

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Tese

**Efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na produtividade e na
qualidade de uvas europeias produzidas em Santana do Livramento, Rio
Grande do Sul**

Pedro Luís Panisson Kaltbach Lemos

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

L555e Lemos, Pedro Luís Panisson Kaltbach

Efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na produtividade e na qualidade de uvas europeias produzidas em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul [recurso eletrônico] / Pedro Luís Panisson Kaltbach Lemos ; Flávio Gilberto Herter, orientador ; Vagner Brasil Costa, coorientador. — Pelotas, 2024.
121 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. La Niña. 2. Campanha Gaúcha. 3. Produção. 4. *Vitis vinifera*. 5. Índices Bioclimáticos;. I. Herter, Flávio Gilberto, orient. II. Costa, Vagner Brasil, coorient. III. Título.

CDD 634.8

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Pedro Luís Panisson Kaltbach Lemos

**Efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na produtividade e na
qualidade de uvas europeias produzidas em Santana do Livramento, Rio
Grande do Sul**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (Área de conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado).

Orientador: Dr. Flávio Gilberto Herter

Coorientador: Dr. Vagner Brasil Costa

Pelotas, 2024

Pedro Luís Panisson Kaltbach Lemos

Efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na produtividade e na qualidade de uvas europeias produzidas em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 11 de outubro de 2024.

Banca examinadora:

Dr. Marcelo Barbosa Malgarin
Universidade Federal de Pelotas

Dr. Roberto Trentin
Universidade Federal de Pelotas

Dr. Alberto Fontanella Brighenti
Universidade Federal de Santa Catarina

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida e por tudo que existe, o que já conhecemos ou ainda nem mesmo conhecemos para agradecer.

Agradeço às minhas famílias paterna e materna, incluindo todos os antepassados que me trouxeram até aqui como um indivíduo dessa espécie.

Agradeço a meus avós paternos (Roberto Luís e Isolde) e maternos (Achyles e Dolores) que, com o que lhes era possível, sempre incentivaram seus filhos e netos para o constante estudo e aperfeiçoamento.

Agradeço a meus pais, José Luiz e Eliane, e a minhas irmãs, Júlia, Cecília, Maria e Thereza, que foram a melhor família do mundo. Com eles aprendi e sigo aprendendo muito, sobre os mais diversos assuntos e aspectos importantes da vida.

Agradeço à minha esposa, Suélen, que é a melhor companheira do mundo, além de ter sido uma excelente colega de pós-graduação e estar sendo uma excelente mãe para nossa família.

Agradeço a meus sogros, Nilton e Vera, que tanto apoiam tantos dos sonhos da nossa jovem família.

Agradeço a meu filho, Francisco Luiz, o qual nasceu exatamente um mês antes da data de defesa dessa tese, ainda nem sabe de todo o amor que temos por ele, tudo o que espera por ele nesse mundo e tudo que o mundo espera dele: que seja um eterno bom aprendiz (ele e todos nós, aliás); o que podemos, já estamos ensinando (e, muito mais, aprendendo).

Agradeço a meus orientadores Flávio Gilberto Herter e Vagner Brasil Costa, bem como a todos os professores e colegas do PPGA por todo o apoio, atenção e dedicação ao longo dessa jornada acadêmica.

Agradeço à Vinícola Almadén Miolo Wine Group e seu então Engenheiro Agrônomo, Fabrício Domingues, que colaboraram imensamente, cedendo

informações e seus bancos de dados meteorológicos, de produção e qualidade das uvas.

Agradeço ao Instituto Uruguaio de Meteorologia, que cedeu um banco de dados meteorológico de excelente qualidade às nossas pesquisas Brasileiras.

Resumo

LEMOS, Pedro Luís Panisson Kaltbach. **Efeito do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) na produtividade e na qualidade de uvas europeias produzidas em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul.** Orientador: Flávio Gilberto Herter. 2024. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A produção comercial de uvas e vinhos finos, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo, é fortemente dependente das condições meteorológicas, suas tendências médias e sua variabilidade sazonal e interanual. O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) – composto de três fases, a neutra, El Niño e La Niña – é uma fonte conhecida de variabilidade ao clima da região sul do Brasil, onde está localizada a cidade de Santana do Livramento. O objetivo deste estudo foi determinar as influências do ENOS sobre a produtividade e a qualidade (acúmulo de açúcares) de uvas europeias produzidas na região de Santana do Livramento. Esse estudo foi dividido em três partes, organizadas em três artigos. O primeiro artigo caracterizou o clima vitícola da região, sobretudo quanto à sua variabilidade frente às fases do ENOS. Grande variabilidade associada ao ENOS foi observada entre os ciclos produtivos analisados. Eventos de El Niño apresentaram condições de maior umidade e menor disponibilidade de energia térmica, padrões opostos aos observados sob a influência de La Niña. O segundo artigo analisou e estabeleceu as correlações entre a produtividade dos vinhedos e a temperatura das águas superficiais do oceano pacífico (relacionada à ocorrência de eventos de El Niño e La Niña de diferentes intensidades). Eventos fortes de El Niño que se consolidaram mais cedo foram geralmente os mais danosos à produtividade. Em contrapartida, essa consolidação precoce também permite alertar, antes do início da primavera, sobre as potenciais condições meteorológicas desfavoráveis do ciclo produtivo vindouro. O terceiro artigo analisou a produtividade e o acúmulo de açúcares frente à ocorrência de ENOS. Conclui-se que eventos de El Niño tendem a diminuir tanto a

produtividade quanto o acúmulo de açúcares, padrões opostos aos observados em períodos de La Niña.

Palavras-chave: La Niña; Campanha Gaúcha; produção; *Vitis vinifera*; Índices Bioclimáticos; Classificação Climática

Abstract

LEMOS, Pedro Luís Panisson Kaltbach. **Effect of the phenomenon El Niño-Southern Oscillation on the yield and quality of grapes produced in Santana do Livramento, Rio Grande do Sul**. Advisor: Flávio Gilberto Herter. 2024. 133n. Thesis (Doctorate) – Faculty of Agronomy Eliseu Maciel. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The commercial production of grapes and wines, both from a quantitative and a qualitative point of view, is strongly dependent on meteorological conditions, their average trends and their seasonal and inter-annual variability. The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) – which comprises three phases, neutral, El Niño and La Niña – is a known source of variability in the climate of southern Brazil, where the municipality of Santana do Livramento is located. The objective of this study was to know the influences of ENSO on the winegrowing climate, as well as on the yield and quality (sugar accumulation) of grapes produced in the Santana do Livramento. This study was divided into three parts, organized into three articles. The first article characterized the regional viticultural climate, especially regarding its variability in relation to the ENSO phases. Large variability associated with the ENSO was observed among the production cycles under study. El Niño events presented conditions of greater humidity and less availability of thermal energy, while the opposite patterns were observed under the influence of La Niña. The second article elucidated the correlations between yield and the temperature of surface waters in the Pacific Ocean (correlating it with the occurrence of El Niño and La Niña events of different intensities). Strong El Niño events showing earlier consolidation were generally the most correlated with large crop failures. On the other hand, this early consolidation also makes it possible to warn, before the beginning of spring, about the potential adverse conditions of the upcoming production cycle. The third article analyzed yield and sugar accumulation and its correlation with of the ENSO. The El Niño events to reduce both yield and sugar accumulation, patterns opposite to those observed in La Niña periods.

Keywords: La Niña; Campanha Gaúcha; production; *Vitis vinifera*; Bioclimatic Indexes; Climate classification.

Lista de figuras

Figure 1: Score plots (a and c) and loading plots (C and d) of the principal component analysis constructed with the values observed for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and dryness index (DI) - a and b - and for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and modified dryness index (DI_{modified}) - c and d - in the stations of Palomas (from 1994 to 2009). Pa94 – Palomas, 1994; Pa95 – Palomas, 1995; Pa96 – Palomas, 1996; Pa97 – Palomas, 1997; Pa98 – Palomas, 1998; Pa99 – Palomas, 1999; Pa00 – Palomas, 2000; Pa01 – Palomas, 2001; Pa02 – Palomas, 2002; Pa03 – Palomas, 2003; Pa04 – Palomas, 2004; Pa05 – Palomas, 2005; Pa06 – Palomas, 2006; Pa07 – Palomas, 2007; Pa08 – Palomas, 2008; Pa09 – Palomas, 2009.....

.60

Figure 2 - Score plots (a and c) and loading plots (b and d) of the principal component analysis constructed with the values observed for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and dryness index (DI) - a and b - and for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and modified dryness index (DI_{modified}) - c and d - in the stations of Rivera (from 2001 to 2021). Plots a and b display unconventional reverse horizontal axis values to improve graphical comparisons. Ri01 – Rivera, 2001; Ri02 – Rivera, 2002; Ri03 – Rivera, 2003; Ri04 – Rivera, 2004; Ri05 – Rivera, 2005; Ri06 – Rivera, 2006; Ri07 – Rivera, 2007; Ri08 – Rivera, 2008; Ri09 – Rivera, 2009; Ri10 – Rivera, 2010; Ri11 – Rivera, 2011; Ri12 – Rivera, 2012; Ri13 – Rivera, 2013; Ri14 – Rivera, 2014; Ri15 – Rivera, 2015; Ri16 – Rivera, 2016; Ri17 – Rivera, 2017; Ri18 – Rivera, 2018; Ri19 – Rivera, 2019; Ri20 – Rivera, 2020; Ri21 – Rivera, 2021.....

.62

Figure 1: November (OND) ONI values (NOAA, 2021) in the crop seasons 1993–2021.....

.74

Figure 2: yields (a), absolute yield deviations (b), and relative yield deviations (c) in the crop seasons 1993–2021.....

