

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Programa de Pós-Graduação em**  
**Sistemas de Produção Agrícola Familiar**



**Dissertação**

**Caracterização da aptidão climática da região da  
Campanha do Rio Grande do Sul para a viticultura**

**Gabriel Franke Brixner**

Pelotas, 2013

**GABRIEL FRANKE BRIXNER**  
Engenheiro Agrônomo

**Caracterização da aptidão climática da região da Campanha do  
Rio Grande do Sul para a viticultura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Edgar Ricardo Schöffel

Pelotas, 2013

**Dados de catalogação na fonte:**  
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

B862c Brixner, Gabriel Franke

Caracterização da aptidão climática dos municípios da Campanha do Rio Grande do Sul para a viticultura / Gabriel Franke Brixner; orientador Edgar Ricardo Schöffel - Pelotas, 2013. -97f.; il..- Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

1.Sistema de Classificação Climática 2.Multicritério  
3.Geovitícola 4.Graus-dia 5.Fenologia 6.Temperaturas  
baixas 7.Precipitação I.Schöffel, Edgar Ricardo  
(orientador) II. Título.

CDD 663.2

**Banca examinadora:**

**Edgar Ricardo SCHÖFFEL** (Presidente)

Dr. Eng. Agr., Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, Brasil

**Jorge TONIETTO**

Dr. Eng. Agr., Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves/RS, Brasil

**Carlos Roberto MARTINS**

Dr. Eng. Agr., Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracajú/SE, Brasil

**Isabel LAGO**

Dr<sup>a</sup>. Eng<sup>a</sup>. Agr<sup>a</sup>. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, Brasil

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar (PPGSPAF) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária Gaúcha (FEPAGRO) pela disponibilidade dos dados meteorológicos, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel pela dedicação e empenho.

À minha família, pelo incentivo, carinho e amizade em que sempre pude contar nestas minhas caminhadas. Da mesma forma transmito a Gina e ao Ricardo.

À minha namorada, Danielle, pelo carinho, atenção e companheirismo em que vivemos e crescemos juntos aqui em Pelotas.

Ao pessoal do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado, onde passei mais de 2 anos na presença de amigos e incentivadores.

A turma da Agrometeorologia da UFPel, pelas parcerias formadas e trocas de conhecimento.

Aos amigos que ao longo destes anos incentivaram a realização do mestrado e tornaram o passar dos dias mais descontraídos.

Bem como, aos membros da banca examinadora, pela presença e contribuição para qualificação dos trabalhos apresentados.

Fica aqui o meu registro de agradecimento a estas pessoas, bem como, as demais que contribuíram e incentivaram, direta ou indiretamente, para a conclusão de mais uma etapa.

## Resumo

BRIXNER, Gabriel Franke. **Caracterização da aptidão climática da região da Campanha do Rio Grande do Sul para a viticultura**. 2013. 103f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A caracterização climática de regiões produtoras com potencial para a vitivinicultura torna-se uma demanda da viticultura moderna. Dentre as novas fronteiras da viticultura destaca-se a região da Campanha localizada no Rio Grande do Sul, impulsionada por apresentar condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de videiras viníferas. Trata-se de uma cultura nova que carece de estudos sobre a interferência das condições climáticas no desenvolvimento das plantas na região. A dissertação objetiva caracterizar a aptidão climática da região da Campanha do Rio Grande do Sul para a viticultura. O trabalho foi dividido em três capítulos, sendo o primeiro um estudo sobre a estimativa da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no Índice de Seca (IS) para os municípios da Campanha, objetivando identificar métodos alternativos ao método padrão (Penman-Monteith) empregado no IS. No segundo capítulo, foi realizada a caracterização climática da região por meio do Sistema CCM Geovitícola, visando identificar a disponibilidade térmica e hídrica dos municípios da região. No terceiro capítulo, foi realizado um estudo do risco de geada e duração dos subperíodos fenológicos da ‘Cabernet Sauvignon’ na região da Campanha. Nestes três capítulos, foram utilizados dados meteorológicos diários, do período de 1961 a 2010, para Alegrete, Bagé, Quaraí, São Gabriel, Santana do Livramento e Uruguaiana, conforme disponibilidade dos municípios. Constatou-se que os métodos Thornthwaite, Camargo, Makkink, Blaney-Criddle apresentam desempenho ótimo, na estimativa da evapotranspiração em relação ao padrão, quando empregado ao IS. Foi utilizado o método de Thornthwaite para estimativa da evapotranspiração em toda Campanha, possibilitando analisar um período maior do IS na região, sendo este da classe do tipo úmido, apresentando disponibilidade hídrica para o cultivo. O índice de frio noturno é da classe de noites temperadas, porém observa-se variações entre os municípios, meses e anos analisados. Quanto ao índice heliotérmico, Uruguaiana é do tipo muito quente e os demais municípios do tipo quente, apresentando elevada disponibilidade térmica, aliada a condições climáticas que propiciam a maturação das uvas com condições satisfatórias para vinificação. Quanto ao risco de geada, Uruguaiana e São Gabriel no início de setembro apresentam baixo risco de formação de geada ao nível de 5%, enquanto que nos demais a última data ocorre no início de outubro, caracterizando-se como geadas primaveris. É também possível constatar que a ‘Cabernet Sauvignon’ apresentou variações no número total de dias em relação às épocas de brotação, bem como, entre os municípios da Campanha.

**Palavras-chave:** Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola. Graus-dia. Fenologia. Temperaturas baixas. Precipitação.

## Abstract

BRIXNER, Gabriel Franke. **Characterization of the climatic aptitude of region of the Campanha region of Rio Grande do Sul for the viticulture.** 2013. 103sh. Thesis (MA) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The climatic characterization of the producing regions with potential for vitiviniculture becomes a demand of modern viticulture. Among the new frontiers of modern viticulture it is highlighted the Campanha region located in Rio Grande do Sul, being driven for presenting soil and climatic conditions favorable for growing grapes vines. This new culture lacks studies of interference of climatic conditions in the development of the plants in the region. The dissertation aims to characterize the suitability of the climate of the region Campaign of Rio Grande do Sul for viticulture. The work was divided into three chapters, the first being a study on the estimation of the evapotranspiration by different methods and its application in the Dryness Index (DI) for the municipalities of Campanha, aiming to identify alternatives methods to the standard one (Penman-Monteith) used in the DI. In the second chapter, it was performed the climatic characterization of the region through the Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification System, aiming to identify the thermal and hydric availability of the municipalities of the region under study. In the third chapter, it was held a study of the risk of frost and the duration of phenological subperiods of Cabernet Sauvignon in the Campanha region. In these chapters, we used daily meteorological data, the period from 1961 to 2010, for Alegrete, Bagé, Quaraí, São Gabriel, Santana do Livramento and Uruguaiana as availability of municipalities. It was found that the Thornthwaite, Camargo, Makkink and Blaney-Criddle methods present optimal performance in estimation of the evapotranspiration compared to standard when the using it with DI. It was used the Thornthwaite method for the estimation of the evapotranspiration throughout the Campanha, allowing to analyze a longer period of DI in the region, being this class of the wet type, having hydric availability for cultivation. The index of night cold is of the class of temperate nights in Campanha, however there are variations among municipalities, months and years analyzed. Regarding the heliothermal index, Uruguaiana is of the very hot kind and the other municipalities are of the hot kind, having high thermal availability, combined with climatic conditions that favor the ripening of the grapes with satisfactory condition for winemaking. Regarding the risk of frost, Uruguaiana and São Gabriel in early September have low risk of frost formation at 5% level, while in the other municipalities the last date occurs in early October, characterized as spring frosts. It is also possible to see that Cabernet Sauvignon showed variations in the total number of days in relation to sprouting periods, as well as between municipalities Campaign.

**Keywords:** Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification System. Degree-day. Phenology. Low temperatures. Precipitation.

## Lista de Figuras

### MATERIAL E MÉTODOS

|                 |                                                                        |    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> | Municípios que compõem a Campanha do estado do Rio Grande do Sul ..... | 30 |
| <b>Figura 2</b> | Região da Campanha com suas duas respectivas subdivisões .....         | 31 |

### CAPÍTULO 1

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> | Disponibilidade de dados de precipitação (P), temperatura máxima ( $T_{mx}$ ), temperatura mínima ( $T_{mn}$ ), temperatura média ( $T_{md}$ ), umidade relativa (UR), pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ), velocidade média do vento ( $U_d$ ), insolação (n), temperatura de bulbo úmido ( $T_u$ ), e radiação solar global ( $R_s$ ), municípios da região da Campanha - RS, para o período de 1960 a 2010 .....                                                                                                                                                                                                        | 46 |
| <b>Figura 2</b> | Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ mm $m^{-1}$ ), na escala mensal, estimado pelo método de Penman-Monteith ( $ET_o_{PM}$ ) em relação aos métodos de Radiação Solar ( $ET_o_{RS}$ ) (A), Linacre ( $ET_o_{LI}$ ) (B), Jensen-Haise ( $ET_o_{JH}$ ) (C), Makkink ( $ET_o_{MK}$ ) (D), Camargo ( $ET_o_{CA}$ ) (E), Thornthwaite ( $ET_o_{TH}$ ) (F), Blaney-Criddle ( $ET_o_{BC}$ ) (G) e Hargreaves-Samani ( $ET_o_{HS}$ ) (H) para o período de outubro a março nos anos de 1961 a 2010, na região da Campanha do Rio Grande do Sul. Índice de determinação ( $R^2$ ), de exatidão (d) e de desempenho (c) ..... | 53 |
| <b>Figura 3</b> | Relação entre o Índice de Seca (mm $m^{-1}$ ) calculado com base no método de Penman-Monteith ( $IS_{PM}$ ) com os métodos de Radiação Solar ( $IS_{RS}$ ) (A), Linacre ( $IS_{LI}$ ) (B), Jensen-Haise ( $IS_{JH}$ ) (C), Makkink ( $IS_{MK}$ ) (D), Camargo ( $IS_{CA}$ ) (E), Thornthwaite ( $IS_{TH}$ ) (F), Blaney-Criddle ( $IS_{BC}$ ) (G) e Hargreaves-Samani ( $IS_{HS}$ ) (H) para o mês de março dos anos de 1961 a 2010, para a região da Campanha do Rio Grande do Sul. Índice de determinação ( $R^2$ ), de exatidão (d) e de desempenho (c) .....                                                         | 54 |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 4</b> | Erro padrão da estimativa (EPE, mm m <sup>-1</sup> ) para o Índice de Seca, com base no período de outubro a março (IS out-mar) e para o mês de março (IS mar), para os métodos Radiação Solar (EPE_RS), Linacre (EPE_LI), Jensen-Haise (EPE_JH), Makkink (EPE_MK), Camargo (EPE_CA), Thornthwaite (EPE_TH), Blaney-Criddle (EPE_BC), Hargreaves-Samani (EPE_HS) em comparação Penman-Monteith (EPE_PM), a região da Campanha, nos anos de 1961 a 2010 ..... | 56 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **CAPÍTULO 2**

|                 |                                                                                                                                 |    |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> | Índice de Seca obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul.              | 70 |
| <b>Figura 2</b> | Índice de Heliotérmico obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul ..... | 73 |
| <b>Figura 3</b> | Índice do Frio Noturno obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul ..... | 75 |

## **CAPÍTULO 3**

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> | Risco diário de formação de geada, de 1º de abril a 12 de novembro, para seis municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1961 a 2010 .....                                                                                                                                                                | 82 |
| <b>Figura 2</b> | Duração em dias do início da brotação até o fim da brotação (a.), início da floração (b.), fim da floração (c.), início da maturação (d.) e fim da maturação (e.), da videira 'Cabernet Sauvignon', com diferentes épocas de brotações, para municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1961 a 2010 ..... | 89 |

## Lista de Tabelas

### MATERIAL E MÉTODOS

|                 |                                                                                                                                                                  |    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> | Relações dos postos meteorológicos localizados na Campanha do Rio Grande do Sul, com suas respectivas longitudes, latitudes, altitude e período disponível ..... | 32 |
| <b>Tabela 2</b> | Valores do fator de ajuste (F) em função da temperatura média do período .....                                                                                   | 36 |

### CAPÍTULO 1

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> | Média da evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> , mm d <sup>-1</sup> ), erro padrão estimativa (EPE, mm d <sup>-1</sup> ), coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ), de precisão (r), de exatidão (d) e de desempenho (c) da comparação e classificação entre o método padrão com os demais métodos de estimativa da evapotranspiração, para a região da Campanha do Rio Grande do Sul, para os meses de outubro a março, com base no período de 1961 a 2010 .....                                                                                                                                                                                                      | 50 |
| <b>Tabela 2</b> | Média mensal e somatório da evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> , mm), para o período de outubro a março, classificação (cl) e do valor do Índice de Seca (IS, mm), para o mês de março, determinado com base na estimativa da evapotranspiração pelo método da Radiação Solar (ET <sub>o_RS</sub> ), Linacre (ET <sub>o_LI</sub> ), Jensen-Haise (ET <sub>o_JH</sub> ), Makkink (ET <sub>o_MK</sub> ), Camargo (ET <sub>o_CA</sub> ), Thornthwaite (ET <sub>o_TH</sub> ), Blaney-Criddle (ET <sub>o_BC</sub> ), Hargreaves-Samani (ET <sub>o_HS</sub> ) e Penman-Monteith (ET <sub>o_PM</sub> ), para municípios localizados na Campanha - RS, nos anos de 1961 a 2010 .. | 58 |

## CAPÍTULO 2

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> | Índices climáticos determinados, com suas respectivas classes, simbologia e intervalo de valores das classes. Adaptado de Tonietto e Carbonneau (2004) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 64 |
| <b>Tabela 2</b> | Média das temperaturas máximas ( $T_{mx}$ , °C), mínimas ( $T_{mn}$ , °C) e médias ( $T_{md}$ , °C), da precipitação (P, mm), da transpiração potencial do vinhedo ( $T_v$ , mm), da evaporação direta a partir do solo (Es, mm), e os Índices Heliotérmico (IH), de Frio Noturno (IF, °C) e de Seca (IS, mm) com suas respectivas classificações, para os meses de outubro a março, para os municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul ..... | 65 |
| <b>Tabela 3</b> | Índice de Seca (IS), com restrição de 200 mm ( $IS < 200$ ) e sem restrição ( $IS > 200$ ), com porcentagem (%) e número de ocorrência, distribuídos conforme classificação do índice e respectivo valor obtido no mês de março ( $IS_{mar}$ ), com base na série e 1961 – 2010 .....                                                                                                                                                                      | 72 |

## CAPÍTULO 3

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> | Número médio de dias e desvio padrão da duração dos subperíodos fenológicos e data simulada de ocorrência dos principais estádios, para a videira 'Cabernet Sauvignon', no período de agosto a início de outubro, na região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil ..... | 85 |
| <b>Tabela 2</b> | Temperaturas médias decendiais, para os meses de crescimento vegetativo em seis municípios da Campanha - RS, com base no período de 1961 a 2010 .....                                                                                                                      | 86 |

## **Lista de Siglas**

|         |   |                                                                    |
|---------|---|--------------------------------------------------------------------|
| UFPel   | - | Universidade Federal de Pelotas                                    |
| PPGSPAF | - | Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar |
| CAPES   | - | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior        |
| INMET   | - | Instituto Nacional de Meteorologia                                 |
| FEPAGRO | - | Fundação Estadual de Pesquisa Gaúcha                               |
| MAPA    | - | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento                |
| SEAPA   | - | Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio                  |
| IBGE    | - | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                    |
| CCM     | - | Classificação Climática Multicritério                              |
| RS      | - | Rio Grande do Sul                                                  |

## Lista de Símbolos

|            |                                                                        |
|------------|------------------------------------------------------------------------|
| $\phi$     | - Latitude Local                                                       |
| $\delta$   | - Ângulo de Declinação Solar                                           |
| $\delta$   | - Declinação da Curva de Pressão de Vapor                              |
| $r$        | - Coeficiente de Reflexão                                              |
| $\sigma$   | - Constante de Stefan-Boltzmann                                        |
| %          | - Porcentagem                                                          |
| $d_r$      | - Distância Relativa Terra-Sol                                         |
| $e_a$      | - Pressão Atual de Vapor                                               |
| $e_s$      | - Pressão de Vapor de Saturação                                        |
| $h_n$      | - Ângulo Horário ao Nascer do Sol                                      |
| $Q_o$      | - Radiação Solar Extraterrestre                                        |
| $Q'_o$     | - Radiação Solar Extraterrestre Expressa em Equivalente de Evaporação  |
| $R_n$      | - Saldo de Radiação                                                    |
| $R_{nb}$   | - Saldo de Radiação de Onda Longas                                     |
| $R_{ns}$   | - Saldo de Radiação de Onda Curtas                                     |
| $R_s$      | - Radiação Solar Global                                                |
| $R'_s$     | - Radiação Solar Global Expressa em Equivalente de Evaporação          |
| $U_{10}$   | - Velocidade Diária do Vento no Período Diurno Medida a 10 m de Altura |
| $\gamma^*$ | - Coeficientes Psicométricos                                           |
| °C         | - Grau Celsius                                                         |
| BO         | - Bom                                                                  |
| C          | - Índice de Desempenho                                                 |
| D          | - Índice Exatidão                                                      |
| d          | - Dia                                                                  |
| EPE        | - Erro Padrão da Estimativa                                            |
| EPE_BC     | - Erro Padrão da Estimativa de Blaney-Criddle                          |

|        |                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------|
| EPE_CA | - Erro Padrão da Estimativa de Camargo                |
| EPE_HS | - Erro Padrão da Estimativa de Hargreves-Samani       |
| EPE_JH | - Erro Padrão da Estimativa de Jensen-Haise           |
| EPE_LI | - Erro Padrão da Estimativa de Linacre                |
| EPE_MK | - Erro Padrão da Estimativa de Makkink                |
| EPE_PM | - Erro Padrão da Estimativa de Penman-Monteith        |
| EPE_RS | - Erro Padrão da Estimativa da Radiação Solar         |
| EPE_TH | - Erro Padrão da Estimativa de Thornthwaite           |
| Es     | - Evaporação Direta a Partir do Solo                  |
| ETo    | - Evapotranspiração de Referência                     |
| ETo_BC | - Evapotranspiração de Referência de Blaney-Criddle   |
| ETo_CA | - Evapotranspiração de Referência de Camargo          |
| ETo_HS | - Evapotranspiração de Referência de Hargreves-Samani |
| ETo_JH | - Evapotranspiração de Referência de Jensen-Haise     |
| ETo_LI | - Evapotranspiração de Referência de Linacre          |
| ETo_MK | - Evapotranspiração de Referência de Makkink          |
| ETo_PM | - Evapotranspiração de Referência de Penman-Monteith  |
| ETo_RS | - Evapotranspiração de Referência da Radiação Solar   |
| ETo_TH | - Evapotranspiração de Referência de Thornthwaite     |
| ETpa   | - Evapotranspiração Mensal Padrão                     |
| F      | - Fator de Ajuste do Método de Camargo                |
| FB-IF  | - Fim da Brotação ao Início da Floração               |
| FF-IM  | - Fim da Floração ao Início da Maturação              |
| G      | - Fluxo de Calor no Solo                              |
| GD     | - Gruas-Dia                                           |
| IB-CO  | - Início da Brotação à Colheita                       |
| IB-FB  | - Início da Brotação ao Fim da Brotação               |
| IB-FB  | - Início da Brotação ao Fim da Brotação               |
| IB-FF  | - Início da Brotação ao Fim da Floração               |
| IB-FM  | - Início da Brotação ao Fim da Maturação              |
| IB-IF  | - Início da Brotação ao Início da Floração            |
| IB-IM  | - Início da Brotação ao Início da Maturação           |

|       |                                                        |
|-------|--------------------------------------------------------|
| IF    | - Índice de Frio Noturno                               |
| IF+1  | - De noites frias                                      |
| IF+2  | - De noites muito frias                                |
| IF-1  | - De noites temperadas                                 |
| IF-2a | - De noites quentes a                                  |
| IF-2b | - De noites quentes b                                  |
| IF-FF | - Início da Floração ao Fim da Floração                |
| IH    | - Índice Heliotérmico                                  |
| IH+1  | - Temperado quente                                     |
| IH+2a | - Quente a                                             |
| IH+2b | - Quente b                                             |
| IH+3  | - Muito quente                                         |
| IH-1  | - Temperado                                            |
| IH-2  | - Frio                                                 |
| IH-3  | - Muito frio                                           |
| IM-FM | - Início da Maturação ao Fim da Maturação              |
| IS    | - Índice de Seca                                       |
| IS_BC | - Índice de Seca de Blaney-Criddle                     |
| IS_CA | - Índice de Seca de Camargo                            |
| IS_HS | - Índice de Seca de Hargreaves-Samani                  |
| IS_JH | - Índice de Seca de Jensen-Haise                       |
| IS_LI | - Índice de Seca de Linacre                            |
| IS_MK | - Índice de Seca de Makkink                            |
| IS_PM | - Índice de Seca de Penman-Monteith                    |
| IS_RS | - Índice de Seca da Radiação Solar                     |
| IS_TH | - Índice de Seca de Thornthwaite                       |
| IS+1  | - De seca moderada                                     |
| IS+2  | - De seca forte                                        |
| IS-1  | - Subúmido                                             |
| IS-2a | - Úmido a                                              |
| IS-2b | - Úmido b                                              |
| JPm   | - Número de Dias por Mês de Evaporação Efetiva do Solo |

|                  |   |                                                    |
|------------------|---|----------------------------------------------------|
| k                | - | Coeficiente de Absorção de Radiação Pelas Videiras |
| m <sup>2</sup>   | - | Metro                                              |
| MA               | - | Mau                                                |
| MB               | - | Muito Bom                                          |
| MD               | - | Mediano                                            |
| MJ               | - | Megajoules                                         |
| mm               | - | Milímetros                                         |
| n                | - | Insolação                                          |
| N                | - | Fotoperíodo                                        |
| n/N              | - | Razão da Insolação                                 |
| N°               | - | Número                                             |
| ND               | - | Número de Dias do Período                          |
| NDA              | - | Número do Dia do Ano                               |
| OT               | - | Ótimo                                              |
| P                | - | Precipitação                                       |
| P <sub>atm</sub> | - | Pressão Atmosférica                                |
| PS               | - | Péssimo                                            |
| r                | - | Índice de Correlação                               |
| R <sup>2</sup>   | - | Índice de Determinação                             |
| SF               | - | Sofrível                                           |
| T <sub>b</sub>   | - | Temperatura Base                                   |
| T <sub>md</sub>  | - | Temperatura Média                                  |
| T <sub>mn</sub>  | - | Temperatura Mínima                                 |
| T <sub>mx</sub>  | - | Temperatura Máxima                                 |
| T <sub>3md</sub> | - | Temperatura Média dos Últimos Três Dias            |
| T <sub>kmn</sub> | - | Temperaturas Mínima em Kelvin                      |
| T <sub>kmx</sub> | - | Temperaturas Máxima em Kelvin                      |
| T <sub>o</sub>   | - | Temperatura Média do Ponto de Orvalho              |
| T <sub>u</sub>   | - | Temperatura de Bulbo Úmido                         |
| T <sub>v</sub>   | - | Transpiração Potencial do Vinhedo                  |
| U <sub>d</sub>   | - | Velocidade Média do Vento                          |
| UR               | - | Umidade Relativa                                   |

|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| $U_d$     | - Velocidade Média do Vento           |
| $UR$      | - Umidade Relativa                    |
| $W_o$     | - Reserva Hídrica Inicial             |
| $z$       | - Elevação ao Nível do Mar (altitude) |
| $\gamma$  | - Coeficientes Psicométricos          |
| $\lambda$ | - Calor Latente de Evaporação         |
| $W$       | - Fator de Ponderação                 |

## Sumário

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                    | 20 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                                                         | 22 |
| 2.1. Viticultura no Brasil .....                                                                                                                       | 22 |
| 2.2. Viticultura na Campanha do Rio Grande do Sul .....                                                                                                | 23 |
| 2.3. A Cultura da Videira e o Clima .....                                                                                                              | 24 |
| 2.4. Agricultura Familiar .....                                                                                                                        | 27 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                            | 30 |
| 3.1. Caracterização da Área de Estudo .....                                                                                                            | 30 |
| 3.2. Período e Dados Meteorológicos .....                                                                                                              | 32 |
| 3.2.1. Estimativa de Dados .....                                                                                                                       | 33 |
| 3.2.1.1. Radiação Solar Extraterrestre .....                                                                                                           | 33 |
| 3.2.1.2. Radiação Solar Global .....                                                                                                                   | 33 |
| 3.2.1.3. Pressão Atmosférica .....                                                                                                                     | 34 |
| 3.3. Métodos de Estimativa da Evapotranspiração e Índices Bioclimáticos .                                                                              | 35 |
| 3.3.1. Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência .....                                                                                  | 35 |
| 3.3.1.1. Método de Thornthwaite .....                                                                                                                  | 35 |
| 3.3.1.2. Método de Camargo .....                                                                                                                       | 36 |
| 3.3.1.3. Método de Makkink .....                                                                                                                       | 37 |
| 3.3.1.4. Método da Radiação Solar .....                                                                                                                | 37 |
| 3.3.1.5. Método de Jensen-Haise .....                                                                                                                  | 39 |
| 3.3.1.6. Método de Linacre .....                                                                                                                       | 39 |
| 3.3.1.7. Método de Hargreaves-Samani .....                                                                                                             | 40 |
| 3.3.1.8. Método de Blaney-Criddle .....                                                                                                                | 40 |
| 3.3.1.9. Método de Penman-Monteith .....                                                                                                               | 41 |
| 3.3.2. Índices Bioclimáticos .....                                                                                                                     | 42 |
| CAPÍTULO 1. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR DIFERENTES<br>MÉTODOS E SUA APLICAÇÃO NO ÍNDICE DE SECA PARA A<br>VITICULTURA DA CAMPANHA GAÚCHA ..... | 43 |
| Introdução .....                                                                                                                                       | 43 |
| Materiais e Métodos .....                                                                                                                              | 45 |
| Resultados e Discussões .....                                                                                                                          | 50 |
| Conclusões .....                                                                                                                                       | 59 |

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DA APTIDÃO CLIMÁTICA PARA CULTIVO DE <i>Vitis vinifera</i> NOS MUNICÍPIOS DA CAMPANHA DO RIO GRANDE DO SUL .....                                        | 60 |
| Introdução .....                                                                                                                                                                   | 60 |
| Materiais e Métodos .....                                                                                                                                                          | 62 |
| Resultados e Discussões .....                                                                                                                                                      | 64 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                   | 76 |
| <br>CAPÍTULO 3. RISCO DE GEADA E DURAÇÃO DOS SUBPERÍODOS FENOLÓGICOS DA ‘CABERNET SAUVIGNON’, ESTIMADOS COM BASE NA DISPONIBILIDADE TÉRMICA DA REGIÃO DA CAMPANHA/RS, BRASIL ..... | 77 |
| Introdução .....                                                                                                                                                                   | 77 |
| Materiais e Métodos .....                                                                                                                                                          | 79 |
| Resultados e Discussões .....                                                                                                                                                      | 81 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                   | 90 |
| <br>DISCUSSÃO GERAL .....                                                                                                                                                          | 92 |
| <br>CONCLUSÕES GERAIS .....                                                                                                                                                        | 94 |
| <br>REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                              | 95 |

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas desencadeou-se uma demanda crescente pela produção de castas nobres para produção de vinhos finos, em substituição aos vinhos comuns, devido à evolução tecnológica alcançada pelo setor da viticultura e a exigência por qualidade dos consumidores. Esta evolução abriu novas oportunidades para renovação e expansão dos vinhedos utilizando cultivares nobres, tais como: Cabernet Sauvignon, Sémillon, Sauvignon Blanc, Riesling Itálico, Chardonnay, Merlot, Cabernet Franc, Moscato Branco e Tannat (WESTPHALEN; MALUF, 2000).

No Brasil, o principal produtor de uva é o estado do Rio Grande do Sul, sendo que mais de 90% de sua produção destina-se à agroindústria, para elaboração de vinhos, sucos e derivados. Seus parreirais ocupam 50,4 mil hectares, o que corresponde a 41,58% da área total do País (IGBE, 2012). Porém, grande parte da produção de vinhos na região da Serra do Nordeste do Rio Grande do Sul está sendo desenvolvida em locais que não apresentam condições climáticas tão favoráveis ao cultivo de *Vitis vinifera*. Destaca-se o excesso de chuva e os riscos de geadas primaverais no período de brotação, além de apresentar uma baixa insolação na fase de maturação. Além disso, a topografia da região muito íngreme dificulta a mecanização destas áreas e a execução dos tratos culturais.

