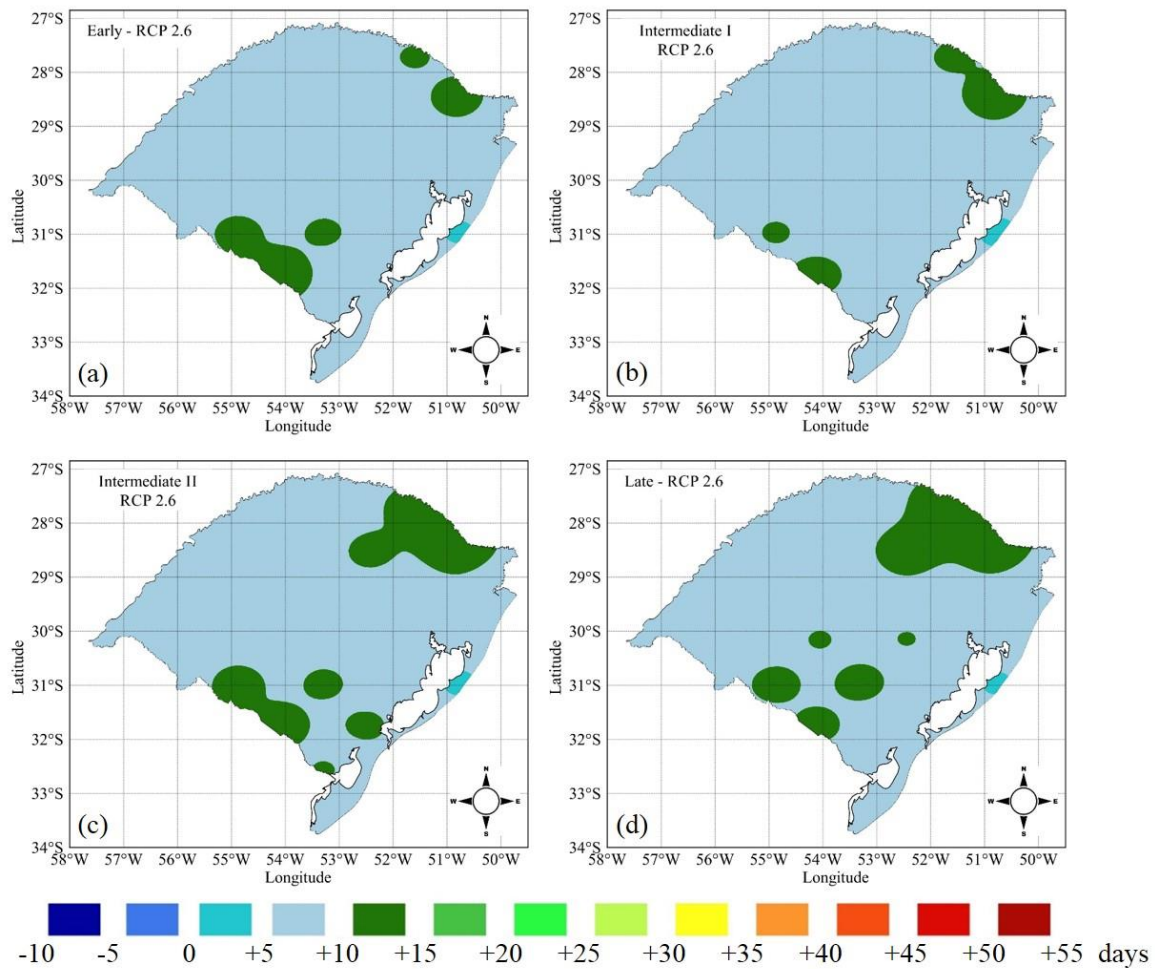


Fig. 4. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP2.6 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