.77

Figure 3: November ONI values (NOAA, 2021) versus relative yield deviations in the crop seasons 1993-20	78
---	----

Figure 1: average annual yields (a) and average annual sugar content (b) of red grapes varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; and black dots – neutral.	106
--	-----

Figure 2: average annual yields (a) and average annual sugar content (b) of white grapes varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; and black dots – neutral.	107
--	-----

Figure 3 – Dispersion of average annual yields x average annual sugar content in red (a) and white (b) grape varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; black dots – neutral; and yellow dot – centroid.	108
---	-----

Figure 4 – PCAs run solely with average annual yield and average annual sugar content of red and white grape varieties. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape varieties.	109
---	-----

Figure 5 – PCAs run with the variables yield, sugar content and the other variables shown in Equations 1-4. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape varieties.	110
---	-----

Figure 6 – PCAs run with the variables yield2 and sugar2. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape	
--	--

varieties.....
.....112

Figure 7 - Dispersions of yield2 x sugar2 for red (a) and white (b) grape varieties.
Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; black dots – neutral; and yellow dot –
centroid.....
113

Lista de tabelas

Table 1 - Classes of viticultural climate for the dryness index, heliothermal index and cool night index.....54

Table 2: Classification of the production cycles according to the viticultural climatic indexes as observed in the meteorological stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).....56

Table 3: Relative frequency of occurrence of the viticultural climate classes in the stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).....57

Table 4: Relative frequency of occurrence of the viticultural climate classes in the production cycles under the influence of the each ENSO phase in the stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).....58

Sumário

1 Introdução geral	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo geral:	1
1.1.2 Objetivos específicos:.....	2
1.2 Hipóteses	2
2 Projeto de pesquisa.....	3
2.1 Título	3
2.2 Introdução	3
2.3 Equipe do projeto	4
2.4 Revisão bibliográfica	4
2.4.1 Desempenho produtivo da videira europeia em diferentes climas	4
2.4.2 Variações interanuais e intra-aneais	7
2.4.3 ENOS (El Niño Oscilação Sul)	8
2.4.4 ENOS – Efeitos na região sul do Brasil	8
2.4.5 ENOS – Efeitos sobre a viticultura no Rio Grande do Sul	10
2.4.6 A região em estudo	10
2.5 Determinação de objetivos	11
2.6 Metodologia.....	12
2.6.1 Banco de dados	12
2.6.2 Definição dos anos de ocorrência ENOS e sua intensidade	13
2.6.3 Variáveis e cálculos relativos à fenologia da videira	13
2.6.3.1 Temperatura Mínima Basal (Temperatura-base)	13
2.6.3.2 Graus Dia	13
2.6.3.3 Horas de Frio.....	14
2.6.4 Outros índices climáticos e classificação climática	14
2.6.4.1 Índice hélio-térmico	14
2.6.4.2 Quociente heliopluiométrico	16
2.6.4.3 Classificação climática - Sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovítica (Sistema CCM)	16
2.6.4.3.1 O índice heliotérmico (IH)	17

2.6.4.3.2 Índice de frio noturno (IF)	17
2.6.4.3.3 Índice de Seca (IS)	18
2.6.4 Variáveis de produção e qualidade de uvas	19
2.6.4.1 Sólidos solúveis totais (SST)	19
2.6.4.2 Grau glucométrico ou °Babo	19
2.6.4.3 Produtividade	20
2.6.5 Análise estatística dos dados	20
2.7 Metas e formas de publicação.....	21
2.8 Cronograma	22
2.9 Referência Bibliográficas.....	24
3 Relatório de campo	30
3.1 Banco de dados	30
3.2 Elaboração dos artigos.....	31
4 Revisão de literatura	33
4.1 Desempenho produtivo das cultivares de videira em diferentes climas	33
4.2 Variações interanuais e intra-anuais	35
4.3 ENOS (El Niño Oscilação Sul)	35
4.4 ENOS – Efeitos na região sul do Brasil.....	36
4.5 ENOS – Efeitos sobre a viticultura no Rio Grande do Sul	37
4.6 A região em estudo	38
4.7 A análise de componentes principais	389
5 Artigo 1 - Viticultural climate variability at Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brazil: associations with the El Niño-Southern Oscillation	41
6 Artigo 2 - El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions	56
7 Artigo 3 - Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento, RS, Brazil	89
8 Considerações finais	112

1 Introdução geral

A produção de uvas e vinhos finos é influenciada pelo clima. O clima - em termos de suas condições meteorológicas médias e suas variabilidades intra-anual e interanual - modula o metabolismo das videiras, sendo assim determinante fundamental dos resultados de produtividade e qualidade observados nas vindimas. Historicamente, essa interação entre clima e planta é fortemente definidora das possibilidades de cultivo de cultivares de *Vitis vinifera* L. em cada local do globo, bem como a qualidade e tipicidade dos vinhos.

A vitivinicultura na região de Santana do Livramento (RS) é relativamente recente, se comparada a outras regiões produtoras já bem estabelecidas do mundo. Logo, o conhecimento dos padrões climáticos e sua ação sobre o desempenho das videiras europeias nessa região é ainda incipiente e só pode ser conhecido e compreendido a partir do registro e da análise de dados históricos. Não obstante, sabe-se de antemão que o fenômeno El Niño *Oscilação Sul* (ENOS) é uma importante fonte de variabilidade climática em toda a região sul do Brasil, a qual inclui a região em estudo.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar as principais influências do ENOS sobre a produtividade e a qualidade (acúmulo de açúcares) de uvas europeias produzidas na região de Santana do Livramento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral:

Entender as influências do ENOS sobre o clima vitícola bem como sobre a produtividade e a qualidade (acúmulo de açúcares) das uvas europeias produzidas na região de Santana do Livramento.

1.1.2 Objetivos específicos:

Determinar o clima e a variabilidade do clima vitícola da região de Santana do Livramento de acordo com as variáveis do Sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovitícola – Índice Hélotérmico, Índice de Seca e Índice de Frio Noturno – e estabelecer sua correlação com as fases do ENOS;

Compreender quais os efeitos das fases do ENOS sobre a produtividade e a qualidade (acúmulo de açúcares) das safras de uva em Santana do Livramento;

Com base nos resultados, traçar critérios de alerta e estratégias para otimizar a vitivinicultura, mitigando riscos e prejuízos oriundos do ENOS em Santana do Livramento.

1.2 Hipóteses

O fenômeno ENOS é uma fonte de variabilidade climática importante para o clima vitivinícola da região em estudo.

As fases do fenômeno ENOS apresentam correlação com a variabilidade tanto de produtividade quanto de qualidade (acúmulo de açúcares) das uvas.

A partir da análise multivariada de dados e outras ferramentas estatísticas é possível visualizar tendências impostas pelas fases do ENOS, tanto sobre a variabilidade climática quanto sobre a variabilidade de produtividade e qualidade (acúmulo de açúcares) das uvas.

Períodos de El Niño impactam negativamente sobre a produtividade e sobre a qualidade (acúmulo de açúcares) das uvas.

2 Projeto de pesquisa

2.1 Título

O título dado ao projeto foi: 'Efeito dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña sobre a produtividade e qualidade de uvas europeias em Santana do Livramento (IP Campanha Gaúcha)'.

2.2 Introdução

Para o desenvolvimento da atividade vitivinícola, é de suma importância, a compreensão do desempenho das diferentes cultivares de *Vitis vinifera* L. numa dada região bem como sua dependência com relação a fatores climáticos e a ocorrência de ENOS (El Niño Oscilação Sul). A produção de uvas e vinhos na região de Santana do Livramento/RS é relativamente recente, se comparada a outras regiões produtoras já bem estabelecidas do mundo. O conhecimento dos padrões climáticos e do desempenho das diferentes cultivares de *Vitis vinifera* L. em um dado local só é possível a partir de dados históricos.

Um dos elementos de grande importância para que se possa estudar os efeitos do clima na adaptação de espécies frutíferas de clima temperado é disponibilidade, contínua e longa, de uma série histórica de dados fenológicos. Para isto, os dados coletados pela empresa Almadén em Santana do Livramento, desde 1993, constitui-se um banco de dados valioso a ser analisado. Ao longo desses quase 30 anos, contabilizam-se mais de 10 ocorrências de El Niño ou La Niña, ou seja, mais de um terço das safras. A análise desses dados e a compreensão do impacto de ENOS sobre a qualidade e a produtividade das uvas poderá trazer informações importantes à cadeia vitivinícola da região de forma a embasar a formulação de estratégias para mitigar os efeitos desfavoráveis do clima e otimizar a produção.

2.3 Equipe do projeto

Orientador: Dr. Flávio Gilberto Herter

Co-orientador: Dr. Vagner Brasil Costa (UNIPAMPA)

Co-orientador: Dr. Ricardo Acosta Gotuzzo (INPE)

Colaborador: Eng. Agr. Fabrício Domingues (Almadém)

2.4 Revisão bibliográfica

2.4.1 Desempenho produtivo da videira europeia em diferentes climas

A videira europeia (*Vitis vinifera* L.) é cultivada mundialmente – em amplamente responsável pela diversidade de cultivares, qualidade e tipicidade de vinhos (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004). O mesmo material genético, cultivado em locais diferentes, pode produzir uvas e vinhos profundamente distintos (JACKSON; LOMBARD, 1993).

Idealmente, a videira é favorecida por invernos frios e verões secos e quentes. Já a umidade é um fator negativo, pois está diretamente relacionada a ocorrência de doenças fúngicas, para as quais a videira europeia é muito sensível. A temperatura é um fator crucial, pois rege a velocidade das reações químicas e bioquímicas de uma maneira geral. Para a videira, a temperatura basal é de 10°C e, portanto, apenas temperaturas acima de 10°C são contabilizadas como efetivas para o seu crescimento vegetativo. Para o cálculo de graus-dia, as temperaturas médias mensais acima da temperatura dessa basal são consideradas (WINKLER et al., 1974).

O aumento das temperaturas causa o adiantamento das fases fenológicas e modificações na qualidade dos mostos e vinhos. Devido ao progressivo aquecimento global, na região de Châteauneuf du Pape, por exemplo, a colheita ocorreu aproximadamente 4 semanas mais cedo na primeira década do presente século do que no final da década de 1940. Em regiões onde a maturação

costuma ser abaixo do desejado, temperaturas mais altas podem ser eventualmente positivas, pois causam em geral um aumento na acúmulo de açúcares. No entanto, temperaturas médias mais elevadas (ou excessivamente elevadas) também apresentam um efeito de redução da acidez, redução de alguns metabólitos secundários como antocianinas, e aumento do pH dos vinhos. Disso decorrem inúmeros problemas como os relacionados a estabilidade microbiológica, alteração do perfil sensorial e o equilíbrio entre todos os componentes de sabor de um vinho (VAN LEEUWEN; DARRIET, 2016).

Grande parte dos vinhos de alta qualidade são produzidos em regiões onde a precipitação anual não excede os 700-800mm. Altas precipitações ou excesso de irrigação são negativos para a qualidade das uvas. O aporte excessivo de água no sistema atrasa a maturação e altera consideravelmente a composição das uvas. O déficit hídrico moderado não impede a maturação satisfatória de uvas, em termos de conteúdos de açúcares e ácidos e, mesmo desde antes da 'véraison', é positivo para a qualidade das uvas (RIBEREAU-GAYON et al., 2006). O déficit hídrico não severo aumenta a qualidade de vinhos tintos. Em regiões como Bordeaux (mais úmida do que regiões mediterrâneas) a ocorrência de grandes safras está correlacionada fortemente com anos mais secos mas pouco correlacionada com anos mais quentes. Cabe ressaltar que, nessa mesma região, anos mais úmidos que apresentaram apenas o final do período de maturação seco e ensolarado ainda apresentaram resultados qualitativos satisfatórios (VAN LEEUWEN; DARRIET, 2016).

Diferentemente de muitas culturas, a videira é comumente cultivada sob condições subótimas para produtividade. Vários fatores abióticos ou bióticos que reduzem o vigor e a produtividade são tidos como benéficos para aumentar o potencial de vinificação das uvas. O déficit hídrico tende a exercer em geral um efeito negativo sobre a produtividade. Já o excesso de chuva e a alta umidade (que causam alta atividade de água sobre os tecidos vegetais) podem afetar a produtividade devido ao aumento na incidência de doenças fúngicas e perdas por podridões ou rompimento de bagas (RIBEREAU-GAYON et al., 2006).