Assim, o setor vitícola buscou novas fronteiras onde apresentam condições climáticas mais favoráveis ao cultivo de viníferas. As condições climáticas ganham esta dimensão, pois as variáveis meteorológicas interferem em todas as fases de desenvolvimento da cultura, bem como, na inter-relação das plantas com as pragas e doenças. Desta forma, interferindo diretamente na qualidade da uva produzida e consequentemente no vinho produzido.

Por isso, a vitivinicultura encontra-se em expansão na região da Campanha gaúcha, sendo que esta região já é responsável por 13% da produção total de uvas do Rio Grande do Sul (ENGELMAN, 2009). Além das condições climáticas

favoráveis ao cultivo de viníferas destaca-se a topografia da região, que caracteriza-se por apresentar um relevo bastante plano, favorecendo as práticas de mecanização do solo. Desta forma, a vitivinicultura contribui para o fortalecimento da fruticultura nesta região, além de proporcionar uma opção de cultivo aos produtores para diversificação da matriz produtora.

Destaca-se também, que a vitivinicultura é uma atividade altamente rentável e necessita de muitos tratos culturais, que vão desde a poda até a colheita, demandando grande mão de obra. Desta forma, a vitivinicultura, torna-se uma alternativa para as pequenas propriedades familiares, pois fixa a mão de obra familiar na propriedade. Porém, a falta de conhecimento e de informações mais aprofundadas sobre o comportamento da videira nas condições edafoclimáticas da Campanha, bem como, estudos sobre a caracterização climática, são fatores que podem contribuir para a expansão desta atividade com maior intensidade.

Dentre as alternativas existentes para suprir esta demanda da região destaca-se o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola, proposto por Tonietto e Carbonneau (2004), que permite analisar as condições ecológicas das regiões produtoras das regiões vitivinícolas em escala mundial, por meio de três índices climáticos. Sabe-se também, que a análise da disponibilidade térmica da região permite caracterizar o clima da região em diferentes aspectos, por exemplo, no suprimento das exigências térmica das videiras, ou analisando o risco de formação de geada.

O estudo detalhado das condições climáticas da região da Campanha do Rio Grande do Sul, contribuirá para a expansão e a consolidação da vitivinicultura na região. Por isso, o presente trabalho tem como objetivo fazer a caracterização da aptidão climática da região da Campanha do Rio Grande do Sul para a viticultura.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Viticultura no Brasil**

A videira é cultivada em quase todas as partes do mundo, exceto em alguns locais que não oferecem um mínimo de condições climáticas (térmicas e hídricas) satisfatórias para o seu desenvolvimento (PEDRO JÚNIOR; SENTELHAS, 2003; BARDIN, 2009). No Brasil, a videira é cultivada entre o paralelo 30 °S, no estado do Rio Grande do Sul, e o paralelo 9 °S, na região Nordeste do País (PROTAS; CAMARGO; MELO, 2008). O cultivo das videiras se concentra nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, sendo que o Rio Grande do Sul é o principal produtor, seguido de São Paulo, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco e Minas Geras.

Já o setor vitivinícola, concentra-se basicamente no sul do Brasil, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável por aproximadamente 95% da produção total de vinhos no Brasil (MELLO, 2011). O estado do Rio Grande do Sul beneficiou 578.809.563 l de uvas no ano de 2011, sendo que deste montante aproximadamente 70% foi destinado à elaboração de vinhos (MELLO, 2011).

Apesar do volume produzido, Sato (2000) em um estudo visando identificar o panorama da viticultura no Brasil, identificou potencial significativo para uvas finas de mesa e vinhos, cuja produção nacional ainda é deficitária e não competitiva frente aos produtos importados. Apresentando-se como uma alternativa econômica para pequenos produtores. Para estimular a expansão do cultivo Westphalen e Maluf (2000) realizaram a caracterização bioclimática para o cultivo de videiras (*Vitis vinifera*) na região da Serra do Nordeste e Planalto do estado do Rio Grande do Sul, identificando o potencial climático para o cultivo de viníferas, sendo que esta região corresponde à principal região vitícola do Rio Grande do Sul e do Brasil.

Porém, apesar desta região ser climaticamente viável ao cultivo, Chavarria e Santos (2009) destacam que esta região apresenta uma ocorrência elevada de chuvas

durante os períodos de maturação-colheita e é muito comum a ocorrência de granizo que, frequentemente, proporciona grandes perdas na produção e na qualidade.

Devido a isto o setor vitícola tem buscado locais que apresentem condições climáticas mais favoráveis ao cultivo de *Vitis vinifera*, ao qual propiciam a maturação de uvas com qualidades desejáveis para a elaboração vinhos finos. A região da Campanha gaúcha encontra-se em expansão o setor de vitivinicultura, sendo possível constatar pelos novos parreirais ou pelas novas vinícolas nesta região.

Martins et al. (2007) destacam que nos últimos anos o cultivo da videira nesta região vem se destacando no cenário nacional e internacional em termos de área plantada, devido ao seu relevo e principalmente pelas condições edafoclimáticas que permitem a produção de uvas europeias e a elaboração de vinhos finos com tipicidade única. Além das condições climáticas favoráveis, a topografia da região se destaca como outro ponto favorável, pois facilita a execução de práticas culturais por ser essencialmente plano, diminui a probabilidade das plantas ficarem em áreas sombreadas.

Assim, as características do clima desta região tornam-se o principal fator estimulante para a expansão deste segmento, pois o clima mais seco no verão, com dias longos e com alta insolação, aliado a ambientes livres de patógenos, são vantagens comparativas e competitivas da região, permitindo a produção de uvas finas com tipicidade própria (MARTINS et al., 2007; AMARAL et al., 2009).

## **2.2. Viticultura na Campanha do Rio Grande do Sul**

A região da Campanha é compreendida por 14 municípios e é dividida em duas sub-regiões (MALUF; WESTPHALEN, 1994) sendo que a temperatura média varia de 16 a 20 °C, com uma precipitação entre 1200 a 1600 mm ano e uma umidade relativa média anual variando de 70 a 80%. Como é uma região muito extensa apresenta diversos tipos de solos desde os muito arenosos até os de alto teor de argila, destacando-se dois polos: a Campanha Meridional, com vinhedos nos municípios de Bagé e Candiota, em solos de textura franca; e a Campanha Oriental, com destaque para os municípios de Santana do Livramento, em solos arenosos, e Uruguaiana, em textura franca (GIOVANNINI, 2009).

Historiadores relatam que os primeiros parreirais foram implantados pelos Jesuítas em 1626, na Metade Sul do Rio Grande do Sul, mais precisamente nos

municípios de Rio Pardo, Pelotas, Bagé e Uruguaiiana que se tornaram o berço da viticultura mais adiantada da época (INFANTINI, 2001; MARTINS et al., 2007). Além disso, os mesmos autores destacam inclusive que os vinhos produzidos em Uruguaiiana e arredores no início do século passado receberam prêmios de qualidade destacável. O segmento voltou a se desenvolver novamente nesta região por volta de meados dos anos 1970 e início dos anos 1980, especialmente nos primeiros anos do século XXI (ENGELMANN, 2009).

Isso se deve, principalmente, a produção de uvas para fins industriais (vitivinicultura) em função das condições favoráveis do clima, que permite a colheita de uvas com qualidade desejável à vitivinicultura. Fato este que relacionado à maior insolação, e as temperaturas da região, que são importantes para a fixação dos fenóis que melhoram os índices de açúcar e diminuem a acidez da uva (EMATER, 2004; RATHMANN et al., 2008).

Atualmente a área plantada de uva nos quatorze municípios que compõe a região da Campanha é de 1.305 ha (IBGE, 2012). Tendo como cinco principais produtores os municípios de Santana do Livramento, que detém 74% desta área; seguido de Candiota, com 7,7 ha; Dom Pedrito, com 6,1 ha; Uruguaiiana, com 2,8 ha; e Bagé, com 1,9 ha. Juntos estes municípios tem aproximadamente 93% da área cultivada com videira na Campanha gaúcha.

### **2.3. A Cultura da Videira e o Clima**

No reino vegetal e animal a videira pertence à divisão *Spermatophyta*, subdivisão *Angiosperma*, classe *Dicotyledoneae*, ordem *Rhamnales*, família *Vitaceae*, gênero *Vitis*, subgêneros *Muscadinia* e *Euvitis* (MANDELLI; MIELE; TONIETTO, 2009). A família *Vitaceae* caracteriza-se por possuir 14 gêneros e cerca de 450 espécies.

O gênero *Vitis* L. tem mais de 50 espécies conhecidas, a maioria existe na forma silvestre (CHAUVET; REYNIER, 1979). As espécies mais cultivadas do gênero *Vitis* são as videiras europeias (*V. vinífera*), as americanas (*V. labrusca* e *V. bourquina*) e as híbridas, provenientes de cruzamentos entre as diferentes espécies (KUHN et al., 1996).

Segundo Motta et al. (2006) a espécie *V. labrusca* possui diversas variedades adaptadas as nossas condições do Sul do Brasil e possuem como característica: rusticidade, alta produtividade, resistência às principais doenças, prestando-se para a produção de uvas de mesa, vinhos de mesa e sucos. Em geral, os vinhos produzidos pelas uvas americanas apresentam características organolépticas bem distintas dos vinhos produzidos por uvas viníferas (CAMARGO; GUERRA, 2007).

Em todo o mundo a espécie *V. vinifera* é a mais cultivada, sendo utilizada como uva de mesa, uva passa e, principalmente, para produção de vinhos finos (CARDOSO, 2007). Até poucos anos atrás, as variedades de uvas desta espécie tinham seu cultivo limitado aos estados mais frios do País, como Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Segundo Huglin e Schneider (1998) existem três tipos de clima como os mais importantes para a viticultura mundial: de clima temperado, caracterizado por temperaturas média anual superior a 4 °C e por cinco meses com média mensal inferior a 10 °C, embora com diferentes índices pluviométricos; de clima mediterrâneo, correspondente a verões secos e estação fria chuvosa e, do ponto de vista térmico, com temperatura média em pelo menos um mês superior a 22 °C e em pelo menos oito meses superior a 10 °C; e de clima subtropical, que difere do anterior devido à ausência de aridez nas estações quentes.

A viticultura é uma atividade tradicional em nove regiões brasileiras. Como zonas de viticultura temperada destacam-se as regiões da Campanha, Serra do Sudeste e Serra Gaúcha, no estado do Rio Grande do Sul; a região do Vale do Rio do Peixe, em Santa Catarina; a região Sudeste de São Paulo e a região Sul de Minas Gerais. A região norte do Paraná é tipicamente subtropical. As regiões Norte de Minas Gerais e Vale do Submédio São Francisco caracterizam-se como zonas tropicais (PROTAS; CAMARGO; MELO, 2008).

Numa escala mundial a vitivinicultura é desenvolvida em muitos tipos de clima e solos nos diferentes continentes, o que mostra a grande capacidade de adaptação da videira às condições naturais (BRIGHENTI; TONETTO, 2004). Todas as variáveis do clima exercem influência sobre os diversos aspectos do meio ambiente, sobre as atividades humanas e, conseqüentemente, nas espécies cultivadas em determinado ambiente.

O clima tem influência direta no crescimento e desenvolvimento das videiras, dentre os principais elementos meteorológicos que interferem no desenvolvimento e

sanidade das videiras destaca-se: radiação solar, temperatura do ar, chuva, umidade relativa do ar, granizo, velocidade do vento, e molhamento foliar (orvalho). Estes fatores interferem na cultura em todas as suas fases, bem como na inter-relação dessas com as pragas e as doenças (KISHINO; CARAMORI, 2007; SENTELHAS, 1998).

Sendo apontado por Sentelhas (1998) como os grandes responsáveis pela produtividade e qualidade da cultura. Além disso (SMART et al., 1985), a qualidade da uva também está relacionada com o tipo de solo, variações no clima e algumas práticas culturais, e sanidade, interferindo diretamente na qualidade do vinho produzido.

Sabe-se que a grande parte da diversidade encontrada nos produtos vitivinícolas, quanto aos aspectos qualitativos, deve-se ao efeito do clima, como: radiação solar, precipitação pluvial e temperatura do ar, estas variáveis meteorológicas influenciam sobre a produção e qualidade das uvas, interferindo assim na qualidade do vinho e, na maioria das vezes, são determinantes pela variabilidade das safras.

A produção de vinhos finos requer, durante a maturação, verão seco com alta insolação e temperaturas favoráveis a fotossíntese das plantas (LUJÁN, 1997). Estas condições propiciam a uniformização da maturação, a diminuição da ocorrência de podridões e o favorecimento de produção de uvas com elevado teor de açúcar (SST), permitindo em alguns casos dispensar a adição de açúcar durante a elaboração do vinho, elevando assim sua qualidade (CHAUVET; REYNIER, 1979).

Tonietto (2001) destaca que o desafio das regiões vitícolas está não somente em produzir com qualidade para um consumidor cada vez mais exigente, mas em oferecer vinhos que se diferenciam e que tenham predicados qualitativos/tipicidade que estejam identificados com as regiões de produção, sejam eles originários dos fatores naturais e/ou dos fatores humanos. O mesmo autor ainda destaca que esta diferenciação das regiões, expressa nos seus produtos, é um elemento importante no estabelecimento de novos padrões de competitividade, em função disso, observa-se interesse crescente pelos estudos de zoneamento vitivinícola.

A determinação das relações entre os fatores climáticos e a videira apresenta grande importância na determinação das áreas vitícolas, por serem fatores fixos do meio não passíveis a modificação, como acontece com os fatores culturais, que podem ser corrigidos pelo manejo de práticas culturais (HIDALGO,

1980). Para isto, foi desenvolvida uma metodologia que permite definir o clima das regiões vitícolas, pois constitui-se num instrumento concreto para situar as regiões vitícolas no contexto do geoclima da viticultura mundial, denominada Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (TONIETTO, 1999; TONIETTO; CARBONNEAU, 2004).

Este sistema está baseado no emprego de três índices climáticos: Índice Heliotémico, que avalia as possibilidades fototérmicas do meio vitícola, a partir da soma de graus-dia acumulado no período ativo; Índice de Frio Noturno, que relaciona as condições nictotérmicas do clima na etapa da maturação da cultura; e Índice de Seca, informa a disponibilidade hídrica potencial do solo para as videiras no período do desenvolvimento vegetativo.

Em função de ser uma metodologia que não abrange somente índices térmicos, mas também trabalha com a disponibilidade hídrica para as plantas, vêm sendo usada, atualmente, em trabalhos de caracterização climática do meio vitivinícola. Esta metodologia tornou-se referência internacional para zoneamento vitivinícola em nível de clima, integrante da Resolução OIV-VITI 423-2012 (OIV, 2012).

Ganhando esta dimensão, os índices são importantes para a caracterização das potencialidades climáticas de uma região vitícola, estando fortemente ligados às características qualitativas potenciais da uva e dos produtos vinícolas (TONIETTO, 1999). Além disso, o mesmo autor destaca que o Sistema CCM possibilita conhecer o perfil do “clima vitícola” das diferentes regiões produtoras e, bem como situá-las no “grupo climático” correspondente.

## **2.4. Agricultura Familiar**

Diferentemente da Serra Gaúcha, que concentra a produção na pequena propriedade, a vitivinicultura instalada em Santana do Livramento é baseada na agricultura capitalista utilizando tecnologia, grandes capitais e áreas extensas de cultivo, onde é possível utilizar mecanização e métodos de cultivo com manejo diferenciado, gerando ganhos de escala (DIAS, 2007). Esta situação relatada demonstra a situação, em especial da viticultura em Santana do Livramento, mas nota-se esta tendência de uma forma geral em toda a Campanha do estado do Rio Grande do Sul.

Engelmann (2009) destaca a importância de considerar, também, tendo em vista suas implicações locais, a presença de produtores-autônomos de uvas e de vinhos que se fazem presentes na região. Situação também relatada por Amaral, Bini e Martins (2008) ao analisarem o perfil dos vitivinicultores do município de Uruguaiana, constaram que os produtores de uvas neste município correspondem a pequenos produtores, tendo as áreas plantadas variam de 0,5 a 7,5 ha e que 95% destes possuem produção paralela com lavoura de arroz ou de pecuária. Da mesma forma, Borges e Cardoso (2006), em análise da evolução da produção de uva em Santana do Livramento, constaram que dos 33 produtores de uvas da região 12 tinham até 1 ha de uva plantada.

Assim, como alternativa para enfrentar as grandes empresas verifica-se a tendência dos pequenos viticultores da Campanha de se reunir em associações, principalmente devido à dificuldade de comercialização de seus produtos, uma vez que, aos poucos, a produção que era comprada pela Serra Gaúcha deixou de ser efetivado (ENGELMANN, 2009).

A viticultura na Campanha torna-se para as propriedades familiares uma ótima alternativa de diversificação da produção, além de ser uma atividade lucrativa. A uva destinada à produção de vinho, apesar da produtividade menor, representa uma opção mais rentável ao produtor quando comparada à uva para produção de suco, principalmente em função dos maiores preços de mercado das uvas destinadas à vitivinicultura (NESVES; ZAVARINE, 2005).

Além destes aspectos, a cultura da videira é uma espécie que necessita durante todo do ciclo vegetativo de tratos culturais, desde a poda até a colheita. Estes tratos não podem ser realizados por meios mecânicos, gerando assim uma grande demanda por mão de obra, principalmente na fase de colheita da cultura, fixando a mão de obra familiar na propriedade.

É importante destacar, que a atividade da viticultura necessita de mais mão de obra do que comparada com as atividade já desenvolvidas na região, como: pecuária e arroz. Borges e Cardoso (2006) destacam que na viticultura desenvolvida em Santana do Livramento demanda, em média 1 trabalhador para cada 7 ha, enquanto que na pecuária é de 1 para cada 250 ha, sendo que na época de poda e colheita estes números podem dobrar.

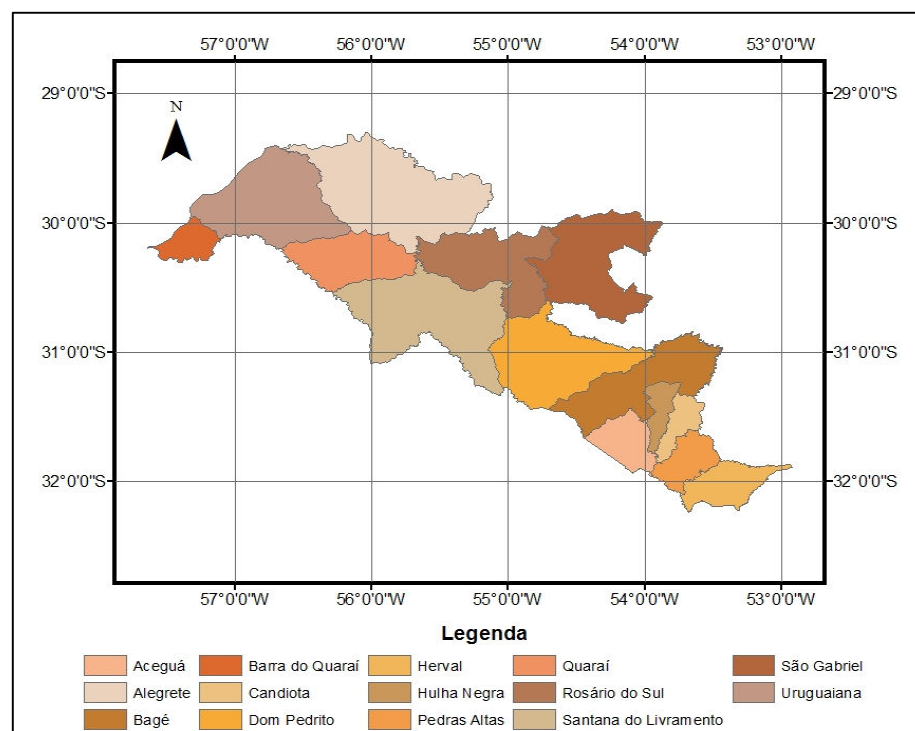
Nota-se também que um estudo detalhado das condições climáticas para o cultivo de videiras na Campanha irá gerar informações que poderão ser utilizadas

num futuro trabalho de indicação geográfica dos vinhos produzidos na Campanha. Segundo Tonietto (2001) as indicações geográficas constituem um sistema capaz de agregar valor e gerar riqueza, numa opção concreta para uma nova etapa de desenvolvimento e para uma nova geração de produtos de qualidade no Brasil, podendo beneficiar igualmente produtos da agricultura familiar. Além disso, Froehlich et al. (2010) destacam que a produção da agricultura familiar avança em direção a produtos e serviços de qualidade diferenciada e passível de reconhecimento em múltiplas esferas de consumo.

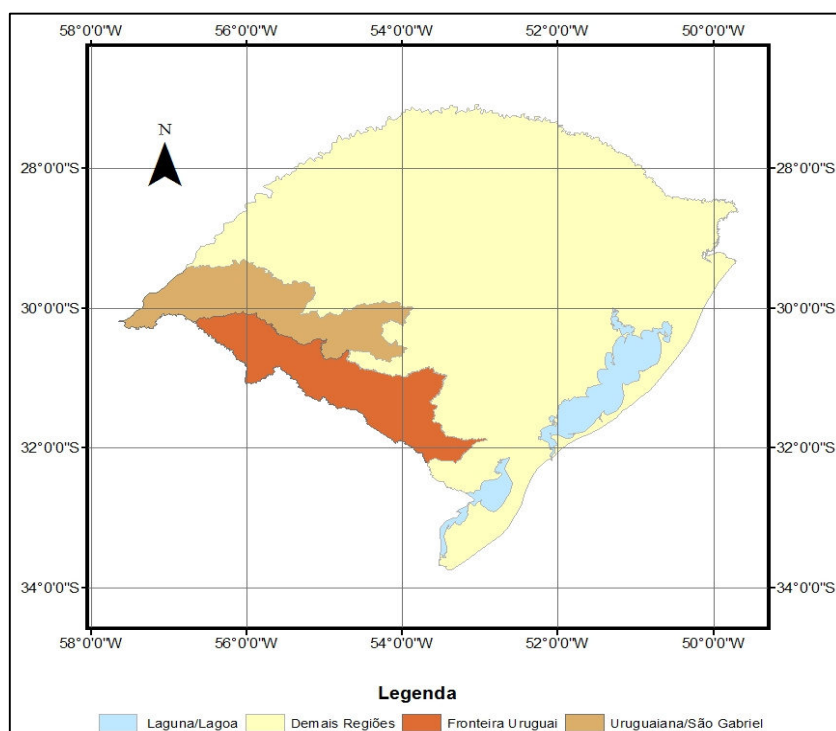
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da Área de Estudo

Os trabalhos aqui relatados tiveram como abrangência os municípios da Campanha do Rio Grande do Sul, conforme descrito no macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul (MALUF; WESTPHALEN, 1994), que é compreendida por 14 municípios (Fig. 1) e é dividida em duas sub-regiões (Fig. 2): Fronteira Uruguai (Aceguá, Pedras Altas, Bagé, Candiota, Dom Pedrito, Herval, Hulha Negra, Quaraí e Santana do Livramento) e Uruguiana/São Gabriel (Alegrete, Rosário do Sul, São Gabriel, Uruguiana e Barra do Quaraí). Esta região está localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 30 a 32°, e variando a altitude de 50 a 330 m, sendo que alguns municípios fazem divisa com Argentina e Uruguai.



**Figura 1.** Municípios que compõem a Campanha do estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Maluf e Westphalen (1994). Adaptado pelo autor.



**Figura 2.** Região da Campanha com suas duas respectivas sub-divisões.  
 Fonte: Maluf e Westphalen (1994). Adaptado pelo autor.

No macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul, as regiões agroecológicas foram estabelecidas com a finalidade de reunir municípios que apresentavam as características climáticas (especialmente em relação ao regime térmico-pluviométrico), geomorfológicas, de capacidade de uso dos solos, uso atual, ao nível de macroclima, mais homogêneas possíveis, já que foram obedecidos os limites municipais (MALUF; WESTPHALEN, 1994). Além disso, visou atender peculiaridades mesoclimáticas, dentro dos mesmo critérios, tendo o cuidado no estabelecimento (traçado) das regiões e sub-regiões, que as mesmas representassem os efeitos dos fatores climático sobre o agroclima regional, tais como: a altitude, latitude, continentalidade, efeito termorregulador do oceano e lagoas, orografia e tipos de vegetação natural (MALUF; WESTPHALEN, 1994).

O relevo desta região é favorável ao cultivo de videiras, apresentando uma topografia de suave a ondulado, variando de 30 a 400 metros, predominando do tipo suave (HASENACK et al., 2010). Os solos apresentam uma grande diversidade, sendo que na região Uruguaiana/São Gabriel a maior parte se caracteriza por solos rasos, e para a região Fronteira Uruguai solos profundos de baixa e alta fertilidade, e em menor proporção solos hidromórficos (HASENACK et al., 2010).

### 3.2. Período e Dados Meteorológicos

Foram utilizados dados meteorológicos diários para os postos localizados na Campanha do Rio Grande do Sul, do período de 1961 a 2010, perfazendo um total de 50 anos, conforme disponibilidade para cada posto meteorológico (Tab. 1). Os dados foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (8º Distrito de Meteorologia - Porto Alegre), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e da Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio (SEAPA) do estado do Rio Grande do Sul.

**Tabela 1.** Relações dos postos meteorológicos localizados na Campanha do Rio Grande do Sul, com suas respectivas longitudes, latitudes, altitude e período disponível.

| Município                       | Longitude | Latitude | Altitude | Período     |
|---------------------------------|-----------|----------|----------|-------------|
| Alegrete (FEPAGRO)              | -55,85    | -29,81   | 121      | 1966 – 1986 |
| Bagé (FEPAGRO)                  | -53,93    | -31,39   | 216      | 1961 – 1984 |
| Bagé (INMET)                    | -54,10    | -31,33   | 242      | 1961 – 2010 |
| Quaraí (FEPAGRO)                | -56,48    | -30,39   | 100      | 1966 – 2010 |
| Santana do Livramento (FEPAGRO) | -55,43    | -30,87   | 208      | 1966 – 1981 |
| Santana do Livramento (INMET)   | -55,60    | -30,83   | 328      | 1961 – 2010 |
| São Gabriel (FEPAGRO)           | -54,27    | -30,33   | 120      | 1963 – 2010 |
| Uruguaiana (FEPAGRO)            | -57,09    | -29,83   | 80       | 1963 – 2010 |
| Uruguaiana (INMET)              | -57,03    | -29,75   | 78       | 1961 – 2010 |

Sendo que, para os municípios que apresentaram dois postos meteorológicos utilizou-se como referência o da rede do INMET, utilizando os dados do posto meteorológico da FEPAGRO para preencher falhas caso presente. As variáveis meteorológicas utilizadas foram: temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação (mm), umidade relativa do ar (%), temperatura de bulbo úmido (°C), insolação, velocidade do vento e pressão atmosférica. Sendo que, a temperatura média foi determinada pela média da temperatura máxima e mínima.

Estes dados foram organizados em planilhas eletrônicas, formando um banco de dados, que foi atualizado por meio da eliminação e ou correção de dados duvidosos, sendo estruturado de forma sequencial a partir do dia 01/01/1961, inicialmente apresentando nas colunas as variáveis meteorológicas e nas linhas os dias sequenciais. A partir desta estrutura, os dados diários foram transformados em valores anuais, mensais, decendiais e quinquidiais conforme necessidade da variável, bem como, aplicados aos índices bioclimatológicos conforme a exigência destes (mensais, decendiais e quinquidiais).

### 3.2.1. Estimativa de Dados

#### 3.2.1.1. Radiação Solar Extraterrestre

A radiação extraterrestre ( $Q_o$ ) foi calculada com base na metodologia recomendada por Allen et al. (2006) em que se baseia na constante solar, na declinação solar e na época do ano, conforme equação:

$$Q_o = 37,586 d_r (h_n \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin h_n) \quad (1)$$

onde:  $d_r$  é a distância relativa Terra-Sol (Equação 2);  $h_n$  é o ângulo horário na hora do nascer do sol (Equação 3);  $\phi$  é a latitude do local;  $\delta$  é a declinação solar do dia (em radianos) (Equação 4).