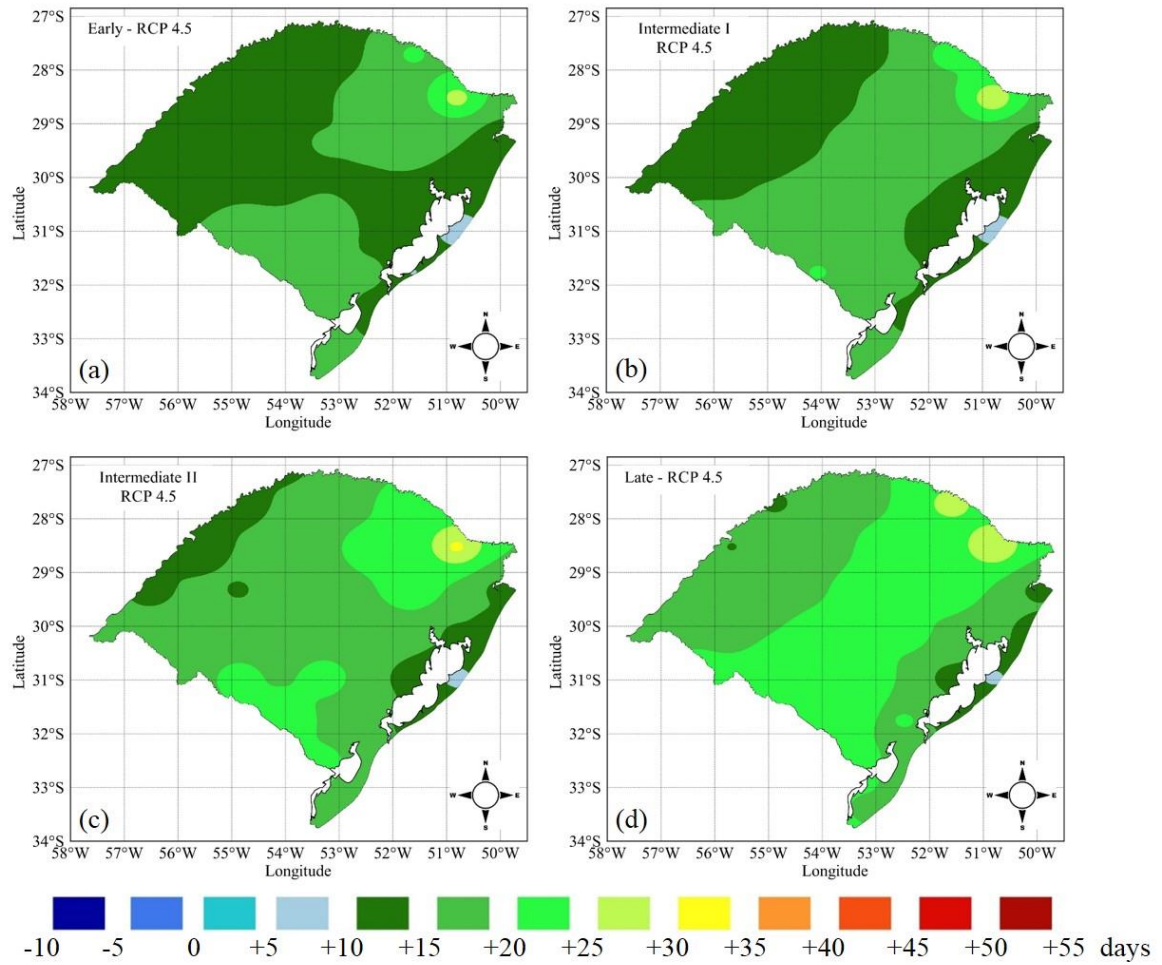


Fig. 5. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

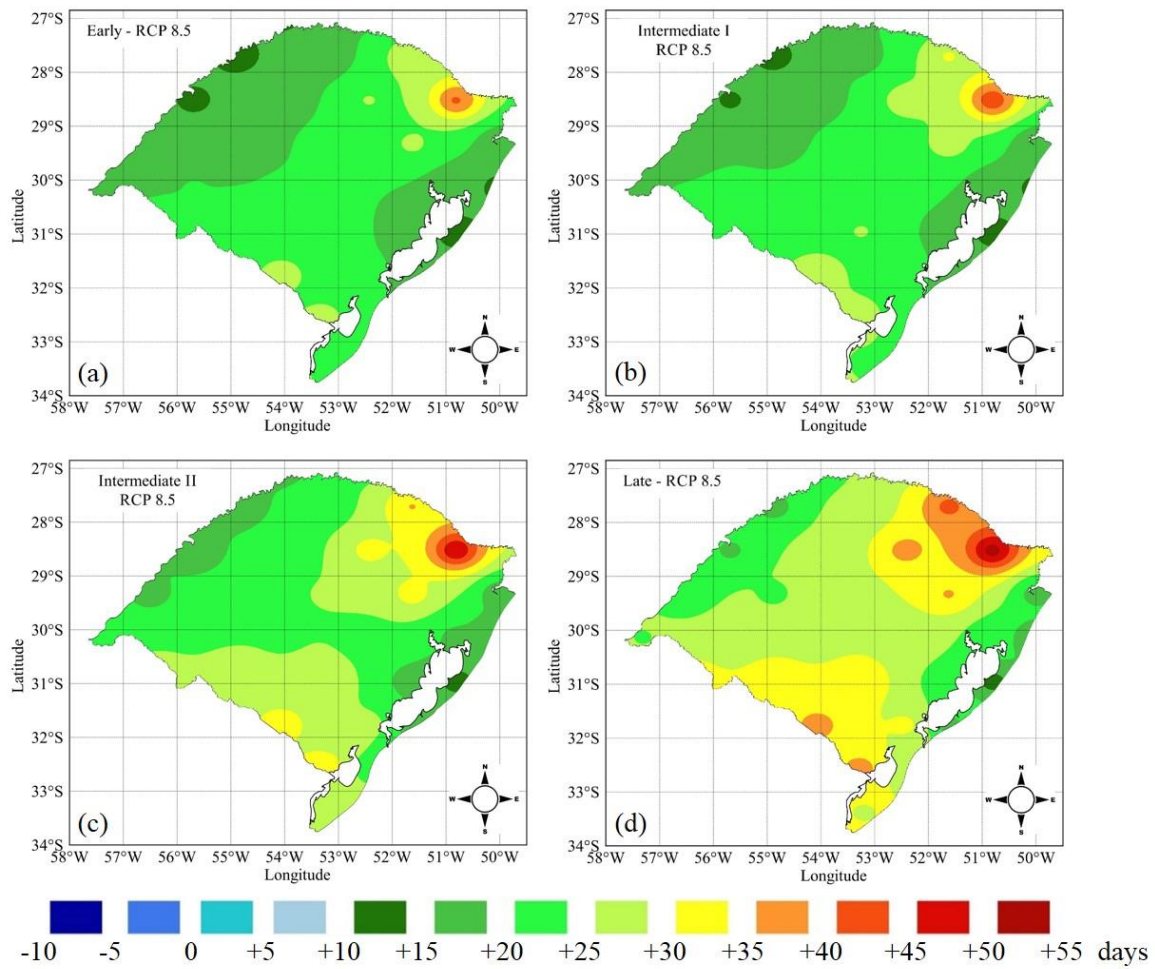


Fig. 6. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

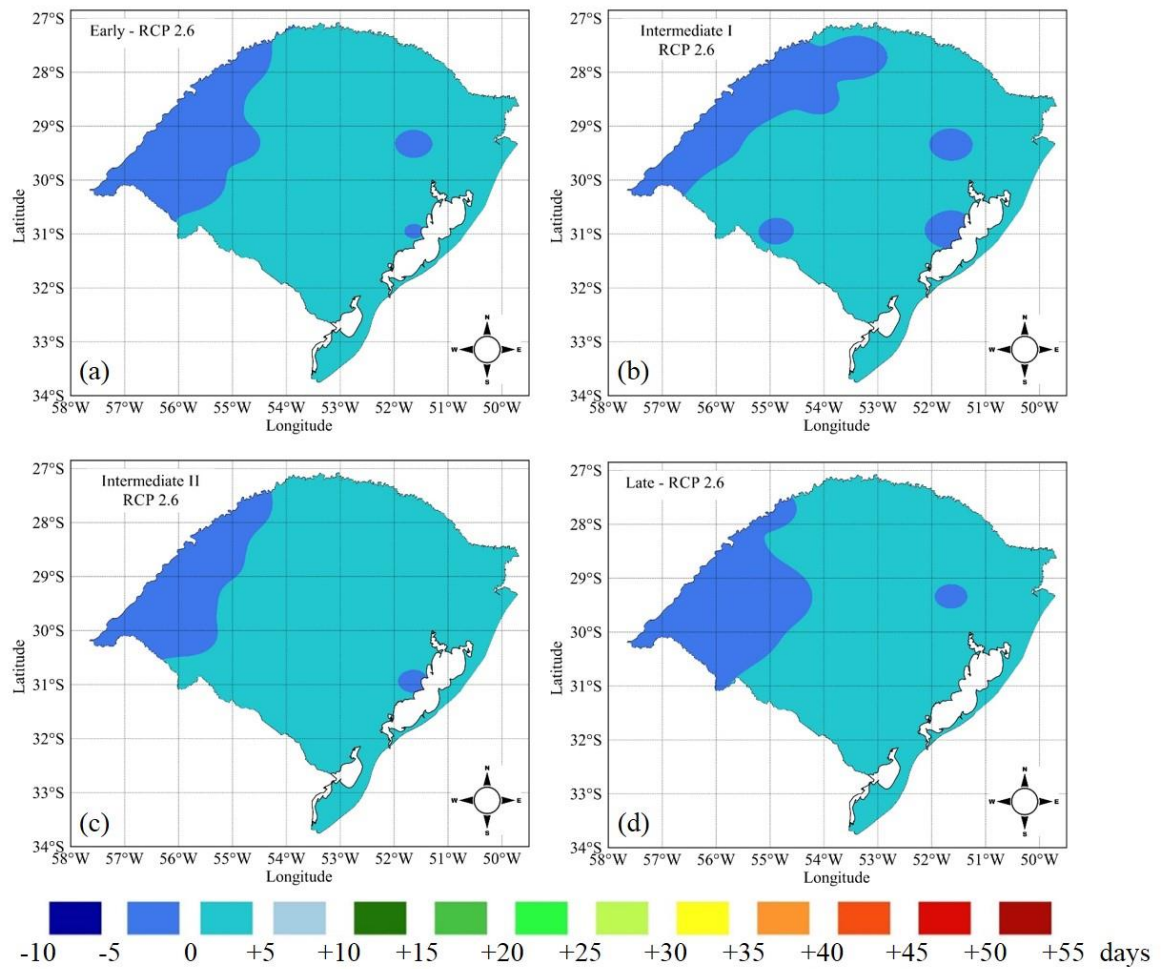


Fig. 7. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP2.6 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

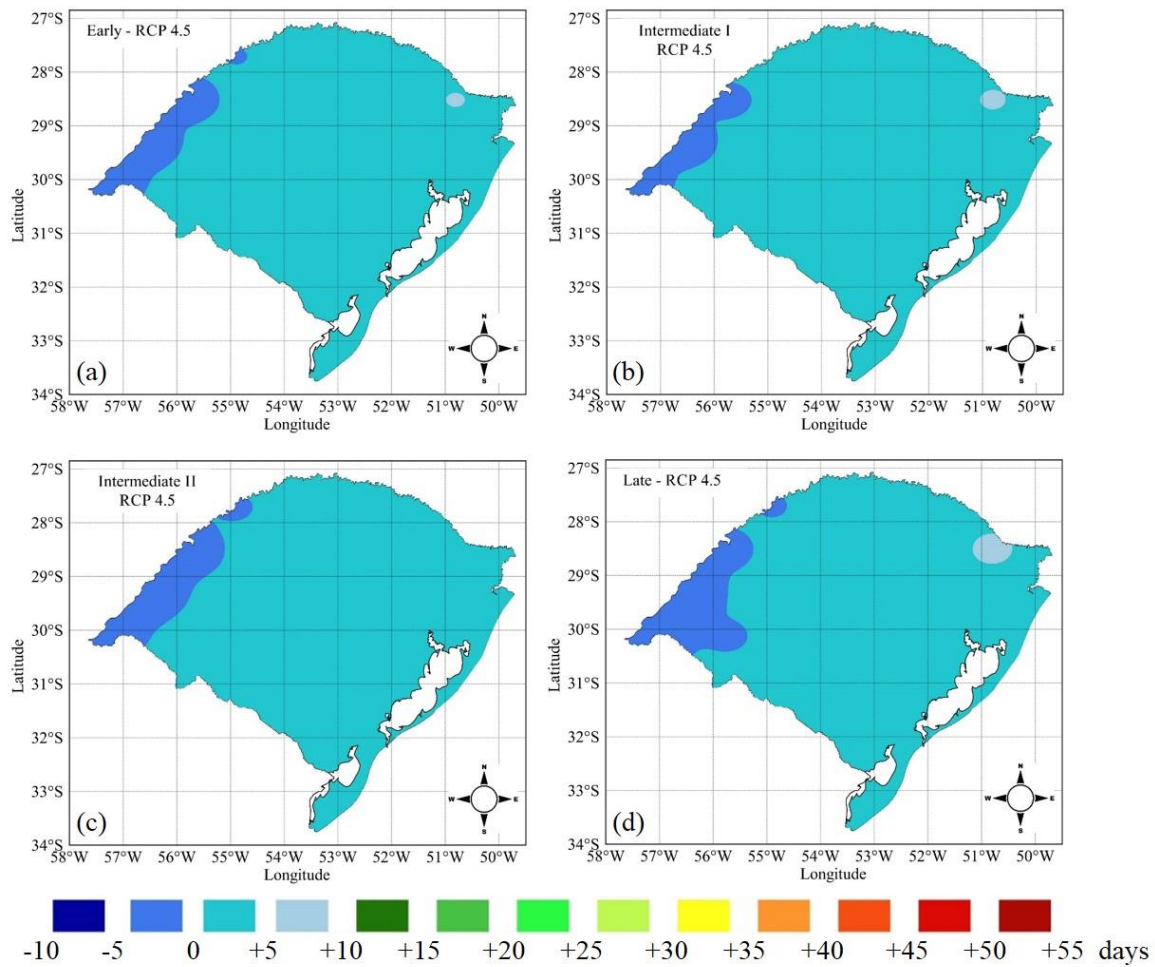


Fig. 8. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model in the scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

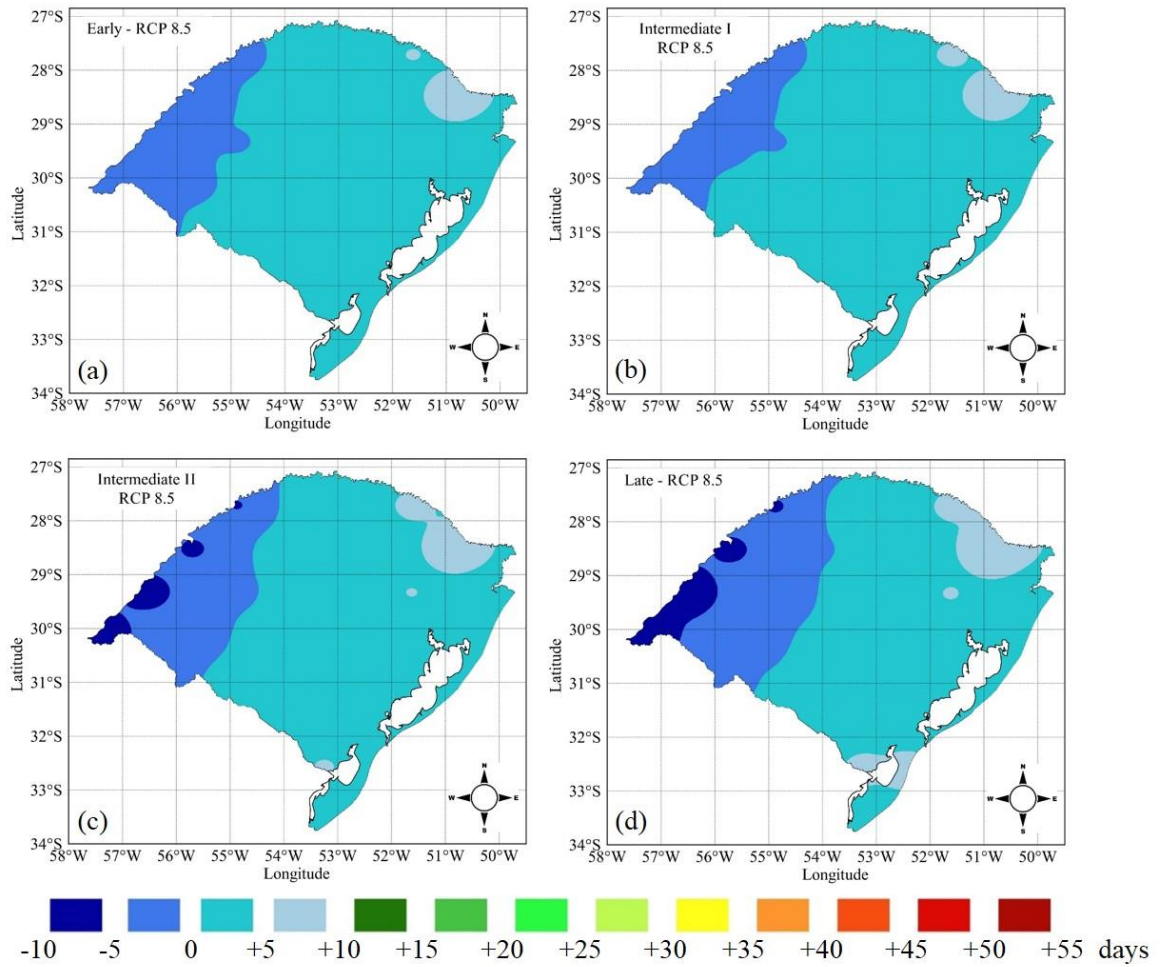


Fig. 9. Anomalies in optimum planting date for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