Em climas mais úmidos como o do Rio Grande do Sul, onde comumente há problemas oriundos de excessos hídricos, quando menores precipitações pluviais nos meses de primavera ocorrem, acabam por favorecer a floração, a maior fecundação, a redução de doenças fúngicas e a maior eficiência de tratamentos fitossanitários naquela safra (MANDELLI; BERLATO; TONIETTO, 2003). Cabe ressaltar, no entanto, que o déficit hídrico (e baixos níveis de nitrogênio) no período de floração e logo posterior à floração (entre 400 e 700 graus-dia) possui efeito negativo sobre a produtividade do ciclo produtivo posterior àquele ciclo, ou seja, mais de um ano mais tarde (GUILPART; METAY; GARY, 2014a).

Condições de tempo encoberto e chuvoso durante a primavera tendem a limitar a disponibilidade de fotoassimilados e aumentar a incidência de doenças fúngicas. Ambos são fatores negativos para a floração e frutificação e tendem a comprometer a produtividade (Vasconcelos et al., 2009). Durante a maturação, estas condições climáticas têm um efeito negativo sobre o acúmulo de açúcar nas uvas (Keller, 2020). A carga de frutos também influencia o amadurecimento; cargas menores tendem a acelerar a maturação (taxa de acúmulo de açúcares) e, conseqüentemente, a aumentar o teor de açúcares da uva (Nuzzo & Matthews, 2006; Parker et al., 2015; Previtali et al., 2021).

O potencial de produtividade começa a ser determinado (pelo menos) já na primavera do ciclo de cultivo anterior. Os primórdios indiferenciados são formados desde a brotação até a floração e podem se diferenciar em inflorescências, gavinhas ou até mesmo primórdios de brotação. A diferenciação da inflorescência começa próximo ao florescimento e pode continuar até que a planta entre em dormência. A fertilidade das gemas – o número máximo de inflorescências por gema latente – parece ser determinada cerca de três meses após a brotação (Alleweldt & Ilter, 1969; Keller, 2020). As condições de tempo nublado durante a floração e a frutificação geralmente afetam negativamente a fertilidade das gemas (Keller & Koblet, 1995; Keller, 2020). A fertilidade dessas gemas exercerá efeitos sobre os rendimentos do ciclo produtivo seguinte, mais

de um ano depois. Uma vez estabelecida a fertilidade das gemas, no ciclo produtivo anterior, as condições meteorológicas durante a brotação, desenvolvimento dos ramos, floração, polinização e fixação de frutos são os próximos fatores decisivos para a expressão do potencial produtivo, o que acontece ao longo da primavera (Keller, 2020). A chuva antes e durante a floração pode fazer com que as flores caiam antes mesmo da antese. A precipitação também está associada à redução da viabilidade do pólen ou da taxa de germinação, o que pode levar à abscisão excessiva das flores e à má fixação dos frutos (Vasconcelos et al., 2009). A frutificação é afetada por praticamente qualquer fator que reduza a fotossíntese. As chuvas frequentes são desfavoráveis para uma fotossíntese ótima (Garrido et al., 2017; Vasconcelos et al., 2009). Em suma, as condições meteorológicas ideais durante a floração, que levam à máxima fixação de frutos, são praticamente idênticas às exigidas para maximizar a formação de gemas férteis no ciclo produtivo anterior (Keller, 2020). Em suma, seguindo a lógica inversa, as condições meteorológicas desfavoráveis, que comprometem a produtividade em um determinado ciclo produtivo, também tendem a comprometer o estabelecimento do máximo potencial produtivo para o ciclo produtivo seguinte.

2.4.2 Variações interanuais e intra-anuais

A condição climática média de um dado local apresenta alguma correlação com os resultados médios das safras. No entanto, a distribuição da soma térmica, da pluviosidade e da disponibilidade de radiação solar ao longo do ciclo de cultivo exerce a maior influência na qualidade das uvas para vinificação (RIBEREAU-GAYON et al., 2006). A compreensão das características climáticas de uma região e sua aptidão no âmbito da fruticultura só são possíveis a partir da análise de dados climatológicos e fenológicos, entre outros, que abarquem não menos do que 15 anos de observações (DE SIQUEIRA; PEREIRA, 2018).

2.4.3 ENOS (El Niño Oscilação Sul)

O fenômeno El Niño caracteriza-se pelo aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico e um enfraquecimento dos ventos alísios. Juntamente, ocorrem alterações nas correntes atmosféricas marítimas, na distribuição das chuvas e em diversos ecossistemas. Já La Niña é a denominação dada ao fenômeno com características inversas: resfriamento das águas do pacífico e intensificação dos ventos alísios. A alternância entre El Niño e sua contraparte La Niña é conhecida como El Niño Oscilação Sul (ENOS), sendo a maior flutuação interanual do clima mundial (TIMMERMANN *et al.*, 2018a). É mais frequente a ocorrência de eventos de El Niño do que de La Niña (FONTANA; BERLATO, 1997; STEINMETZ; DE ASSIS; DE CAMPOS, 1999).

2.4.4 ENOS – Efeitos na região sul do Brasil

Na região sul do Brasil, anos de El Niño tendem a apresentar excesso de chuvas e anos de La Niña estiagem. Tipicamente, esses fenômenos alteram o regime de chuvas durante vários meses, desde o início da primavera do ano em que o evento inicia até o final de outono do ano seguinte (CUNHA, 1999). Já a ocorrência de geadas é mais frequente em anos de neutralidade, seguido de anos de La Niña e menos frequente em ano de El Niño (DA COSTA *et al.*, 2013).

No Rio Grande do Sul, anomalias de precipitações pluviométricas anuais estão em mais de 60% dos casos associadas à ocorrência de ENOS (DE ASSIS; MARTINS; MENDEZ, 1997). O número de precipitações diárias acima de 50mm é maior em anos de El Niño, quando comparados os dois fenômenos ENOS, principalmente nas regiões Noroeste e Centro-Oeste do Rio Grande do Sul (TUCHTENHAGEN *et al.*, 2015), isso inclui a maior parte da Campanha. As temperaturas mínimas (para os trimestres Outubro-Dezembro e Abril-Junho)

apresentam uma tendência de valores inferiores em anos de La Niña e superiores em anos de El Niño (CORDEIRO; BERLATO, 2009).

Na Campanha Gaúcha, entre 1950 e 1998, em anos de La Niña, as probabilidades de ocorrer precipitação abaixo da mediana nos meses de outubro e novembro variaram entre 55 e 85%. Para esse mesmo período e região, em anos de El Niño, as probabilidades de precipitação acima da média variaram entre <55 a 65% no mês de outubro e 75 a 85% no mês de novembro. No mês de novembro em anos de El Niño, a anomalia média de precipitação - acima da média mensal - variou entre 80 e 100mm (MARQUES; BERLATO; JANKE, 2003).

Na região de Pelotas (razoavelmente próxima à região da Campanha), em anos de ENOS a precipitação pluviométrica também é a variável climática que apresenta os desvios mais marcantes com relação à média climatológica. As precipitações acima e abaixo da média em anos de El Niño e La Niña, respectivamente, ocorreram principalmente entre outubro e dezembro. Em anos de El Niño, os maiores desvios acima da média para pluviosidade e abaixo da média para radiação solar e evapotranspiração ocorreram no mês de novembro. As temperaturas mínimas foram mais altas de novembro a janeiro e as máximas foram mais baixas principalmente em novembro e dezembro. Em anos de La Niña, a precipitação pluviométrica foi inferior à média climatológica desde outubro até janeiro e a radiação solar foi acima da média de outubro a março (com exceção do mês de janeiro, abaixo da média) (STEINMETZ; DE ASSIS; DE CAMPOS, 1999).

Em Bagé, na Campanha Gaúcha, observou-se que os rendimentos na cultura da soja apresentam correlações com a ocorrência de ENOS. Os padrões de rendimento observados, no entanto, são distintos dos observados em outras regiões produtoras do Estado, onde os efeitos climáticos de ENOS foram distintos. Os autores atribuem essas diferenças inter-regionais, ao menos em

parte, às diferenças nos regimes de chuvas no período primavera-verão (DEIBLER; FERNANDES; DE CAMPOS, 2005).

2.4.5 ENOS – Efeitos sobre a viticultura no Rio Grande do Sul

O impacto de ENOS na viticultura do sul do Brasil foi até o momento pouco estudado. Um estudo realizado no âmbito do estado do Rio Grande do Sul, entre as safras de 1961 e 2000, encontrou que a produtividade da uva foi maior em anos de La Niña do que em anos neutros e anos de El Niño. No mesmo estudo, a qualidade da uva cv. Cabernet Franc produzida na Serra Gaúcha, em termos de °Babo, foi superior à média histórica em 76% dos anos neutros e inferior em 72% dos anos de El Niño e em 67% dos anos de La Niña. (MANDELLI; BERLATO; TONETTO, 2003). Nesse estudo, fica claro que tanto para a produtividade quanto para a qualidade, há uma tendência de oscilação associada a ENOS.

2.4.6 A região de estudo

Na Campanha Gaúcha - que recentemente recebeu a Indicação de Procedência, IP Campanha Gaúcha - como um todo, atividade vitivinícola é bastante recente. Os primeiros empreendimentos significativos na região são da década de 70. Diferentemente da Serra Gaúcha, na Campanha gaúcha a viticultura sempre foi voltada à produção uvas viníferas para produção de vinhos finos. Em Santana do Livramento, um marco para o desenvolvimento desse ramo foi a instalação dos vinhedos da empresa Almadén em 1974 (COSTA, 2011).

Quanto à classificação edafoclimática da área do município, os tipos de solo predominantes encontrados em Santana do Livramento são Neossolos, Argissolos e Planossolos, com pequenas áreas de Chernossolos e Vertissolos (COSTA, 2011). A classificação do clima pelo sistema de Köppen-Geiger é Cfa. O clima Cfa é caracterizado por verões quentes, com temperaturas médias

superiores a 22°C e invernos amenos com temperaturas médias acima de -3°C. Já a distribuição das chuvas é bastante uniforme ao longo do ano (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

As características climáticas da região são em geral bastante favoráveis para a viticultura, principalmente quando comparadas às da mais tradicional região vitícola do Brasil, a Serra Gaúcha. Na primeira pode-se destacar alta insolação e baixa precipitação pluviométrica entre dezembro e janeiro, o que resulta em um alto Quociente Heliopluiométrico de maturação. Além disso, no período estival as temperaturas médias são altas e a umidade relativa do ar é baixa (COSTA, 2011).

2.5 Determinação dos objetivos

Objetivo geral:

- Avaliar as principais influências de ENOS na produção e qualidade de uvas e vinhos de cultivares europeias na região de Santana do Livramento e definir estratégias e pontos críticos para a otimização da vitivinicultura regional.

Objetivos específicos:

- Determinar os anos com ocorrência de ENOS;
- Determinar graus dia, amplitude térmica, horas de frio, índice hélio-térmico, hélio-pluiométrico - entre outros a serem definidos - para a série de dados climáticos na região de Santana do Livramento;
- Analisar qualitativa e quantitativamente as uvas e vinhos produzidas nos diferentes anos com e sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, na região de Santana do Livramento;
- A partir da análise multivariada de dados e outras ferramentas estatísticas, determinar quais os efeitos dos parâmetros climáticos sobre a produtividade e qualidade das safras em Santana do Livramento;

- Com base nos resultados, traçar estratégias para otimizar a vitivinicultura e mitigar riscos e prejuízos oriundos da ocorrência de ENOS em Santana do Livramento, através da definição de: cultivares que apresentam melhores resultados; definição de cultivares potenciais; pontos críticos (estádios fenológicos) que impactam sobre a produtividade e qualidade das uvas.