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( NDA \frac{2\pi}{365} \right) \quad (2)$$

$$h_n = \arccos[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (3)$$

$$\delta = 0,4093 \sin \left( \frac{2\pi}{NDA} - 1,39 \right) \quad (4)$$

onde: NDA = número do dia do ano;

#### 3.2.1.2. Radiação Solar Global

A radiação solar global foi estimada pela equação de Angström-Prescott, em que relaciona radiação solar com radiação extraterrestre e duração relativa do brilho solar do dia (razão de insolação  $n/N$ ) conforme descrito em Allen et al. (2006):

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N}\right) Q_o \quad (5)$$

onde:  $R_s$  é a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $a + b$  correspondem aos coeficientes da equação de Angström, sendo que neste trabalho foram utilizados os coeficientes mensais determinados por Fontana e Denise (1996) para a região da Campanha do Rio Grande do Sul;  $n$  corresponde a horas de brilho solar;  $Q_o$  é a radiação extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) (Equação 1); e  $N$  corresponde ao fotoperíodo, calculado pela equação:

$$N = \frac{2h_n}{15} \quad (6)$$

onde:  $N$  corresponde ao fotoperíodo;  $h_n$  é o ângulo horário na hora do nascer do sol (Equação 3).

### 3.2.1.3. Pressão Atmosférica

Na falta de dados de pressão atmosférica esta foi estimada pela metodologia recomenda por Allen et al. (2006), conforme equação:

$$P_{\text{atm}} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (7)$$

onde:  $P_{\text{atm}}$  é a pressão atmosférica (kPa);  $z$  é a elevação ao nível do mar (altitude) (m).

### 3.3. Métodos de Estimativa da Evapotranspiração e Índices Bioclimáticos

#### 3.3.1. Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência

Os valores da Evapotranspiração de referência foram estimados pelos seguintes métodos: Thornthwaite (ET<sub>o\_TH</sub>), Camargo (ET<sub>o\_CA</sub>), Makkink (ET<sub>o\_MK</sub>), Radiação Solar (ET<sub>o\_RS</sub>), Jensen-Haise (ET<sub>o\_JH</sub>), Linacre (ET<sub>o\_LI</sub>), Hargreaves-Samani (ET<sub>o\_HS</sub>), Blaney-Criddle (ET<sub>o\_BC</sub>) e Penman-Monteith (ET<sub>o\_PM</sub>), através das expressões:

##### 3.3.1.1. Método de Thornthwaite

As equações propostas por Thornthwaite utilizam apenas a temperatura do ar como variável meteorológica, foi baseada no balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração obtidas em lisímetros.

Esse método de estima a evapotranspiração mensal padrão (ET<sub>pa</sub>) em, mm d<sup>-1</sup>, para um mês com 30 dias e 12 horas de brilho solar através da expressão:

$$ET_{pa} = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0^\circ\text{C} \quad (8)$$

onde:  $T_i$  é a temperatura média mensal e  $I$  e  $a$  são índices que dados por:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,7 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,4923 \quad (9)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 T_i)^{1,514} \quad (10)$$

Os coeficientes  $I$  e  $a$  são índices que expressam o nível de calor disponível, os quais indicam características térmicas de cada região e tornam-se constantes independentes do ano da estimativa da evapotranspiração.

Para a estimativa da evapotranspiração de referência em um período qualquer Thornthwaite considera a evapotranspiração padrão e um ajuste no número de dias e nas horas do fotoperíodo dado pela expressão:

$$ET_{o\_TH} = ET_{pa} \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (11)$$

onde: N é o fotoperíodo do período; ND é o número de dias do período

Esse fator de correção permite estimar a evapotranspiração de referência diária ao considerar N o fotoperíodo do dia e ND = 1 e, na equação (8) foi substituído  $T_i$  pela temperatura média diária.

### 3.3.1.2. Método de Camargo

O método proposto por Camargo para estimar a evapotranspiração de referência ( $ET_{o\_CA}$ ), dado em  $\text{mm d}^{-1}$ , num período variável foi baseado nos resultados da equação de Thornthwaite e dado pela expressão:

$$ET_{o\_CA} = F Q'_o T_{md} ND \quad (12)$$

onde:  $Q'_o$  corresponde a radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação no período considerado ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $T_{md}$  corresponde a temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ ); ND é o número de dias do período; F é um fator de ajuste variável com a temperatura média do período cujos valores são apresentados na Tab. 2:

**Tabela 2** - Valores do fator de ajuste (F) em função da temperatura média do período.

| Temperatura média do período       | F      |
|------------------------------------|--------|
| Inferior a 23,5 $^{\circ}\text{C}$ | 0,01   |
| De 23,6 a 24,5 $^{\circ}\text{C}$  | 0,0105 |
| De 24,6 a 25,5 $^{\circ}\text{C}$  | 0,011  |
| De 25,6 a 26,5 $^{\circ}\text{C}$  | 0,0115 |
| De 26,6 a 27,5 $^{\circ}\text{C}$  | 0,012  |
| Superior a 27,5                    | 0,013  |

Para a estimativa diária da evapotranspiração de referência na equação (15) ND foi considerado igual a 1.

O valor da radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação foi calculado pela expressão:

$$Q'_o = \frac{Q_o}{\lambda} \quad (13)$$

onde:  $\lambda$  é o calor latente de evaporação equivalente a  $2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$ ;  $Q_o$  corresponde a radiação solar extraterrestre em  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$  (Equação 1).

### 3.3.1.3. Método de Makkink

A estimativa da evapotranspiração de referência diária pelo método de Makkink (ET<sub>o</sub>\_MK), dado em  $\text{mm d}^{-1}$ , é feita através de uma relação com a radiação solar ao nível da superfície, expressa em equivalente de evaporação. O método que também considera um fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo molhado é expresso, por:

$$\text{ET}_{o\_MK} = 0,61 W R_s - 0,12 \quad (14)$$

onde:  $R_s$  é a radiação solar global ao nível da superfície ( $\text{mm d}^{-1}$ ) e  $W$  corresponde fator de ponderação dado por:

$$W = 0,407 + 0,0145T_u \quad 0^\circ \text{C} < T_u < 16^\circ \text{C} \quad (15)$$

$$W = 0,483 + 0,01T_u \quad 16,1^\circ \text{C} < T_u < 32^\circ \text{C} \quad (16)$$

onde:  $T_u$  é a temperatura do bulbo úmido ( $^\circ\text{C}$ ).

### 3.3.1.4. Método da Radiação Solar

Também conhecido como método FAO-24 da radiação é uma adaptação ao método de Makkink onde as constantes são substituídas por coeficientes relacionados à umidade do ar e do vento. A estimativa da evapotranspiração de referência diária pelo método da Radiação Solar (ET<sub>o</sub>\_RS) é dada em equivalente de evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ ), pela equação:

$$\text{ET}_{o\_RS} = c_o + c_1 W R'_s \quad (17)$$

onde:  $c_o$  é igual a  $-0,3 \text{ mm d}^{-1}$ ;  $R'_s$  corresponde a radiação solar global diária ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $W$  é o fator de ponderação, dependente do valor da temperatura do bulbo

molhado, dado pelas equações (18 e 19); e o coeficiente  $c_1$  obtém-se pela expressão:

$$c_1 = a_0 + a_1 UR + a_2 U_d + a_3 UR U_d + a_4 UR^2 + a_5 U_d^2 \quad (18)$$

onde:  $a_0$  equivale 1,0656;  $a_1$  equivale -0,0012975;  $a_2$  equivale 0,044953;  $a_3$  equivale 0,00020033;  $a_4$  equivale -0,000031508;  $a_5$  equivale -0,0011026; UR é a umidade relativa diária (%); e  $U_d$  corresponde a velocidade média diária diurna do vento a 2 m de altura ( $m s^{-1}$ ).

O valor da velocidade média diária do vento no período diurno foi estimado pela equação proposta por Hallal (2012), em que obteve a equação por meio da análise de tendência polinomial com dados de vento diário e vento diurno de 2005 a 2010, para região de Pelotas, obtendo coeficiente de correlação entre as variáveis  $r^2 = 0,82$ .

$$y = 0,182x^2 + 0,386x + 0,927 \quad (19)$$

onde: y velocidade média diária do vento no período diurno ( $m s^{-1}$ ); x velocidade do vento medido a 10 metros de altura.

Como a velocidade média diária do vento no período diurno foi obtida pela velocidade diária do vento medida a 10 m de altura foi utilizada a redução, de 10 m para 2 m, conforme Sansigolo (2005), através da lei da potência expressa a seguir:

$$U_d = U_{10} \left( \frac{2}{10} \right)^{\frac{1}{10}} \quad (20)$$

onde:  $U_{10}$  é a medida da velocidade diária do vento no período diurno medida a 10 metros de altura ( $m s^{-1}$ ).

### 3.3.1.5. Método de Jensen-Haise

Trabalhando em regiões semi-áridas americanas Jensen-Haise propuseram a estimativa da evapotranspiração de referência diária para períodos de 5 a 10 dias através da expressão:

$$ET_{o\_JH} = R'_s (0,0252T_{md} + 0,078) \quad (21)$$

onde:  $T_{md}$  é a temperatura média diária do período (°C);  $R'_s$  é a radiação solar global diária ao nível da superfície expressa em equivalente de evaporação (mm d<sup>-1</sup>) (Equação 5).

### 3.3.1.6. Método de Linacre

É um método proposto para estimar a evapotranspiração mensal média, em milímetros por dia, de uma área bem suprida de umidade. É dado pela expressão:

$$ET_{o\_LI} = \frac{\frac{500(T+0,006z)}{100-\phi} + 15(T_{md} - T_o)}{80 - T_{md}} \quad (22)$$

onde:  $T_{md}$  é a temperatura média do período (° C);  $\phi$  corresponde a latitude local (°);  $z$  corresponde a altitude local (m);  $T_o$  é a temperatura média do ponto de orvalho do período (°C)

Na ausência da temperatura média do ponto de orvalho do período observada,  $T_o$  foi estimado pelas equações:

$$T_o = \frac{237,3 \log(e_a) - 156,8}{8,16 - \log(e_a)} \quad (23)$$

$$e_a = e_s \cdot 0,01 \text{ UR (\%)} \quad (24)$$

$$e_s = 4,58 \quad (25)$$

onde:  $e_a$  é a pressão atual de vapor (mm Hg);  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação (mm Hg); UR é a umidade relativa média do período (%).

### 3.3.1.7. Método de Hargreaves-Samani

Este método foi proposto para estimar a evapotranspiração de referência diária, em  $\text{mmd}^{-1}$ , numa região de clima semi-árido da Califórnia, a partir de dados obtidos de lisímetro instalado em área com gramado, através da expressão:

$$ET_{o\_HS} = 0,0023 Q'_o (T_{mx} - T_{mn})^{0,5} (T_{md} + 17,8) \quad (26)$$

onde:  $Q'_o$  é a radiação extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ ) (Equação 13);  $T_{mx}$  é a temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{mn}$  é a temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{md}$  é a temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.3.1.8. Método de Blaney-Criddle

Os termos da equação original levam em consideração elementos meteorológicos utilizados na escala mensal, porém, como a expressão permite estimativa em escalas menores foi feita a estimativa diária da evapotranspiração de referência, em milímetros por dia, através da expressão:

$$ET_{o\_BC} = a + b p(0,46T_{md} + 8,13) \quad (27)$$

Com:

$$a = 0,0043UR - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (28)$$

$$b = a_0 + a_1 UR + a_2 \frac{n}{N} + a_3 U_d + a_4 UR \frac{n}{N} + a_5 UR U_d \frac{n}{N} \quad (29)$$

onde:  $a_0$  equivale 0,81917;  $a_1$  equivale -0,0040922;  $a_2$  equivale 1,0705;  $a_3$  equivale 0,065649;  $a_4$  equivale -0,0059684;  $a_5$  equivale -0,0005967;  $T_{md}$  é a temperatura média diária;  $p$  porcentagem do total do fotoperíodo médio diário mensal sobre o total o fotoperíodo anual;  $UR$  é a umidade relativa diária (%);  $U_d$  corresponde a velocidade média diária diurna do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $n$  é o horas de brilho solar; e  $N$  corresponde ao fotoperíodo (Equações 6).

### 3.3.1.9. Método de Penman-Monteith

Os valores da evapotranspiração de referência foram estimados na escala diária, de acordo com o método de Penman-Monteith recomendado pela FAO 56 (ALLEN et al., 2006), a partir da seguinte equação:

$$ET_{o\_PM} = \frac{0,408 s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (30)$$

onde:  $R_n$  é o saldo diário de radiação ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $U_2$  é a velocidade média diária do vento medido a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  corresponde a pressão de saturação de vapor (kPa);  $e_a$  corresponde a pressão atual de vapor (kPa);  $s$  é a declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  e  $\gamma^*$  são os coeficientes psicométricos ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\lambda$  é o calor latente de evaporação =  $2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$ .

O saldo de radiação foi calculado, conforme metodologia recomendada pela Allen et al. (2006), por:

$$R_n = R_{ns} + R_{nb} \quad (31)$$

$$R_{ns} = (1 - r)R_s \quad (32)$$

$$R_{nb} = - \left( 0,9 \frac{n}{N} + 0,1 \right) (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \sigma (T_{kmx} + T_{kmn}) \frac{1}{2} \quad (33)$$

onde:  $R_n$  é o saldo de radiação calculado ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $R_{ns}$  é o saldo de radiação de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $R_{nb}$  é o saldo de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $R_s$  é a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $r$  é o coeficiente de reflexão considerado igual a 0,23 para o gramado, utilizado como cultura de referência;  $n$  corresponde a horas de brilho solar;  $\sigma$  é igual a  $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1} \text{ K}^{-4}$  (constante de Stefan-Boltzmann);  $T_{kmx}$  e  $T_{kmn}$  corresponde as temperaturas diárias máxima e mínima do ar, respectivamente, em Kelvin;  $N$  corresponde ao fotoperíodo (Equação 6).

Com  $e_a$  obtido por medições psicométricas e  $e'_s$  sendo a pressão de vapor de saturação, medida em kPa, à temperatura do bulbo úmido ( $T_u$ ). A declividade da curva de pressão de vapor e os coeficientes psicométricos foram obtidos pelas expressões:

$$s = \frac{4098 e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (34)$$

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P_{atm}}{\lambda} \quad (35)$$

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33U_2) \quad (36)$$

onde:  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica diária em kPa;

Na falta de dados da temperatura de bulbo úmido e da pressão atmosférica, foi utilizado a metodologia recomendada por Allen et al. (2006). Sendo estimada a pressão atual de vapor ( $e_a$ ) com base na umidade relativa do ar média (UR), e a pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) foi baseada na altitude local ( $z$ ). Para determinação do fluxo de calor no solo ( $G$ ) foi calculado utilizando diferença da temperatura média diária ( $T_{md}$ ) com a temperatura média dos 3 dias anteriores ( $T_{3md}$ ) pela expressão:

$$e_a = \frac{UR}{100} \left[ \frac{e^\circ(T_{mx}) + (T_{mn})}{2} \right] \quad (37)$$

$$P_{atm} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (38)$$

$$G = 0,38(T_{md} - T_{3md}) \quad (39)$$

### 3.3.2. Índices Bioclimáticos

Foram utilizados neste trabalho o Índice de Seca, Índice Heliotérmico, Índice de Frio Noturno e o Índice de Winkler (Graus-dia), tendo suas metodologias descritas no capítulo onde são abordados.

# **CAPÍTULO 1. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR DIFERENTES MÉTODOS E SUA APLICAÇÃO NO ÍNDICE DE SECA PARA A VITICULTURA DA CAMPANHA GAÚCHA**

## **Introdução**

As principais regiões produtoras de uvas para vinhos finos no Sul do Brasil são as regiões da Serra Gaúcha, Campanha, Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul e Planalto Catarinense (TONIETTO et al., 2012). A região da Campanha vem ganhando destaque nos últimos anos apresentando significativo aumento da área vitícola cultivada. Tendo como marco da implantação desta viticultura o final dos anos 1970 e início dos anos 1980 apresentando crescimento expressivo da área cultivada nos anos 2000, representando uma das atividades alternativas para o desenvolvimento da Metade Sul (MARTINS et al., 2007; ENGELMANN, 2009).

Como a introdução da viticultura é recente na Campanha, tornam-se importantes estudos detalhados de zoneamento climático, contribuindo para a exploração adequada do potencial do meio vitícola. Dentre as metodologias em que relacionam as condições climáticas ao desenvolvimento vegetativo da videira, bem como, o potencial qualitativo das uvas destinadas a vinificação se destaca a metodologia do Sistema Classificação Climática Multicritério Geovitícola (Sistema CCM Geovitícola), proposto por Tonietto e Carbonneau (2004).

É uma metodologia de referência internacional para zoneamento vitivinícola em nível de clima, integrante da Resolução OIV-VITI 423-2012 (OIV, 2012). Esta metodologia foi recentemente utilizada como método padrão para a caracterização climática das regiões vitivinícolas Iberoamericanas (TONIETTO; FIALHO, 2012).

Além disso, esta metodologia permite o tratamento da informação climática de interesse vitícola na escala mundial (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004) e é composta por três índices: Índice Heliotérmico (IH), que quantifica a disponibilidade térmica do clima, por meio da temperatura média e máxima mensal; Índice de Frio

Noturno (IF), que relaciona as condições nictotérmicas de maturação da uva, através da temperatura mínima deste período, e Índice de Seca (IS), que corresponde a um balanço hídrico para cultura da videira no período vegetativo, utilizando dados de precipitação e da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) mensal.

A metodologia de cálculo do IS no Sistema CCM utiliza, como método padrão para estimativa da ET<sub>o</sub>, o método de Penman-Monteith-FAO. Este método é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da evapotranspiração de referência, pois procura representar os fenômenos biofísicos da evapotranspiração, e é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos medidos em estações meteorológicas convencionais (CARVALHO et al., 2011). Porém, muitas regiões vitícolas do mundo não dispõe da medição de todas as variáveis meteorológicas necessárias para estimar a ET<sub>o</sub> pelo método recomendado pelo Sistema CCM Geovíticola.

Tornando-se importante estudos de métodos alternativos à estimativa da ET<sub>o</sub> em que utiliza o emprego de variáveis meteorológicas mais comumente disponíveis. Possibilitando a caracterização da demanda hídrica, mesmo tendo uma base de dados meteorológicos limitada (CONCEIÇÃO; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2005).

Existem diferentes métodos para calcular a evapotranspiração de referência que necessitam de uma ou mais variáveis meteorológicas, tais como temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar e vento. No entanto, Pereira et al. (2009), observam que antes de aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste em relação ao método padrão, em diferentes escalas de observação, e quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa.

Dentre os métodos mais simples se destaca o de Thornthwaite (1948) que utiliza somente dados de temperatura do ar e do fotoperíodo local. Os métodos de Hargreaves-Samani (1985), Jensen-Haise (1963) e Camargo (1971) tornam-se interessantes, pois utilizam apenas dados de temperatura e radiação solar (extraterrestre e global). Entre os métodos que englobam mais variáveis meteorológicas é possível destacar o de Makkink (1957) que necessita de dados de radiação solar global e temperatura de bulbo úmido, os métodos da Radiação Solar (DOORENBOS; PRUITT, 1977) e de Blaney-Criddle (FREVERT et al., 1983) que além da temperatura do ar, da temperatura de bulbo úmido e da radiação solar necessitam, também, das medidas de vento, umidade relativa do ar, insolação e

fotoperíodo e por fim, o método de Linacre (1977) que utiliza informações referentes a altitude, latitude, temperatura do ar e ponto de orvalho.

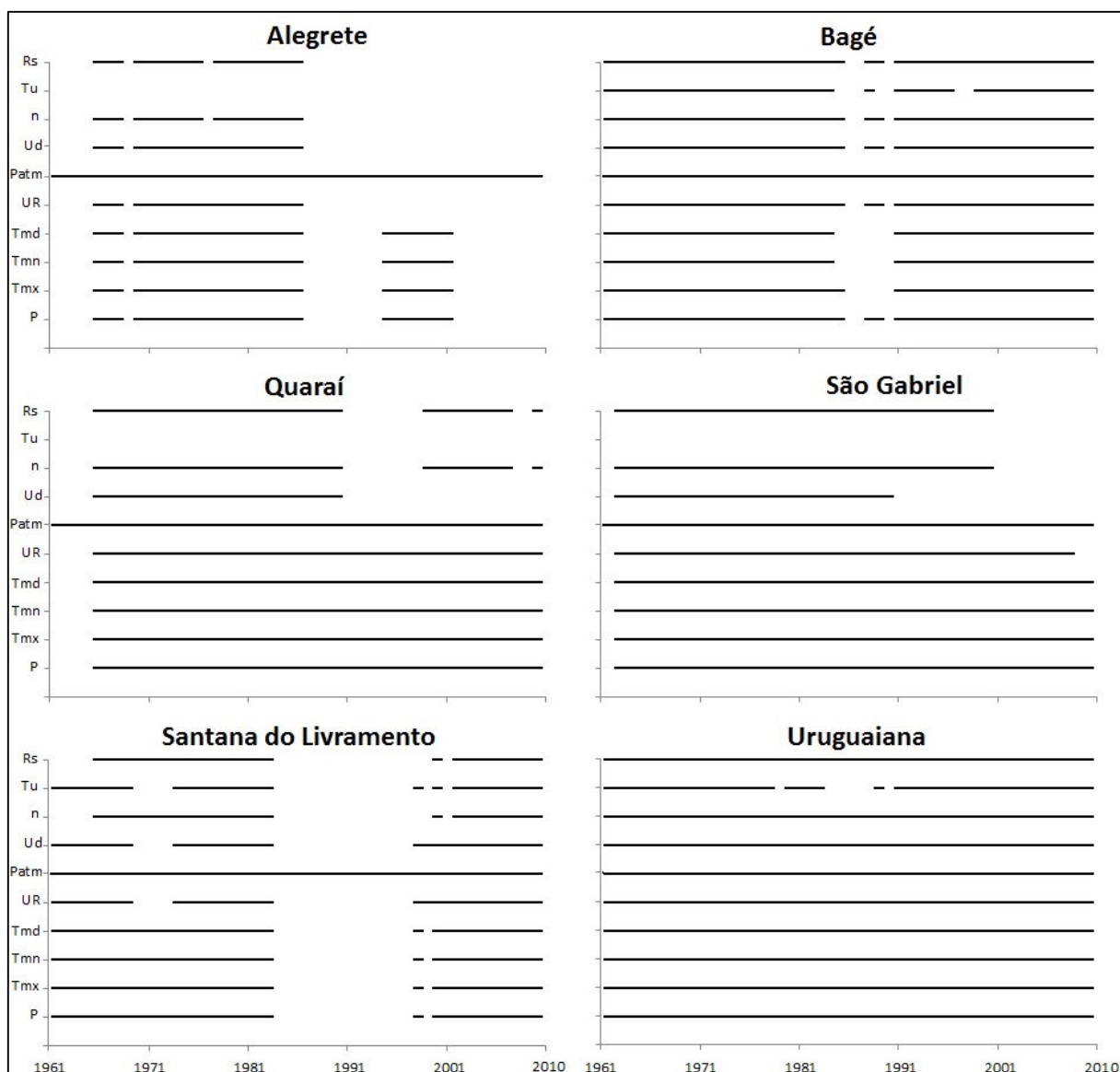
Quando se deseja comparar regiões vitícolas pelo Índice de Seca, é importante a utilização da metodologia padrão de cálculo para estimativa da ETo, no Sistema CCM, para que não haja diferenças decorrentes da metodologia utilizada. Contudo, métodos alternativos de cálculo da ETo podem eventualmente ser utilizados, desde que seja testada a sua similaridade ao padrão (Penman-Monteith-FAO) para o clima da região (CONCEIÇÃO; TONIETTO; FIALHO, 2012).

Diante disso, considerando as condições climáticas da região da Campanha do Rio Grande do Sul, o presente trabalho tem como objetivos: avaliar o desempenho dos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), na escala diária e mensal, para o período de outubro a março; e verificar a qualidade dos métodos para aplicação no cálculo do Índice de Seca (IS) em comparação do método padrão Penman-Monteith-FAO.

### **Materiais e Métodos**

O estudo teve como abrangência os municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, conforme descrito no macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul (MALUF; WESTPHALEN, 1994), a região da Campanha é compreendida por 14 municípios com duas sub-regiões: Fronteira Uruguai (Aceguá, Pedras Altas, Bagé, Candiota, Dom Pedrito, Herval, Hulha Negra, Quaraí e Santana do Livramento) e Uruguaiana/São Gabriel (Alegrete, Rosário do Sul, São Gabriel, Uruguaiana e Barra do Quaraí).

Foram utilizados dados diários de seis estações meteorológicas localizados na Campanha do período de 1961 a 2010, conforme disponibilidade de dados (Fig. 1).



**Figura 1** - Disponibilidade de dados de precipitação (P), temperatura máxima ( $T_{mx}$ ), temperatura mínima ( $T_{mn}$ ), temperatura média ( $T_{md}$ ), umidade relativa (UR), pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ), velocidade média do vento ( $U_d$ ), insolação (n), temperatura de bulbo úmido ( $T_u$ ), e radiação solar global (Rs), municípios da região da Campanha - RS, para o período de 1960 a 2010.

Os valores da evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) foram estimados diariamente, para o período de outubro a março, por serem os meses associados ao ciclo vegetativo da videira e aos utilizados para o cálculo do IS. Os métodos de estimativa da  $ETo$  usados foram: Thornthwaite ( $ETo_{TH}$ ), Camargo ( $ETo_{CA}$ ), Makkink ( $ETo_{MK}$ ), Radiação Solar ( $ETo_{RS}$ ), Jensen-Haise ( $ETo_{JH}$ ), Linacre ( $ETo_{LI}$ ), Hargreaves-Samani ( $ETo_{HS}$ ), Blaney-Criddle ( $ETo_{BC}$ ) e Penman-Monteith ( $ETo_{PM}$ ), calculados pelas equações de 1 a 9:

$$ETo_{TH} = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0^\circ C \quad (1)$$

$$ETo_{CA} = F Q'_o T_{ND} \quad (2)$$

$$ETo_{MK} = 0,61 W R_s - 0,12 \quad (3)$$

$$ETo_{RS} = c_0 + c_1 W R'_s \quad (4)$$

$$ETo_{JH} = R_s (0,0252 T_{md} + 0,078) \quad (5)$$

$$ETo_{LI} = \frac{\frac{500(T+0,006 h)}{100-\phi} + 15(T_{md} - T_o)}{80 - T_{md}} \quad (6)$$

$$ETo_{HS} = 0,0023 Q'_o (T_{mx} - T_{mn})^{0,5} (T_{md} + 17,8) \quad (7)$$

$$ETo_{BC} = a + b p (0,46 T_{md} + 8,13) \quad (8)$$

$$ETo_{PM} = \frac{0,408 s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (9)$$

A descrição detalhada da simbologia e dos métodos definidos pelas equações 1 a 9 é descrita em Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997). No método de Penman-Monteith foi utilizada a metodologia recomendada por Allen et al. (2006) para estimativa da pressão atmosférica, baseada na altitude, e para estimativa da temperatura de bulbo úmido, baseada na umidade relativa média, quando não existia disponibilidade de tais variáveis. Para Alegrete, Quaraí e São Gabriel a evapotranspiração de referência não foi estimada pelos métodos de Makkink e Radiação Solar devido a indisponibilidade de dados de temperatura de bulbo úmido (Fig. 1) no banco de dados meteorológicos destes municípios.

O fluxo de calor no solo (G) foi calculado a partir da diferença entre a temperatura média diária ( $T_{md}$ ) e a temperatura média dos três dias anteriores ( $T_{3md}$ ), pela expressão:

$$G = 0,38(T_{md} - T_{3md}) \quad (10)$$

O saldo de radiação ( $MJ m^{-2}d^{-1}$ ) foi calculado, conforme metodologia recomendada por Allen et al. (2006) somando-se o saldo de radiação de ondas curtas, estimados por meio da insolação utilizando coeficientes calibrados

mensalmente para a região da Campanha (FONTANA; OLIVEIRA, 1996), com o saldo de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ).