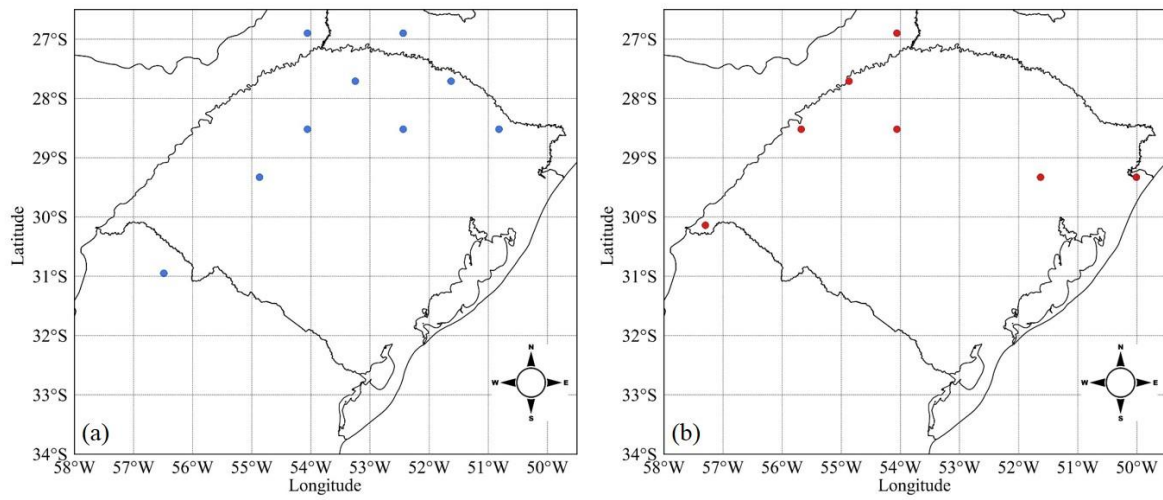


Fig. 10. Locations in the Rio Grande do Sul State, Brazil, that gladiola crop was killed by frost in the baseline period (1976-2005) (a) and that the crop was killed by heat in future period (2070-2098) (b) of the RCP8.5 scenario during the growing season for harvesting gladiola on All Souls' Day.

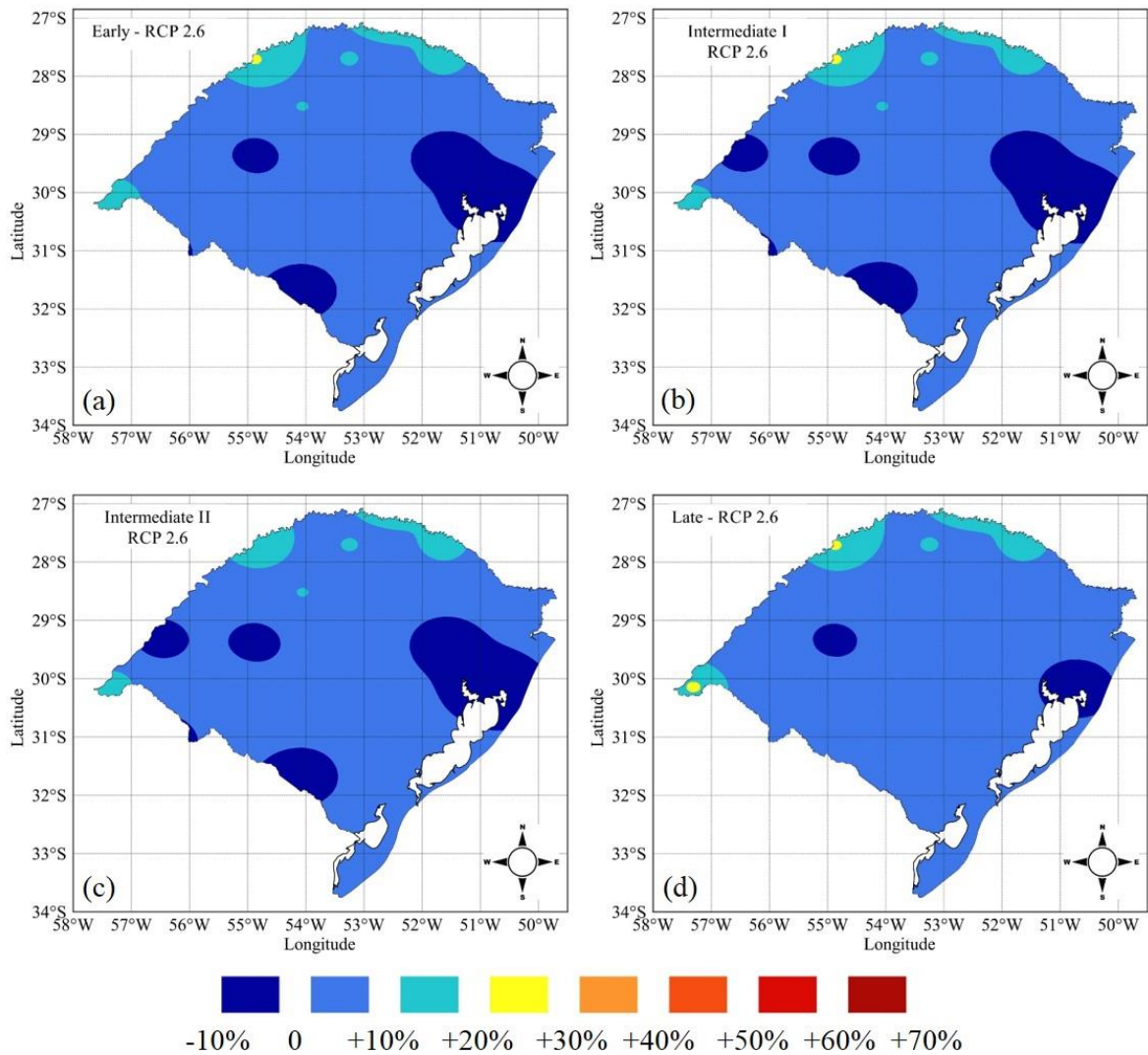


Fig. 11. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP2.6 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