2.6 Metodologia

2.6.1 Banco de dados

O banco de dados climáticos será obtido dos registros da empresa Almadén e da estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), ambas localizadas em Santana do Livramento. As variáveis compreendidas serão: precipitação; temperaturas (mínima, máxima e média), umidade relativa e radiação global incidente.

Dados relativos à produtividade, à qualidade e a fenologia das seguintes cultivares (e outras cultivares ainda não definidas), todas enxertadas sobre porta-enxerto SO4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*) serão disponibilizados pela empresa Almadén: Chardonnay, Sauv. Blanc, Merlot e Cabernet Sauvignon. As seguintes variáveis de produtividade e qualidade das cultivares mencionadas acima serão consideradas: sólidos solúveis totais; grau glucométrico ou °Babo; toneladas produzidas por hectare; graduação alcoólica dos vinhos; acidez total dos vinhos; e pH.

Os dados (relativos a todas as safras disponíveis) serão tabulados dos registros físicos da empresa e dos arquivos do INMET, compilados e organizados em planilhas digitais. Cabe ressaltar que a definição minuciosa e completa do conjunto de dados a ser utilizado não foi possível no atual momento de elaboração do presente projeto por conta das restrições operacionais generalizadas acarretadas pela pandemia de COVID-19.

2.6.2 Definição dos anos de ocorrência ENOS e sua intensidade

A definição dos anos neutros, de El Niño e de La Niña se dará com base nos dados pertencentes ao Laboratório de Meteorologia da Embrapa Clima Temperado/Pelotas-RS, estes desde o ano de 1950 até o ano de 2020. Eventualmente, outros critérios, como os descritos por Galvani e Pereira (1997) ou as compilações de Zampieri e Braga (2005) poderão ser utilizados.

2.6.3 Variáveis e cálculos relativos à fenologia da videira

2.6.3.1 Temperatura Mínima Basal (Temperatura-base)

Como temperatura-base (T_b) será utilizado o limite de 10°C, adotado pela maioria dos pesquisadores (BRANAS, 1974; CONSTANTINESCU, 1967; HIDALGO, 1980; WINKLER et al., 1974)

2.6.3.2 Graus Dia

Para a caracterização das exigências térmicas das cultivares em estudo, será utilizado o somatório de graus dia (GD) desde a brotação até a colheita das uvas, empregando os dados fenológicos e climáticos da Vinícola Almadén e utilizando as seguintes equações propostas Villa Nova et al., (1972)

$$GD = (T_m - T_b) + \frac{(T_m - T_m)}{2}, \text{ para } T_m > T_b;$$

$$GD = \frac{(T_m - T_b)^2}{2(T_m - T_m)}, \text{ para } T_m < T_b;$$

$$GD = 0, \text{ para } T_m < T_b.$$

Em que:

GD = graus-dia;

TM = temperatura máxima diária (°C);

Tm = temperatura mínima diária (°C); e

Tb = temperatura base (°C).

2.6.3.3 Horas de Frio

O cálculo de horas de frio (HF) consistirá na soma de horas com temperaturas iguais ou abaixo de 7,2 °C (HAWERROTH et al., 2010), durante o período de outono e inverno (maio a setembro).

2.6.4 Outros índices climáticos e classificação climática

2.6.4.1 Índice hélio-térmico

O índice hélio-térmico será quantificado através do índice bioclimático (lbc) proposto por Constantinescu (1967). O índice bioclimático (lbc) é dado pela seguinte forma:

$$lbc = \frac{(CT \times CI)}{(CP \times 10)}$$

Sendo

$$CT = \frac{(\sum Tm)}{N}$$

$$CI = \frac{(\sum I)}{N}$$

$$CP = \frac{(\sum P)}{N}$$

Onde:

CT é o coeficiente de temperatura;

CI é o coeficiente de insolação;

CP = coeficiente de precipitação pluvial;

ΣTm = somatório da temperatura média diária (°C);

ΣI = somatório da insolação diária (h);

ΣP = somatório da precipitação pluvial (mm);

N = número de dias de determinado período vegetativo (dias).

O somatório de insolação refere-se a um somatório de horas de irradiação efetiva (h). Para o cálculo do número de horas de insolação efetiva, considerar-se-á o limiar mínimo de 120W/m², como definido por (TIBA, 2000; WMO, 2003).

2.6.4.2 Quociente heliopluiométrico

Esse quociente heliopluiométrico de maturação foi proposto por Westfalen, (1977). O quociente heliopluiométrico de maturação (QM) será calculado através da expressão:

$$QM = \Sigma I / \Sigma P$$

$$QM = \frac{(\Sigma I)}{\Sigma P}$$

ΣI = somatório da insolação no período fenológico de maturação, em horas de insolação efetiva (h).

ΣP = somatório da precipitação pluvial no mesmo período fenológico (mm).

O somatório de insolação refere-se a um somatório de horas de irradiação efetiva (h). Para o cálculo do número de horas de insolação efetiva, considerar-se-á o limiar mínimo de 120W/m², como definido por (TIBA, 2000; WMO, 2003). O somatório de precipitação pluvial é calculado em mm.

2.6.4.3 Classificação climática - Sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovitícola (Sistema CCM)

A classificação anual do clima vitícola da região será feita pelo sistema proposto por Tonietto, (1999). O sistema prevê a classificação segundo três índices climáticos vitícolas: índice heliotérmico; índice de frio noturno; e índice de seca.

2.6.4.3.1 O índice heliotérmico (IH)

O índice heliotérmico é um índice vitícola desenvolvido por Huglin, (1978), cujo cálculo é feito a partir da fórmula abaixo.

$$IH = \sum_{1^{\circ} \text{ out}}^{31 \text{ mar}} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} \cdot k$$

T = temperatura média do ar (°C)

Tx = temperatura máxima do ar (°C)

k = coeficiente comprimento do dia, variando de 1,02 a 1,06 entre 40° e 50° de latitude

Obs.: Para o sistema CCM, médias mensais são utilizadas

2.6.4.3.2 Índice de frio noturno (IF)

O índice de frio noturno avalia a componente nicotérmica, ou seja, a condição térmica durante as noites do período de maturação das uvas (TONIETTO, 1999; TONIETTO; CARBONNEAU, 2004). Isso corresponde ao mês de março, no hemisfério sul e mês de setembro no hemisfério norte. Esse índice indica sobre características potenciais associadas a metabólitos secundários produzidos pelas uvas que se refletem nas características dos vinhos.

Tnset = temperatura mínima do ar (°C) do mês de setembro (média das mínimas do mês)

Tnmar = temperatura mínima do ar (°C) do mês de março (média das mínimas do mês)

2.6.4.3.3 Índice de Seca (IS)

O índice de seca é uma adaptação (TONIETTO, 1999; TONIETTO; CARBONNEAU, 2004) baseado no balanço hídrico do solo de Riou; Pieri; Clech, (1994). Esse índice avalia a disponibilidade de água para a videira, levando em consideração o aporte de água pela chuva (precipitação pluviométrica) e deduzindo desse a evapotranspiração – a transpiração de um vinhedo standard mais a evaporação do solo desnudo. Cabe ressaltar que esse índice não compreende as perdas de água do sistema nem pelo escoamento superficial e nem pela percolação da água.

$$IS = W_o + P - T_v - E_s$$

W_o = reserva hídrica inicial útil do solo (mm)

P = precipitação pluviométrica (mm)

T_v = transpiração potencial do vinhedo (mm)

E_v = evaporação direta a partir do solo (mm)

Para o hemisfério Norte, o IS é calculado no período de 1º de abril a 30 de setembro

Para o hemisfério Sul, o IS é calculado no período de 1º de outubro a 31 de março

2.6.4 Variáveis de produção e qualidade de uvas

As variáveis de produção e qualidade das uvas foram determinadas e arquivadas pela empresa, sendo agora disponibilizadas para a execução do presente projeto. Uma breve descrição sobre elas e sua forma de obtenção é feita a seguir.

2.6.4.1 Sólidos solúveis totais (SST)

Refere-se à quantidade de sólidos solúveis totais (em gramas) dissolvidos em 100g de solução. No caso do mosto de uva, em torno de 90% do conteúdo de SST corresponde a açúcares (GUERRA, 2002). É determinado através do método refratométrico, segundo metodologia das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL., 2008). Para tanto, o suco das uvas é retirado e uma gota é utilizada para leitura no equipamento (refratômetro). Os resultados são corrigidos para a temperatura de 20° C e expressos em graus Brix (°Brix).

2.6.4.2 Grau glucométrico ou °Babo

Refere-se à quantidade de açúcares (em gramas) dissolvidos em 100 g de solução. É determinado por meio de um mostímetro Babo em uma proveta de 250mL preenchida com mosto (GUERRA, 2002). É expresso em graus Babo (°Babo).

2.6.4.3 Produtividade

Para o cálculo da produtividade, a quantidade de uvas de cada cultivar colhidas (em toneladas) em cada safra é dividida pela área (em hectares) de plantio da mesma. É expresso, portanto, em ton/ha.

2.6.5 Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados será definida em detalhe ao longo da execução do projeto, conforme as características do conjunto dados e as respostas encontradas. Várias abordagens serão testadas. Além de ferramentas da estatística descritiva, ferramentas de análise multivariada serão aplicadas, como, por exemplo, a análise de componentes principais (PCA – principal component analysis) e análise de múltiplos fatores (MFA – multiple factor analysis), entre outras.

2.7 Metas e formas de publicação

O desenvolvimento das pesquisas de doutorado irá se consolidar preferencialmente na forma de artigos científicos. O detalhamento e subdivisão do conteúdo e a abrangência dos artigos científicos serão definidos de acordo com os resultados parciais encontrados ao longo das análises de dados, bem como as normas das revistas científicas para as quais os mesmos serão submetidos. Uma possível subdivisão em dois temas é exemplificada a seguir:

- “Efeito do El Niño e La Niña sobre qualidade dos vinhos”
- “Efeito do El Niño e La Niña sobre a produtividade da videira”

Pesquisa bibliográfica														
Análise e interpretação de dados														
Elaboração de artigos/tese														
Preparação para defesa														
Defesa														

2.9 Referência Bibliográficas

ALLEWELDT, G.; ILTER, E. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blütenbildung und Triebwachstum bei Reben. **Vitis**, [S. l.], v. 8, p. 286–313, 1969.

ALVES, Maria Emília Borges; TONIETTO, Jorge. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2018 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil - Comunicado Técnico 209**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184866/1/Comunicado-Tecnico-209-2018-10-22-14-h.pdf>

ANDERSON, Weston *et al.* Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 239, p. 151–165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>

BENDER, Angelica *et al.* Physicochemical and sensory properties of grape juices produced from different cultivars and extraction systems Propriedades físico-químicas e sensoriais de sucos de uva elaborados com diferentes cultivares e sistemas de extração. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1615–1634, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1615>

BRANAS, J. **Viticulture**. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique., 1974. *E-book*.