Após o cálculo da estimativa diária da evapotranspiração de referência para cada método foi feito o somatório mensal e a determinação do Índice de Seca seguindo para isto, a metodologia de Tonietto e Carbonneau (2004), que foi adaptado do balanço hídrico potencial do solo de Riou et al. (1994):

$$IS = \sum_{out}^{mar} W_o + P - T_v - E_s \quad (11)$$

onde:  $W_o$  é a reserva hídrica inicial do solo (200 mm);  $P$  é a precipitação mensal (mm);  $T_v$  é a transpiração potencial mensal do vinhedo (mm);  $E_s$  é a evaporação mensal do solo (mm). Para o cálculo da  $T_v$  foi empregada a expressão:

$$T_v = ETo \cdot k \quad (12)$$

onde:  $ETo$  é a Evapotranspiração de Referência;  $k$  é o coeficiente de absorção de radiação pelas videiras, com valores equivalentes a 0,1 para outubro, considerado como o primeiro mês do ciclo vegetativo da cultura, 0,3 para novembro, e 0,5 para dezembro, janeiro, fevereiro e março.

$E_s$  foi determinada pela expressão:

$$E_s = \left( \frac{ETo}{ND} \right) (1 - k) J P_m \quad (13)$$

onde:  $ND$  é o número de dias (mês) e  $J P_m$  é o número de dias por mês de evaporação efetiva do solo, que é estimado dividindo-se  $P$  por cinco e que deve ser igual ou inferior a  $ND$ . Os intervalos de classe para Índice de Seca ( $IS$ ) são:  $IS-2$ , quando o  $IS$  for entre  $> 150$  a  $200$  (mm);  $IS-1$ , quando o  $IS$  for entre  $> 50$  a  $150$  (mm);  $IS+1$ , quando o  $IS$  for entre  $> -100$  a  $50$  (mm);  $IS+2$ , quando o  $IS$  for e menor igual a  $-100$  (mm) (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004).

Após o cálculo da estimativa diária da evapotranspiração de referência para cada um dos métodos, bem como do cálculo do Índice de Seca, foi determinado o índice de precisão ( $r$ ), índice de exatidão ( $d$ ) e índice de desempenho ( $c$ ), obtidos da correlação linear entre cada método com o método padrão de Penman-Monteith. A precisão foi avaliada pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) que indica o grau de

dispersão dos dados obtidos em relação à média (Meyer,1976), ou seja, o erro aleatório ao qual é determinado pela expressão:

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x}_1)(y_i - \bar{y}_1)]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 \sum(y_i - \bar{y}_1)^2}} \quad (14)$$

onde:  $x_i$  são os valores a serem comparados com o método padrão;  $y_i$  são valores estimados pelo método padrão e  $\bar{x}_1$  e  $\bar{y}_1$  as médias respectivas de  $x_i$  e  $y_i$ .

A exatidão foi determinada pelo índice de Willmott (d), segundo metodologia apresentada por Camargo e Sentelhas (1997) expresso por:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum(x_i - y_i)^2}{\sum(|x_i - \bar{y}_1| + |y_i - \bar{y}_1|)^2} \right] \quad (15)$$

O índice de desempenho (c), que resultada do produto entre os índices de precisão (r) e de exatidão (d) foi utilizada para classificar a relação entre cada método de estimativa da ETo com o método padrão (ETo\_PM), nas escalas diárias e mensais, bem como, nos valores do Índice de Seca calculados, empregando-se o método padrão do Sistema CCM com as demais metodologias utilizadas para estimar a ETo.

A classificação quanto ao desempenho ocorreu com base na metodologia proposta por Camargo e Sentelhas (1997) da seguinte forma: relação considerada ótima (OT), quando c apresenta valores maiores do que 0,85; muito boa (MB), para valores entre 0,76 e 0,85; boa (BO), para valores entre 0,66 e 0,75; mediano (MD), para valores entre 0,61 e 0,65; sofrível (SF), para valores entre 0,51 e 0,60; mau (MA), para valores entre 0,41 e 0,50; e péssima (PS), para valores do índice c inferiores a 0,41.

Para dar suporte a essa classificação também foi calculado o valor do Erro Padrão de Estimativa (EPE) através da expressão:

$$EPE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (16)$$

## Resultados e Discussões

As determinações das médias das estimativas da evapotranspiração diária pelos diferentes métodos estão apresentadas na Tab. 1. Na qual é possível observar que o método de Penman-Monteith apresentou em média  $3,91 \text{ mm d}^{-1}$ , para o período de outubro a março, sendo que a estimativa máxima diária chegou a  $10,40 \text{ mm d}^{-1}$ , verificado na estação do verão. Isso foi observado também por Marcuzzo, Arantes e Wendland (2008) para a região de São Carlos - SP e por Hallal (2012), para a região de Pelotas – RS, onde constaram os máximos valores nesta estação.

**Tabela 1** - Média da evapotranspiração de referência calculada na escala diária (ET<sub>o</sub>, mm d<sup>-1</sup>), erro padrão estimativa (EPE, mm d<sup>-1</sup>), índice de determinação (R<sup>2</sup>), de precisão (r), de exatidão (d) e de desempenho (c) da comparação e classificação entre o método padrão com os demais métodos de estimativa da evapotranspiração, para a região da Campanha do Rio Grande do Sul, para os meses de outubro a março, com base no período de 1961 a 2010.

|                                       | ET <sub>o</sub> _RS | ET <sub>o</sub> _LI | ET <sub>o</sub> _JH | ET <sub>o</sub> _MK | ET <sub>o</sub> _CA | ET <sub>o</sub> _TH | ET <sub>o</sub> _BC | ET <sub>o</sub> _HS | ET <sub>o</sub> _PM |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ET <sub>o</sub> (mm d <sup>-1</sup> ) | 4,56                | 3,31                | 5,26                | 3,19                | 4,04                | 3,80                | 3,89                | 5,15                | 3,91                |
| EPE (mm d <sup>-1</sup> )             | 1,13                | 1,15                | 1,59                | 0,94                | 1,00                | 1,06                | 0,86                | 1,50                | —                   |
| R <sup>2</sup>                        | 0,70                | 0,51                | 0,77                | 0,69                | 0,47                | 0,43                | 0,65                | 0,61                | —                   |
| r                                     | 0,84                | 0,71                | 0,88                | 0,83                | 0,69                | 0,66                | 0,81                | 0,78                | —                   |
| d                                     | 0,94                | 0,89                | 0,92                | 0,92                | 0,94                | 0,93                | 0,96                | 0,92                | —                   |
| c                                     | 0,79                | 0,64                | 0,80                | 0,76                | 0,65                | 0,61                | 0,77                | 0,72                | —                   |
| Clasf*                                | MB                  | MD                  | MB                  | MB                  | MD                  | MD                  | MB                  | BO                  | —                   |

Radiação Solar (ET<sub>o</sub>\_RS), Linacre (ET<sub>o</sub>\_LI), Jensen-Haise (ET<sub>o</sub>\_JH), Makkink (ET<sub>o</sub>\_MK), Camargo (ET<sub>o</sub>\_CA), Thornthwaite (ET<sub>o</sub>\_TH), Blaney-Criddle (ET<sub>o</sub>\_BC), Hargreaves-Samani (ET<sub>o</sub>\_HS) e Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>\_PM).

\* Classificação: MB: muito bom, BO: bom, MD: mediano.

Analisando os valores obtidos pelos demais métodos é possível destacar Linacre, Camargo, Thornthwaite e Blaney-Criddle que apresentaram estimativas de ET<sub>o</sub> bastante próximas das obtidas pelo método de Penman-Monteith. Por outro lado, com exceção de Blaney-Criddle, estes foram os métodos que apresentaram menor precisão (r) e determinação (R<sup>2</sup>) obtendo desempenho de 0,51, 0,47 e 0,43, respectivamente, sendo classificados com desempenho mediano na escala diária, para o período de outubro a março, na região da Campanha – RS (Tab. 1).

Sendo os métodos de Linacre e de Thornthwaite metodologias desenvolvidas para estimar a evapotranspiração de referência mensal (CARVALHO et al., 2011) resultaram em ajuste apenas mediano ao método de Penman-Monteith, na escala diária, para a região da Campanha. Igualmente ao método de Camargo que teve sua

metodologia baseada no método de Thornthwaite e é recomendado para estimativa nas escalas de 10 ou 30 dias (CARVALHO et al., 2011).

O método de Hargreaves-Samani, na escala diária, foi o único método que teve ajuste considerado bom em relação ao método padrão, com coeficientes de determinação 0,61 e de desempenho 0,72. Os métodos Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink e Blaney-Criddle apresentaram desempenho considerado muito bom nesta escala (Tab. 1). Dentre estes métodos é possível destacar Jensen-Haise que apresentou o maior desempenho (0,80).

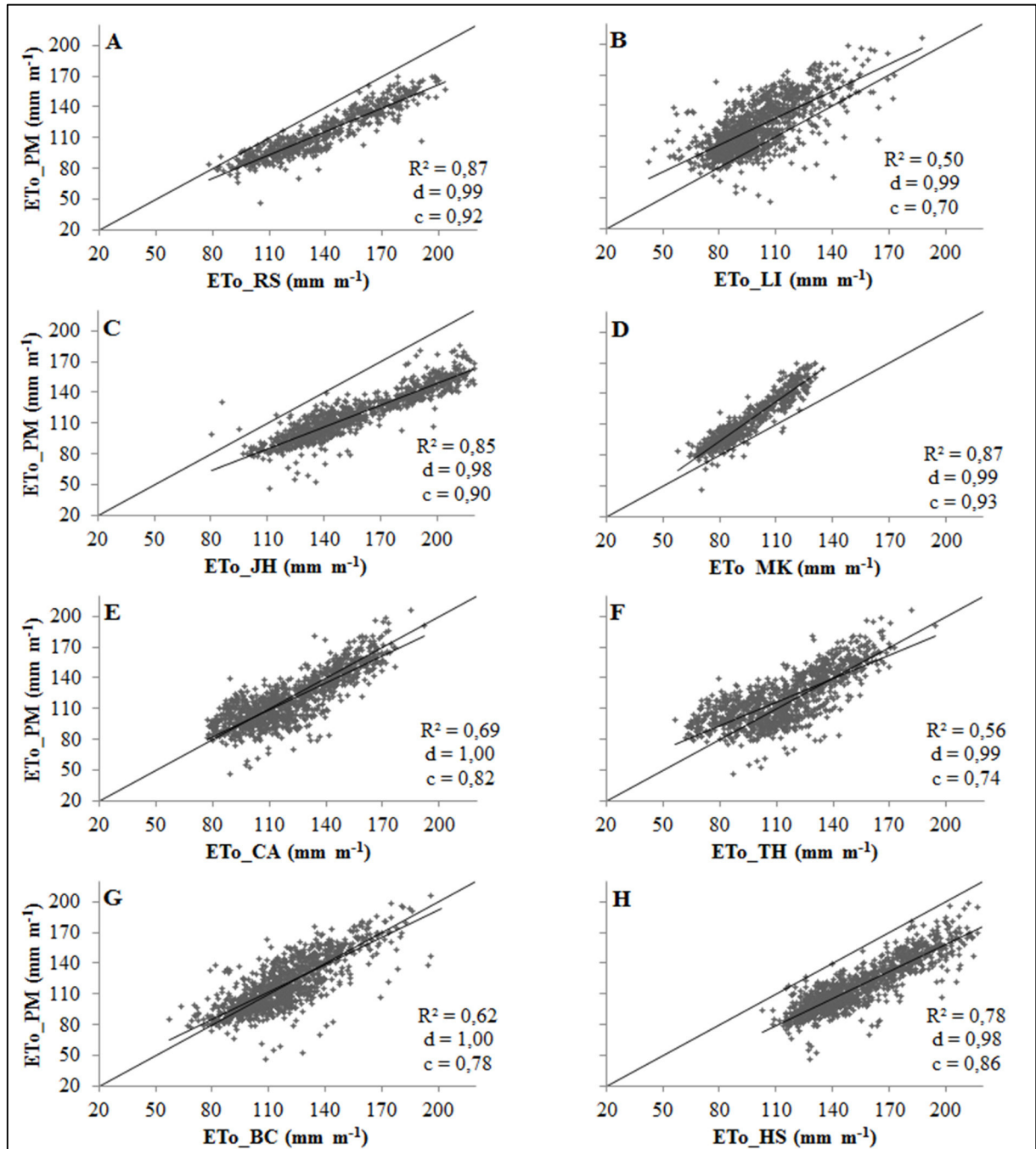
Em estudo desenvolvido por Pereira et al. (2009), na região da Serra da Mantiqueira, que segundo a classificação climática de Köppen o clima é do tipo Cwb, com invernos frios e menos úmidos que os verões e com temperaturas agradáveis e mais chuvosos, estes quatro métodos também apresentaram os melhores desempenhos na escala diária. Apesar da grande diferença climática da região da Serra da Mantiqueira e a Campanha (clima tipo Cfa) do Rio Grande do Sul, nota-se que na escala diária os métodos de Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink e Blaney-Criddle se destacam na estimativa da evapotranspiração quando comparados ao método padrão (Penman-Monteith).

Para os métodos que tiveram desempenho muito bom ou bom, com exceção de Blaney-Criddle e Makkink, nota-se superestimativa da evapotranspiração de referência em relação ao método padrão ( $3,91 \text{ mm d}^{-1}$ ) na qual o método de Jensen-Haise apresentou  $ETo$  de  $5,26 \text{ mm d}^{-1}$ , seguido do método de Hargreaves-Samani com  $5,15 \text{ mm d}^{-1}$  e o da Radiação Solar com  $4,56 \text{ mm d}^{-1}$  (Tab. 1). Ainda, é possível observar que para estes métodos foram encontrados os maiores erros padrões das estimativas (EPE), bem como os métodos de Makkink e Blaney-Criddle, foram os únicos métodos com erro médio inferior a  $1 \text{ mm d}^{-1}$ .

Na Tab. 1 é possível verificar que, para escala diária, os métodos que utilizam dados de radiação solar global apresentaram maior desempenho do que os que utilizaram apenas a temperatura de ar. O mesmo foi observado para a região da Serra da Mantiqueira para os métodos de Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink, e Hargreaves-Samani (PEREIRA et al., 2009).

O desempenho dos métodos de estimativas da  $ETo$  na escala mensal, para o período de outubro a março, é apresentado na Fig. 2, na qual é possível visualizar que todos os métodos melhoraram de desempenho, sendo observado ótimo para o

de Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink e Hargreaves-Samani (Fig. 2A, 2C, 2D e 2H).



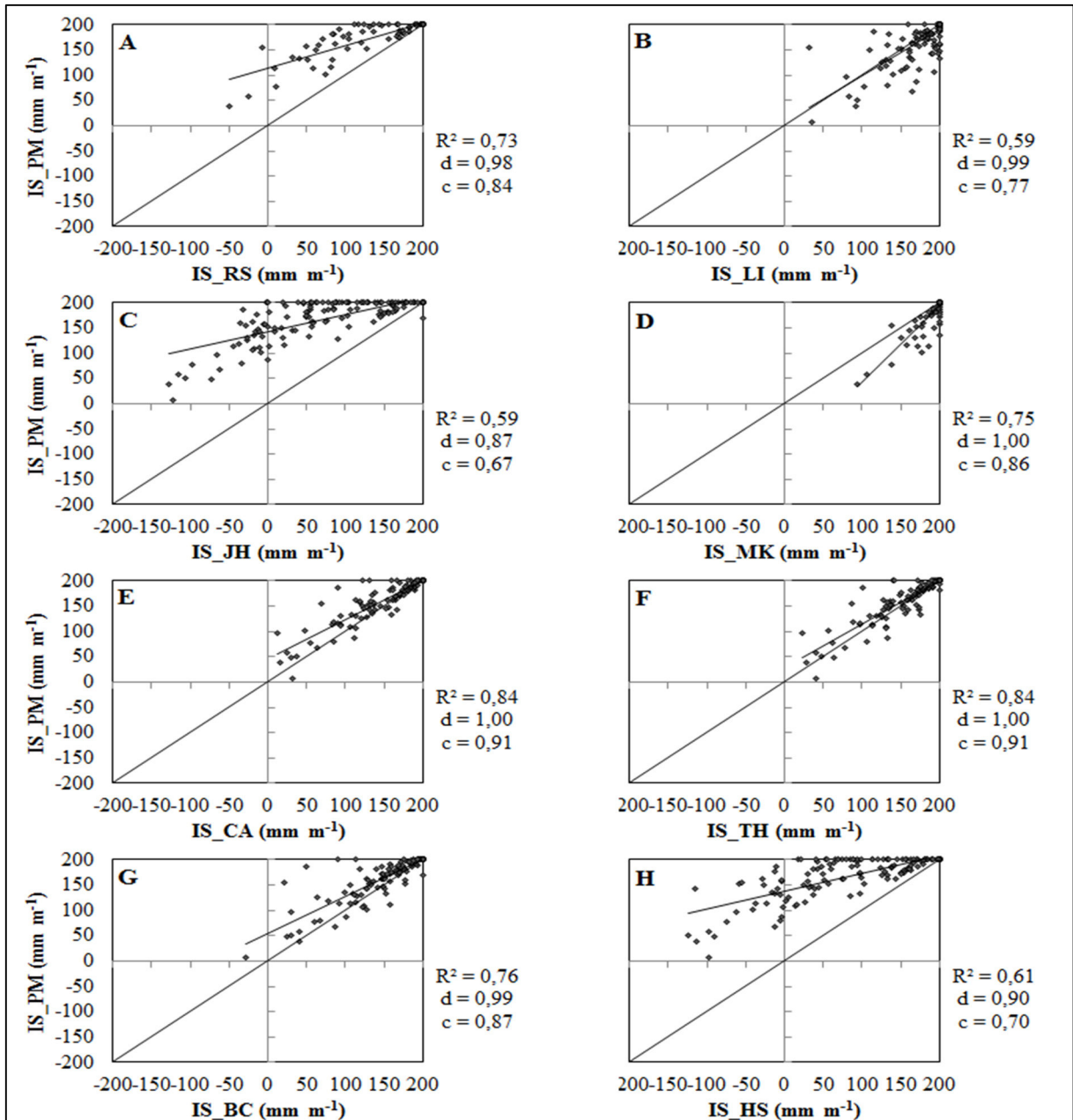
**Figura 2** - Evapotranspiração de referência ( $ETo$  mm  $m^{-1}$ ), na escala mensal, estimado pelo método de Penman-Monteith ( $ETo_{PM}$ ) em relação aos métodos de Radiação Solar ( $ETo_{RS}$ ) (A), Linacre ( $ETo_{LI}$ ) (B), Jensen-Haise ( $ETo_{JH}$ ) (C), Makkink ( $ETo_{MK}$ ) (D), Camargo ( $ETo_{CA}$ ) (E), Thornthwaite ( $ETo_{TH}$ ) (F), Blaney-Criddle ( $ETo_{BC}$ ) (G) e Hargreaves-Samani ( $ETo_{HS}$ ) (H) para o período de outubro a março nos anos de 1961 a 2010, na região da Campanha do Rio Grande do Sul. Índice de determinação ( $R^2$ ), de exatidão ( $d$ ) e de desempenho ( $c$ ).

Para os métodos com desempenho considerado ótimo, com exceção do método de Makkink, verifica-se que estes são os métodos que tendem a superestimar os valores da ETo. Enquanto que os métodos de Makkink e Linacre tendem a subestimar os valores da ETo. Isso indica tendência de, quando aplicados a um balanço hídrico poderá super ou subestimarem a demanda hídrica das plantas, e a capacidade de água disponível destas plantas.

Para os métodos de Camargo, Thornthwaite, e Blaney-Criddle, nota-se que quando os valores da ETo são baixos ocorre subestimava ou valores muito próximos ao estimado pelo método padrão, porém quando apresenta valores maiores estes acabam sendo superestimados, como observado pelas linhas de tendências contidas na Fig. 2E, 2F e 2G. Sendo obtidos, para estes métodos, os menores desempenhos encontrados na escala mensal.

Na metodologia do Sistema CCM o Índice de Seca (IS) é o valor obtido pelo mês de março. Por isso, foram aplicados os valores obtidos na Fig. 2 ao IS e realizada a análise da correlação entre evapotranspiração referência mensal estimado pelo método padrão (Penman-Monteith) com os demais métodos aplicados ao Índice de Seca, para o mês de março (Fig. 3).

O método de Thornthwaite é apontado como um método que pode super ou subestimar a evapotranspiração em função de não integrar no cálculo a influência das demais variáveis meteorológicas, utilizando apenas a temperatura do ar (CAMARGO; CAMARGO, 2000; CONCEIÇÃO, 2003; JUNGES et al., 2012). Observou-se, contudo, que foi a metodologia que apresentou o maior valor para o índice de desempenho (0,91), da mesma forma que o método de Camargo, dentre os métodos testados para a região da Campanha (Fig. 3F e 3E).



**Figura 3** - Relação entre o Índice de Seca ( $\text{mm m}^{-1}$ ) calculado com base no método de Penman-Monteith (IS\_PM) com os métodos de Radiação Solar (IS\_RS) (A), Linacre (IS\_LI) (B), Jensen-Haise (IS\_JH) (C), Makkink (IS\_MK) (D), Camargo (IS\_CA) (E), Thornthwaite (IS\_TH) (F), Blaney-Criddle (IS\_BC) (G) e Hargreaves-Samani (IS\_HS) (H) para o mês de março dos anos de 1961 a 2010, para a região da Campanha do Rio Grande do Sul. Índice de determinação ( $R^2$ ), de exatidão ( $d$ ) e de desempenho ( $c$ ).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Munhoz et al. (2012) que, em estudo da estimativa de evapotranspiração de referência para o Brasil, constataram os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentaram resultados satisfatórios para as regiões Sul e Sudeste, atribuindo tal eficiência ao fato de serem

regiões de climas com ocorrência de chuvas durante boa parte do ano, sendo, portanto, regiões sem deficiência hídrica.

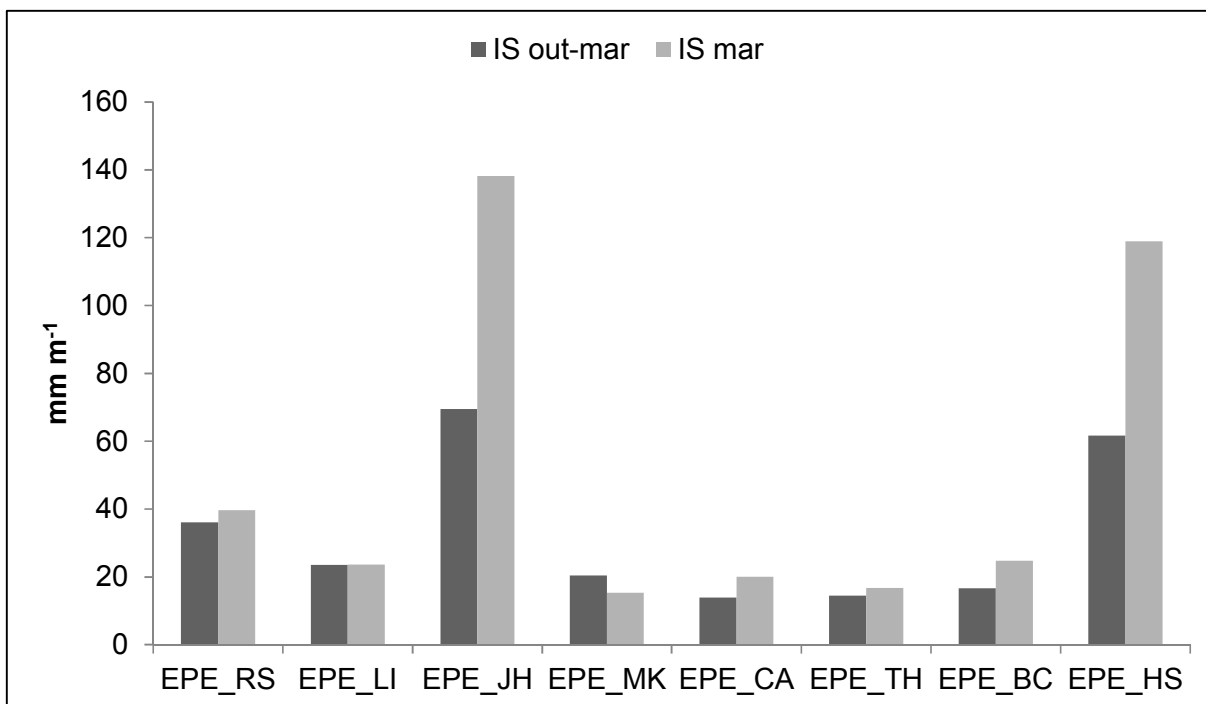
Da mesma forma, Camargo e Camargo (2000) afirmam que o modelo de Thornthwaite funciona adequadamente em regiões de clima úmido, independentemente da latitude e altitude. Além disso, Melo e Fernandes (2012), avaliando métodos empíricos para estimar a evapotranspiração de referência em Uberaba, em Minas Gerais, constaram que métodos que usam apenas temperatura ou radiação solar como variáveis de entrada, apresentaram melhor desempenho quando comparado aos métodos que utilizam maior número de variáveis, destacando os métodos de Makkink, Camargo, Priestley-Taylor, Hargreaves-Samani e Thornthwaite.

Os métodos de Radiação Solar (Fig. 3A), Jensen-Haise (Fig. 3C) e Hargreaves-Samani (Fig. 3H) foram os métodos que apresentaram maior dispersão dos dados para o IS, como pode ser observado pela linha de tendência, com os piores índices de desempenho. Isto está relacionado diretamente ao fato destes métodos terem sido os únicos que superestimarem a evapotranspiração de referência mensal (Fig. 2).

Em uma análise de 81 regiões vitícolas em 18 países, incluindo Bagé, Conceição, Tonietto e Fialho (2012) verificaram que o método Hargreaves-Samani aplicado ao Índice de Seca em comparação a método Penman-Monteith, obteve coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice de exatidão ( $d$ ) de 0,80 e 1,00, respectivamente, resultando em um coeficiente de desempenho ( $c$ ) igual a 0,85. Esses autores concluíram que o método de Hargreaves-Samani pode ser empregado para o cálculo do IS, visando determinar a classe de clima vitícola do Sistema CCM, apresentando desempenho entre muito bom e ótimo.

Comparando os resultados obtidos por Conceição, Tonietto e Fialho (2012) e com os deste estudo, constata-se a necessidade de desenvolver trabalhos regionalizados para validar métodos alternativos ao de Penman-Monteith de estimativa da ETo aplicados ao cálculo do IS.

Na Fig. 4 está representado erro padrão da estimado (EPE,  $\text{mm m}^{-1}$ ) do Índice de Seca (IS). Observa-se que todos os métodos apresentaram erro padrão maior no mês de março do que quando analisado o período de outubro a março, com exceção do método de Makkink, que é menor, e ao de Linacre, com valores muito próximos.



**Figura 4** - Erro padrão da estimativa (EPE,  $\text{mm m}^{-1}$ ) para o Índice de Seca, com base no período de outubro a março (IS out-mar) e para o mês de março (IS mar), para os métodos Radiação Solar (EPE\_RS), Linacre (EPE\_LI), Jensen-Haise (EPE\_JH), Makkink (EPE\_MK), Camargo (EPE\_CA), Thornthwaite (EPE\_TH), Blaney-Criddle (EPE\_BC), Hargreaves-Samani (EPE\_HS) em comparação Penman-Monteith (EPE\_PM), a região da Campanha, nos anos de 1961 a 2010.

Também visualiza-se que o erro padrão da estimativa (Fig. 4) apresentou resultados que confirmam o desempenho dos métodos (Fig. 3), já que os métodos apresentaram erro proporcional ao desempenho obtido. Assim, os métodos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani e Radiação Solar apresentaram os maiores erros. Isso ocorreu, devido os métodos superestimarem os valores em relação ao método de Penman-Monteith, resultando em valores de IS menores que indicam menor disponibilidade hídrica (Fig. 3).

Destaca-se que os demais métodos aplicado ao IS apresentaram EPE, no período de outubro a março, inferior a  $23 \text{ mm m}^{-1}$  (ETo\_LI), e para março, inferior a  $25 \text{ mm m}^{-1}$ . Por terem apresentado erros relativamente baixos, os métodos de Linacre, Makkink, Camargo, Thornthwaite e Blaney-Criddle apresentam-se como opções viáveis para estimar a ETo, nesta região.