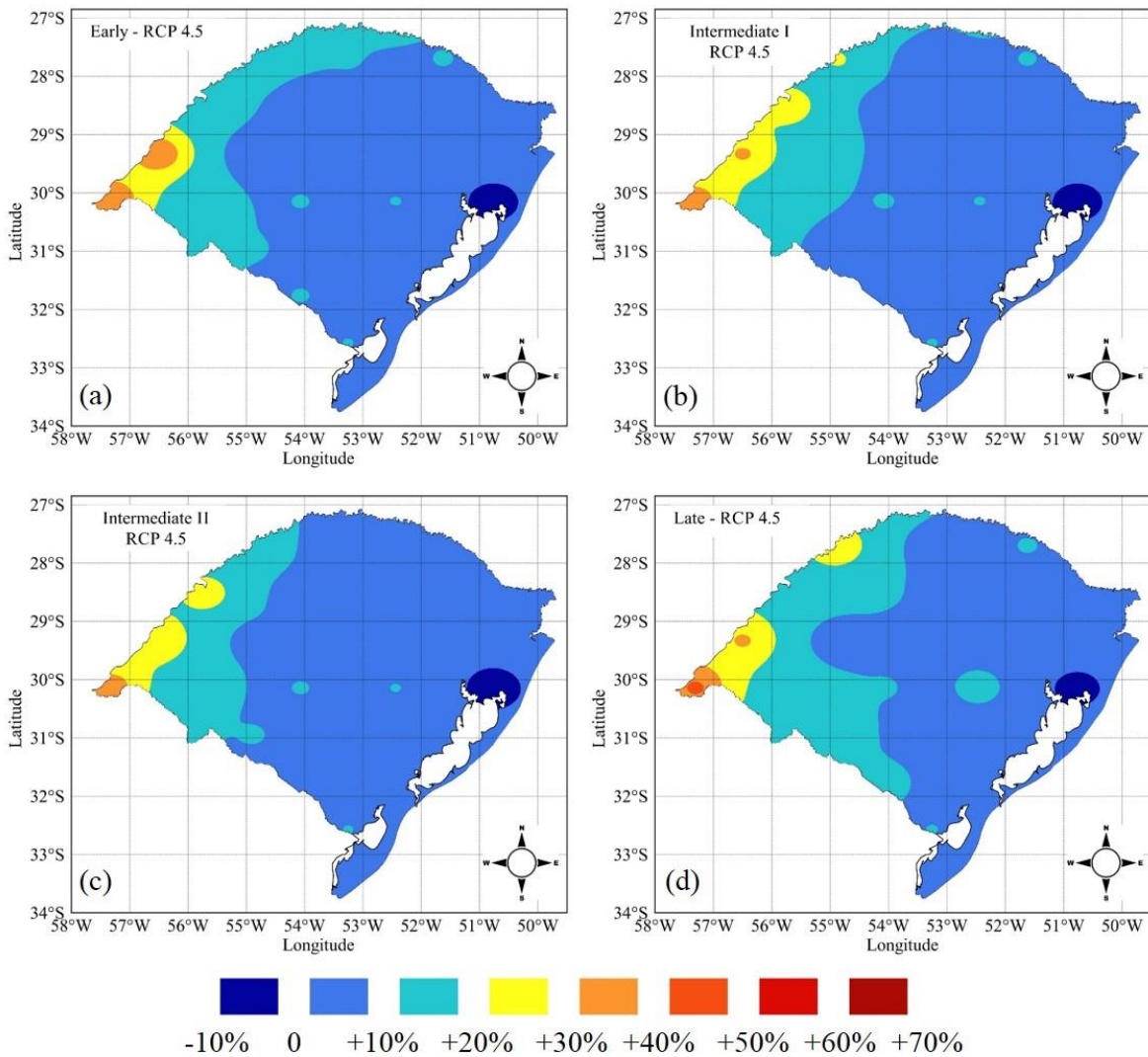


Fig. 12. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

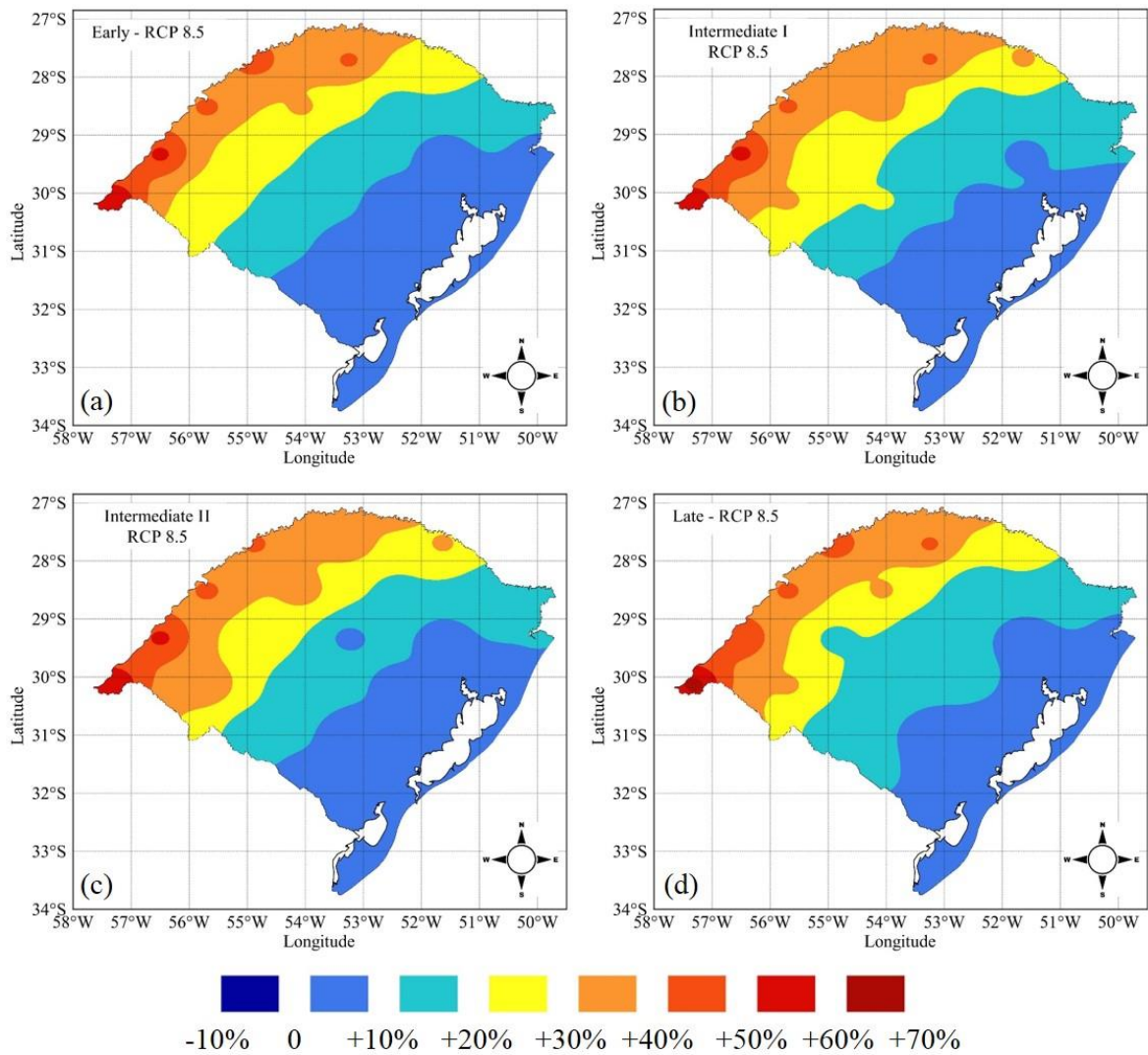


Fig. 13. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on All Souls' Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

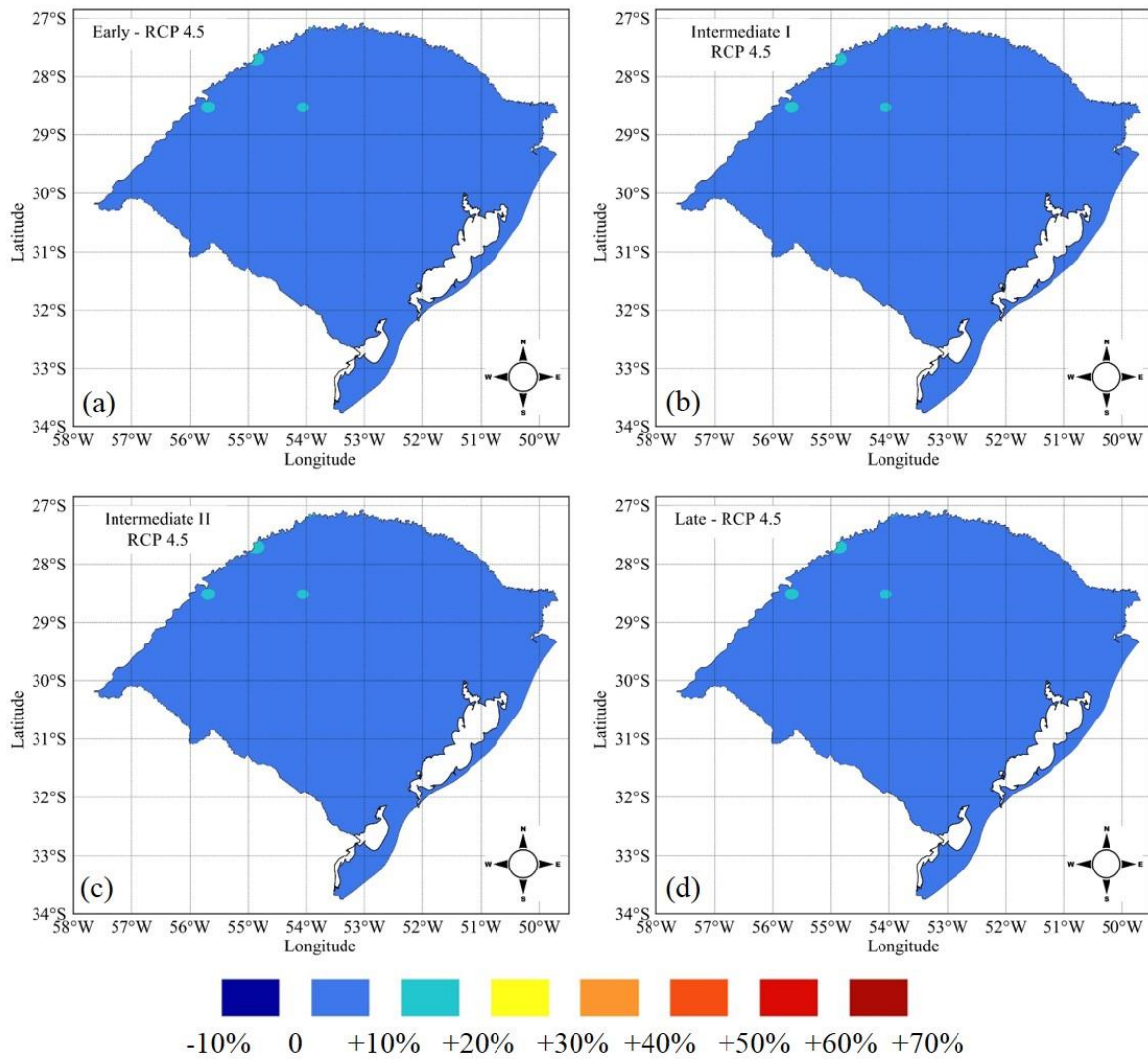


Fig. 14. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP4.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