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Yield Effects on 2-Methoxy-3-Isobutylpyrazine Concentration in Cabernet Sauvignon Using a Solid Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 52, n. 17, p. 5431–5435, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0400617>

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 339–347, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00033.x>

CONSTANTINESCU, G. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages. **Bulletin de l'O.I.V.**, [S. l.], v. 441, p. 1179–1205, 1967.

CORDEIRO, Ana Paula A.; BERLATO, Moacir A. Frequência da temperatura mínima do ar associada a eventos el niño, la niña e neutros no Rio Grande do Sul. *In*: 2009, **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22 a 25 de setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG**. [S. l.: s. n.]

COSTA, Vagner Brasil. Efeito Das Condições Climáticas Na Fenologia Da Videira Européia Em Santana Do Livramento , Rio Grande Do Sul. [S. l.], p. 89, 2011.

CUNHA, Gilberto Rocca da. El NIÑO - OSCILAÇÃO DO SUL E PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS APLICADAS NO MANEJO DE CULTURAS NO SUL DO BRASIL. *In*: 1999, Florianópolis. **Anais XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Florianópolis: Epagri, 1999. p. 1340–1346.

CUNHA, G.; DALMAGO, G.; ESTEFANEL, V. El Nino Southern Oscillation Influences on Wheat Crop in Brazil. *In: Wheat in a Global Environment*. [S. l.]: Springer, 2001. p. 445–450. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-017-3674-9_58

CUNHA, G. R. El Niño southern oscillation and climate forecasts applied to crops management southern Brazil. *In: CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; BERLATO, M. A. (org.). Applications of climate forecasting for better decision-making processes in agriculture*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 181–201. *E-book*.

DA COSTA, Ângela Beatriz Ferreira *et al.* Geadas na região sul relacionadas ao el niño oscilação sul. *In: 2013, Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. [S. l.: s. n.]

DE ASSIS, Francisco Neto; MARTINS, Sérgio Roberto; MENDEZ, Marta Elena Gonzalez. Anomalias pluviométricas associadas à ocorrência de El Niño e de La Niña no Rio Grande Do Sul. *In: 1997, Piracicaba. Anais: agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável*. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 283–285.

DE CORTÁZAR-ATAURI, Iñaki García *et al.* Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. *Oeno One*, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 115–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1622>

DE SIQUEIRA, Dalmo Lopes; PEREIRA, Walter Esfrain. **Planejamento e Implantação de pomar**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2018. *E-book*.

DEIBLER, Alexandre Nunes; FERNANDES, Diego Simões; DE CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E ANOS NEUTROS NO RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA EM BAGÉ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *In: 2005, Campinas. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Campinas: [s. n.], 2005.

DRY, Peter R. Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 109–115, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00168.x>

EMBRAPA. **Ciência ajuda vinho da Campanha Gaúcha a conquistar Indicação Geográfica**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52668635/ciencia-ajuda-vinho-da-campanha-gaucha-a-conquistar-indicacao-geografica>. Acesso em: 3 set. 2020.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. INFLUÊNCIA DO EI NIÑO OSCILAÇÃO SUL SOBRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 127–132, 1997.

FRIEND, A. P. *et al.* Effect of delaying budburst on shoot development and yield of Vitis vinifera L. Chardonnay “Mendoza” after a spring freeze event. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 378–382, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00162.x>

GALVANI, EMERSON; PEREIRA, ANTONIO ROBERTO. EL NIÑO-OSCILAÇÕES

SUL (ENOS), QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO FENÔMENO. *In*: 1997, Piracicaba. **Anais X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 280–282.

GARRIDO, Lucas da Ressurreição *et al.* **Manual de identificação das doenças abióticas da videira**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.embrapa.br/uva-e-vinho>

GLANTZ, Michael H.; RAMIREZ, Ivan J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Niño's Impacts. **International Journal of Disaster Risk Science**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 394–403, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00275-w>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Dormência em frutíferas de clima temperado - Documento 310**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2010.

HIDALGO, L. **Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los vinedos españoles. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Producción Vegetal, 29**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias., 1980. *E-book*.

HUANG, Boyin *et al.* Extended reconstructed Sea surface temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilites héliothermiques d'un milieu viticole. *In*: 1978, Konstanz. **Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire**. Konstanz: [s. n.], 1978. p. 89–98.

HUSSON, François; BOCQUET, Valéry; PAGÈS, Jérôme. Use of confidence ellipses in a PCA applied to sensory analysis application to the comparison of monovarietal ciders. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 510–518, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.062104.x>

IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 1ª edição digital. *In*: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1a Edição ed. São Paulo: [s. n.], 2008. *E-book*.

JACKSON, D. I.; LOMBARD, P. B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 44, p. 409–430, 1993.

KALTBACH, Pedro *et al.* Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento , RS , Brazil.

Semina Ciências Agrárias, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 2031–2044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031>

KALTBACH, Pedro *et al.* El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. **Revista Ceres**, [S. l.], v. 70, n. 1, p. 51–60, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>

KELLER, M.; KOBLET, W. Dry matter and leaf area partitioning, bud fertility and second season growth of *Vitis vinifera* L.: Responses to nitrogen supply and limiting irradiance. **Vitis**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 77–83, 1995.

KELLER, Markus *et al.* Crop load management in concord grapes using different pruning techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 35–50, 2004.

KELLER, Markus. **The science of grapevines**. 3 ed. ed. London: Elsevier - Academic Press, 2020. *E-book*.

KELLER, Markus; DEYERMOND, Laura S.; BONDADA, Bhaskar R. Plant hydraulic conductance adapts to shoot number but limits shoot vigour in grapevines. **Functional Plant Biology**, [S. l.], v. 42, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP14206>

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

MANDELLI, Francisco; BERLATO, Moacir Antonio; TONIETTO, Jorge. Influência do fenômeno El Niño / La Niña no rendimento e na qualidade da uva da “ Serra Gaúcha ”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 85–90, 2003.

MARQUES, Julio Renato; BERLATO, Moacir A.; JANKE, Aline. Probabilidade empírica de ocorrência de anomalia de precipitação pluvial sobre O Rio Grande Do Sul condicionada a eventos El Niño - Oscilação Sul. *In*: 2003, Santa Maria. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Santa Maria: [s. n.], 2003. p. 1059–1060.

MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 323–331, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>

NACHTIGAL, Jair Costa; MAZZAROLO, Adriano. **Uva : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. *E-book*.

NICKNICH, Fernanda *et al.* Efeitos dos Fenômenos El Niño e La Niña no rendimento de grãos das principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul. *In*: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). **Cold & Warm Episodes by Season**. [s. l.], 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 2 ago. 2023.

- NUZZO, Vitale; MATTHEWS, Mark A. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed Cabernet Sauvignon on four rootstocks. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 314–324, 2006.
- OLLAT, Nathalie; TOUZARD, Jean-Marc; VAN LEEUWEN, Cornelis. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 139–149, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>
- PARKER, A. K. *et al.* Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 266–276, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12132>
- PARKER, Amber K. *et al.* Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 285–286, n. September 2019, p. 107902, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- PREVITALI, Pietro *et al.* Crop Load and Plant Water Status Influence the Ripening Rate and Aroma Development in Berries of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 69, n. 27, p. 7709–7724, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01229>
- RCORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: www.R-project.org
- RIBEREAU-GAYON, Pascal *et al.* **Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications: Second Edition**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0470010363>
- RIOU, C.; PIERI, P.; CLECH, B. Le. Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. **Vitis**, [S. l.], v. 115, p. 109–115, 1994. Disponível em: <http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e033651.pdf>
- RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. Boston: [s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>
- STEINMETZ, Silvio; DE ASSIS, Francisco Neto; DE CAMPOS, Cláudia Jacondino. Influência do El Niño Oscilação Sul (enos) sobre as condições climáticas, no período de outubro a março, na região de Pelotas-RS. In: 1999, **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]
- TIBA (COORD.), Chigeru. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. *E-book*. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>
- TIMMERMAN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TIMMERMANN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TONIETTO, Jorge. **LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET L'INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH ET DU MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE - Méthodologie de Caractérisation**. 1999. - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER T, [S. l.], 1999.

TONIETTO, Jorge; CARBONNEAU, Alain. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 124, n. 1–2, p. 81–97, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

TUCHTENHAGEN, Patrícia Nunes *et al.* Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul. *In*: 2015, Lavras. **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Lavras: [S. n.], 2015. p. 1503–1508.

VAISSIE, Pauline; MONGE, Astrid; HUSSON, Francois. **Factoshiny package for R**. [S. l.: s. n.]

VAN LEEUWEN, Cornelis; DARRIET, Philippe. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 150–167, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

VASCONCELOS, M. C. *et al.* The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. [S. l.], v. 60, n. 4, p. 411–434, 2009. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/60/4/411>

VILLA NOVA, N. A. *et al.* **Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Universidade de São Paulo-Instituto de Geografia, 1972. v. 30 *E-book*.

WESTPHALEN, S. L. Bases ecológicas para determinação de regiões de maior aptidão vitivinícola no Rio Grande do Sul. *In*: 1977, Montevideo. **Simpósio Latinoamericano de la uva y del vino, 1976. Annales Laboratorio Tecnológico Cuaderno Técnico**. Montevideo: [S. n.], 1977. p. 89–101.

WINKLER, A. J. *et al.* **General viticulture**. 2nd. ed. Berkeley: University of California, 1974. *E-book*.

WMO, World Meteorological Organization. **Manual on the Global Observing System**. Geneva: [S. n.], 2003. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Manual/WMO544.pdf>

ZAMPIERI, Sergio Luiz; BRAGA, Hugo José. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NA AVALIAÇÃO DO FENÔMEMO ENOS (El Niño e La Niña) EM RELAÇÃO À INTENSIDADE E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA CONFORME DIFERENTES AUTORES. *In*: 2005, **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**.

3 Relatório de campo

3.1 Banco de dados

Inicialmente, previa-se que obteríamos um banco de dados mais abrangente do que o que foi, de fato, possível se obter. À época da elaboração do projeto de pesquisa, ainda sofriamos restrições operacionais generalizadas por conta da pandemia de COVID-19, o que não permitiu a averiguação detalhada das situações dos registros das diferentes fontes utilizadas para compor o banco de dados pretendido. Assim, lista-se abaixo os dados que acabaram não podendo ser integrados à elaboração dos artigos que compõe a presente tese de doutorado.

Os registros diários da estação meteorológica particular da empresa Almadén (temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa máxima, mínima e média e precipitação) apresentavam-se completos e consistentes, no entanto, eles iniciavam em janeiro de 1993 e encerravam em maio de 2009. Assim, buscaram-se outras fontes de dados meteorológicos oriundos de estações próximas.