Deve-se tomar cuidado especial em relação aos métodos de Linacre e Makkink (Fig. 3), que, acabam subestimando os valores e quando aplicado ao IS, resultam em valores de disponibilidade hídrica próximo a 200 mm, indicando clima

vitícola da classe Úmido. Tal resultado pode ser verificado para os métodos de Linacre e Makkink que apresentaram as menores médias e somatórios da ETo (Tab. 2). Sendo que, para o período de outubro a março, em função dos baixos valores obtidos da evapotranspiração, o IS mensal foi sempre igual a 200 mm. Fato este da razão de que somente o método de Makkink apresentou erro menor da estimativa no mês de março, para o período de outubro a março (Fig. 4).

De uma forma geral nota-se que todos os municípios apresentaram a mesma tendência que a região da Campanha. Os métodos de Jensen-Haise e Hargreaves-Samani foram os que resultaram as maiores ETo média e do somatório, consequentemente nos menores valores de IS (Tab. 2).

O método de Jensen-Haise obteve para todos os municípios da região da Campanha uma classificação diferente do IS em relação ao método de Penman-Monteith, mesmo resultado obtido para o método de Hargreaves-Samani para Alegrete, Bagé e São Gabriel (Tab. 2).

Outro método que obteve valores altos da estimativa da ETo foi o da Radiação Solar, nos seis municípios da região estuda o IS foi o mesmo do método padrão do Sistema CCM Geovítica (Tab. 2). Porém, sendo o terceiro método com maior erro na estimativa da ETo (Fig. 4).

Os métodos que aplicados ao IS apresentaram os valores mais próximos aos obtidos pelo método padrão foram Camargo e Thornthwaite, para todos os seis municípios da Campanha (Tab. 2), sendo, portanto, os métodos com maior correlação ao método padrão (Penman-Monteith).



## Conclusões

- Para as condições climáticas da região da Campanha na escala diária, para o período de outubro a março, os métodos de Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink e Blaney-Criddle apresentam desempenho Muito Bom para a estimativa da evapotranspiração quando comparados ao método padrão Penman-Monteith.
- Para a escala mensal, verifica-se desempenho Ótimo para os métodos de Radiação Solar, Jensen-Haise, Makkink, e Hargreaves-Samani.
- Para o Índice de Seca, os métodos de Thornthwaite, Camargo, Makkink, Blaney-Criddle apresentam desempenho ótimo analisando o mês de março.
- Estes métodos podem ser recomendadas para o cálculo do IS visando a determinar a classe de clima vitícola do Sistema CCM Geovitícola, quando não se dispõe de dados meteorológicos para estimativa da ETo pelo método padrão (Penman-Monteith) para as condições climáticas da Campanha do Rio Grande do Sul.
- Os métodos de Jensen-Haise e Hargreaves-Samani não são metodologias recomendadas para estimativa da ETo, nas condições climáticas da Campanha - RS, pois resultam em classificação do clima vitícola IS diferente do método padrão do Sistema CCM Geovitícola.

## **CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DA APTIDÃO CLIMÁTICA PARA CULTIVO DE *Vitis vinifera* NOS MUNICÍPIOS DA CAMPANHA DO RIO GRANDE DO SUL**

### **Introdução**

A vitivinicultura está em busca de novas fronteiras de produção, utilizando o zoneamento climático como ferramenta para identificar o potencial do clima e do solo para uma viticultura de qualidade, diante de um amplo espectro de opções existente, tais como a diversidade de variedades existentes (TONIETTO et al., 2012).

Dentre as novas regiões produtoras de uvas destinadas a vinificação destaca-se a região da Campanha do Rio Grande do Sul, sendo já responsável por 15% dos vinhos brasileiros (MIOLO, 2011). Segundo Tonietto (2001) esta região se enquadra na quarta geração da vitivinicultura brasileira, pois está em busca de identificação regional (CAMARGO; TONIETTO; HOFFMANN, 2011; FLORES, 2011) apontada como uma alternativa de diversificação aos cultivos tradicionais, como: arroz, soja e pecuária (MARTINS et al., 2009; ENGELMANN, 2009; BRIKNER et al., 2010; FLORES, 2011) e apresenta qualidade internacional nos vinhos produzidos (SCHNEIDER, 2006; MIOLO, 2011).

Apesar da atual ampla dimensão da vitivinicultura na região da Campanha, há carência de estudos entre as condições edafoclimáticas e o desenvolvimento das videiras. Principalmente quanto ao efeito do clima em relação à qualidade das uvas produzidas na região (COSTA, 2011), bem como, a seleção de áreas com maior potencial para viníferas, o que inclui: solo, clima, topografia, indicação de porta enxertos e variedades (FLORES, 2011).

A caracterização climática de regiões produtoras com potencial para a vitivinicultura moderna ganha importância, especialmente nas características das uvas e dos vinhos produzidos. Segundo Zanús e Tonietto (2012) a resposta da

videira às condições climáticas e seus efeitos na biossíntese, translocação, degradação e acúmulo de substâncias da baga são transferidos aos vinhos, definindo principalmente a cor, o aroma e o sabor.

O Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (CCM Geovitícola), proposta por Tonietto e Carbonneau (2004) ampliou a caracterização dos fatores climáticos que implicam na adaptação das variedades (precoces, médias e tardias), na qualidade de uva (açúcar, acidez, cor e aroma) e na tipicidade dos vinhos. Esta metodologia é composta por três índices, onde é caracterizado a disponibilidade térmica, hídrica e o potencial da qualidade das uvas produzidas. Além de relacionar o desenvolvimento vegetativo da videira com variáveis meteorológicas podem demonstrar peculiaridades importantes na caracterização climática de uma região. Segundo Garrido e Angelotti (2011) o clima possui forte influência sobre a videira, sendo importante na definição das potencialidades das regiões para a cultura.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo fazer a caracterização da aptidão climática dos municípios da Campanha do Rio Grande do Sul, para cultivo de videiras *Vitis vinifera*, por meio da metodologia do Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (CCM).

## Materiais e Métodos

O estudo teve como abrangência os municípios da Campanha do Rio Grande do Sul, conforme descrito no macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul, que é compreendida por 14 municípios sendo dividida em duas sub-regiões: Fronteira Uruguai (compreendido os municípios de Aceguá, Pedras Altas, Bagé, Candiota, Dom Pedrito, Herval, Hulha Negra, Quaraí e Santana do Livramento) e Uruguiana/São Gabriel (compreendido os municípios de Alegrete, Rosário do Sul, São Gabriel, Uruguiana e Barra do Quaraí) (MALUF; WESTPHALEN, 1994). Esta região está localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 30 a 32 °S, tendo a altitude variando de 50 a 330 m. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é classificado como Cfa.

Foram utilizados dados meteorológicos diários como: temperatura máxima, mínima e média (°C), precipitação (mm) para o período de 1961 a 2010, de seis postos meteorológicos: Bagé, Quaraí e Santana do Livramento (sub-região Fronteira Uruguai) e Alegrete, São Gabriel, Uruguiana (sub-região Uruguiana/São Gabriel). Estes dados foram organizados em planilhas eletrônicas formando um banco de dados, sendo estruturado de forma sequencial e apresentando em cada coluna as variáveis envolvidas (dados meteorológicos e índices climáticos). Os dados foram obtidos junto ao 8º Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO).

Na caracterização climática foi utilizada a metodologia do Sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovitícola (CCM Geovitícola) (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004), que é composta por três índices: o Índice Heliotérmico (IH), o Índice de Frio Noturno (IF) e o Índice de Seca (IS), conforme descrito pelas equações:

$$IH = \sum_{out}^{mar} \left\{ \frac{[(T_{mx} - 10) + (T_{md} - 10)]}{2} \right\} k \quad (1)$$

onde: IH é o Índice Heliotérmico;  $T_{mx}$  é a temperatura média da máxima (°C) mensal;  $T_{md}$  é a temperatura média da média (°C) do mês; k é o coeficiente comprimento do dia, em que foi considerado 1.

$$IF = T_{mn} \quad (2)$$

onde: IF é o Índice de Frio;  $T_{mn}$  é a temperatura média da mínima (°C) do mês. Foi analisado o mês de março, conforme recomendado pelo Sistema CCM, bem como, para os meses de janeiro e fevereiro, pois nesta região ocorre a maturação de uvas nesta região.

$$IS = \sum_{out}^{mar} W_o + P - T_v - E_s \quad (3)$$

onde:  $W_o$  é a reserva hídrica inicial do solo (200 mm);  $P$  é a precipitação mensal (mm);  $T_v$  é a transpiração potencial mensal do vinhedo (mm);  $E_s$  é a evaporação mensal do solo (mm). Para o cálculo da  $T_v$  foi empregada a expressão:

$$T_v = ETo \cdot k \quad (4)$$

onde:  $ETo$  é a evapotranspiração potencial, estimado pelo método proposto por Thornthwaite (1948);  $k$  é o coeficiente de absorção de radiação pelas videiras, com valores equivalentes a 0,1 para outubro, considerado como o primeiro mês do ciclo vegetativo da cultura, 0,3 para novembro, e 0,5 para dezembro, janeiro, fevereiro e março.

$E_s$  foi determinada pela expressão:

$$E_s = \left( \frac{ETo}{ND} \right) (1 - k) J P_m \quad (5)$$

onde:  $ETo$  é a evapotranspiração potencial; estimado pelo método proposto por Thornthwaite (1948);  $ND$  é o número de dias do período (mês) e  $J P_m$  é o número de dias por mês de evaporação efetiva do solo, que é estimado dividindo-se precipitação por cinco e que deve ser igual ou inferior a  $N$ .

Os parâmetros meteorológicos, usuais em caracterizações climáticas para videiras europeias, foram calculados mensalmente. Em função da região da Campanha apresentar as quatro estações do ano bem definidas, considerou-se como período vegetativo da cultura os meses de outubro a março, conforme

recomendado pelo Sistema CCM (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004). A classificação dos índices empregados se deu pelas seguintes classes (Tab. 1):

**Tabela 1** - Índices climáticos determinados, com suas respectivas classes, simbologia e intervalo de valores das classes. Adaptado de Tonietto e Carbonneau (2004).

| Índices Climáticos              | Classes do clima      | Sigla | Sub-divisão | Intervalo de classe   |
|---------------------------------|-----------------------|-------|-------------|-----------------------|
| Índice de Seca (IS, mm)         | Úmido                 | IS-2  | a           | $IS > 200$            |
|                                 | Úmido                 | IS-2  | b           | $150 < IS \leq 200$   |
|                                 | Subúmido              | IS-1  |             | $50 < IS \leq 150$    |
|                                 | De seca moderada      | IS+1  |             | $-100 < IS \leq 50$   |
|                                 | De seca forte         | IS+2  |             | $IS \leq -100$        |
| Índice Heliotérmico (IH)        | Muito frio            | IH-3  |             | $IH \leq 1500$        |
|                                 | Frio                  | IH-2  |             | $1500 < IH \leq 1800$ |
|                                 | Temperado             | IH-1  |             | $1800 < IH \leq 2100$ |
|                                 | Temperado quente      | IH+1  |             | $2100 < IH \leq 2400$ |
|                                 | Quente                | IH+2  | a           | $2400 < IH \leq 2700$ |
|                                 | Quente                | IH+2  | b           | $2700 < IH \leq 3000$ |
|                                 | Muito quente          | IH+3  |             | $3000 < IH$           |
| Índice de Frio Noturno (IF, °C) | De noites quentes     | IF-2  | a           | $IF > 20$             |
|                                 | De noites quentes     | IF-2  | b           | $18 < IF \leq 20$     |
|                                 | De noites temperadas  | IF-1  |             | $14 < IF \leq 18$     |
|                                 | De noites frias       | IF+1  |             | $12 < IF \leq 14$     |
|                                 | De noites muito frias | IF+2  |             | $IF \leq 12$          |

Após determinação e classificação de cada índice foi analisada a frequência de ocorrência por município, conforme disponibilidade de cada índice, no período de 1961 a 2010.

## Resultados e Discussões

A partir dos valores das temperaturas máximas, mínimas e médias, apresentadas na Tab. 2, é possível verificar que todos os municípios da região da Campanha apresentam condições térmicas adequadas (apresentando somatório do IH superior a 1800) ao cultivo da videira para o período analisado. Da mesma forma, observa-se que praticamente em todos os meses a precipitação atende à demanda hídrica (Tv e Es) da cultura, sendo que os meses de dezembro e janeiro geralmente correspondem aos meses em que esta demanda não é atendida (Tab. 2).

**Tabela 2** - Média das temperaturas máximas ( $T_{mx}$ , °C), mínimas ( $T_{mn}$ , °C) e médias ( $T_{md}$ , °C), da precipitação (P, mm), da transpiração potencial do vinhedo ( $T_v$ , mm), da evaporação direta do solo (Es, mm), e dos Índices Heliotérmico (IH), de Frio Noturno (IF, °C) e de Seca (IS, mm), com suas respectivas classificações, para meses de outubro a março, para os municípios da Campanha do Rio Grande do Sul, com base no período de 1961 – 2010.

| Localidade            | Mês | $T_{mx}$ | $T_{md}$ | IH   | IH_clas | $T_{mn}$ (IF) | IF_clas | P   | $T_v$ | Es   | IS  | IS_clas |
|-----------------------|-----|----------|----------|------|---------|---------------|---------|-----|-------|------|-----|---------|
| Alegrete              | Out | 25,0     | 19,4     | 379  | —       | 13,8          | —       | 159 | 9,4   | 64,1 | 200 | —       |
|                       | Nov | 27,8     | 21,7     | 820  | —       | 15,6          | —       | 95  | 34,9  | 41,4 | 191 | —       |
|                       | Dez | 30,9     | 24,5     | 1368 | —       | 18,1          | —       | 93  | 75,0  | 36,9 | 158 | —       |
|                       | Jan | 31,3     | 25,3     | 1936 | IH-1    | 19,5          | IF-2    | 139 | 78,0  | 52,0 | 149 | —       |
|                       | Fev | 29,9     | 24,6     | 2423 | IH+2a   | 19,3          | IF-2    | 166 | 62,9  | 50,7 | 159 | —       |
|                       | Mar | 28,3     | 22,9     | 2907 | IH+2b   | 17,4          | IF-1    | 117 | 53,6  | 35,7 | 168 | IS-2    |
| Bagé                  | Out | 23,5     | 18,0     | 335  | —       | 12,6          | —       | 143 | 7,5   | 53,7 | 200 | —       |
|                       | Nov | 26,0     | 20,3     | 729  | —       | 14,5          | —       | 116 | 28,4  | 44,1 | 197 | —       |
|                       | Dez | 28,8     | 22,9     | 1222 | —       | 16,9          | —       | 116 | 62,6  | 38,8 | 182 | —       |
|                       | Jan | 30,0     | 24,1     | 1752 | IH-2    | 18,2          | IF-2    | 113 | 67,7  | 41,7 | 169 | —       |
|                       | Fev | 29,2     | 23,6     | 2216 | IH+1    | 18,0          | IF-1    | 131 | 56,6  | 41,0 | 170 | —       |
|                       | Mar | 27,6     | 22,2     | 2677 | IH+2a   | 16,7          | IF-1    | 110 | 51,6  | 31,7 | 174 | IS-2    |
| Quaraí                | Out | 24,7     | 19,1     | 369  | —       | 13,5          | —       | 133 | 8,3   | 57,4 | 200 | —       |
|                       | Nov | 27,3     | 21,4     | 799  | —       | 15,4          | —       | 135 | 31,0  | 48,0 | 196 | —       |
|                       | Dez | 30,5     | 24,2     | 1337 | —       | 17,9          | —       | 122 | 68,9  | 43,2 | 176 | —       |
|                       | Jan | 31,5     | 25,5     | 1910 | IH-1    | 19,4          | IF-2    | 139 | 74,5  | 49,0 | 158 | —       |
|                       | Fev | 30,1     | 24,6     | 2400 | IH+2a   | 19,0          | IF-2    | 154 | 60,6  | 45,0 | 161 | —       |
|                       | Mar | 28,6     | 23,1     | 2891 | IH+2b   | 17,5          | IF-1    | 130 | 55,4  | 36,2 | 166 | IS-2    |
| São Gabriel           | Out | 24,9     | 19,3     | 375  | —       | 13,8          | —       | 131 | 7,9   | 51,1 | 200 | —       |
|                       | Nov | 27,5     | 21,6     | 811  | —       | 15,7          | —       | 111 | 30,5  | 42,6 | 194 | —       |
|                       | Dez | 30,3     | 24,1     | 1344 | —       | 18,0          | —       | 97  | 67,4  | 35,9 | 170 | —       |
|                       | Jan | 31,2     | 25,3     | 1910 | IH-1    | 19,4          | IF-2    | 111 | 73,3  | 46,6 | 152 | —       |
|                       | Fev | 30,2     | 24,7     | 2402 | IH+2a   | 19,1          | IF-2    | 122 | 60,3  | 39,7 | 152 | —       |
|                       | Mar | 28,7     | 23,2     | 2896 | IH+2b   | 17,8          | IF-1    | 117 | 54,7  | 35,1 | 158 | IS-2    |
| Santana do Livramento | Out | 23,2     | 17,7     | 326  | —       | 12,2          | —       | 148 | 7,1   | 47,9 | 200 | —       |
|                       | Nov | 25,9     | 20,0     | 715  | —       | 14,2          | —       | 120 | 27,6  | 43,6 | 198 | —       |
|                       | Dez | 28,5     | 22,5     | 1195 | —       | 16,4          | —       | 129 | 60,0  | 40,4 | 187 | —       |
|                       | Jan | 30,1     | 24,0     | 1723 | IH-1    | 17,8          | IF-1    | 114 | 66,6  | 41,7 | 170 | —       |
|                       | Fev | 29,2     | 23,4     | 2184 | IH+1    | 17,7          | IF-1    | 139 | 55,5  | 37,3 | 167 | —       |
|                       | Mar | 27,2     | 21,8     | 2634 | IH+2a   | 16,3          | IF-1    | 110 | 49,7  | 30,5 | 170 | IS-2    |
| Uruguaiana            | Out | 25,5     | 19,9     | 394  | —       | 14,2          | —       | 155 | 8,9   | 62,2 | 200 | —       |
|                       | Nov | 28,1     | 22,2     | 849  | —       | 16,3          | —       | 117 | 33,5  | 50,5 | 195 | —       |
|                       | Dez | 31,0     | 24,8     | 1404 | —       | 18,6          | —       | 123 | 72,2  | 44,6 | 171 | —       |
|                       | Jan | 32,2     | 26,0     | 1996 | IH-1    | 19,9          | IF-2    | 143 | 77,7  | 53,6 | 154 | —       |
|                       | Fev | 30,8     | 25,1     | 2503 | IH+2a   | 19,3          | IF-2    | 162 | 63,0  | 48,3 | 156 | —       |
|                       | Mar | 29,1     | 23,6     | 3009 | IH+3    | 18,0          | IF-1    | 170 | 57,8  | 44,0 | 169 | IS-2    |
| Campanha              | Out | 24,5     | 18,9     | 363  | —       | 13,4          | —       | 145 | 8,2   | 56,0 | 200 | —       |
|                       | Nov | 27,1     | 21,2     | 787  | —       | 15,3          | —       | 116 | 31,0  | 45,0 | 195 | —       |
|                       | Dez | 30,0     | 23,8     | 1312 | —       | 17,6          | —       | 113 | 67,7  | 40,0 | 174 | —       |
|                       | Jan | 31,0     | 25,0     | 1871 | IH-1    | 19,0          | IF-2    | 126 | 73,0  | 47,4 | 159 | —       |
|                       | Fev | 29,9     | 24,3     | 2355 | IH+1    | 18,7          | IF-2    | 145 | 59,8  | 43,7 | 161 | —       |
|                       | Mar | 28,3     | 22,8     | 2836 | IH+2b   | 17,3          | IF-1    | 126 | 53,8  | 35,5 | 168 | IS-2    |

Os municípios de Uruguaiana, Alegrete, São Gabriel e Quaraí apresentam temperaturas mensais superiores daquelas verificadas em Santana do Livramento e Bagé, tanto para as temperaturas máximas, como para as mínimas (Tab. 2). Acredita-se que isto esteja relacionado ao fator continentalidade, pois estes dois municípios estão mais próximos da Laguna dos Patos e da costa marítima dos demais municípios destacando também a maior altitude destes municípios.

Estes dois fatores fazem com que estes municípios apresentem uma menor variação da temperatura, desta forma apresentando uma menor amplitude térmica. Segundo Tonietto e Mandelli (2003) a região da Campanha do Rio Grande do Sul apresenta alguma interferência marítima, embora o efeito sobre as amplitudes térmicas anuais não chega a ser elevado como ocorre nos climas de tipo continental.

Para Bagé e Santana do Livramento a média das temperaturas máximas mensais foi de 30 e 30,1 °C, respectivamente, para o mês de janeiro. Enquanto que, nos demais municípios estes foram superiores a 31 °C, sendo observado o maior valor em Uruguaiana com 32,2 °C e 19,9 °C como média da temperatura mínima neste mês.

Quando se analisa o Índice Heliotérmico (Tab. 2) nota-se que os municípios de Santana do Livramento e Bagé apresentam menor disponibilidade térmica, pois para o mês de janeiro os demais municípios já apresentam acúmulo térmico suficiente para se enquadrar na classe IH+2a, enquanto que estes ainda são classificados com IH+1. Porém, mesmo assim, nota-se que nenhum município da região apresenta limitação quanto à disponibilidade térmica.

A classificação do Índice Heliotérmico, para o continente Sul, se dá pelo somatório dos valores obtidos entre os meses de outubro a março, com isso verifica-se que, com exceção de Uruguaiana, que todos os municípios se enquadram na classe IH+2. Segundo Tonietto e Carbonneau (2004) esta classe de clima é do tipo quente caracterizada por apresentar potencial que ultrapassa a necessidade de energia térmica solar de maturação das uvas.

Com exceção de Uruguaiana, a classe de clima obtida para os municípios estão em concordância com aqueles obtidos no zoneamento agroclimático para uma vitivinicultura de qualidade para diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul (CPAUV; UFRGS; FEPAGRO, 2004), no qual foi obtido Índice Heliotérmico de 2653 em Bagé, e 2786 em Quaraí, tendo como base climatológica os períodos de 1972 a 1997 e 1963 a 1990, respectivamente.

Ainda no mesmo zoneamento, o município de Uruguaiana obteve IH médio de 2928 para o período de 1963 a 1990, permitindo classificá-lo no limite da classe IH+2. Porém, no estudo atual, tendo como base climatológica o período de 1961 a 2010, o IH determinado foi de 3009, classificando-o como IH+3. Segundo Tonietto e Carbonneau (2004) a classe IH+3 refere-se a um clima muito quente, que além de não ter nenhuma restrição térmica para a maturação das uvas, possui semelhança ao clima encontrado próximos aos trópicos, onde é possível, em alguns casos, ter mais de uma safra por ano.

Porém, como a região da Campanha tem clima mesotérmico, com ocorrência de temperaturas abaixo de 7 °C, não é possível obter mais de uma safra por ano, apesar da elevada disponibilidade térmica. Esta elevada disponibilidade térmica pode produzir efeitos sobre a precocidade da maturação e a qualidade da uva.

A diferença entre o presente trabalho e o zoneamento agroclimático para vitivinicultura no RS (CPAUV; UFRGS; FEPAGRO, 2004) quanto à classificação do IH, justifica-se porque ambos valores estão próximos ao limite do intervalo de classe (3000) e, ainda, porque os períodos abrangidos nos bancos de dados não são exatamente os mesmos. Sendo que, no estudo atual foram observados 20 anos a mais em relação ao outro estudo.

Para os municípios de Bagé e Quaraí também foi observado um aumento do índice heliotérmico, porém como para estes municípios o somatório do índice não estava tão próximo do limite não houve diferença na classificação, permanecendo na classe do tipo quente (Tab. 2).

Assim, verifica-se que toda a Campanha do Rio Grande do Sul apresenta elevada disponibilidade térmica, com valor médio do Índice Heliotérmico da Campanha de 2836, sendo classificado como IH+2b (Tab. 2). Isto indica, que a região apresenta condições climáticas que possibilita o cultivo de cultivares com elevado requerimento térmico, como a “Aromon”. Segundo Tonietto (1999) esta cultivar tem uma demanda térmica do índice heliotérmico de Huglin de 2300 para produzir uvas com uma taxa de açúcar de 180/200 g l<sup>-1</sup>.

É importante ressaltar que a elevada disponibilidade térmica pode acarretar em estresse para as videiras, pois a partir desta classe a ocorrência destas temperaturas ocorrem com mais frequência (TONIETTO, 1999). Maciel et al. (2007) consideram 35 °C como temperatura, a partir do qual, começa a ocorrer danos as videiras, como: desidratação dos cachos, queimaduras, elevada transpiração, etc.

Vários autores (MOTA, 2003; WESTPHALEN; MALUF, 2000, TONIETTO et al., 2006), já relataram, que as características climáticas desta região apresenta menor custo de produção devido a menor necessidade de tratamentos fitossanitários. Proporcionando melhor qualidade ambiental, quando comparada com as regiões vitícolas da Serra do Nordeste (MOTA, 2003; WESTPHALEN; MALUF, 2000).

Outra variável meteorológica que ganha destaque, sobretudo em estudos sobre caracterização climática de área vitivinícolas, é o Índice de Frio Noturno (IF), pois torna-se um indicativo das condições climáticas do ambiente. Associadas ao potencial solar e térmico com a disponibilidade hídricas do solo irão interferir na qualidade das uvas produzidas, no que se refere principalmente aos teores de açúcares, polifenóis, antocianinas e coloração das frutas.

Assim, nota-se que no mês de março o menor índice registrado foi de 16,3 °C e o máximo de 18 °C para Santana do Livramento e Uruguaiana, respectivamente. Apesar da diferença todos os municípios da região da Campanha recebem a classificação IF-1 (Tab. 2). Tonietto e Carbonneau (2004) definem como classe de noites temperadas, apresentando um estado intermediário entre climas com noites frias e noites quentes.

Além disso, Tonietto (1999) destaca que na classe IF-1, em comparação as variedades precoces, as cultivares tardias tendem ter maturação quando as temperaturas são mais baixas. Nas condições climáticas da Campanha, à exceção de Santana do Livramento, os demais municípios apresentam, pelo menos um mês, condições térmicas que se enquadram na classe IF-2 (Tab. 2), no entanto, no mês de março, todos os municípios da região são classificados como IF-1.

Segundo Tonietto e Carbonneau (2004) esta classe é do tipo de noites quentes e caracteriza-se por apresentar temperaturas elevadas para todas as cultivares. Temperaturas elevadas durante a noite podem acarretar num gasto maior de fotoassimilados com a respiração das plantas, diminuindo os teores de açúres dos frutos. Por isso, estas condições podem afetar por exemplo, a cor baga e potencial aromático das uvas (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004).