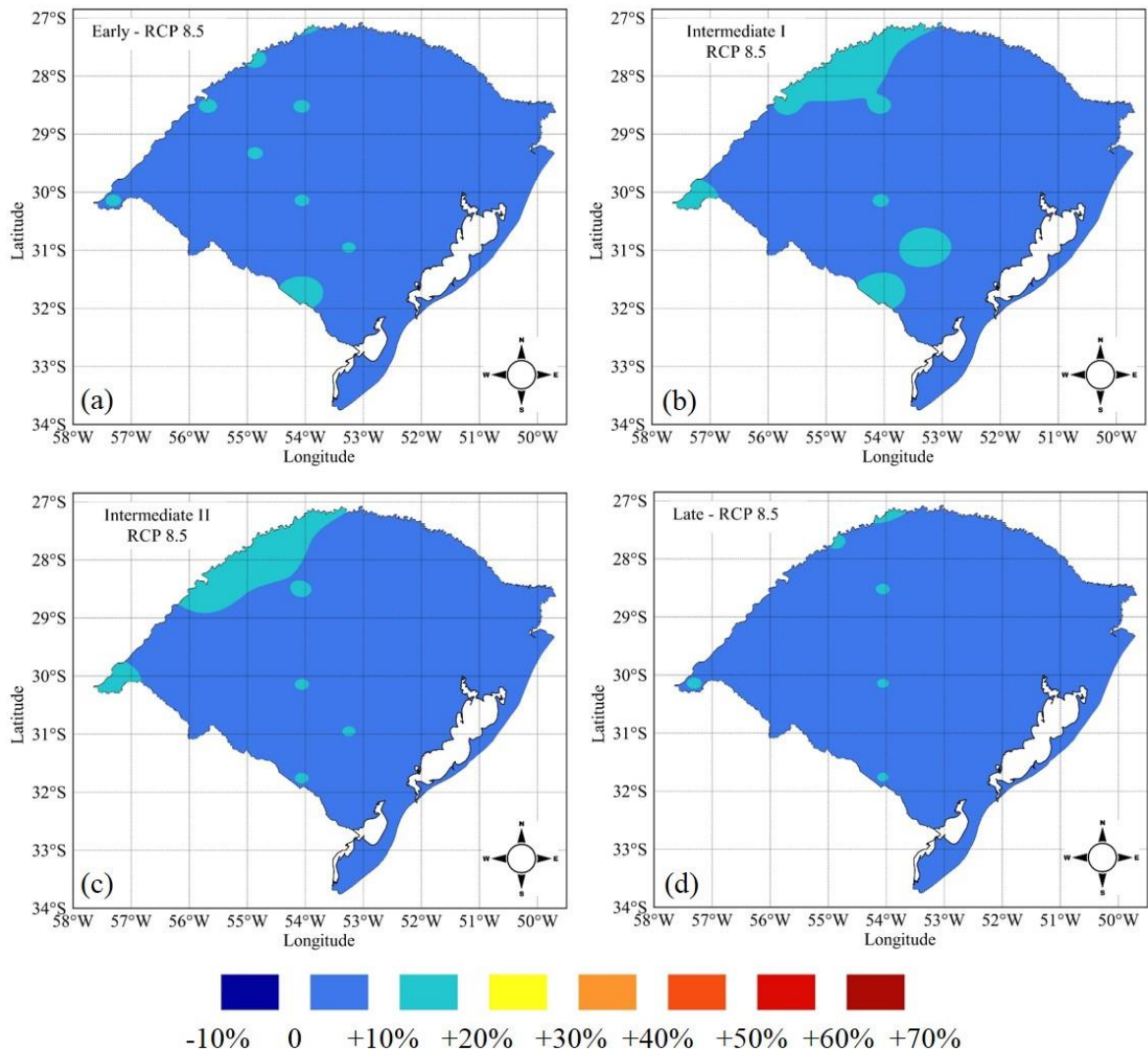


Fig. 15. Anomaly of the percentage of years that occurred heat injury in the growing season for harvesting gladiola on Mother's Day in the Rio Grande do Sul State, Brazil, as simulated with the PhenoGlad model for scenario RCP8.5 (2070-2098) for different gladiola maturation groups: Early (a), Intermediate I (b), Intermediate II (c) and Late (d).

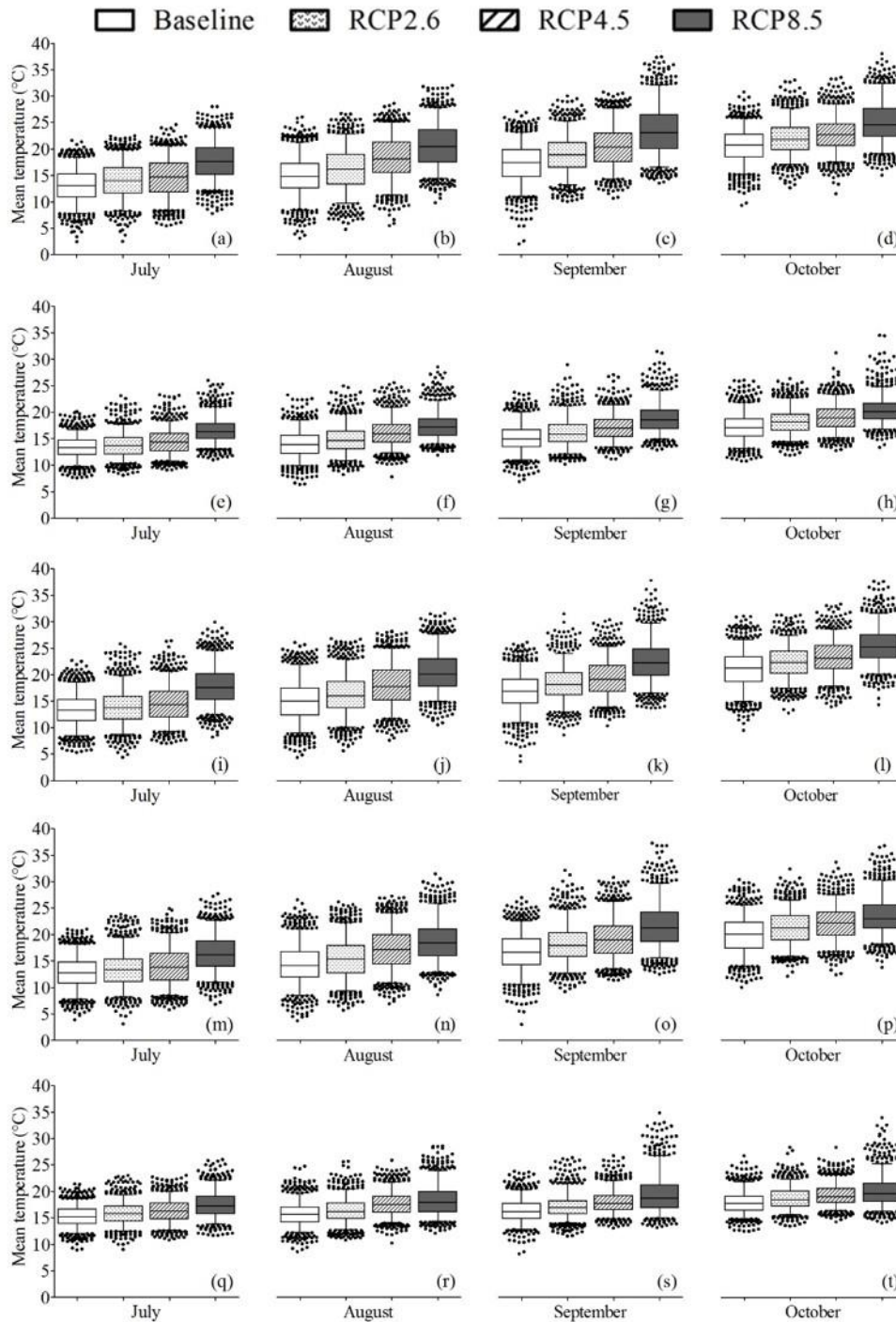


Fig. 16. Average daily temperature during the growing season of gladiola for harvesting on All Souls' Day, in the baseline period (1976-2005) and scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 (2070-2098) in north grid point (a-d), south (e-h), west (i-l), center (m-p) and east (q-t) of Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile. The filled circles represent outliers.

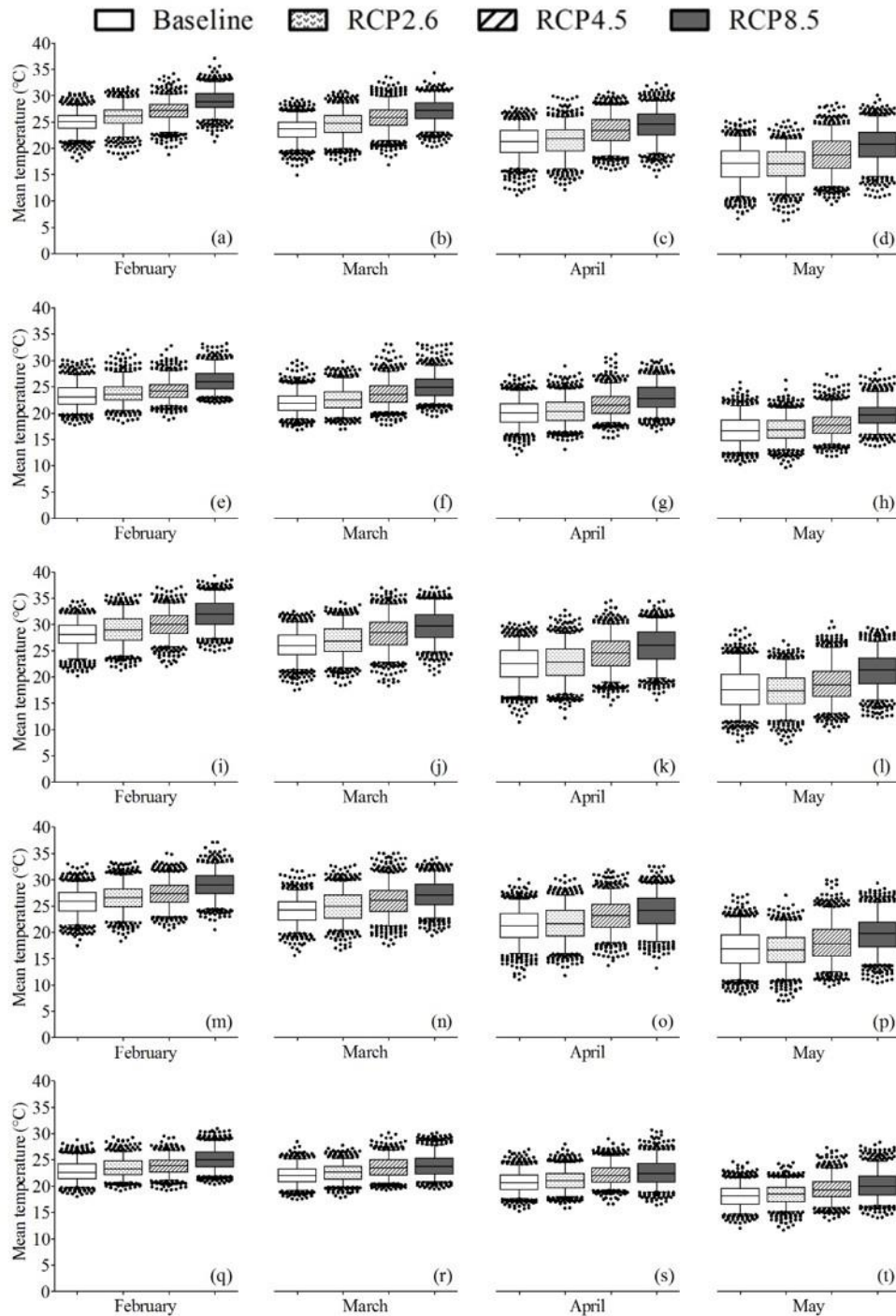


Fig. 17. Average daily temperature during the growing season of gladiola for harvesting on Mother's Day, in the baseline period (1976-2005) and scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 (2070-2098) in north grid point (a-d), south (e-h), west (i-l), center (m-p) and east (q-t) of Rio Grande do Sul. In each box plot, horizontal lines represent, from bottom to top, the 5th percentile, 25th percentile, median, 50th percentile, 75th percentile and 95th percentile. The filled circles represent outliers.