Os registros da estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada em Santana do Livramento - que abrangeria as variáveis precipitação, temperaturas (mínima, máxima e média), umidade relativa e radiação global incidente – acabou não podendo ser utilizado, pois apresentava várias falhas (de meses ou anos) para uma ou todas as variáveis. Nem mesmo registros físicos existiam ou puderam ser acessados. Felizmente, pudemos contar com colaboração do INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología) que forneceu dados altamente completos e consistentes de sua estação meteorológica localizada na cidade de Rivera (vizinha a Santana do Livramento), os quais abrangiam os dados necessários de temperatura, umidade relativa e precipitação. Assim, obteve-se dados meteorológicos para o período desde janeiro de 2000 até abril de 2021.

Os dados de produtividade e qualidade das uvas de cada vindima resumiram-se a produtividade por área e acúmulo de açúcares à colheita (a maturação tecnológica, medida em grau glucométrico, babo). Os dados de fenologia eram demasiadamente incompletos para que se pudesse incluí-los nas análises de dados. Outros variáveis que não puderam ser obtidas foram: sólidos solúveis totais; pH; e graduação alcoólica e acidez total dos vinhos. Adicionalmente, cabe mencionar que as áreas plantadas com cada cultivar sofreram significativas modificações ao longo dos anos, o que desencorajou a análise individualizada do desempenho das cultivares.

Em resumo, as pesquisas foram conduzidas com os dados descritos a seguir. Dados de produtividade por área e grau glucométrico das uvas obtidas em cada vindima, desde 1993 até 2021. Os dados meteorológicos diários (temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa máxima, mínima e média, e precipitação) também abrangeram o período entre 1993 e 2021, sendo que os dados oriundos da empresa Almadén compreendiam o período entre 1993 e 2009 e os dados oriundos de Rivera compreendiam o período entre 2000 e 2021. Além desses dados, os registros das temperaturas das águas superficiais do oceano pacífico e o enquadramento dos meses como períodos de El Niño, La Niña ou neutralidade foram integralmente obtidos da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

3.2 Elaboração dos artigos

Enquanto ainda se estudava como seriam contornadas as limitações impostas pela redução do banco de dados que previamente se supunha existir, iniciou-se uma investigação com os dados que já possuíamos: dados de produtividade e acúmulo de açúcares (grau glucométrico) das uvas e os registros das temperaturas das águas superficiais do oceano pacífico e o enquadramento dos meses como períodos de El Niño, La Niña ou neutralidade.

As correlações entre a produtividade dos vinhedos e a ocorrência de eventos de El Niño e La Niña de diferentes intensidades (medidas pela temperatura das águas superficiais do oceano pacífico) pode ser visualizada em gráficos bidimensionais. Sobretudo, os efeitos de eventos fortes de El Niño que se consolidaram mais cedo mostrou forte correlação com as quebras de safra. Com isso também se percebeu que era possível alertar a potencial ocorrência dessas condições alguns meses antes do início primavera. Esses resultados justificaram a elaboração de um primeiro artigo.

Dando prosseguimento às análises, como já havia sido discutido no artigo anterior, buscou-se uma forma de calcular ou compensar a influência das condições dos ciclos produtivos anteriores sobre uma dada safra, de forma a se entender o efeito de cada evento de ENOS de forma mais isolada. A realização dessa compensação e a separação da análise em dois grupos (de cultivares brancas e tintas) possibilitou observar com mais clareza que o ENOS apresentava correlações não apenas com a produtividade, mas também com o acúmulo de açúcares. Esses resultados deram origem a um segundo artigo.

Havendo-se já estabelecido a correlação entre ENOS, produtividade e acúmulo de açúcares, focou-se em um melhor entendimento do clima vitícola da região, bem como sua variabilidade frente aos eventos de ENOS. À essa altura, de posse dos dados meteorológicos que abarcavam um período de 29 ciclos produtivos, foi possível elaborar um terceiro artigo.

4 Revisão de literatura

4.1 Desempenho produtivo das cultivares de videira em diferentes climas

A videira é cultivada comercialmente em dezenas de países. A grande diversidade de climas onde a videira é cultivada é grandemente responsável pela diversidade de cultivares, qualidade e tipicidade de vinhos (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004). A mesma cultivar, cultivada em locais diferentes, pode produzir uvas e vinhos profundamente distintos (JACKSON; LOMBARD, 1993).

Idealmente, a videira é favorecida por invernos frios e verões secos e quentes. Já a umidade alta é um fator negativo, pois está diretamente relacionada à ocorrência de doenças fúngicas, para as quais a videira europeia é muito sensível. A temperatura é outro fator crucial, pois rege a velocidade das reações químicas e bioquímicas de uma maneira geral. Para a videira, a temperatura basal é de 10°C e, portanto, apenas temperaturas acima de 10°C são contabilizadas como efetivas para o seu crescimento vegetativo (WINKLER *et al.*, 1974).

O aumento das temperaturas causa o adiantamento das fases fenológicas e modificações na qualidade dos mostos e vinhos. Devido ao progressivo aquecimento global, na região de Châteauneuf du Pape, por exemplo, a colheita ocorreu aproximadamente 4 semanas mais cedo na primeira década do presente século do que no final da década de 1940. Em regiões onde a maturação costuma ser abaixo do desejado, temperaturas mais altas podem ser eventualmente positivas, pois causam em geral um aumento na acúmulo de açúcares. No entanto, temperaturas médias mais elevadas (ou excessivamente elevadas) ainda apresentam um efeito de redução da acidez, redução de alguns metabólitos secundários como antocianinas, e aumento do pH dos vinhos. Disso decorrem inúmeros problemas, tais como os relacionados à estabilidade microbiológica, à alteração do perfil sensorial e ao equilíbrio entre todos os componentes de sabor de um vinho (VAN LEEUWEN; DARRIET, 2016).

Grande parte dos vinhos de alta qualidade são produzidos em regiões onde a precipitação anual não excede os 700-800mm. Altas precipitações ou excesso de irrigação são negativos para a qualidade enológica das uvas. O aporte excessivo de água no sistema atrasa a maturação e altera consideravelmente a composição das bagas. O déficit hídrico moderado não impede a maturação satisfatória de uvas, em termos de conteúdos de açúcares e ácidos e, mesmo desde antes da *véraison*, é positivo para a qualidade das uvas (RIBEREAU-GAYON *et al.*, 2006). O déficit hídrico não severo aumenta a qualidade de vinhos tintos. Em regiões como Bordeaux (mais úmida do que regiões mediterrâneas) a ocorrência de grandes safras está correlacionada fortemente com anos mais secos mas pouco correlacionada com anos mais quentes. Cabe ressaltar que, nessa mesma região, anos mais úmidos que apresentaram apenas o final do período de maturação seco e ensolarado ainda apresentaram resultados qualitativos satisfatórios (VAN LEEUWEN; DARRIET, 2016).

Diferentemente de muitas culturas, a videira é comumente cultivada sob condições subótimas para produtividade. Vários fatores abióticos ou bióticos que reduzem o vigor e a produtividade são tidos como benéficos para aumentar o potencial de vinificação das uvas. O déficit hídrico tende a exercer em geral um efeito negativo sobre a produtividade. Já o excesso de chuva e a alta umidade (que causam alta atividade de água sobre os tecidos vegetais) podem afetar a produtividade devido ao aumento na incidência de doenças fúngicas e perdas por podridões ou rompimento de bagas (RIBEREAU-GAYON *et al.*, 2006).

Em climas mais úmidos - como o do Rio Grande do Sul, onde comumente existem mais problemas oriundos de excessos do que de déficits hídricos -, menores precipitações pluviais nos meses de primavera acabam por favorecer a floração, a maior fecundação, a redução de doenças fúngicas e a maior eficiência de tratamentos fitossanitários (MANDELLI; BERLATO; TONETTO, 2003). Cabe ressaltar, no entanto, que o déficit hídrico (e baixos níveis de nitrogênio) no período de floração e logo posterior à floração (entre 400 e 700

graus-dia) podem causar efeitos perceptíveis sobre a produtividade do ciclo produtivo posterior àquele ciclo, ou seja, mais de um ano mais tarde (GUILPART; METAY; GARY, 2014a).

4.2 Variações interanuais e intra-anuais

A condição climática média de um dado local apresenta alguma correlação com os resultados médios das safras. No entanto, a distribuições da soma térmica, da pluviosidade e da disponibilidade de radiação solar ao longo de cada ciclo de cultivo específico exercem grande influência sobre a qualidade das uvas para vinificação, as quais podem apresentar, portanto, grandes variações qualitativas inter-anuais - entre diferentes safras (RIBEREAU-GAYON *et al.*, 2006). A compreensão das características climáticas de uma região e sua aptidão no âmbito da fruticultura só são possíveis a partir da análise de dados climatológicos e fenológicos, entre outros, que abarquem não menos do que 15 anos de observações (DE SIQUEIRA; PEREIRA, 2018).

4.3 ENOS (El Niño Oscilação Sul)

O fenômeno El Niño caracteriza-se pelo aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico e um enfraquecimento dos ventos alísios. Juntamente, ocorrem alterações nas correntes atmosféricas marítimas, na distribuição das chuvas e em diversos ecossistemas do planeta. Já La Niña é a denominação dada ao fenômeno com características inversas: resfriamento das águas do pacífico e intensificação dos ventos alísios. A alternância entre El Niño e sua contraparte La Niña é conhecida como El Niño Oscilação Sul (ENOS), sendo a maior flutuação interanual do clima mundial (TIMMERMANN *et al.*, 2018a). É mais frequente a ocorrência de eventos de El Niño do que de La Niña (FONTANA; BERLATO, 1997; STEINMETZ; DE ASSIS; DE CAMPOS, 1999).

4.4 ENOS – Efeitos na região sul do Brasil

Na região sul do Brasil, anos de El Niño tendem a apresentar excesso de chuvas e anos de La Niña estiagem. Tipicamente, esses fenômenos alteram o regime de chuvas durante vários meses, desde o início da primavera do ano em que o evento inicia até o final de outono do ano seguinte (CUNHA, 1999). Já a ocorrência de geadas é mais frequente em anos de neutralidade, seguido de anos de La Niña e menos frequente em ano de El Niño (DA COSTA *et al.*, 2013).

No Rio Grande do Sul, anomalias de precipitações pluviométricas anuais estão em mais de 60% dos casos associadas à ocorrência de ENOS (DE ASSIS; MARTINS; MENDEZ, 1997). O número de precipitações diárias acima de 50mm é maior em anos de El Niño (quando confrontados El Niño e La Niña) principalmente nas regiões Noroeste e Centro-Oeste do Rio Grande do Sul (TUCHTENHAGEN *et al.*, 2015), isso inclui a maior parte da Campanha. As temperaturas mínimas (para os trimestres Outubro-Dezembro e Abril-Junho) apresentam uma tendência de valores inferiores em anos de La Niña e superiores em anos de El Niño (CORDEIRO; BERLATO, 2009).

Na Campanha Gaúcha, entre 1950 e 1998, em anos de La Niña, as probabilidades de ocorrer precipitação abaixo da mediana nos meses de outubro e novembro variaram entre 55 e 85%. Para esse mesmo período e região, em anos de El Niño, as probabilidades de precipitação acima da média variaram entre 55 e 65% no mês de outubro e 75 a 85% no mês de novembro. No mês de novembro em anos de El Niño, a anomalia média de precipitação - acima da média mensal - variou entre 80 e 100mm (MARQUES; BERLATO; JANKE, 2003).