O índice heliotérmico médio para as condições climáticas da Campanha é de 1312 em dezembro (Tab. 2), tendo o somatório com início em outubro. Trabalhos desenvolvidos na Campanha sobre fenologia demonstram que as uvas iniciam a brotação nos meses de agosto e setembro (AMARAL et al., 2009; COSTA, 2011)

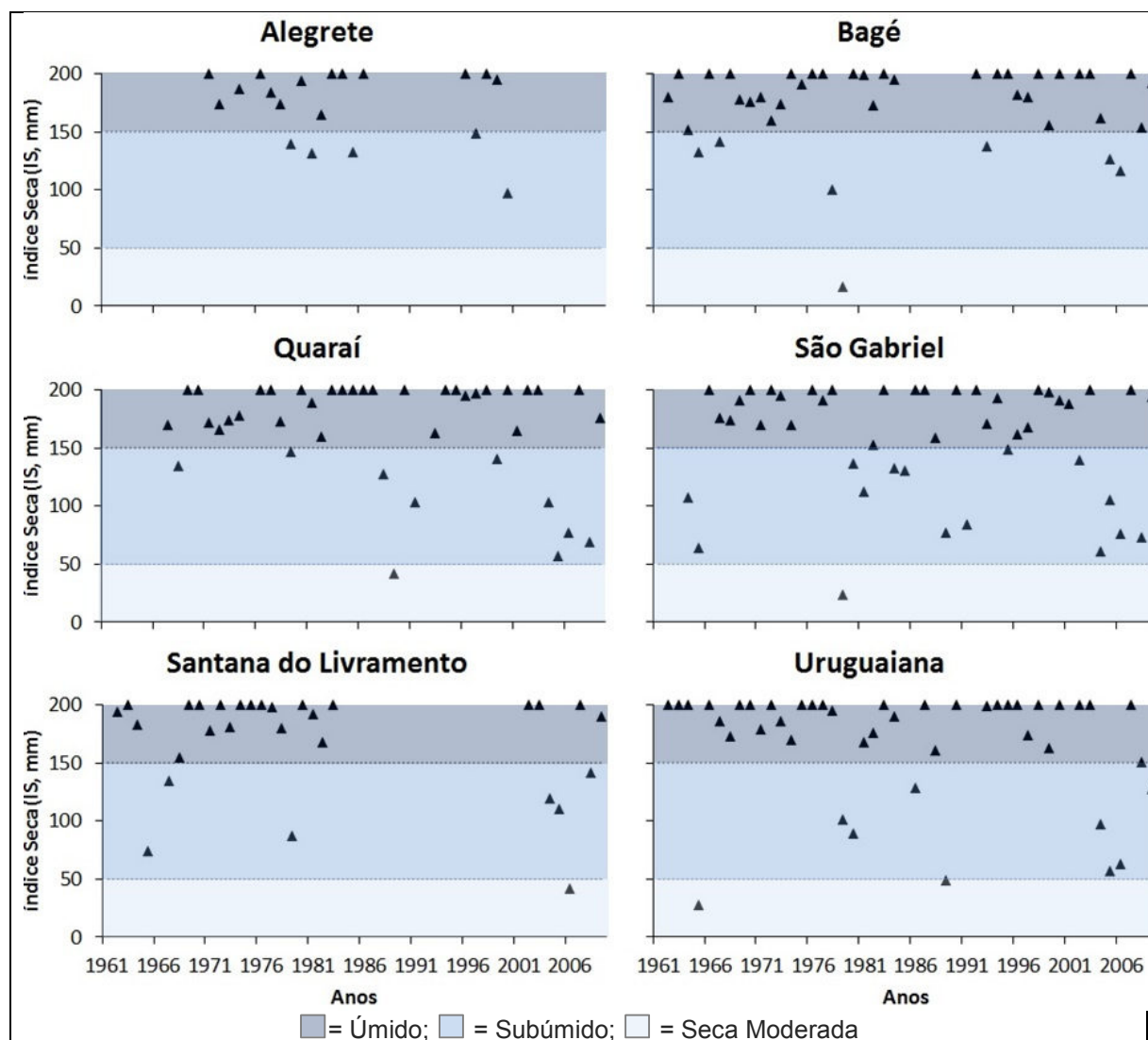
com isso, acredita-se que é possível que cultivares precoces tenham sua exigência térmicas atendidas já no mês de dezembro.

Desta forma, a disponibilidade térmica da região pode auxiliar na tomada de decisão quanto ao manejo adotado nos parrerais, como presente na Tab. 2 que São Gabriel e Quaraí apresentam dois meses em que as condições térmicas encontram-se na classe quente do Índice de Frio Noturno. Logo, deduz-se que nestes meses as plantas consomem mais açúcares interferindo na qualidade e na cor da uva colhida.

Uma alternativa é adiantar ou atrasar o momento da colheita, de forma a não coincidir com os meses mais quentes (janeiro e fevereiro), sendo este manejo influenciado pela época de poda e disponibilidade térmica da região. Situação similar relatada por Orffer (1977) na província do Cabo, em que adotou esse manejo objetivando melhorar a qualidade das uvas destinadas a elaboração de vinhos brancos de mesa.

Outra estratégia que pode auxiliar na produção de uvas com maior qualidade na região da Campanha, seria optar por cultivares precoces ou tardias na implantação do parreiral, visando que a maturação ocorra no mês de dezembro para as cultivares precoces, e em março para as tardias, como por exemplo: Chardonnay e Cabernet Sauvignon, respectivamente.

A qualidade final das uvas também é influenciada pela disponibilidade hídrica do solo. Analisando o Índice de Seca, os municípios da Campanha foram classificados como úmido (IS-2) no mês de março (Tab. 2). Segundo Tonietto e Carbonneau (2004) esta classe é caracterizada por apresentar elevado nível de disponibilidade hídrica, e tendência para o excesso de umidade no que se refere a qualidade na maturação, por isso apresenta as melhores condições de maturação das uvas em anos menos úmidos. Isso fica evidente quando se analisa a variação do Índice de Seca ao longo da série estudada, apresentando valores nas classes IS-2, IS-1 e IS+1 (Fig. 1).



**Figura 1** – Índice de Seca obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul..

É possível observar na Fig. 1 que com exceção de Alegrete, os demais municípios apresentaram, ao longo da série estudada pelo menos um ano em que o IS obteve classificação de seca moderada (IS+1). Segundo Tonietto e Carbonneau (2004) esta classe apresenta condições climáticas onde a videira pode potencialmente enfrentar déficit hídrico. Além disso, os autores destacam que há uma significativa regulação estomática da planta, e que, geralmente, estas condições são favoráveis à maturação.

A ocorrência da classe IS+1 está relacionado ao volume de precipitação ocorrido naquela safra, sendo que os municípios com maior demanda hídrica (Tab. 2) apresentam uma probabilidade maior de ocorrência dos menores índices de seca

(Fig. 1). Esta condição hídrica, aliada a condição térmica da região, proporciona a produção de uvas com qualidade destacável.

Em outras regiões do mundo a irrigação torna-se necessária para a prática da viticultura, como a região do Vale do Submédio São Francisco com um Índice de Seca que varia de -86 a 46 mm (TONIETTO, 1999). Porém, a irrigação é praticada somente em certos casos, sobretudo quando as regiões apresentam esta classificação quando teve o clima vitícola determinado pela normal climatológica, correspondendo assim a uma suscetibilidade maior a estresse hídricos.

Em nenhum ano analisado o IS obteve valores que se enquadram como de seca moderada em Sanatana do Livramento, pois esta região apresenta uma demanda atmosférica menor. Esta demanda pode estar relacionada a menor disponibilidade térmica observada.

Já para a classe subúmido (IS-1), observa-se uma frequência maior da ocorrência desta classe em todos os municípios da região em estudo (Fig. 1). Dentre as safras analisadas, Alegrete, Quaraí, São Gabriel e Santana do Livramento apresentaram mais de 20% dos valores dentro desta classe, encontrando a maior frequência para o município São Gabriel com 30% (Tab. 3).

Como já demonstrando pelos valores médios do período analisado (Tab. 2), a maior frequência ocorreu na classe do tipo úmido (IS-2 e Tab. 3), sendo que Bagé apresentara 83% das safras com valores dentro desta classe. Nota-se outra peculiaridade para Uruguaiana neste período analisado, apesar de apresentar 18% dos dados dentro da classe IS+1, o que correspondeu a sete safras, nota-se que este foi o único município em que apresentou duas safras dentro da classe IS+1 (Tab. 3). Acredita-se que isto está também relacionado a maior disponibilidade térmica existente nesse município (Tab. 2) a qual pode acarretar em uma demanda hídrica maior.

Fato este, também confirmado se analisado a frequência de ocorrência de anos do índice de seca sem a restrição da reserva hídrica do solo (Tab. 3). Observa-se que os municípios de São Gabriel e Uruguaiana foram os únicos que apresentaram uma porcentagem menor de 90% para a classe IS-2a.

**Tabela 3** – Índice de Seca (IS), com restrição de 200 mm (IS<200) e sem restrição (IS>200), com porcentagem (%) e número de ocorrência, distribuídos conforme classificação do IS e respectivo valor obtido no mês de março (ISmar), obtido com base na série de 1961 – 2010.

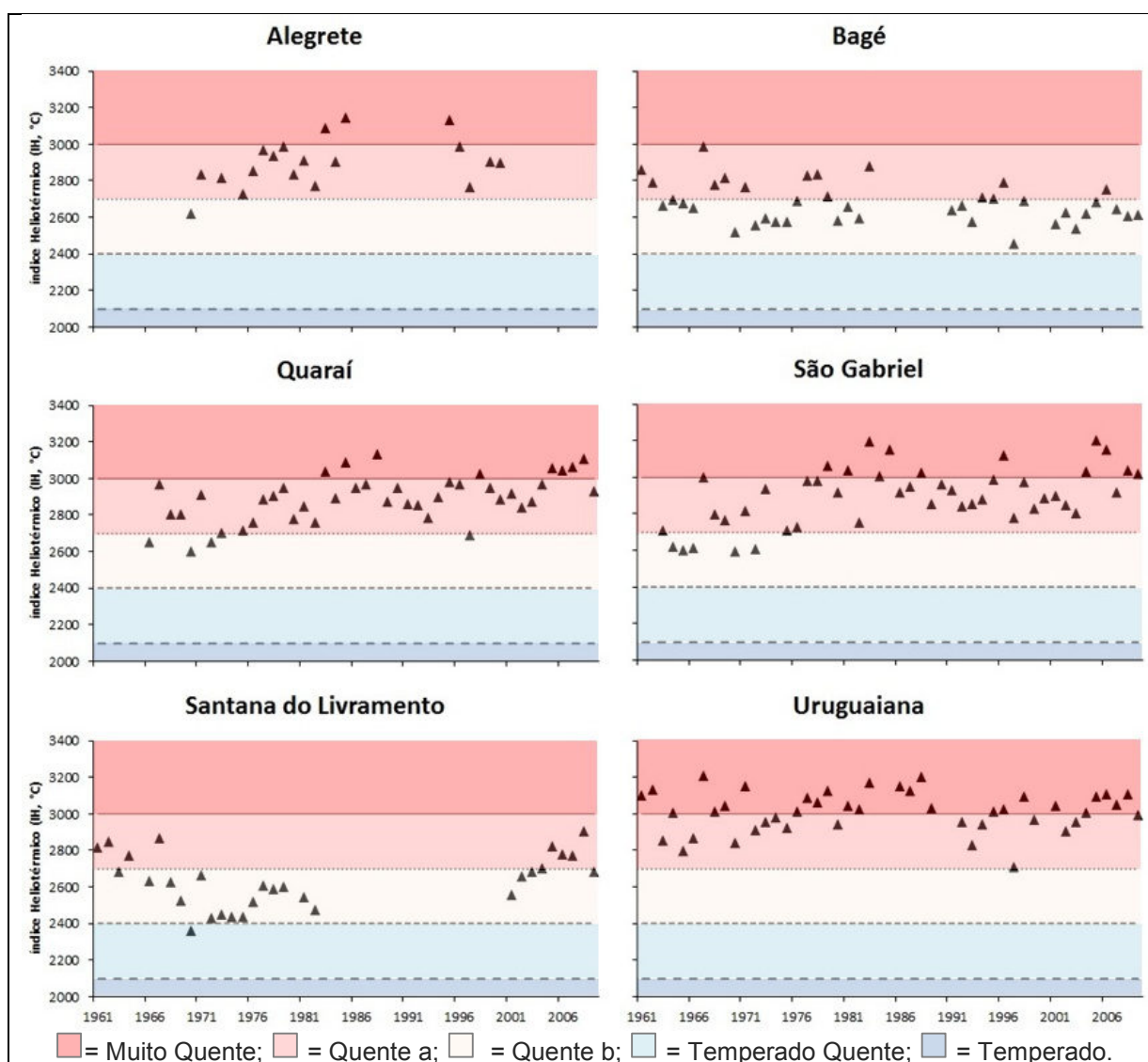
| Município             | Restrição | Ocorrência  | IS+2* | IS+1 | IS-1 | IS-2b | IS-2a | Total | ISmar |
|-----------------------|-----------|-------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Alegrete              | IS<200    | Número      | 0     | 1    | 5    | 14    | –     | 20    | 168   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 5    | 25   | 70    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 1    | 1     | 18    | 20    | 417   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 5    | 5     | 90    | 100   |       |
| Bagé                  | IS<200    | Número      | 0     | 1    | 6    | 33    | –     | 40    | 174   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 3    | 15   | 83    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 1    | 1     | 38    | 40    | 426   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 3    | 3     | 95    | 100   |       |
| Quaraí                | IS<200    | Número      | 0     | 1    | 9    | 33    | –     | 43    | 166   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 2    | 21   | 77    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 1    | 3     | 39    | 43    | 445   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 2    | 7     | 91    | 100   |       |
| São Gabriel           | IS<200    | Número      | 0     | 1    | 14   | 31    | –     | 46    | 158   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 2    | 30   | 67    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 2    | 8     | 36    | 46    | 346   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 4    | 17    | 78    | 100   |       |
| Santana do Livramento | IS<200    | Número      | 0     | 1    | 6    | 19    | –     | 26    | 170   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 4    | 23   | 73    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 2    | 0     | 24    | 26    | 455   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 8    | 0     | 92    | 100   |       |
| Uruguaiana            | IS<200    | Número      | 0     | 2    | 7    | 31    | –     | 40    | 169   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 5    | 18   | 78    | –     | 100   |       |
|                       | IS>200    | Número      | 0     | 0    | 4    | 1     | 35    | 40    | 453   |
|                       |           | Porcentagem | 0     | 0    | 10   | 3     | 88    | 100   |       |

\*IS-2a =; Úmido; IS-2b = Úmido; IS-1 = Subúmido; IS+1 = De seca moderada; IS+2 = De seca forte.

Ainda na Tab. 3, que devido a precipitação atender a maior parte dos meses a demanda evapotranspirativa na região, no período analisado (Tab. 2), o valor obtido para os IS em março sem restrição foi o dobro para como IS com restrição, sendo obtido o maior valor para Quaraí e Santana do Livramento (Tab. 3). Por isso também, não foi registrado nenhum evento dentro da classe IS+1, na condição sem restrição.

Ao longo da série analisada observa-se uma menor oscilação do índice heliotérmico nos municípios analisados (Fig. 2). Os máximos valores do Índice Heliotérmico foram registrados em Uruguaiana variando de 2705 a 3205, enquanto

que os menores valores foram observados em Santana do Livramento variando de 2361 a 2901 (Fig. 2).



**Figura 2** – Índice de Heliotérmico obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul.

Pela Fig. 2 o município de Santana do Livramento foi o único em que apresentou disponibilidade térmica na classe do tipo temperado quente (IH+1). De acordo com Tonietto e Carbonneau (2004) a partir desta classe não há mais restrição heliotérmica para amadurecer as cultivares de uvas, exceto algumas variedades sem sementes.

Então mesmo as cultivares com maior exigência térmica irão ter sua demanda suprida durante estes anos, tendo um desenvolvimento vegetativo mais lento devido a menor disponibilidade térmica. Ainda na Fig. 2 é possível visualizar que este

evento ocorreu no ano de 1970, porém observa-se também que até o ano de 1975 o município apresentou disponibilidade térmica bastante próxima do limite da classe temperado quente (IH = 2400).

Santana do Livramento e Bagé foram os únicos municípios que não apresentaram nenhum ano com disponibilidade térmica na classe IH+3 (Fig. 2). Acredita-se que isso esteja relacionado aos fatores continentalidade e a altitude conforme descrito antes.

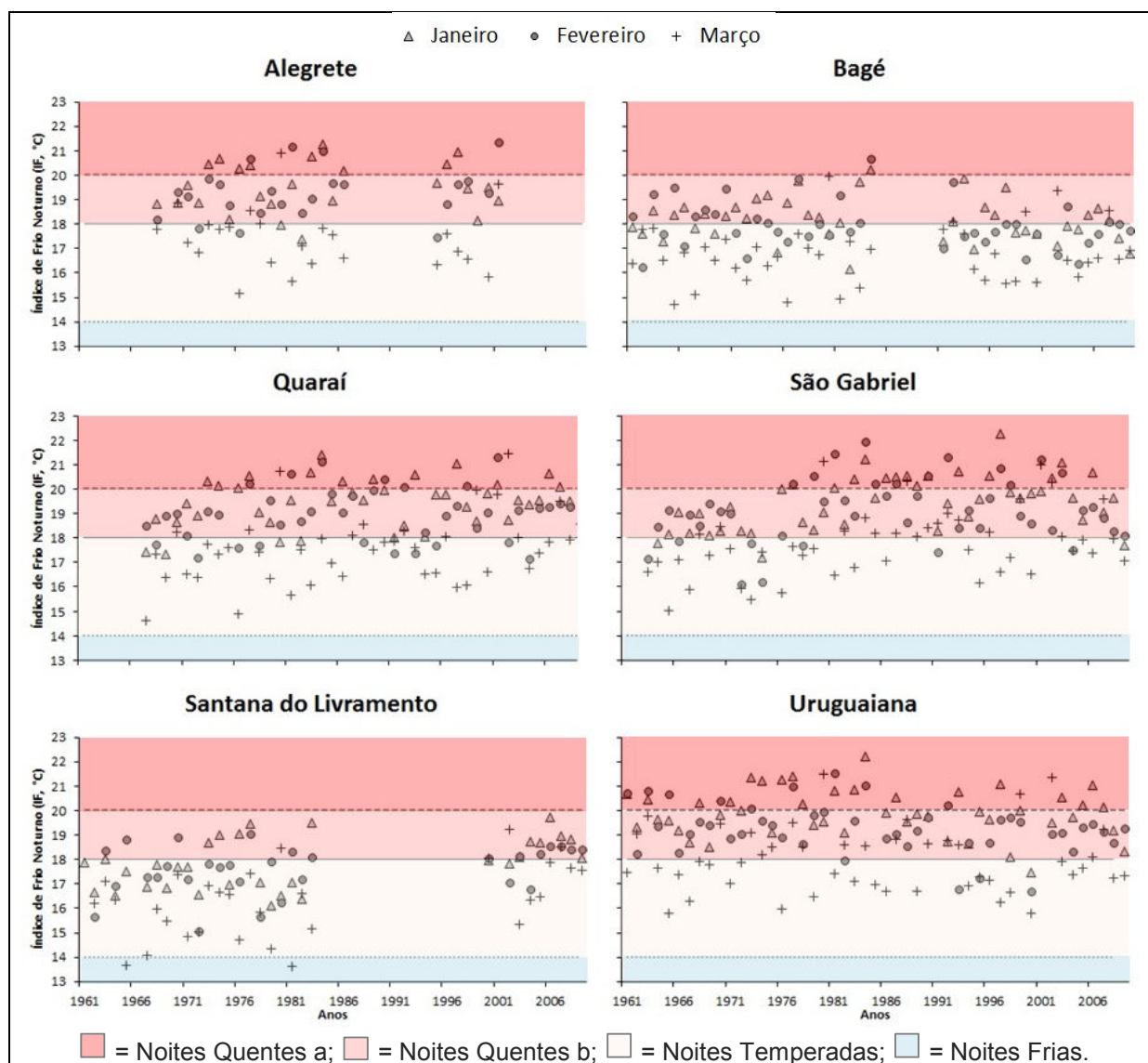
A ocorrência da divisão da classe IH+2 em duas novas classes (IH+2a e IH+2b), permitiu caracterizar melhor a disponibilidade térmica da região da Campanha do Rio Grande do Sul. Como pode ser observado na Fig. 2, Uruguaiana corresponde ao município da região com maior disponibilidade térmica, pois os valores obtidos pelo índice heliotérmico ocorrem 39% na classe IH+2b e 61% na IH+3.

Enquanto que em Alegrete, Quaraí e São Gabriel os valores ajustaram entre estas as classes IH+3 a IH+2a. Sendo que, a maior frequência na classe IH+3 entre estes três municípios ocorreu em São Gabriel, com 26%; seguido de Quaraí, com 19%; e Alegrete, com 16%. Desta forma, o desenvolvimento vegetativo das videiras na Campanha do Rio Grande do Sul geralmente irá apresentar um ciclo menor em dias em Uruguaiana, seguido de São Gabriel, Quaraí, Alegrete, Bagé e com um ciclo mais longo em Santana do Livramento. Como relatado por Amaral et al. (2009) avaliando o comportamento fenológico de um grupo de cultivares *Vitis vinifera* e observaram que as brotações iniciaram antes em Uruguaiana e que, praticamente, todas as cultivares apresentaram um ciclo em dias menor do que comparados as cultivares cultivadas em Quaraí.

Na análise do Índice de Frio Noturno para os meses com potencial de maturação na Campanha, nota-se a mesma tendência já observada para o índice heliotérmico, apresentando as noites mais quentes nas regiões com maior disponibilidade (Uruguaiana) e as noites mais frias nas com menor disponibilidade térmica (Santana do Livramento) (Fig. 2 e Fig. 3).

Por meio dos dados de IF deduz-se que em Santana do Livramento as uvas produzidas poderão ter teor de açúcar maior e com coloração mais intensa do que em Uruguaiana. Porém, ressalta-se que a qualidade final das uvas produzidas é resultante das interações solo-clima-plantas que ocorrem ao longo de todo do ciclo da cultura da videira. São necessários estudos a campo nestas localidades analisando

a produção e a qualidade das uvas produzidas, relacionando com as condições meteorológicas de cada safra, para quantificar a diferença em que as condições climáticas podem interferir na qualidade das uvas produzidas na região da Campanha.



**Figura 3** – Índice do Frio Noturno obtido, para série de 1961 a 2010, em seis municípios localizados na Campanha do Rio Grande do Sul.

Da mesma forma que a subdivisão da classe IH+2 em duas classes auxiliou na caracterização do clima da região nota-se o mesmo em relação ao Índice de Seca. Na Fig. 3 visualiza-se que municípios como Santana do Livramento e Bagé, com exceção de dois meses para este último município, não apresentaram meses na classe IF-2a, enquanto que todos os demais apresentaram. Sendo observada a

maior ocorrência no município de Uruguaiana, seguido de São Gabriel, Quaraí e Alegrete.

Além disso, é possível visualizar na Fig. 3 que em todos os municípios para o mês março a maior frequência foi observada na classe do tipo de noites temperadas, enquanto que para os meses de janeiro e fevereiro, com exceção de Alegrete e Bagé, maior frequência na classe do tipo quente.

### **Conclusões**

O Sistema Classificação Climática Multicritério Geovitícola (CCM) permite caracterizar o clima da região em três classes térmicas por meio do Índice Heliotérmico, demonstrando que todos os municípios apresentam elevada disponibilidade térmica, possibilitando o cultivo de cultivares com elevada exigência térmica.

Alegrete, Bagé, Quaraí, São Gabriel, Santana do Livramento e Uruguaiana apresentam a mesma classe de clima quanto aos Índices de Seca e de Frio Noturno, sendo eles do tipo úmido e de noites quentes, respectivamente.

Análise anual dos índices do CCM Geovitícola ao longo da série de dados de 1961-2010, demonstra haver variabilidade nos três índices do sistema na região da Campanha, porém sempre apresentado condições favoráveis para a maturação das uvas destinadas a vinificação.

### **CAPÍTULO 3. RISCO DE GEADA E DURAÇÃO DOS SUBPERÍODOS FENOLÓGICOS DA ‘CABERNET SAUVIGNON’, ESTIMADOS COM BASE NA DISPONIBILIDADE TÉRMICA DA REGIÃO DA CAMPANHA/RS, BRASIL**

#### **Introdução**

O Brasil é o terceiro produtor de vinho na América do Sul (CANZIANI; SCAREL, 2010). O Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro (BRUNETTO et al., 2007), com quatro regiões vitivinícolas: Serra Gaúcha, Campanha, Serra do Sudeste e Campos de Cima da Serra. Dentre estas, se destaca a viticultura da Campanha, que vem se destacando na vitivinicultura.

O setor da vitivinicultura da Campanha vem se consagrando no cultivo de cultivares como: Chardonnay, Riesling Itália, Trebbiano, (brancas), Cabernet Franc, e Cabernet Sauvignon e Merlot (tintas) (CANZIANI; SCAREL, 2010). Sendo que, ‘Cabernet Sauvignon’ é a vinífera tinta mais importante do Estado. É de brotação e maturação tardia, relativamente vigorosa, de média produção e elevada qualidade para vinificação (RIZON; MIELE, 2002).

A determinação do desenvolvimento da cultura frente às condições climáticas, como por exemplo, o risco de geada e o início da brotação são parâmetros importantes na escolha das regiões com aptidão para a vitivinicultura, uma vez que são variáveis que influenciam direta e indiretamente na produtividade e na qualidade final das uvas produzidas.

Assim, o estudo do risco de geadas para a região da Campanha torna-se necessário, pois geadas primaveris podem causar a destruição dos órgãos herbáceos da planta (BARRERA; GONZÁLES; PARRA, 2007). Os sintomas de danos podem ser percebidos nos tecidos jovens e gemas em início de brotação, que se tornam flácidos, chamuscados e de coloração caramelada, secando posteriormente (MANDELLI; MIELE; TONIETTO, 2009).

Na caracterização da cadeia da vitivinicultura no sudoeste do Paraná Zarth (2011) constatou que as geadas ocorrem esporadicamente em regiões específicas e, quando ocorrem em agosto e setembro, causam danos às brotações dos parreirais mesmo ocorrendo com intensidade de fraca a média. As videiras de brotação precoce, como Chardonnay e Pinot Noir, são mais suscetíveis a danos graves, ocasionando perdas totais da produção nos vinhedos mais expostos ao fenômeno e perdas significativas inclusive em vinhedos mais protegidos (MANDELLI, 2007).

Um aspecto importante a ser considerado nestes estudos, é que este é um fenômeno que ocorre na superfície terrestre. Assim, uma maneira bastante simples para a sua determinação é o uso da temperatura mínima da relva para expressar a intensidade do evento (OLIVEIRA; BERLATO; FONTANA, 1997) e para medir a frequência de ocorrência em determinado período.

Vários autores em estudos similares trabalham com base na temperatura mínima do abrigo meteorológico, pois supera em 4 °C em relação a temperatura mínima na relva (GRODZKI; et al, 1996; SILVA; SENTELHAS, 2001; CARAMORI et al., 2008; ALMEIDA et al., 2009). Desta forma, a temperatura de 3 °C, no abrigo meteorológico, representa uma temperatura de -1 °C na relva, apresentando condição favoráveis a formação de geada e que podem causar danos nas videiras.

O conhecimento das datas de ocorrência dos eventos fenológicos, por meio das exigências térmicas, é uma técnica da viticultura moderna que auxilia na otimização do processo produtivo. Uma vez que possibilita a racionalização e o melhor planejamento das práticas culturais que são indispensáveis para o cultivo da videira (MANDELLI et al., 2003). Sabe-se, que o desenvolvimento vegetativo varia em função das características intrínsecas de cada cultivar, da época de poda, e das condições do tempo de cada safra (LEÃO; SILVA, 2003; BRIXNER et al., 2010).

Alguns trabalhos abordaram a fenologia e as exigências térmicas das videiras no Rio Grande do Sul, dentre eles Schiedeck et al. (1997), Mandelli et al. (2003), Chavarria et al. (2009), Brixner et al. (2010), Anzanello, Souza e Coelho (2012), Radünz et al. (2012), os quais compararam a fenologia de diferentes cultivares em relação aquela região de outras regiões vitícolas. Assim, verifica-se carências de estudos quanto ao comportamento fenológico de videiras para diferentes períodos, pois acredita-se que possam ocorrer diferenças significativas, quanto às prováveis datas e aos números de dias para as condições climáticas do Sul do Brasil.

Estudos sobre o requerimento térmico para videira na Campanha são poucos, para 'Cabernet Sauvignon' Brixner et al. (2010) observaram requerimento térmico de 2.208 GD, em Uruguaiana analisando três safras, enquanto que Costa (2011) observou um requerimento térmico de 1.926 GD, em Santana do Livramento analisando dezoito safras. Tal diferença de exigência está relacionada ao momento que iniciou o acompanhamento fenológico, pois Brixner et al. (2010) consideraram a partir da poda e Costa (2011) admitiu a partir do início da brotação, e ainda, ao momento da colheita, que em ambos locais variou entre as safras.

Em anos com inverno mais frio a brotação poderá ocorrer antes, devido ao suprimento das horas frio, porém o ciclo vegetativo tenderá ser mais lento (maior número de dias), devido a menor disponibilidade térmica nesse período do ano. O inverso poderá acontecer em anos com invernos menos rigorosos, ou seja, com brotações mais tardias e ciclo vegetativo mais curto em dias. Tornam-se importantes estudos do comportamento fenológico com base em diferentes datas de brotação, determinados com base numa série histórica de dados meteorológicos (normal climatológica) permitindo quantificar em dias a fenologia das plantas para cada época de brotação, bem como, a provável data de ocorrência dos diferentes subperíodos fenológicos, permitindo caracterizar o clima da região por meio da disponibilidade térmica.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivos identificar os períodos com maior risco de formação de geada, bem como, avaliar as alterações quanto a duração do ciclo fenológico da videira 'Cabernet Sauvignon', estimados com base na disponibilidade térmica dos municípios de Alegrete, Bagé, Quaraí, São Gabriel, Santana do Livramento e Uruguaiana, localizados na região da Campanha do Rio Grande do Sul.