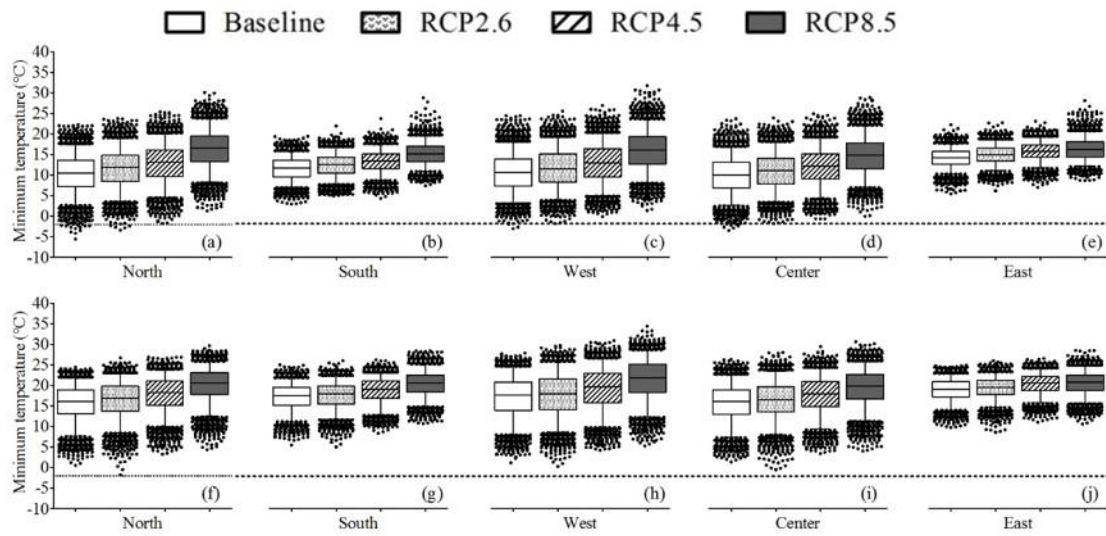


Fig. 18. Minimum temperature during the growing season for harvesting on All Souls' Day (panels: a, b, c, d, e) and on Mother's Day (panels: f, g, h, i, j) for five grid points: north, south, west, center and east in the Rio Grande do Sul State, Brazil. The dotted line indicates the temperature of -2°C .

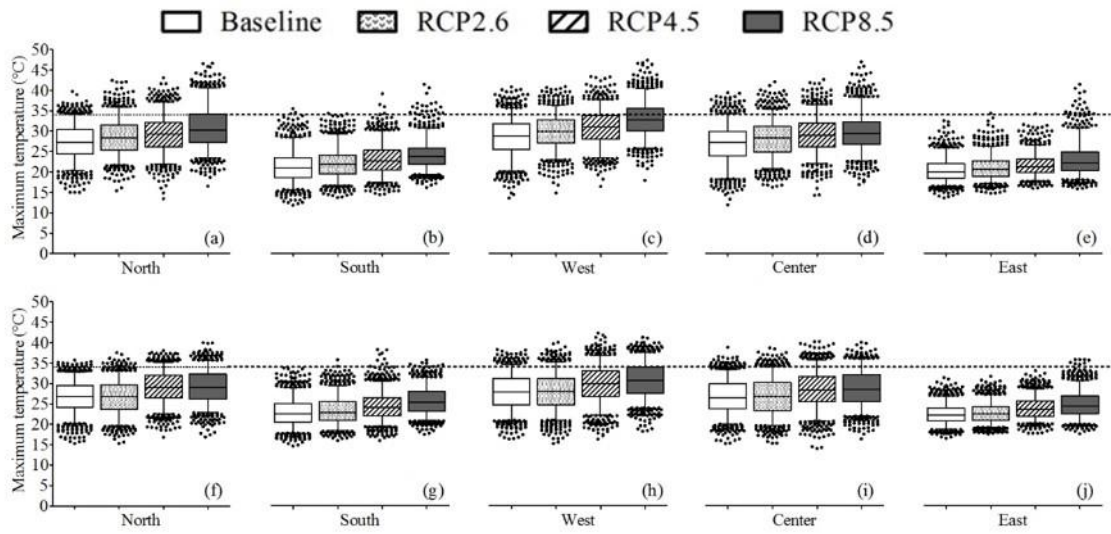


Fig. 19. Maximum temperature during the reproductive phase for harvesting on All Souls' Day (panels: a, b, c, d, e) and on Mother's Day (panels: f, g, h, i, j) for five grid points: north, south, west, center and east in the Rio Grande do Sul State, Brazil. The dotted line indicates the temperature of 34°C.

5 DISCUSSÃO GERAL

A cultura do gladiólo é uma importante flor de corte que tem mercado principalmente no Dia de Finados com potencial para ser comercializada em outras datas comemorativas como Dia das Mães. As hastes florais precisam atingir o ponto de colheita de 2 a 4 dias antes (SCHWAB et al., 2015a) dos picos de consumo para apresentarem aspecto atraente e agregar valor no momento da comercialização. No Rio Grande do Sul, o plantio dos cormos ocorre principalmente em final de julho e início de agosto (SCHWAB et al., 2015a) visando a colheita no Dia de Finados. Porém relatos de produtores locais indicaram variação na data de florescimento da cultura de ano para ano, o que levou à motivação para realizar este estudo destinado a determinar a data ótima de plantio de gladiólo visando comercialização das hastes florais no Dia de Finados e Dia das Mães.

O modelo PhenoGlad, que foi utilizado como ferramenta para determinar a data ótima de plantio de gladiólo considera as seguintes temperaturas cardinais no desenvolvimento da cultura: $T_b = 5^{\circ}\text{C}$, $T_{ot} = 25^{\circ}\text{C}$ e $T_B = 35^{\circ}\text{C}$ na fase de brotação, $T_b = 2^{\circ}\text{C}$, $T_{ot} = 27^{\circ}\text{C}$ e $T_B = 45^{\circ}\text{C}$ na fase vegetativa, e $T_b = 6^{\circ}\text{C}$, $T_{ot} = 25^{\circ}\text{C}$ e $T_B = 42^{\circ}\text{C}$ na fase reprodutiva. Em que T_b , T_{ot} , T_B , são as temperaturas cardinais mínima, ótima e máxima. Quando a temperatura do ar é próxima da T_{ot} a taxa de desenvolvimento da cultura é máxima, ou seja, a duração do ciclo é menor. Porém quando a temperatura do ar se afasta da faixa ótima, tanto para mais quanto para menos, a taxa de desenvolvimento é reduzida e o ciclo é maior (UHLMANN et al., 2017).

No clima atual, considerou-se o efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na data ótima de plantio. Os resultados indicaram que para o cultivo de Finados o plantio deve ser antecipado em anos de La Niña e atrasado em anos de El Niño, principalmente anos de El Niño muito forte (ENMF) (Figura 2 Artigo 1). Para o cultivo de Dia das Mães a diferença de data ótima de plantio entre as fases de El Niño, La Niña e Neutro foram muito pequenas, não tendo finalidade prática para fins de planejamento do produtor, por isso considerou-se a mesma data de plantio para as três fases do ENOS (Figura 3 Artigo 1). Apenas em anos de ENMF foi observada maior diferença, nesse caso o plantio deve ser antecipado para o cultivo de Dia das Mães.

Esses resultados concordam com outros estudos que indicam que o ENOS afeta principalmente as condições climáticas da primavera, período de cultivo para o Dia de Finados. O ENOS, na sua fase positiva ou de El Niño, provoca aumento da precipitação no sul do país (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) que normalmente é acompanhado de elevação da temperatura devido a advecção de calor vinda do norte

(BARROS; GRIMM; DOYLE, 2002). Devido à grande influência da temperatura na duração do ciclo de gladiolo, em anos de El Niño o plantio precisa ser antecipado devido menor duração do ciclo da cultura, ou seja, o florescimento é antecipado. Em anos de La Niña, na primavera tem-se menores níveis de precipitação (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) e também redução na temperatura do ar (GRIMM, 2004). Nessa condição, a duração do ciclo da cultura é maior, sendo necessário antecipar o plantio dos cormos devido ao atraso no florescimento.

Para o cultivo de Dia das Mães, o menor efeito no ENOS, nas condições climáticas e consequentemente na data ótima de plantio de gladiolo se deve ao enfraquecimento do fenômeno no ano seguinte ao seu início. Sendo possível ocorrer reversão do sinal do ENOS nesse período (GRIMM, 2003). Por isso em eventos de ENMF tem-se uma redução da temperatura como ocorreu principalmente em Bom Jesus (Figura 10e, f, g, h capítulo 1), justificando a necessidade de antecipar o plantio dos cormos para comercialização das hastes florais no Dia das Mães.

As regiões norte e oeste do estado devem atrasar o plantio, em relação as demais regiões do estado, para todas as fases do ENOS e ciclos da cultura (precoce, intermediário I, intermediário II e tardio), devido as temperaturas serem mais elevadas nessas regiões. Enquanto as regiões nordeste e sul do estado devem antecipar o plantio, pois apresentam condições mais amenas de temperatura, atrasando o florescimento. Considerando o ciclo precoce de gladiolo como exemplo, o plantio dos cormos para colheita em Finados, em anos de ENMF deve ocorrer primeiramente na região nordeste e sul (22/07 a 26/07) e por último na região noroeste (11/08 a 15/08), já para anos de La Niña a data de plantio indicada é 30/06 a 04/07 para a região nordeste e sul, e 14/08 a 18/08 no norte do estado (Figura 4 Artigo 1).

O acompanhamento da produção de gladiolo para comercialização no Dia de Finados de 2016, em uma lavoura comercial, proporcionou conhecer como a data ótima de plantio auxiliará o produtor no agendamento da produção. Apesar de o plantio de cultivares de ciclos diferentes ter sido realizado na mesma data, todas as cultivares atingiram o ponto de colheita antes da data de comercialização. Até mesmo a cultivar Gold Field, plantada 11 dias após a data determinada por este estudo, atingiu o ponto de colheita antes da data desejada (Tabela 3 Artigo 1).