Na região de Pelotas (razoavelmente próxima à região da Campanha), em anos de ENOS a precipitação pluviométrica também é a variável climática que apresenta os desvios mais marcantes com relação à média climatológica. As precipitações acima e abaixo da média em anos de El Niño e La Niña, respectivamente, ocorreram principalmente entre outubro e dezembro. Em anos

de El Niño, os maiores desvios acima da média para pluviosidade e abaixo da média para radiação solar e evapotranspiração ocorreram no mês de novembro. As temperaturas mínimas foram mais altas de novembro a janeiro e as máximas foram mais baixas principalmente em novembro e dezembro. Em anos de La Niña, a precipitação pluviométrica foi inferior à média climatológica desde outubro até janeiro e a radiação solar foi acima da média de outubro a março (com exceção do mês de janeiro, abaixo da média) (STEINMETZ; DE ASSIS; DE CAMPOS, 1999).

Em Bagé, na Campanha Gaúcha, observou-se que os rendimentos na cultura da soja apresentam correlações com a ocorrência de ENOS. Os padrões de rendimento observados, no entanto, são distintos dos observados em outras regiões produtoras do Estado, onde os efeitos climáticos de ENOS foram distintos. Os autores atribuem essas diferenças inter-regionais, ao menos em parte, às diferenças nos regimes de chuvas no período primavera-verão (DEIBLER; FERNANDES; DE CAMPOS, 2005).

4.5 ENOS – Efeitos sobre a viticultura no Rio Grande do Sul

O impacto de ENOS na viticultura do sul do Brasil foi até o momento pouco estudado. Um estudo realizado no âmbito do estado do Rio Grande do Sul, entre as safras de 1961 e 2000, encontrou que a produtividade da uva foi maior em anos de La Niña do que em anos neutros e anos de El Niño. No mesmo estudo, a qualidade da uva cv. Cabernet Franc produzida na Serra Gaúcha, em termos de °Babo, foi superior à média histórica em 76% dos anos neutros e inferior em 72% dos anos de El Niño e em 67% dos anos de La Niña. (MANDELLI; BERLATO; TONIETTO, 2003). Nesse estudo, fica claro que tanto para a produtividade quanto para a qualidade, há uma tendência de oscilação associada a ENOS.

4.6 A região em estudo

Na Campanha Gaúcha como um todo, a atividade vitivinícola é bastante recente. Os primeiros empreendimentos significativos na região são da década de 70. Diferentemente da Serra Gaúcha, na Campanha gaúcha a viticultura sempre foi voltada à produção uvas viníferas para produção de vinhos finos. Em Santana do Livramento, um marco para o desenvolvimento desse ramo foi a instalação dos vinhedos da empresa Almadén em 1974 (COSTA, 2011).

Recentemente, em 2020, a região recebeu a Indicação de Procedência, IP Campanha Gaúcha, para vinhos e espumantes. A área demarcada abrange 44.365km² e já possuía 1.560ha de vinhedos no último cadastro vitícola de 2015, responsáveis por originar 31% da produção nacional de vinhos finos (EMBRAPA, 2020).

Quanto à classificação edafoclimática da área do município, os tipos de solo predominantes encontrados em Santana do Livramento são Neossolos, Argissolos e Planossolos, com pequenas áreas de Chernossolos e Vertissolos (COSTA, 2011). A classificação do clima pelo sistema de Köppen-Geiger é Cfa. O clima Cfa é caracterizado por verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e invernos amenos com temperaturas médias acima de -3°C. Já a distribuição das chuvas é bastante uniforme ao longo do ano (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

As características climáticas da região são em geral bastante favoráveis para a viticultura, principalmente quando comparadas às condições climáticas da principal e mais tradicional região vitícola do Brasil, a Serra Gaúcha. A região da Campanha se destaca por apresentar alta insolação e baixa precipitação pluviométrica entre dezembro e janeiro, o que resulta em um alto Quociente Heliopluviométrico de maturação. Além disso, no período estival as temperaturas médias são altas e a umidade relativa do ar é baixa (COSTA, 2011).

4.7 A análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (ACP, ou, em inglês PCA, Principal Component Analysis) é uma técnica estatística usada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados enquanto preserva ao máximo a variabilidade presente nele. O objetivo é transformar variáveis correlacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais entre si), chamadas componentes principais, ordenadas de acordo com sua importância na explicação da variância dos dados (HUSSON; BOCQUET; PAGÈS, 2004; LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008; VAISSIE; MONGE; HUSSON, 2020).

A análise é feita a partir de algumas etapas, descritas resumidamente a seguir. Parte-se de um conjunto de dados com vários indivíduos descritos por várias variáveis. Uma vez que, comumente, as variáveis possuem escalas distintas, a gama de variabilidade de cada variável é padronizada para ser centrada em o apresentar desvio padrão de mais e menos um. Através de matrizes de covariância, avalia-se as relações entre as variáveis e identifica-se as direções que expressam maior variabilidade no conjunto de dados. Calcula-se os autovetores (eixos criados) e seus autovalores (quanto da variabilidade dos dados é explicada por cada um desses eixos). É mais comum eleger-se hierarquicamente (devido aos seus maiores autovalores) os dois ou três primeiros eixos para se realizar plotagens. Nelas é possível visualizar os eixos criados (autovetores), as variáveis originais, a correlação entre todas elas e os indivíduos do conjunto de dados. Esse são posicionados de acordo com sua maior ou menor correlação com esses eixos, dependendo das suas características, tais como descritas pelas variáveis originais. Ou seja, é possível observar imediatamente, em único gráfico, as principais variáveis que dominam a variabilidade dos indivíduos em um conjunto de dados, as correlações (diretas e inversas) entre as variáveis e as semelhanças ou divergências entre os indivíduos. Nos parágrafos a seguir, expõe-se brevemente como interpretar esses gráficos dados (HUSSON; BOCQUET; PAGÈS, 2004; LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008; VAISSIE; MONGE; HUSSON, 2020).

A visualização das ACPs começa pela apreciação de quantos por cento da variabilidade é explicada por cada dimensão (eixo) – isso denota o quanto essa dimensão (e as variáveis correlacionadas com ela) resume os dados apenas em si mesma. Depois, observa-se quais variáveis estão mais bem projetadas sobre esses eixos; aquelas cujos vetores formam menor ângulo com o eixo e apresentam maior comprimento são as mais correlacionadas com essa dimensão e, portanto, as mais importantes para explicar a variabilidade resumida nessa dimensão. Assim, visualiza-se em cada uma das próximas dimensões ortogonais entre si. Logo, variáveis com projeção semelhante, apresentam alta correlação direta entre si; variáveis com projeção oposta, apresenta alta correlação inversa entre si; quanto mais ortogonais e próximas aos eixos as direções entre duas variáveis, menor sua correlação.

Quanto à posição dos indivíduos, vê-se indivíduos que apresentam maiores valores para uma determinada variável representados próximos à extremidade do vetor dessa variável e distantes das extremidades dos vetores para os quais ela apresenta valores baixos. Dessa forma, indivíduos com características mais semelhantes encontram-se próximos, enquanto indivíduos com características distintas encontram-se distantes. A ACP também permite colorir indivíduos com uma mesma característica, de forma a facilitar a visualização de grupos. Cada grupo ainda pode ser avaliado probabilisticamente através de elipses de confiança, as quais representam com um determinado grau de confiança uma área onde um novo indivíduo pertencente a esse mesmo grupo deveria se inserir.

5 Artigo 1 - Viticultural climate variability at Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brazil: associations with the El Niño-Southern Oscillation

Variabilidade do clima vitícola em Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brasil: associações com o El Niño *Oscilação Sul*

Pedro Kaltbach; Suélen Braga de Andrade Kaltbach; Vagner Brasil Costa; Fabrício Domingues; Flávio Gilberto Herter

Artigo publicado em 2024 na revista Thema (Qualis A2)

ABSTRACT

Meteorological conditions are fundamental factors for the development of vitiviniculture in any place of the globe. Considering this, the viticultural climate and climate variability of Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brazil was characterized based on the three bioclimatic indices defined by the Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification (MCC) System – cool night index (CI), heliothermal index (HI) and dryness index (DI) – and a modified dryness index (DI_{modified}). The climate variability was correlated with the three phases of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) – namely, El Niño, La Niña and neutral phase. El Niño events presented typically higher DI and DI_{modified} values and lower HI values. La Niña events showed typically the opposite pattern, lower DI and DI_{modified} values and higher HI values. Neutral conditions were characterized mostly by intermediate values for DI and DI_{modified} as well as HI but the highest amplitude of CI values. The DI_{modified} followed by DI and HI were the indexes presenting the highest correlation with the polarization of ENSO phases.

Key-words: La Niña; Campanha Gaúcha; Vitis vinifera; Bioclimatic indexes; Geoviticulture multicriteria climatic classification system

RESUMO

As condições meteorológicas são fatores fundamentais para o desenvolvimento da vitivinicultura em qualquer local do globo. Assim, caracterizou-se o clima vitícola de Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brasil e sua variabilidade a partir dos três índices climáticos vitícolas preconizados pela metodologia do Sistema de Classificação Climática Multicritérios (CCM) Geovitícola - o índice de frio noturno (IF), o índice heliotérmico (IH) e o índice de seca (IS) -, além de um índice de seca flexibilizado (IS_{flexibilizado}). Correlacionou-se a variabilidade climática observada com as três fases do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) - El Niño, La Niña e fase neutra. Eventos de El Niño apresentaram tipicamente altos valores de IS e IS_{flexibilizado} e baixos valores de IH. Eventos de La Niña apresentaram tipicamente o padrão inverso, menores valores de IS ou IS_{flexibilizado} e altos valores de IH. Anos neutros apresentam tipicamente valores

intermediários de IS ou ISflexibilizado e IH, e a maior amplitude de valores de IF. O ISflexibilizado, seguido pelo IS e o IH foram as variáveis mais bem correlacionadas com a polarização das fases do ENOS.

Palavras-chave: La Niña; Campanha Gaúcha; *Vitis vinifera*; Índices Bioclimáticos; Sistema de classificação climática multicritérios geovitícola

1. INTRODUCTION

Meteorological conditions are crucial for grape (*Vitis vinifera* L.) and wine production. These abiotic factors largely define the diversity of wine grape varieties which can be cultivated and the quality and typicity of wines produced in each region around the globe (Tonietto; Carbonneau, 2004).

The Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification (MCC) System was developed specifically for vitiviniculture. It allows a broad characterization of climate and its variability in any location as well as comparisons between regions and vintages globally. This system employs three indexes: cool night index (CI); heliothermal index (HI); and dryness index (DI). The ranges of these indexes are divided into class intervals (Tonietto; Carbonneau, 2004).

The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is a source of climate variability at global level. This phenomenon is partially characterized by oscillations of temperature in the surface waters of the Pacific Ocean and is divided into three phases: warm (El Niño), cold (La Niña) and neutral (Timmermann *et al.*, 2018). In South America, the ENSO is closely related to anomalies in weather and crops (Anderson *et al.*, 2017). At Campanha Gaúcha, the ENSO alters rainfall, temperatures and relative humidity, causing quantitative and qualitative shifts in grapevine vintages (Kaltbach *et al.*, 2022, 2023).