### **Materiais e Métodos**

O estudo teve como abrangência os municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul (RS), conforme descrito no macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul (MALUF; WESTPHALEN, 1994), esta região é composta por 14 municípios e dividida em duas sub-regiões: Fronteira Uruguai e Uruguaiana/São Gabriel.

Foram utilizados dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar, para o período de 1961 a 2010, de seis postos meteorológicos, sendo eles: Bagé, Quaraí e Santana do Livramento (sub-região Fronteira Uruguai) e Alegrete, São Gabriel, Uruguiana (sub-região Uruguiana/São Gabriel), com uma série mínima de observações diárias de 25 anos. Estes dados foram organizados em planilhas eletrônicas, formando um banco de dados que foi estruturado de forma sequencial, tendo os registros diários nas linhas e com os respectivos anos nas colunas. Os dados foram obtidos junto ao 8º Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO).

Para determinação do risco de geada, considerou-se no período de 01/abril a 12/novembro por serem estas as datas limites mais próximas ao primeiro e ao último evento, respectivamente. A frequência diária em que a temperatura mínima apresentou valores iguais ou inferiores a 3 °C correspondeu como condição favorável a formação de geada. Desta forma, quando a condição foi satisfeita registrou-se o valor “1”, caso contrário “0”, e a média do número de vezes desta condição estabeleceu a probabilidade de ocorrência do risco diário de geada no período analisado, multiplicando-o por 100 para transformar em porcentagem (%).

Para o requerimento térmico da cultivar Cabernet Sauvignon, foi utilizado como referência o trabalho de Costa (2011) o qual estabeleceu a necessidade de 106,6 GD, do Início da Brotação ao Fim da Brotação (IB-FB); de 231,6 GD, do Fim da Brotação ao Início da Floração (FB-IF); de 135,8 GD, do Início da Floração ao Fim da Floração (IF-FF); 725,1 GD, do Fim da Floração ao Início da Maturação (FF-IM), e 727,8 GD, do Início da Maturação ao Fim da Maturação (IM-FM), totalizando, assim, do Início da Brotação à Colheita (IB-CO) 1926,9 GD.

As datas dos estádios fenológicos foram simuladas para o período 01/agosto a 10/outubro, por meio da disponibilidade térmica, que foi determinada para toda a série histórica (1961-2010, conforme disponibilidade de dados para cada município), utilizando o método de Graus-Dia (GD), conforme equação:

$$GD = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_{mx} + T_{mn}}{2} \right) - T_b \quad (1)$$

Onde:

GD= Graus-Dia (°C), somatório da brotação (n) até estágio fenológico (i=1);

$T_{mx}$ = Temperatura máxima do ar (°C);

$T_{mn}$ = Temperatura mínima do ar (°C);

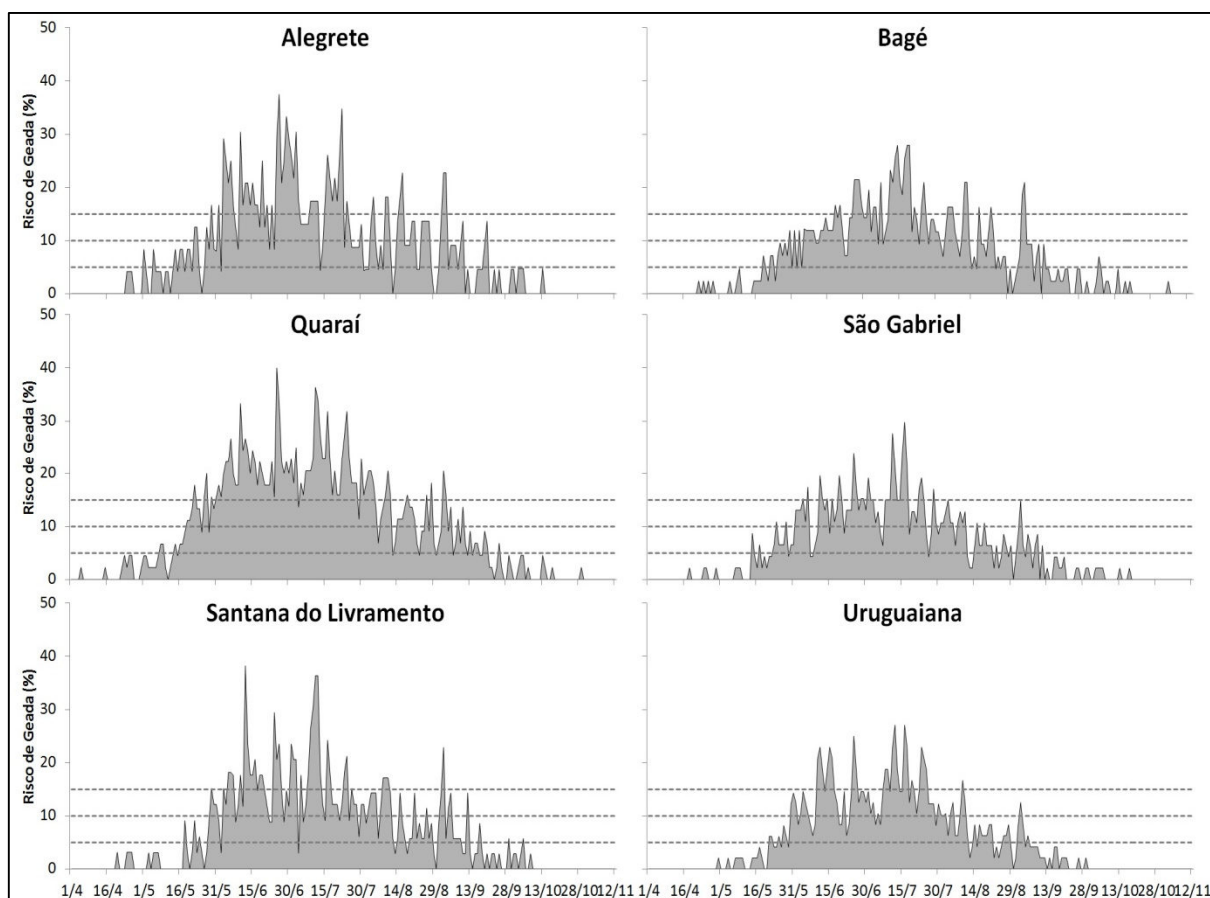
$T_b$ = Temperatura base (°C), equivalente a 10 °C (PEDRO JÚNIOR et al., 1994).

Os graus-dia necessários para completar cada subperíodo fenológico, conforme estabelecido por Costa (2011), foram acumulados a partir do início da brotação. Sendo determinado a partir destes dias, até o suprimento da demanda térmica dos subperíodos, o número médio de dias e sua provável data, tendo os resultados apresentados em intervalos de três dias, obtidos com os valores médios de cada intervalo.

Para definir a data de ocorrência das somas térmicas para atingir os diferentes subperíodos fenológicos e calcular o número de dias dos períodos, foi desenvolvido um programa em VBA (Visual Basic for Applications) utilizado dentro da planilha Excel. Os valores apresentados para a região da Campanha são oriundos das médias dos resultados obtidos para os seis postos meteorológicos localizados nesta região.

## Resultados e Discussões

A probabilidade de ocorrência de geadas permitiu identificar um período em comum para toda região da Campanha, entre o final do mês de maio e final do mês de agosto, correspondendo ao período mais suscetível à formação de geada (Fig. 1). Representando, aproximadamente, 100 dias em que a temperatura mínima absoluta do ar atinge pelo menos 3 °C. Resultado semelhante foi observado por Almeida et al. (2009) no zoneamento agroclimático do morango no Rio Grande do Sul, onde observaram o mesmo período crítico tendo a mesma temperatura, para 35 postos meteorológicos distribuídos por todo o estado.



**Figura 1** – Risco diário de formação de geada, de 1º de abril a 12 de novembro, para seis municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1961 a 2010.

Nos seis municípios estudados o maior risco de geada, em um mesmo dia, atingiu 40%, no dia 25 de junho em Quaraí (Fig. 1C). Sendo possível constatar que nos demais municípios este também foi o mês com os valores mais altos, seguidos de julho. Na região do Baixo Vale do Taquari – RS, Buriol et al. (2000) encontraram a maior frequência diária de ocorrência de temperaturas mínimas neste meses.

Apesar do alto risco de geada que ocorre em junho, essa é uma época do ano em que ainda não ocorreu a brotação das videiras, consequentemente, não haverá danos físicos às plantas. Além disso, geadas nesta época podem eliminar alguns parasitas (MANDELLI; MIELE; TONIETTO, 2009).

Na Serra Gaúcha as videiras começam a brotar no final do inverno e início da primavera. Mandelli et al. (2003) constataram por meio da data média do início de brotação de 12 cultivares: precoces iniciam até o dia 10/setembro; ciclo médio iniciam entre os dias 11 e 20 de setembro; e as de ciclo tardio iniciam após o dia

20/setembro. O mesmo comportamento foi observado por Costa (2011), para quatro viníferas em Santana do Livramento.

Agosto, sobretudo no terceiro decêndio, existe probabilidade em torno de 10% de ocorrência de geada, equivalendo, em média, a uma geada a cada 10 anos (Figura 1). A última data com probabilidade superior de ocorrência de 10% foi próximo ao dia 2/setembro, em São Gabriel, Uruguaiana e Bagé, e nos dias 10, 12 e 20 de setembro para Quaraí, Santana do Livramento e Alegrete, respectivamente. Destes municípios, destacam-se Bagé e Quaraí (Figura 1B e C), com probabilidade superior a 10% para esta data, em especial Bagé com praticamente 20% de risco, o que representa uma geada a cada 5 anos. Destaca-se que esta data também corresponde como a última com condições favoráveis ao nível de 15%.

De modo geral, verifica-se que para região da Campanha o primeiro decêndio de setembro tem uma probabilidade significativa de condições favoráveis a formação de geadas. Isto também foi observado por Maluf et al. (2011), em que estes destacam que apesar de não ser uma região com alta altitude, apresenta uma probabilidade de ocorrência de geada significativa para o primeiro decêndio de setembro, apresentado valores próximos aos obtidos em Caxias do Sul e Bento Gonçalves, fato este influenciado pelas frentes frias que penetram através da região da Campanha e avançam no estado do Rio Grande do Sul.

Formação de geada ao nível de 15%, que representa uma a cada 7 anos, no período analisado, ocorre a última data em São Gabriel e Uruguaiana no primeiro decêndio de agosto (Figura 1D e F). Enquanto para os demais municípios, ocorreu no primeiro decêndio de setembro. Porém o valor encontrado em São Gabriel no início do mês de setembro é um risco de 14,8% (Figura 1D), o que representa uma condição significativa à formação de geada em que pode ocasionar danos físicos as plantas.

Segundo Barrera, Gónzáles e Parra (2007) as brotações e os cachos podem ser danificados com temperaturas inferiores a  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na Campanha, após a última data de formação de geada com risco de 10 e 5%, as temperaturas mínimas absolutas foram  $-0,4$  e  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, em São Gabriel. Para o limite de 5%, com exceção de São Gabriel, todas as regiões apresentaram valores superiores a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

As brotações que ocorreram tendo 5% de risco de geada apresentam baixa probabilidade de sofrerem danos físicos provocados pelas baixas temperaturas. Esta

condição é obtida a partir de 5 e 11 de setembro em Uruguaiana e São Gabriel, respectivamente, e a partir de outubro em Santana do Livramento (dia 5), Bagé (dia 12), Alegrete e Quaraí (dia 13) (Fig. 1).

Em estudo da probabilidade de ocorrência de geada para o estado do Rio Grande do Sul, realizado com dados meteorológicos decendiais da temperatura mínima absoluta do ar, para o período de 1944 a 1993, Oliveira, Berlato e Fontana (1997) verificaram que, para a região da Campanha - RS existe elevado risco de formação geada, do primeiro decêndio de agosto ao segundo de outubro, variando de 64 a 16%.

Nota-se que os valores obtidos por aqueles autores apresentaram risco de probabilidade maior do que os obtidos no presente trabalho. Essa diferença pode ser atribuída à forma de como foi calculada a probabilidade nestes trabalhos. Pois Oliveira, Berlato e Fontana (1997) determinaram com base na temperatura mínima absoluta do ar por decêndio, enquanto que neste trabalho foi determinada em função da temperatura mínima diária, assim desta forma, diminuindo o valor obtido da frequência de ocorrência de temperaturas favoráveis a formação de geada. Mesmo assim existindo similaridade nos resultados no que se refere aos períodos com maior risco para formação de geada.

A duração dos subperíodos fenológicos para a 'Cabernet Sauvignon', indica tendência de diminuição do número de dias quanto mais tardia for a brotação (Tab. 1). Estudos similares para a videira 'Niagara Rosada', no estado de São Paulo, também constaram a mesma tendência (PEDRO JÚNIOR; SENTELHAS; MARTINS, 1994; BARDIN et al., 2010). Isso ocorre, pois a disponibilidade térmica está saindo de menores temperaturas (inverno) para uma estação com mais elevadas (primavera) (Tab. 2).

**Tabela 1** - Número médio de dias e desvio padrão da duração dos subperíodos fenológicos e data simulada de ocorrência dos principais estádios, para a videira ‘Cabernet Sauvignon’, no período de agosto a início de outubro, na região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil.

| Data do<br>Início da<br>Brotação | Subperíodos Fenológicos* |       |           |       |           |       |            |       |            |       |
|----------------------------------|--------------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                                  | IB - FB                  |       | IB - IF   |       | IB - FF   |       | IB - IM    |       | IB - FM    |       |
|                                  | Nº dias                  | Data  | Nº dias   | Data  | Nº dias   | Data  | Nº dias    | Data  | Nº dias    | Data  |
| Agosto                           |                          |       |           |       |           |       |            |       |            |       |
| 1                                | 22 (+/-6)                | 24/08 | 59 (+/-7) | 30/09 | 76 (+/-7) | 16/10 | 139 (+/-7) | 19/12 | 188 (+/-8) | 06/02 |
| 4                                | 22 (+/-5)                | 27/08 | 58 (+/-7) | 02/10 | 75 (+/-7) | 18/10 | 137 (+/-7) | 20/12 | 186 (+/-8) | 07/02 |
| 7                                | 22 (+/-5)                | 29/08 | 57 (+/-7) | 04/10 | 73 (+/-7) | 20/10 | 135 (+/-7) | 21/12 | 184 (+/-8) | 08/02 |
| 10                               | 21 (+/-5)                | 31/08 | 56 (+/-7) | 05/10 | 71 (+/-6) | 21/10 | 133 (+/-7) | 21/12 | 182 (+/-8) | 09/02 |
| 13                               | 20 (+/-6)                | 03/09 | 54 (+/-7) | 07/10 | 70 (+/-6) | 22/10 | 131 (+/-7) | 22/12 | 180 (+/-8) | 10/02 |
| 16                               | 20 (+/-6)                | 05/09 | 53 (+/-6) | 08/10 | 68 (+/-6) | 24/10 | 129 (+/-7) | 23/12 | 178 (+/-8) | 11/02 |
| 19                               | 19 (+/-6)                | 08/09 | 52 (+/-6) | 10/10 | 67 (+/-6) | 25/10 | 127 (+/-7) | 24/12 | 176 (+/-8) | 12/02 |
| 22                               | 19 (+/-6)                | 10/09 | 50 (+/-6) | 12/10 | 65 (+/-6) | 27/10 | 125 (+/-7) | 25/12 | 174 (+/-8) | 13/02 |
| 25                               | 19 (+/-6)                | 13/09 | 49 (+/-6) | 14/10 | 64 (+/-6) | 28/10 | 123 (+/-6) | 27/12 | 172 (+/-8) | 14/02 |
| 28                               | 18 (+/-5)                | 16/09 | 48 (+/-5) | 16/10 | 62 (+/-5) | 30/10 | 121 (+/-6) | 28/12 | 170 (+/-8) | 15/02 |
| Setembro                         |                          |       |           |       |           |       |            |       |            |       |
| 1                                | 18 (+/-5)                | 19/09 | 47 (+/-5) | 18/10 | 61 (+/-5) | 01/11 | 119 (+/-6) | 29/12 | 168 (+/-8) | 16/02 |
| 4                                | 17 (+/-4)                | 21/09 | 46 (+/-5) | 20/10 | 59 (+/-5) | 03/11 | 117 (+/-6) | 30/12 | 166 (+/-8) | 18/02 |
| 7                                | 16 (+/-4)                | 24/09 | 44 (+/-5) | 22/10 | 58 (+/-5) | 05/11 | 115 (+/-6) | 31/12 | 164 (+/-8) | 19/02 |
| 10                               | 16 (+/-4)                | 26/09 | 43 (+/-4) | 24/10 | 57 (+/-5) | 06/11 | 113 (+/-6) | 02/01 | 163 (+/-8) | 20/02 |
| 13                               | 15 (+/-3)                | 29/09 | 42 (+/-4) | 26/10 | 55 (+/-5) | 08/11 | 111 (+/-6) | 03/01 | 161 (+/-8) | 22/02 |
| 16                               | 15 (+/-3)                | 01/10 | 41 (+/-4) | 27/10 | 54 (+/-5) | 10/11 | 110 (+/-6) | 04/01 | 159 (+/-8) | 23/02 |
| 19                               | 14 (+/-3)                | 04/10 | 40 (+/-4) | 29/10 | 53 (+/-5) | 11/11 | 108 (+/-6) | 05/01 | 158 (+/-8) | 24/02 |
| 22                               | 14 (+/-3)                | 06/10 | 39 (+/-4) | 31/10 | 52 (+/-4) | 13/11 | 106 (+/-6) | 07/01 | 156 (+/-8) | 26/02 |
| 25                               | 13 (+/-3)                | 09/10 | 38 (+/-4) | 02/11 | 51 (+/-4) | 15/11 | 105 (+/-6) | 08/01 | 155 (+/-8) | 27/02 |
| 28                               | 13 (+/-3)                | 11/10 | 37 (+/-4) | 05/11 | 50 (+/-4) | 17/11 | 103 (+/-5) | 10/01 | 153 (+/-8) | 01/03 |
| Outubro                          |                          |       |           |       |           |       |            |       |            |       |
| 1                                | 12 (+/-3)                | 14/10 | 36 (+/-4) | 07/11 | 49 (+/-4) | 19/11 | 102 (+/-5) | 11/01 | 152 (+/-8) | 02/03 |
| 4                                | 12 (+/-2)                | 17/10 | 35 (+/-3) | 09/11 | 48 (+/-4) | 21/11 | 100 (+/-5) | 13/01 | 151 (+/-8) | 04/03 |
| 7                                | 12 (+/-2)                | 20/10 | 35 (+/-3) | 12/11 | 47 (+/-4) | 23/11 | 99 (+/-5)  | 15/01 | 149 (+/-7) | 06/03 |

\*IB-FB= Início da Brotação a Fim da Brotação; IB-IF= Início da Brotação a Início da Floração; IB-FF= Início da Brotação a Fim da Floração; IB-IM= Início da Brotação a Início da Maturação; IB-FM= Início da Brotação a Fim da Maturação.

**Tabela 2** - Temperaturas médias decendiais, para os meses de crescimento vegetativo em seis municípios da Campanha - RS, com base no período de 1961 a 2010.

| Localidade            | Agosto      |             |             | Setembro    |             |             | Outubro     |             |             | Novembro    |             |             | Dezembro    |             |             | Janeiro     |             |             | Fevereiro   |             |             | Março       |             |             |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                       | 1*          | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           | 1           | 2           | 3           |
| Alegrete              | 13,9        | 14,1        | 15,4        | 15,3        | 15,6        | 16,7        | 17,6        | 18,0        | 19,8        | 20,1        | 20,4        | 21,5        | 22,3        | 23,9        | 23,9        | 24,2        | 24,5        | 24,3        | 23,8        | 23,5        | 23,4        | 23,3        | 21,8        | 20,9        |
| Bagé                  | 13,0        | 13,7        | 14,7        | 14,6        | 15,0        | 16,0        | 16,7        | 17,4        | 18,7        | 18,9        | 19,4        | 21,1        | 21,4        | 22,5        | 23,2        | 23,4        | 23,4        | 23,8        | 23,4        | 23,0        | 22,9        | 22,8        | 21,7        | 20,6        |
| Quaraí                | 13,6        | 14,4        | 15,0        | 15,3        | 15,6        | 16,7        | 17,7        | 18,5        | 19,8        | 20,0        | 20,7        | 21,9        | 22,8        | 23,9        | 24,3        | 24,9        | 24,8        | 24,9        | 24,3        | 23,8        | 23,8        | 23,8        | 22,5        | 21,5        |
| São Gabriel           | 14,1        | 14,9        | 15,4        | 15,7        | 16,1        | 17,1        | 18,0        | 18,7        | 20,0        | 20,4        | 20,9        | 22,2        | 22,7        | 23,8        | 24,2        | 24,6        | 24,8        | 24,9        | 24,4        | 23,9        | 24,1        | 23,8        | 22,7        | 21,8        |
| Santana do Livramento | 12,6        | 12,9        | 13,6        | 14,0        | 14,2        | 15,8        | 16,4        | 16,9        | 18,3        | 18,5        | 19,0        | 20,9        | 20,9        | 22,0        | 22,5        | 23,0        | 23,3        | 23,4        | 23,1        | 22,5        | 22,3        | 22,2        | 21,0        | 20,3        |
| Uruguaiana            | 14,3        | 14,7        | 15,9        | 15,9        | 16,3        | 17,6        | 18,7        | 19,3        | 20,6        | 20,9        | 21,7        | 22,9        | 23,6        | 24,5        | 24,9        | 25,5        | 25,5        | 25,7        | 24,8        | 24,5        | 24,4        | 24,3        | 23,0        | 22,0        |
| <b>Campanha</b>       | <b>13,6</b> | <b>14,1</b> | <b>15,0</b> | <b>15,1</b> | <b>15,4</b> | <b>16,7</b> | <b>17,5</b> | <b>18,1</b> | <b>19,5</b> | <b>19,8</b> | <b>20,4</b> | <b>21,8</b> | <b>22,3</b> | <b>23,4</b> | <b>23,8</b> | <b>24,3</b> | <b>24,4</b> | <b>24,5</b> | <b>24,0</b> | <b>23,6</b> | <b>23,5</b> | <b>23,3</b> | <b>22,1</b> | <b>21,2</b> |

\*1, 2 e 3 = decêndio.

A temperatura do ar interfere na atividade fotossintética das plantas, as reações bioquímicas, cujos catalisadores e as enzimas são dependentes da temperatura para expressar sua atividade máxima (TEIXEIRA et al., 2002). A temperatura é considerada como o elemento meteorológico de maior importância no desenvolvimento da videira controlando o ritmo dos vários estádios fenológicos.

Baixas temperaturas nos estádios iniciais da videira, embora não formadoras de geadas, causam a paralisação do crescimento, o crestamento das folhas terminais dos ramos e o encurtamento dos meristemas (MANDELLI; MIELE; TONIETTO, 2009). Estas peculiaridades quanto às temperaturas baixas no crescimento merecem atenção nos meses iniciais (agosto e setembro), e nas regiões com menor disponibilidade térmica (Bagé, Quaraí e Santana do Livramento) (Tab. 2).

Nestes municípios, brotações tardias tornam-se alternativa para evitar temperaturas não favoráveis, pois ocorre redução significativa no número dias do IB-FM. Comparando as brotações que iniciam em 1/agosto e 1/setembro torna-se bastante evidente, pois a diferença é de 10 dias para a colheita, porém a brotação em setembro fica menos suscetíveis a condições adversas, fato que pode interferir na produção.

O subperíodo do Início da Brotação a Fim da Brotação (IB-FB) sofreu a maior variação na duração, entre as épocas de brotações, variando de 99 dias e 139 dias (Tabela 1). Sendo, também, observada nos demais subperíodos, porém de forma menos expressiva. Da mesma forma para o desvio padrão, apresentando maior coeficiente no mês de agosto e menor no mês de outubro.

De acordo com Costa (2011) a safra 1994/95 apresentou somatório térmico de 1926 GD tendo as seguintes datas dos estádios: início de brotação no dia 6/setembro, finalizando em 10/outubro, iniciando a floração no dia 17/outubro, finalizando em 7/novembro, entrando em maturação no dia 22/dezembro e finalizando em 15/fevereiro.

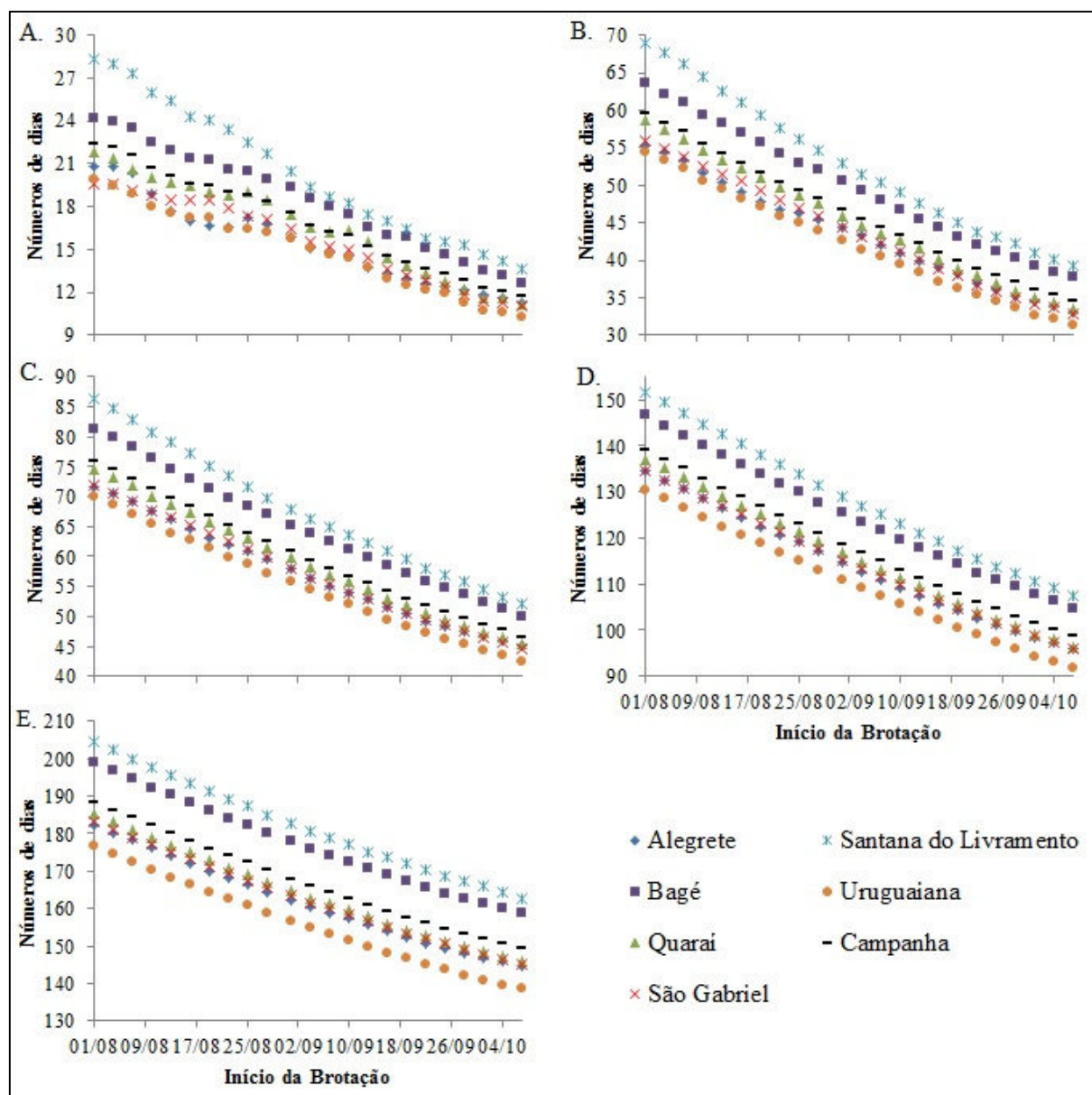
Analisando as datas dos subperíodos com início da brotação em 4/setembro (período representativo do dia 6/setembro) as datas simuladas estão abrangidas pelos coeficientes de variação (Tabela 1). A única exceção refere-se, ao subperíodo IB-FB, que apresentou divergência de aproximadamente 20 dias.