Nós acreditamos que a não realização de irrigação nos canteiros da lavoura comercial e o longo período sem precipitação durante a fase vegetativa da cultura ocasionou a antecipação do florescimento (PAIVA et al., 2012) da mesma forma que foi observado para *Dendranthema grandiflora* (PEREIRA et al., 2003). Caso esse evento não tivesse ocorrido cultivares como Gold Field, Black Velvet e Green Star não seriam comercializáveis no dia de Finados por não

apresentarem floretes abertos (SNIPEN; MOE; SORENG, 1999). Já a cultivar Peter Pears atingiu o ponto de colheita 11 dias antes da data desejada. Nesse caso, o produtor realizou a colheita das hastes no ponto de colheita e armazenou-as em câmara fria, para atrasar a abertura dos floretes (SCHWAB et al., 2014), até a data da comercialização. A partir dessa experiência com o produtor, é possível quantificar a importância de conhecer a data ideal de plantio dos cormos a fim de evitar perda da produção e reduzir custos de energia elétrica com câmara fria.

Em cenários climáticos futuros, a data de plantio para colheita em Finados deverá ser atrasada em todo o estado devido ao aumento da temperatura média do ar (Figura 16 Artigo 2), sendo que as maiores anomalias de data de plantio ocorrem no cenário RCP 8.5 (Figura 6 Artigo 2). As maiores anomalias positivas (+55 dias) ocorrem nas regiões mais frias do estado, indicando maior efeito da mudança climática nessas regiões (Figura 6d Artigo 2). As grandes anomalias ocorrem porque esses locais são naturalmente mais frios, e com o aumento da temperatura nos cenários a temperatura tende a se aproximar da temperatura ótima da cultura (Figura 16q, r, s, t Artigo 2).

Não é possível quantificar os efeitos dessa grande redução no ciclo da cultura nos parâmetros quantitativos de qualidade da espiga porque o modelo PhenoGlad não simula o crescimento da cultura. No entanto muitos estudos tem reportado a diminuição da qualidade das culturas ornamentais com o aumento da temperatura, porque a rápida duração do ciclo afeta o número de botões florais, o tamanho da flor e a quantidade de biomassa da planta (BLANCHARD; RUNKLE; FISCHER, 2011; MOCCALDI; RUNKLE, 2007; PRAMUK; RUNKLE, 2005; VAID; RUNKLE; FRANTZ, 2014).

Para o cultivo de dia das mães, apesar do aumento da temperatura, foram observadas anomalias negativas na região oeste do estado, região naturalmente mais quente (Figura 9 Artigo 2). Nessa região as temperaturas atingiram valores acima da temperatura ótima da cultura (Figura 17i, j, k, l Artigo 2), portanto a antecipação na data de plantio é resultante da diminuição da taxa de desenvolvimento, que aumentou o ciclo quando as temperaturas ultrapassaram a temperatura ótima.

O risco de ocorrência de danos nas hastes florais por alta temperatura (acima de 34°C por três dias consecutivos) foi maior no cultivo para Finados do que no cultivo de Dia das Mães, principalmente no cenário RCP8.5 e nas regiões mais quentes, como o noroeste. Isso é justificado pelas altas temperaturas que ocorrem nessas regiões durante a fase reprodutiva que ocorre no final de outubro (Figura 19a, c Artigo 2). No cultivo do Dias das Mães temperaturas acima de 34°C, durante a fase reprodutiva da cultura (fim de abril e início de maio), são menos frequentes em todas as regiões (Figura 19f, g, h, i, j Artigo 2). O cenário RCP8.5 também foi

considerado o mais prejudicial para a cultura do trigo de inverno na Austrália devido a menor ocorrência de dias frios, afetando o processo de vernalização (WANG et al., 2015b).

Com a confirmação de aumento de temperatura do cenário RCP8.5, as regiões sul e leste serão as mais favorecidas devido a não ocorrência de dano por altas temperaturas. Resultado similar foi encontrado para a cultura do arroz no Rio Grande do Sul, que terá melhores condições de cultivo na região sul devido à redução dos danos causados por baixas temperaturas, enquanto na região oeste o aumento da temperatura intensifica a ocorrência de esterilidade de espiguetas (WALTER et al., 2014).

Nas regiões que terão maior ocorrência de danos nas hastes florais devido ao calor, e consequente redução da qualidade, medidas de adaptação deverão ser consideradas a fim de reduzir esses efeitos negativos, principalmente no cultivo de Finados. Telas de sombreamento podem ser uma alternativa. Precisarão ser colocadas sobre o cultivo assim que a espiga começasse a sair do cartucho da planta (início do espigamento) até o ponto de colheita, totalizando em torno de duas semanas. Porém, estudos precisam ser realizados a fim de determinar o efeito desse sombreamento na cultura. Quando o sombreamento é aplicado desde o estágio vegetativo pode ocorrer redução do número de floretes por espiga e na porcentagem de florescimento (SHILLO; HALEVY, 1976).

O modelo PhenoGlad foi recentemente calibrado e validado para simular os estágios de desenvolvimento da cultura em diferentes locais do Rio Grande do Sul e se mostrou eficiente ao determinar a data ótima de plantio de gladiolo no estado. Os resultados deste estudo já estão sendo aplicados. Recentemente foi realizada a indicação de data de plantio para um produtor que deseja produzir hastes florais para serem comercializadas no Dia das Mães. Este ano, o Dia das Mães será no dia 14 de maio de 2017 e o plantio deverá ser realizado no período 13/02 a 17/02 para as cultivares de ciclo tardio, 21/02 a 25/02 para as cultivares de ciclo Intermediário II, 24/02 a 28/02 para as de ciclo Intermediário I e 25/02 a 01/03 para as cultivares de ciclo precoce. Devido à proximidade da data de plantio recomendada para cultivares de ciclo precoce e intermediário I, nós indicamos ao produtor plantá-las no mesmo dia a fim de facilitar o planejamento de outras atividades da propriedade.

6 CONCLUSÃO

É possível cultivar gladiolo para comercialização nos picos de consumo de Dia de Finados e Dia das Mães em todo o Estado do Rio Grande do Sul, no clima atual, através da adaptação da data de plantio. Para produzir hastes florais visando comercialização no Dia de Finados o plantio deve ser antecipado em anos de La Niña e atrasado em anos de El Niño Muito Forte em relação a anos Neutros, pois a temperatura do ar é menor na primavera de anos de La Niña e maior na primavera de anos de El Niño Muito forte. O efeito do ENOS na data de plantio de gladiolo é menor no cultivo de Dia das Mães, sendo que o plantio deve ser antecipado em anos de El Niño Muito forte e atrasado nas demais fases do ENOS que não apresentaram diferença na data de plantio. Em cenários climáticos futuros o cultivo de gladiolo para comercialização em Dia de Finados é dificultado pela maior ocorrência de danos nas hastes florais devido às altas temperaturas, principalmente nas regiões mais quentes do Estado. Nesse período de cultivo, o ciclo do gladiolo é reduzido devido às elevadas temperaturas e consequentemente a data de plantio deve ser atrasada. No cultivo de Dia das Mães o plantio deve ser antecipado, devido a maior duração do ciclo da cultura, principalmente nas regiões mais quentes do Estado e no cenário mais pessimista, em que as temperaturas excedem a temperatura ótima da cultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. et al. The 1877–1878 El Niño episode: associated impacts in South America. **Climate Change**, v. 92, p. 389-416, 2009.

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, jul. 2006.

ALEXANDROV, V. A.; HOOGENBOOM, G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 104, p. 315-327, 2000.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ANAPALLI, S. S. et al. Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-Maize models. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 58-71, jan./fev. 2005.

ANDARZIAN, B. et al. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 14, p. 189-199, 2015.

ANDRESEN, J. A. et al. Weather impacts on maize, soybean, and alfalfa production in the Great Lakes region, 1895-1996. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1059-1070, 2001. doi: 10.2134/agronj2001.9351059x.

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

BANNAYAN, M.; REZAEI, E. E.; HOOGENBOOM, G. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 126, p. 56-63, 2013.

BARBOSA, J. G. et al. **Palma-de-Santa-Rita (Gladíolo):** Produção comercial de flores e bulbos. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 113p.

BARROS, V. R.; GRIMM, A. M.; DOYLE, M. E. Relationship between temperature and circulation in Southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. **Journal of the Meteorology Society of Japan**, v. 80, n. 1, p. 21-32, 2002.

BASTUG, R. et al. The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolus plant. **Agricultural Water Management**, v. 81, p. 132-144, 2006.

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, mai. 2005.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; Aplicações de previsões climáticas na agricultura.** 1 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 110 p.

BLANCHARD, M. G.; RUNKLE, E. S. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. **Scientia Horticulturae**, v. 128, p. 30-37, 2011.

BLANCHARD, M. G.; RUNKLE, E. S.; FISHER, P. S. Modeling plant morphology and development of petunia in response to temperature and photosynthetic daily light integral. **Scientia Horticulturae**, v. 129, p. 313-320, 2011.

BOM. Bureau of Meteorology. ENSO outlook: An alert system for the El Niño – Southern Oscillation. Australia, 2017. Disponível em: <<http://www.bom.gov.au/climate/enso/outlook>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

CAMILLONI, I.; BARROS, V. The Paraná River response to El Niño 1982-83 and 1997-98 events. **Journal of Hydrometeorology**, v. 1, p. 412-430, 2000.

CARMONA, L. C.; BERLATO, M. A. El Niño e La Niña e o rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, p. 147-152, 2002.

CAVE, R. L. et al. Modelling temperature, photoperiod and vernalization responses of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *Calandrinia* sp. (Portulacaceae) to predict flowering time. **Annals of Botany**, v. 111, p. 629-639, 2013.

CHEN, J.; FUNNELL, K. A.; MORGAN, E. R. A model for scheduling flowering of a *Limonium sinatum* x *Limonium perezii* hybrid. **HortScience**, v. 45, n. 10, p. 1441-1446, 2010.

da SILVA, M. R. et al. Modelagem numérica para previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 7, p. 791-800, jul. 2016.

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

de PAULA, G. M. et al. Série histórica secular de brilho solar e suas relações com os modos de variabilidade ENOS e ODP em Santa Maria - RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 494-505, mai./jun. 2015.

do RIO, A. et al. Alternative sowing dates as a mitigation measure to reduce climate change impacts on soybean yields in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 11, p. 3664-3672, 2016.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associados ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

FISHER, P. R.; LIETH, J. H. Variability in flower development of Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.): model and decision-support system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, p. 53-64, 2000.

FRAISSE, C. W. et al. El Niño – Southern Oscillation influences on soybean yields in eastern Paraguay. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 1399-1407, 2008.

GARY, C.; JONES, J. W.; TCHAMITCHIAN, M. Crop modeling in horticulture: state of the art. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, n. 1-2, p. 3-20, abr. 1998.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, p. 123-138, 2004.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

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

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GROSSI, M. C. et al. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 53-64, 2013.

GUTIÉRREZ, T. **Cultivo de Gladiolo**: notas técnicas para ADR y productores. Chiapas, 2010. 36 p.

HOSTETLER, S. W.; ALDER, J. R.; ALLAN, A. M. **Dynamically downscaled climate simulations over North America: Methods, evaluation, and supporting documentation for users**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1238, 2011.

IBRAFLOR. Instituto Brasileiro de Floricultura. **Boletim Ibraflor**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=256>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

IBRAFLOR. Instituto Brasileiro de Floricultura. **Números do Setor: Mercado interno**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=246>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F.; D. Qin; G.-K. Plattner; M. Tignor; S. K. Allen; J. Boschung; A. Nauels; Y. Xia; V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University, 2013. 33 p.

JMA. Japan Meteorological Agency. **Historical El Niño and La Niña events**. Tokyo, 2017. Disponível em: <<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/ensoevents.html>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

JONES, C. D. et al. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, p. 543-570, 2011.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 14, p. 37-52, 2008.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. O setor produtivo de flores e plantas ornamentais do Brasil, no período de 2008 a 2013: atualizações, balanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 20, p. 115-120, 2014.

KERR, R. A. Millenium's hottest decade retains its title, for now. **Science**, v. 307, p. 828-829, 2005.

LAGO, I. et al. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1441-1448, nov. 2008.

LENTZ, W. Model applications in horticulture: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 74, p. 151-174, 1998.

LI, Y. et al. Assessing vulnerability and adaptive capacity to potential drought for winter-wheat under the RCP 8.5 scenario in the Huang-Huai-Hai Plain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 209, p. 125-131, 2015.

LIMA JÚNIOR, J. C. et al. **Mapeamento e quantificação da cadeia de flores e plantas ornamentais do Brasil** [coordenação e organização Marcos Fava Neves; Mairun Junqueira Alves Pinto]. 1.ed. São Paulo: OCESP, 2015. 132p.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 893-904, 2008.

MARIN, F. R. et al. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 157-162, 2006.

MARQUES, J. R. Q. et al. Aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4, REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26, 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2005.

MCINTYRE, S.; MCKITRICK, R. Corrections to the Mann et. al. (1998) proxy data base and northern hemispheric average temperature series. **Energy & Environment**, v. 14, n. 6, p. 751-771, 2003.

MCINTYRE, S.; MCKITRICK, R. The M&M Critique of the MBH98 Northern Hemisphere climate index: update and implications. **Energy & Environment**, v. 16, n. 1, p. 69-100, 2005a.

MCINTYRE, S.; MCKITRICK, R. Hockey sticks, principal components, and spurious significance. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L03710, 2005b.

MOCCALDI, L. A.; RUNKLE, E. S. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 132, n. 3, p. 283-288, mai. 2007.

MOHANDASS, D. et al. Increasing temperature causes flowering onset time changes of alpine ginger *Roscoea* in the Central Himalayas. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, v. 8, p. 191-198, 2015.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: Uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3-4, p. 7-24, ago. 2008.

MOTA, F. S. Influência do fenômeno El Niño e La Niña sobre o rendimento de arroz irrigado na região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 2, p. 21-24, 2000.

MUNIR, M. et al. Effect of constant temperatures and natural daylength on flowering time and leaf number of *Antirrhinum* using the photo-thermal model. **Pakistan Journal of Botany**, v. 47, n. 5, p. 1717-1720, 2015.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **ENSO: Cold and Warm episodes by season**. United States, 2017a. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 16 jan. 2017.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures**. United States, 2017b. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Why are there so many ENSO indexes, instead of just one?** United States, 2015. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/why-are-there-so-many-enso-indexes-instead-just-one>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

OLATINWO, R. O. et al. El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Impact on tomato spotted wilt intensity in peanut and the implication on yield. **Crop Protection**, v. 29, p. 448-453, 2010.

OTENG-DARKO, P. et al. Crop modeling: A tool for agricultural research – A review. **Journal of Agricultural Research and Development**, v. 2, n. 1, p. 1-6, mar. 2013.

PAIVA, P.D.O. et al. **Cultura do gladiolo**. Lavras: UFLA - Departamento de Agricultura, 1999. 28p.

PAIVA, P. D. de O. et al. Gladiolo. In: PAIVA, P. D. de O.; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA, 2012. p. 448-470.

PAZ, J. O. et al. Cotton yields as influenced by ENSO at different planting dates and spatial aggregation levels. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 45-52, 2012.

PENG, S. et al. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **National Academy of Sciences of the USA**, v. 101, n. 27, p. 9971-9975, 2004.

PEREIRA, J. R. D. et al. Efeitos da época de suspensão da fertirrigação e níveis de reposição de água na cultura do crisântemo (*Dendranthema grandiflora*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 658-664, 2003.

PORTO, R. A. et al. Effects of water replacement levels and nitrogen fertilization on growth and production of gladiolus in a greenhouse. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 50-56, 2014.

PRAMUK, L. A, RUNKLE, E. S. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Virgínia, v. 130, n. 6, p. 813-818, nov. 2005.

ROPELEWSKI, C. F.; JONES, P. D. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. **Notes and Correspondence**, v. 115, p. 2161-2165, set. 1987.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, p. 209-216, 2010.

SCHWAB, N. T. et al. Aplicabilidade do termo antocrono para representar a velocidade de abertura de flores em inflorescência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 9, p. 657-664, set. 2014.

SCHWAB, N. T. et al. A phenological scale for the development of Gladiolus. **Annals of Applied Biology**, United Kingdom, v. 166, n. 3, p. 496-507, mai. 2015a.

SCHWAB, N. T. et al. Parâmetros quantitativos de hastes florais de gladiolo conforme a data de plantio em ambiente subtropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p. 902-911, out. 2015b.

SHILLO, R.; HALEVY, A. H. The effect of various environmental factors on flowering of gladiolus. I. Light intensity, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 131-137, dez. 1976.

SILVA, L. R.; OLIVEIRA, M. D. M.; SILVA, S. M. Manejo pós-colheita de hastes florais de gladiolos (*Gladiolus grandiflorus* L.). **Acta Agronômica**, Palmira, v. 57, n. 2, p. 129-135, jun. 2008.

SNIPEN, L. G.; MOE, R.; SORENG, J. Influence of potential growth factors in predicting time to flowering in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). **Scientia Horticulturae**, v. 81, p. 345-359, 1999.

SOLER, C. M. T. et al. Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modelling approach. **Journal of Agricultural Science**, v. 146, p. 445-449, 2008.

STEINMETZ, S. et al. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis consequências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM. (Trabalho completo).

STRECK, N. A. et al. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 693-702, 2006.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1351-1359, 2006a.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 424-433, mar./abr. 2006b.

STRECK, N. A. et al. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1452-1455, ago. 2008.

STRECK, N. A. et al. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 781-790, 2011.

STRECK, N. A. et al. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em gladiolo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1968-1974, nov. 2012.

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

STRECK, N. A.; TIRONI, L. F.; BENEDETTI, R. P.; CHARÃO, A. S.; ROBERTI, D. R.; FERAZ, S. E. T.; GUBIANI, P. I.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. de. O. de.; JUNIOR, W. C. de. O.; ANTONELLO, G. L.; SANTOS, A. T. L.; CHIELLE, Z. G. Simanihot: um modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de mandioca. In: 13º Reunião Técnica Estadual da mandioca e 5º Reunião Técnica Estadual da batata-doce, 2015. **Anais...** Cerro Largo-RS: Emater-RS, 2015. 55p

TAO, F. et al. Climate change and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 138, p. 82-92, 2006.

TOMBOLATO, A. F. C. **Cultivo comercial de plantas ornamentais**. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2004. 211 p.

TOMBOLATO, A. F. C. et al. Melhoramento genético do gladiolo no IAC: novas cultivares “IAC Carmim” e “IAC Paranapanema”. **Científica**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 142-147, 2005.

TOMBOLATO, A. F. C. et al. Bulbosas ornamentais no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 127-138, 2010.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, dez. 1997.

TRINKLEIN, D. G6620 Summer Flowering Bulbs: Gladiolus. **Horticultural MU Guide: University of Missouri**. 2005. 4 p. Disponível em: <<http://extension.missouri.edu/p/g6620>>. Acesso em: 16 jan. de 2017.

UHLMANN, L. O. et al. PhenoGlad: A model for simulating development in Gladiolus. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 33-49, 2017.

VAID, T. M.; RUNKLE, E. S.; FRANTZ, J. M. Mean daily temperature regulates plant quality attributes of annual ornamental plants. **HortScience**, v. 49, n. 5, p. 574-580, 2014.

VON STORCH, H. et al. Reconstructing past climate from noisy data. **Science**, Washington, v. 306, p. 679-682, out. 2004.

WALTER, L. C. et al. Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 915-924, dez. 2014.

WANG, X. et al. Management outweighs climate change on affecting length of ricegrowing period for early rice and single rice in China during 1991–2012. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 233, p. 1-11, 2017.

WANG, C. et al. Adaptation of potato production to climate change by optimizing sowing date in the Loess Plateau of central Gansu, China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 398-409, 2015a.

WANG, B. et al. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 209-210, p. 11-21, 2015b.

WEISS, A.; HAYS, C. J.; WON, J. Assessing winter wheat response to climate change scenarios: a simulation study in the U.S. Great Plains. **Climatic Change**, v. 58, p. 119-147, 2003.

WOLI, P. et al. The ENSO effect on peanut yield as influenced by planting date and soil type. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 1-8, 2013.

ZHANG, Z. et al. ENSO-climate fluctuation-crop yield early warning system-A case study in Jilin and Liaoning Province in Northeast China. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 87-88, p. 10-18, 2015.