Além disso, as datas de início de brotação apresentadas por Costa (2011) variaram entre 18/agosto e 30/setembro, tendo data média 8/setembro. Dentre as

safras estudadas pelo autor, somente a safra de 1993/94 iniciou neste dia, apresentando coerência em relação as datas dos subperíodos fenológicos com os resultados obtidos na Tabela 1, com exceção do IB-FB.

Esta divergência encontrada para o subperíodo IB-FB, tanto analisando a disponibilidade térmica como pela data de início de brotação, pode estar relacionada ao coeficiente de variação obtido neste subperíodo por Costa (2011), ficando em torno de 60%. Porém, apesar disso, verifica-se consistência para estimar a data de ocorrência dos subperíodos fenológicos, com base nos valores apresentados na Tab. 1.

Ressalta-se que o número total de dias e as prováveis datas de ocorrência dos subperíodos da 'Cabernet Sauvignon' (Tab. 1), correspondem aos valores médios dos seis municípios da Campanha - RS. Porém, observa-se existir diferenças de disponibilidade térmica entre os municípios, tendo as maiores disponibilidades em Uruguaiana, Alegrete, São Gabriel e Quaraí e as menores em Santana do Livramento e Bagé (Tab. 2 e Fig. 2).



**Figura 2** - Duração em dias do início da brotação até o fim da brotação (A.), início da floração (B.), fim da floração (C.), início da maturação (D.) e fim da maturação (E.), da videira 'Cabernet Sauvignon', com diferentes épocas de brotações, para municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1961 a 2010.

Nesse sentido, no zoneamento climático vitícola realizado para o Rio Grande do Sul por meio do Índice Heliotérmico, Tonietto et al. (2006) verificaram esta diferença, permitindo distinguir esta região em duas classes térmicas. Ambas as classes com disponibilidade térmica para o cultivo de videiras, incluindo cultivares de ciclo tardio.

Entre os municípios da região da Campanha, Santana do Livramento apresenta a menor disponibilidade térmica (Tab. 2 e Fig. 2), necessitando de mais

dias para completar a exigência da cultivar. Enquanto, que as maiores disponibilidades ocorrem em Uruguaiana e São Gabriel, desta forma terá a exigência térmica atendida antes.

Com isso, nos municípios com maior disponibilidade, as plantas irão apresentar brotação mais precoce. Principalmente no início do mês de agosto, estes dois municípios ainda apresentam risco significativo de formação de geada (Fig. 1) devido à temperatura oscilar muito, destaca-se São Gabriel apresenta risco de 10% no primeiro decêndio de setembro (Fig. 1D).

Nos demais municípios, Alegrete e Quaraí, em função de apresentarem menor disponibilidade térmica as brotações podem ocorrer mais tarde, mas verifica-se que ocorre uma redução na oscilação da temperatura. Com isso, as plantas estão menos suscetíveis a danos físicos causados pelas temperaturas baixas, em especial geadas (Fig. 1A e C).

Em avaliação da fenologia das cvs. Cabernet Sauvignon, Merlot e Riesling Itália em Uruguaiana e Quaraí, Amaral et al. (2009), verificaram que a brotação ocorreu antes em Uruguaiana, sendo que a 'Riesling Itália' nesta localidade sofreu influência por geadas mais severas, tendo como data de brotação 11/08.

Na Campanha os valores extremos do número total de dias, para todos os subperíodos, foram em Santana do Livramento e Uruguaiana (Fig. 2). Dentre os subperíodos determinados, o IB-FB apresentou maior variação entre os locais analisados, sendo que neste subperíodo Alegrete apresentou maior variação no número de dias ao longo das épocas de brotações, seguido de São Gabriel (Fig. 2A).

### **Conclusões**

- Os municípios de Uruguaiana e São Gabriel apresentam a última data com risco de formação de geada ao nível de 15% no início de agosto. Enquanto em Santana do Livramento, Bagé, Alegrete e Quaraí para este nível ocorre no início de mês de setembro.
- Para o risco de formação de geada ao nível de 10%, em São Gabriel, Bagé, Santana do Livramento, Uruguaiana e Quaraí apresentam a última data no início de setembro, e Alegrete no final do mês de setembro.

- Para o risco de formação de geada ao nível de 5%, São Gabriel e Uruguaiana apresentam a última data no início de setembro, e Alegrete, Bagé, Quaraí e Santana do Livramento no início de outubro, caracterizando-se como geadas primaveris.
- A região da Campanha apresenta disponibilidade térmica, para o cultivo para o cultivo da 'Cabernet Sauvignon', tendo como período de início da brotação primeiro de agosto a dez de outubro.
- A duração em dias dos subperíodos fenológicos da 'Cabernet Sauvignon', na região da Campanha do Rio Grande do Sul, varia em função da época que ocorre a brotação e entre os municípios dessa região.
- Brotações precoces (agosto) apresentam um ciclo vegetativo mais longo em dias, do que às plantas com brotações mais tardias.
- A cv. Cabernet Sauvignon apresenta ciclo vegetativo mais longo em dias em Santana do Livramento e Bagé do que em localidades mais quentes como Uruguaiana, Alegrete, São Gabriel e Quaraí.
- A estimativa climatológica das prováveis datas de ocorrência dos subperíodos fenológicos da videira 'Cabernet Sauvignon' mostrou-se eficiente para suas estimativas na região da Campanha – RS.

## **DISCUSSÃO GERAL**

No primeiro capítulo foi verificado que os métodos de Thornthwaite, Camargo, Makkink e Blaney-Criddle apresentam desempenho considerado ótimo na estimativa da evapotranspiração em relação ao método padrão (Penman-Monteith), sendo empregado ao Índice de Seca, para determinar a disponibilidade hídrica para a cultura da videira no período vegetativo (outubro a março), conforme recomendado pelo Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola. Desta forma, foi utilizado o método de Thornthwaite para estimativa da evapotranspiração no segundo capítulo, aumentando o número de anos analisados, em todos os municípios da Campanha do Rio Grande do Sul, pois este método requer menos variáveis meteorológicas para sua estimativa do que o método padrão.

Sendo abordado no segundo capítulo a caracterização climática da região da Campanha do Rio Grande do Sul, através dos Índices de Heliotérmico, Índice de Frio Noturno e Índice de Seca, conforme recomendado pelo Sistema CCM. Onde foi possível constatar que a região apresenta três classes quanto à disponibilidade térmica, sendo observado em Uruguaiana a classe do tipo muito quente (IH+3), e para os demais municípios do tipo quente (IH+2). Fazendo uma sub-divisão desta classe pode-se caracterizar o clima em mais dois tipos, sendo eles: IH+2a em Bagé e Santana do Livramento e do tipo IH+2b em Alegrete, Quaraí, e São Gabriel. Destaca-se que em ambas as classes observadas apresentam condições térmicas para suprir, inclusive, a demanda de cultivares mais exigentes.

Esta sub-divisão demonstra claramente os municípios com maior disponibilidade térmica na região da Campanha, e que por isso apresenta similaridades com os dados obtidos para o Índice de Frio Noturno. Constata-se que o município com maior disponibilidade térmica (Uruguaiana) é o que apresenta a maior frequência na classe do tipo de noites quentes, e o mesmo se observa-se em Santana do Livramento, sendo o município com menor disponibilidade térmica e o

único que apresenta valores se enquadram dentro da classe de noites temperadas (IF-2).

Em relação ao Índice de Seca, observa-se que pela média todos os municípios são do tipo úmido. Porém, ao analisar o índice ao longo do período analisado verifica-se uma variação significativa nos índices encontrados. Desta forma, acredita-se que estes valores obtidos para o índice de seca juntamente com os demais índices, podem produzir uvas com qualidade destacáveis.

Já para o terceiro capítulo, analisando o risco de geada constata-se que para os municípios Uruguaiana e São Gabriel no início de setembro apresentam baixo risco de formação de geada ao nível de 10%, enquanto que para os demais municípios este risco diário está em torno de 15%, o que representa uma geada a cada 7 anos. Para o nível de 5%, observa-se que em São Gabriel e Uruguaiana ocorre no final do mês de setembro, enquanto que para os demais municípios ocorre somente no mês de outubro. Destaca-se que, o nível de 5% corresponde em média a uma geada a cada 20 anos, além do que, nota-se que a temperatura mínima após a última data para este nível é superior a 0 °C, com exceção de São Gabriel.

Quanto ao desenvolvimento fenológico da cv. Cabernet Sauvignon é possível observar variações significativas no número total de dias em relação às diferentes épocas de brotações, bem como, entre os municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul. Permitindo constatar que a região da Campanha apresenta disponibilidade térmica para o suprimento da demanda térmica desta cultivar.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

A partir dos dados apresentados no presente trabalho constata-se que as condições climáticas dos municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul, apresentam condições térmicas e hídricas satisfatórias para o desenvolvimento vegetativo das videiras.

Segundo o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola, o clima da região é do tipo: IH+3, IF+2, IS-2 para o município de Uruguaiana; IH+2b, IF+2 e IS-2 para os municípios de São Gabriel, Alegrete e Quaraí; e do tipo IH+2a, IF+2 e IS-2 para os municípios de Bagé e Alegrete, apresentando desta forma três grupos climáticos.

Com isso, a região da Campanha apresenta elevada disponibilidade térmica, aliada as condições hídricas propiciam a maturação das uvas com condições satisfatórias para vinificação.

Consta-se que a região da Campanha apresenta elevado risco de formação de geada, sobretudo nos mês de agosto e início de setembro, principalmente nos municípios com menor disponibilidade térmica, como Alegrete, Quaraí, Bagé e Santana do Livramento.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p. (Estudios FAO: Riego y Drenaje, 56).
- ALMEIDA, I. R; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C; ANTUNES, L. E. C.; ALBA, J. M. F.; MATZENAUER, R.; RADIN, B. **Zoneamento agroclimático para produção de morango no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 28 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 283).
- AMARAL, U. do; BINI, D. A.; MARTINS, C. R. Perfil dos vitivinicultores do município de Uruguaiana, Região da Fronteira Oeste/RS. In. XII Congresso Brasileiro de Vitivinicultura e Enologia, Bento Gonçalves, 2008. **Anais do ...** 2008.
- AMARAL, U. do; MARTINS, C. R.; FILHO, R. C.; BRIXNER, F. G.; BINI, D. A. Caracterização fenológica e produtiva de videiras *Vitis vinifera* L. cultivadas em Uruguaiana e Quaraí/RS. **Revista da FZVA**. v.16, n.1, p. 22-31. 2009.
- ANZANELLO, R.; de SOUZA, P. V. D.; COELHO, P. F. Fenologia, exigência térmica e produtividade de videiras 'Niagara Branca', 'Niagara Rosada' e 'Concord' submetidas a duas safras por ciclo vegetativo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.34, n.2, p.366-376, 2012.
- BARDIN, L. PEDRO JÚNIOR, M. J.; de MORAES, J. F. L.; GIARDINI, F. P. Estimativas das épocas de colheita da videira 'Niagara Rosada' na região do pólo turístico do circuito das frutas, São Paulo. **Scientia Agraria**, v.11, n.2, p.135-139, 2010.
- BARDIN, L. **Risco climático de ocorrência de doenças fúngicas na videira 'Niagara Rosada' para a Região do Pólo Turístico do Circuito das Frutas do estado de São Paulo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) do curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônômico.
- BARRERA, L. M.; GONZÁLES, A. I.; PARRA, L. R. **Efectos de las heladas en la agricultura**. La Serena, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2007, 68 p. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias: Boletín INIA – nº 165).
- BORGES, R. M.; CARDOSO, E. S. Evolução da cultura da uva no município de Sant'Ana do Livramento-RS. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v.8, n.1, p.21-30, 2006.

BRIGHENTI, E.; TONIETTO, J. 2004. O clima de São Joaquim para a viticultura de vinhos finos: classificação pelo Sistema CCM Geovítico. In: **Congresso Brasileiro de Fruticultura**, 18, Florianópolis. Florianópolis: SBF, 2004. 4p. (CD-ROM).

BRIXNER, G. F.; MARTINS, C. R.; AMARAL, U. do; KÖPP, L. M.; de OLIVEIRA, D. B. Caracterização fenológica e exigência térmica de videiras *Vitis vinifera*, cultivadas no município de Uruguaiana, na Região da Fronteira Oeste – RS. **Revista da FZVA**, v.17, n.2, p.221-233. 2010.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. DE; LOURENZI, C. R.; FURLANETTO, V.; MORAES, A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, 2007.

BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I. A. Condições térmicas para o cultivo do pepineiro na região do Baixo Vale do Taquari – RS. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, n.2, p.205-213. 2000.

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1971. 28p. (Boletim Técnico, 116).

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

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

CAMARGO, U. A.; GUERRA, C. C. BRS Margot, Nova cultivar de uva para vinho tinto. **Comunicado Técnico 73**. 2007.

CAMARGO, U. A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira Fruticultura**, Volume Especial, p.144-149, 2011.

CANZIANI, P. O.; SCAREL, E. A. **South American viticulture, wine production, and climate change**. Informe da equipe interdisciplinar de estudos de processos atmosféricos em mudança global, 2009.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; HERTER, F. G.; HAUAGGE, R.; GONÇALVE, S. L.; CITADIN, I.; DA SILVA, W. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.30, n.4, 2008.

CARDOSO, S. L. **Alterações microclimáticas em vinhedo de *Vitis vinifera* L. cv. Moscato Giallo pelo uso de cobertura plástica**. 2007. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) curso do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHAUVET, M.; REYNIER, A. **Manual de viticultura**. 3 ed. Portugal: Narciso Correia, 1979. 312 p.

CHAVARRIA, G.; dos SANTOS, H. P.; MANDELLI, F.; MARODIN, G. A. B.; BERGAMASCHI, H.; CARDOSO, L. S. Caracterização fenológica e requerimento térmico da cultivar Moscato Giallo sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n.1, p.119-126, 2009.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. dos. **Manejo de videiras sob cultivo protegido**. Ciência Rural, v.39, n.6, p.1917-1924, 2009.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L.. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso da água. **Bahia Agrícola**, v.7, n.1, p. 57-60, 2005.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.229-236, 2003.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; TONIETTO, J.; FIALHO, F. B. Uso da temperatura para cálculo do índice de seca de regiões produtoras de uva. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.34, n.1, p.175-182, 2012.

COSTA, V. B. **Efeito das condições climáticas na fenologia da videira europeia em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CPAUV; UFRGS; FEPAGRO. 2004. **Zoneamento agroclimático para uma vitivinicultura de qualidade em diferentes regiões do Estado do Rio Grande do Sul: base de dados climáticos**. Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho. Disponível: <http://www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/ccm/consulta.php> Acessado em 01/02/2013.

DIAS, H. P. Origem, evolução e Perspectivas da Cadeira de Produção Vitivinícola no Município de Caxias do Sul. In: **Global Manager/Faculdade da Serra Gaúcha** – n. 13, Caxias do Sul/RS, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**, Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p. 1975.

EMATER/RS. Associação Riograndense de empreendimentos de assistência técnica e extensão rural. **Levantamento da Fruticultura Comercial do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. ASCAR/RS: EMATER/RS Editora, 2004.

ENGELMANN, D. **Da estância ao parreiral: um estudo de caso sobre a vitivinicultura em Santana do Livramento/RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Administração) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FLORES, S. S. **Desenvolvimento territorial sustentável a partir dos territórios do vinho: o caso dos “vinhos da Campanha”**. 2011, Dissertação (Mestrado em

Geografia) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p.87-91, 1996.

FREVERT, D. R.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.109, p.265-270, 1983.

FROEHLICH, J. M.; DULLIUS, P. R.; LOUZADA, J. A.; MACIEL, C. R.. A agricultura familiar e as experiências de indicações geográficas no Brasil Meridional. **Agrociencia Uruguay** - Volumen 14 2:115-125, 2010.

GARRIDO, L. R.; ANGELOTTI, F. Impacto Potencial das Mudanças Climáticas sobre Doenças da Videira no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. BETTIOL, W.. (Org.). **Impacto Potencial das Mudanças Climáticas sobre Doenças de Importantes Culturas no Brasil**. Jaguariúna- SP: Embrapa Meio Ambiente, 2011, p. 331-356.

GIOVANNINI, E. Viticultura. In: GIOVANNINI, E; MANFROI, V. (Org.). **Viticultura e enologia: elaboração de vinhos nos terroirs brasileiro**. Bento Gonçalves, IFRS, 2009. Cap. 1, p. 10-206.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D. de; GOMES, J. Risco de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p.93-99, 1996.

HALLAL, M. O. C. **Análise e comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a mesoregião de Pelotas (RS)**. 2012 Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I. L.; TREVISAN, R. **Projeto IB/CECOL/TNC**. 2010. Disponível: <http://avesmigratoriasdepastizales.wikispaces.com/file/view/Savanas+R%C3%ADo+Grande+do+Sul.pdf> Acessado em 20/10/2012.

HIDALGO, L. Caracterización macrofísica del ecosistema médio-planta em Los Viñedos Españoles. Madrid: **Instituto Nacional de Investigación Agrárias**, 1980. 225p.

HUGLIN, P.; SCHNEIDER, G. **Biologie et écologie de la vigne**. 2.ed. Paris : Lavoisier-Tec & Doc, 1998. 370p

IBGE, 2012. <http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acessado em 20/04/2012.

INFANTINI, C. Fenologia e análise de crescimento da videira cultivar Cabernet Sauvignon no município de Bagé. Projeto de pesquisa (PPGA/FAEM). UFPEL, 2001.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation Drainage Division**, ASCE, v.89, n.1, p.15-41, 1963.

JUNGES, T. S. C.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; MODOLO, A. J.; RAMOS, H. da C. Estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos para a região de Sinop-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14, 2012.

KISHINO A. Y.; CARAMORI, P. H. Fatores climáticos e o desenvolvimento da videira. In: KISHINO A. Y. et al. **Viticultura tropical: o sistema de produção do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2007. Cap.3, p.59-86.

KUHN, G. B.; LOVATEL, J. L.; PREZOTTO, O. P.; RIVALDO, O. F.; MANDELLI, F.; SÔNEGO, O. R. **O cultivo da videira: informações básicas**. 2.ed. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPV, 1996. 60p. (Circular Técnica, 10).

LEÃO, P. C. de S.; SILVA, E. E. G. Caracterização fenológica e requerimentos térmicos de variedades de uvas sem sementes no vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.25, n.3, p.379-382, 2003.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 409-424, 1977.

LUJÁN, A. G. **La viticultura Del Rerez**. Madrid. Mundi Prensa. 1997, 155p.

MACIEL, A., MONTEIRO, A., QUÉNOL, H., BELTRANDO, G. Extremos térmicos e vulnerabilidade num vinhedo entre Douro e Minho, **Finisterra**, pp. 23-45, 2007.

MAKKINK, G, F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.

MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. ; STEINMETZ, S. ; MALUF, D. E. **Zoneamento agroclimático da macieira no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. (BOLETIM FEPAGRO, n. 19).

MALUF, J. R. T.; WESTPHALEN, S. L. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1994, v.2 p. 307.

MANDELLI, F. **Comportamento meteorológico e sua influência na vindima de 2007 na Serra Gaúcha**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007 (Comunicado Técnico, 76).

MANDELLI, F.; BERLATTO, M. A.; TONIETTO, J.; BERGAMASCHI, H.. Fenologia da videira na Serra Gaúcha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.9, n.1-2, p.129-144, 2003.

MANDELLI, F.; MIELE, A.; TONIETTO, J. Uva em clima temperado. In: Monteiro, J. E. B. A.. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Inmet, 2009. Cap.31 p. 504-515.

MARCUZZO, F. F. N.; ARANTES, E. J.; WENDLAND, E. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial e direta para a região de São Carlos-SP. **Irriga**, v.13, n.3, p.323-338, 2008.

MARTINS, C. R. ; AMARAL, U. ; BRIXNER, G. F. ; FARIAS, R. M. ; TAYLOR, G. Vitivinicultura no Bioma Pampa. IN: X Encontro Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, 10., 2007, Fraiburgo, SC. **Anais do...**, Caçador: Epagri, vol 1 (Palestras) 2007. 303p.

MELLO, L. M. R. de. Vitivinicultura brasileira: panorama 2010. **Jornal da Fruta**, Lajes, 19 abr. 2011.

MELO, G. de; FERNANDES, A. L. T. Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, State Of Minas Gerais, Brazil. **Revista da Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.875-888, 2012.

MEYER, P. L. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1976, 391p.

MIOLO, A. Campanha mostra a qualidade dos seus vinhos. **Jornal do Comercio**. Porto Alegre, 1 de março de 2011.

MOTA, F. D. da. Disponibilidade climática para maturação da uva destinada a produção de vinhos finos nas regiões da Serra do Nordeste e Campanha do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9, n.3, p.297-299, 2003.

MOTTA, I. S.; SCHAFFRATH, V. R.; SENA J. O.A. DE; SCAPIN, C. A.; CALDAS R. G. Plantas espontâneas em sistemas agroecológico e convencional, com videiras rústicas (*Vitis labrusca*). In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2006. **Anais do...** 2006.

MUNHOZ, J. S. B.; OLIVEIRA, S. F. de; MARIN, F.; BATTISTI, R. Estimativa da evapotranspiração de referência no Brasil: uma análise crítica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. **Anais do ...** Gramado, 2012.

NESVES, R. I.; ZAVARISE, E. **Vitivinicultura em Santa Catarina: situação atual e perspectivas**. Florianópolis : BRDE, 2005.

OIV. RESOLUTION OIV-VITI 423-2012: **Lignes directrices OIV des méthodologies du zonage vitivinicole au niveau du sol et au niveau du climat**. Paris, OIV, 2012. 19p.

OLIVEIRA, H. T. de; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia: Agrometeorologia, Monitoramento Ambiental e Agricultura Sustentável, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1997. p. 77-79.

ORFFER, C. J. 1977. L'effet du temps de maturation sur la qualité du vin dans le sud-ouest de la Province du Cap. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE , Le Cap, 14-21 Fév., 1977, **Actes...** Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.291-298.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C.; MARTINS, F. P. Previsão agro meteorológica da data de colheita para a videira 'Niagara Rosada'. **Bragantia**, v.52, n.1, p.113-119, 1994.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C.; POMMER, C. V.; MARTINS, F. P. Determinação da temperatura-base, graus-dia e índice biometeorológico para a videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, p.51-56, 1994.

PEDRO JÚNIOR., M. J.; SENTELHAS, P. C.; Clima e Produção; In: **Uva: do plantio a reprodução, pós-colheita e mercado.**/ Editado por C.V. Pommer. – Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.

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

PEREIRA, D. dos R.; YANAGI, S. de N. M.; MELLO, C. R. de; SILVA., A. M. da; SILVA, L. A. da S. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2488-2493, 2009.

PROTAS, J. F. da S.; CAMARGO, U. A.; MELO, L. M. R. de M. **A vitivinicultura brasileira: realidade e perspectivas**, 2008. Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/vitivinicultura/> Acessado 03/05/2011.

RADÜNZ, A. L. SCHÖFFEL, E. D.; BRIKNER, G. F.; HALLAL, M. O. Efeitos da época da poda sobre a duração do ciclo e a produção de videiras 'Bordo' e 'BRS Violeta'. **Revista Científica Rural**, v.14, n.2, 2012.

RATHMANN, R; HOFF, D. N.; SANTOS, O. I. B.; PADULA, A. D. **Diversificação produtiva e as possibilidades de desenvolvimento: um estudo da fruticultura na região da Campanha no RS.** 2008. Disponível: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/61242/2/v46n2a03.pdf> Acessado em: 14/06/2011

RIOU, C. et al. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur em sucre dans la communauté européenne. Luxemburg: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, 1994. 322p.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Cabernet Sauvignon para elaboração de vinho tinto. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v.22, p.192-198, 2002.

SANSIGOLO, C. A.. Distribuição de probabilidade de velocidade e potência do vento. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.207-214, 2005.

SATO, G. S. Panorama da Viticultura no Brasil. **Informações Econômicas**, SP, v.30, n.11, nov. 2000.

SCHIEDECK, G.; MIELE, A.; BARRADAS, C. I. N.; MANDELLI, F. Fenologia da videira Niágara Rosada cultivada em estufa e a céu aberto. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.199-206, 1997.

SCHNEIDER, L. **Dinâmica locacional da vitivinicultura: novas regiões do Rio Grande do Sul e Vale do São Francisco**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SENTELHAS, P. C. Aspectos climáticos para a viticultura tropical. **Informe Agropecuário**, v.19, n.194, p.9-14, 1998.

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

SMART, R. E.; ROBINSON, J. B.; DUE, G. R., BRIEN, C. J. Canopy microclimate modification for cultivar Shiraz. II Effects on must and wine composition. **Vitis**, Siebeldingen, v. 24, p. 119-128, 1985.

TEIXEIRA, A. H. de C.; de SOUZA, R. A.; RIBEIRO, P. H. B.; REIS, V. C. da S.; dos SANTOS, M. das G. L. Aptidão agroclimática da cultura da videira no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.107-111, 2002.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. An approach toward a rational classification of climate. **The Geographycal Review**, New York, v. 38 n. 1, p. 55-94, 1948.

TONIETTO, J. **Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France : méthodologie de caractérisation**. 1999 (Thèse Doctorat). École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - ENSA-M. 233p.

TONIETTO, J. Valorização do ecossistema: importância da regionalização vitivinícola na produção de vinhos de qualidade. In: **Congresso Latinoamericano de Viticultura y Enología**, 8, 2001, Montevideu. Annales. Montevideu: Asociación de Enólogos del Uruguay, p.1-9. (CD-ROM).

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, 124/1-2, 81-97, 2004.

TONIETTO, J.; FIALHO, F. B. The geoviticulture MCC system and its international internet site. In: TONIETTO, J.; RUIZ, V. S.; GÓMEZ-MIGUEL, V. D. (Org.) **Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas ibero-americanas**. Madri, 2012. Cap. 1 . p. 21-38.

TONIETTO, J.; FLORES, C. A.; FALCADE, I; GUERRA, C. C.; ZANUS, M. C. Zoneamento vitivinícola e o desenvolvimento de indicações geográficas de vinhos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura. 2012, Bento Gonçalves. **Anais do...** Bento Gonçalves, 2012.

TONIETTO, J.; MANDELLI, F. 2003. Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado. Disponível:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/clima.htm> Acessado em 1/11/2012.

TONIETTO, J.; MANDELLI, F.; WEBER, E.; HASENACK, H. Viticultural climatic zoning and digital mapping of Rio Grande do Sul - Brazil, using indices of the Géoviticulture MCC System. In: VIe Congrès International des terroirs viticoles. 2006, Bordeaux e Montpellier. **Anais...** 2006, CD-ROM.

TONIETTO, J.; MANDELLI, F.; ZANUS, M. C.; GUERRA, C. C.; PEREIRA, G. E. O clima vitícola das regiões produtoras de uvas para vinhos finos do Brasil. In: TONIETTO, J.; RUIZ, V. S.; GÓMEZ-MIGUEL, V. D. (Org.) **Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas ibero-americanas**. Madri, 2012. Cap. 1., p. 21-38.

WESTPHALEN, S. L.; MALUF, J. **Caracterização das áreas bioclimáticas para cultivo de *Vitis vinifera* L.** Regiões da Serra do Nordeste e Planalto do Estado do Rio Grande do Sul – EMBRAPA/CNPUV 2000, 13 - 36p.

ZANUS, M. C.; TONIETTO, J. Elementos metodológicos para a caracterização sensorial de vinhos regiões climáticas vitivinícolas. In: TONIETTO, J.; RUIZ, V. S.; GÓMEZ-MIGUEL, V. D. (Org.) **Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas ibero-americanas**. Madri, 2012. Cap. 1., p. 21-38.

ZARTH, N. A. **Caracterização e análise da cadeia da vitivinicultura no Sudoeste do Paraná**. 2011, Dissertação (Mestrado em Agronomia), curso do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Tecnológica do Paraná. 119p. Pato Branco.