The objective of this work was to characterize the region under study – Santana do Livramento - with respect to its viticultural climate and its viticultural climate variability, correlating the latter with the three phases of the El Niño-Southern Oscillation.

2. DEVELOPMENT

2.1 MATERIAL AND METHODS

The definition of ENSO events followed the records and criteria established by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2023). The annual classification of the viticultural climate employed the three indexes defined by the MCC System: cool night index (CI), to express night or minimum temperatures during the grape maturation period; heliothermal index (HI), to express the availability of thermal energy above a threshold of 10°C, what correlates with plant phenology and the potential sugar accumulation in the berries; and dryness index (DI), to express the hydric conditions, by considering a water balance between precipitation and evapotranspiration (vineyard and soil), invariably starting in a soil containing 200mm of water storage, the

same level set as maximum threshold of soil water storage capacity along the six months of the growing season. The indexes were calculated following the classical methodology of the MCC system for the Southern Hemisphere, applying calculations for the: one-month period from 1 March to 31 March, for CI; and the six-month period from 1 October to 31 March for both HI and DI (Tonietto; Carbonneau, 2004). Additionally, a modified dryness index (DI_{modified}) was calculated exactly as the DI but without considering any maximum threshold of soil water storage capacity along the growing season, in order to better estimate the water surplus in humid years (Alves; Tonietto, 2018). The ranges of these indexes are divided into class intervals shown in Table 1 (Tonietto; Carbonneau, 2004).

Table 1 - Classes of viticultural climate for the dryness index, heliothermal index and cool night index.

Index	Class of viticultural climate	Acronym	Class interval
Dryness index (DI, mm)	Humid	DI-2	$150 < DI$
	Subhumid	DI-1	$50 < DI \leq 150$
	Moderately dry	DI+1	$-100 < DI \leq 50$
	Very dry	DI+2	$DI \leq -100$
Heliothermal index (HI)	Very cool	HI-3	$HI \leq 1500$
	Cool	HI-2	$1500 < HI \leq 1800$
	Temperate	HI-1	$1800 < HI \leq 2100$
	Temperate warm	HI+1	$2100 < HI \leq 2400$
	Warm	HI+2	$2400 < HI \leq 3000$
	Very warm	HI+3	$3000 < HI$
Cool night index (CI, °C)	Warm nights	CI-2	$18 < CI$
	Temperate nights	CI-1	$14 < CI \leq 18$
	Cool nights	CI+1	$12 < CI \leq 14$
	Very cool nights	CI+2	$CI \leq 12$

Source: adapted from the literature (Tonietto; Carbonneau, 2004)

The meteorological data included two different datasets derived from two different meteorological stations. Using data from two meteorological stations was necessary in order to cover a longer period for improving significance and reliability. They comprised rainfall, temperature and relative humidity data. The dataset referred as 'Palomas' or 'Pa', gently donated by a private company, was obtained in a meteorological station located inside vineyards at Palomas district, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul state, Brazil ($30^{\circ}47'26''S$, $55^{\circ}22'29''O$, 200m of altitude) and covered the period between

January 1993 and August 2009. The other dataset referred as 'Rivera' or 'Ri', gently provided by the Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET), was obtained from a neighboring meteorological station located within the city of Rivera, Uruguay (30°53'48"S, 55°32'36"O, 241m of altitude) and covered the period between January 2000 and April 2021.

The values obtained for the indexes and their respective class intervals were correlated with the occurrence of ENSO. The correlations were investigated by frequency analysis and principal component analysis (PCA).

The codification for the production cycles employed the last two digits corresponding to the year of the vintage. For example, the production cycle '2001/2002' is coded by '02'.

2.2 RESULTS AND DISCUSSION

The mean values obtained for the indexes within each of the two whole time series were close, resulting in the classification of the region into the same classes at Palomas and Rivera, respectively: CI – 17,00 e 17,18°C (CI-1, temperate nights); HI - 2751 e 2747 (HI+2, warm); DI – 183 e 192mm (DI-2, humid); and DI_{modified} – 236 e 261mm.

The mean HI values observed denote that the region provides thermic conditions for completing and exceeding the whole phenological cycle of any *Vitis vinifera* L. cultivar. It means that, *a priori*, any cultivar can complete its maturation but they might be also subject to a certain risk of heat stress. The mean CI values (calculated for March, as preconized by the MCC System) denote that the early cultivars (harvested in early January, for example) tend to eventually face more challenging conditions for color and aroma development, while late cultivars (harvested in late February or March, for example) might benefit from cooler nights (Tonietto; Carbonneau, 2004).

The predominant high humidity, expressed by the mean DI values fitting within the DI class DI-2 (humid), is the most challenging factor for local grape growers. Overcast and rainy conditions during spring and early summer limit the availability of photoassimilates and increase the incidence of fungal diseases and the loss of injured berries. These factors compromise the adequate flowering and fruitset and, consequently, productivity (Kaltbach *et al.*, 2022, 2023; Keller, 2020; Vasconcelos *et al.*, 2009). The water surplus in the vineyard retards maturation and alters considerably the composition of grapes, while the moderate water deficit does not impair grape maturation (Keller, 2020).

Table 2: Classification of the production cycles according to the viticultural climatic indexes as observed in the meteorological stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).

Station	Vintage year	Code	HI value	CI value	DI value	DI _{modified} value	HI class	CI class	DI class	ENSO phase
---------	--------------	------	----------	----------	----------	------------------------------	----------	----------	----------	------------

Palomas	1994	Pa94	2497	15.7	200	443	HI+2	CI-1	DI-2	Neutral
	1995	Pa95	2752	16.3	113	211	HI+2	CI-1	DI-1	El Niño
	1996	Pa96	2916	18.0	121	138	HI+2	CI-2	DI-1	La Niña
	1997	Pa97	2698	13.8	148	172	HI+2	CI+1	DI-1	Neutral
	1998	Pa98	2638	16.9	200	1069	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	1999	Pa99	2981	18.5	8	13	HI+2	CI-2	DI+1	La Niña
	2000	Pa00	2859	15.6	74	104	HI+2	CI-1	DI-1	La Niña
	2001	Pa01	2812	19.4	200	250	HI+2	CI-2	DI-2	La Niña
	2002	Pa02	2644	19.6	200	327	HI+2	CI-2	DI-2	Neutral
	2003	Pa03	2694	17.2	200	983	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	2004	Pa04	2724	16.4	49	123	HI+2	CI-1	DI+1	Neutral
	2005	Pa05	2724	16.7	68	103	HI+2	CI-1	DI-1	El Niño
	2006	Pa06	2797	16.5	-54	-13	HI+2	CI-1	DI+1	La Niña
	2007	Pa07	2911	18.4	200	588	HI+2	CI-2	DI-2	El Niño
	2008	Pa08	2703	16.4	155	470	HI+2	CI-1	DI-2	La Niña
	2009	Pa09	2748	16.8	200	361	HI+2	CI-1	DI-2	La Niña
Rivera	2001	Ri01	2714	19.6	200	265	HI+2	CI-2	DI-2	La Niña
	2002	Ri02	2699	20.0	200	396	HI+2	CI-2	DI-2	Neutral
	2003	Ri03	2689	17.2	200	828	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	2004	Ri04	2693	16.6	82	207	HI+2	CI-1	DI-1	Neutral
	2005	Ri05	2779	16.9	68	129	HI+2	CI-1	DI-1	El Niño
	2006	Ri06	2840	17.2	-20	65	HI+2	CI-1	DI+1	La Niña
	2007	Ri07	2820	18.4	200	574	HI+2	CI-2	DI-2	El Niño
	2008	Ri08	2802	17.2	7	130	HI+2	CI-1	DI+1	La Niña
	2009	Ri09	2799	17.3	158	229	HI+2	CI-1	DI-2	La Niña
	2010	Ri10	2713	17.7	171	1017	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	2011	Ri11	2827	16.5	-3	-3	HI+2	CI-1	DI+1	La Niña
	2012	Ri12	2828	16.5	87	114	HI+2	CI-1	DI-1	La Niña
	2013	Ri13	2667	14.6	165	367	HI+2	CI-1	DI-2	Neutral
	2014	Ri14	2815	15.2	200	494	HI+2	CI-1	DI-2	Neutral
	2015	Ri15	2771	17.4	177	341	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	2016	Ri16	2637	16.5	187	809	HI+2	CI-1	DI-2	El Niño
	2017	Ri17	2747	16.6	200	393	HI+2	CI-1	DI-2	La Niña
	2018	Ri18	2721	15.7	50	131	HI+2	CI-1	DI-1	La Niña
	2019	Ri19	2648	16.3	124	525	HI+2	CI-1	DI-1	El Niño
	2020	Ri20	2868	18.2	20	285	HI+2	CI-2	DI+1	Neutral
	2021	Ri21	2689	17.2	200	422	HI+2	CI-1	DI-2	La Niña

HI – heliothermal index; CI – cool night index; DI – dryness index; ENSO – El Niño-Southern Oscillation; HI+2 – warm; CI-2 – warm nights; CI-1 – temperate nights; CI+1 – cool nights; DI-2 – humid; DI-1 sub-humid; DI+1 – dry.

Source: Elaborated by the authors.

Considerable climate variability was observed in all the indexes in both stations (Tables 2 and 3). The HI always fitted within the same class (HI+2) in both stations but presented high amplitude of values. The predominant CI class was CI-1 (temperate nights), followed by CI-2 (warm nights) in almost one third of the cases at Palomas. Only one exceptional case of CI+1 (cool nights) happened. In contrast, the index showing the highest variability was the DI, which was fitted with considerably high frequency within three classes (out of the four existing DI classes). These oscillating DI results are highly impacting for the vitivinicultural sector that faces the alternation between humid, sub-humid and dry years. Even so, more than 80% of the production cycles were sub-humid and humid.

Table 3: Relative frequency of occurrence of the viticultural climate classes in the stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).

Station and number of production cycles under study	HI class	Relative frequency of occurrence	CI class	Relative frequency of occurrence	DI class	Relative frequency of occurrence
Palomas (16 production cycles)	HI+2	16/16 (100%)	CI-2	5/16 (31.3%)	DI-2	8/16 (50%)
			CI-1	10/16 (62.5%)	DI-1	5/16 (31.3%)
			CI+1	1/16 (6.3%)	DI+1	3/16 (18.8%)
Rivera (21 production cycles)	HI+2	21/21 (100%)	CI-2	4/21 (19%)	DI-2	12/21 (57.1%)
			CI-1	17/21 (81%)	DI-1	5/21 (23.8%)
			CI+1	0/21 (0%)	DI+1	4/21 (19%)

HI – heliothermal index; CI – cool night index; DI – dryness index; HI+2 – warm; CI-2 – warm nights; CI-1 – temperate nights; CI+1 – cool nights; DI-2 – humid; DI-1 sub-humid; DI+1 – dry.

Source: Elaborated by the authors.

The frequency analysis of the different classes occurring in years belonging to the same ENSO phase (Table 4) revealed some patterns. The HI was not included in this frequency analysis because, as already shown previously (Tables 2 and 3), the class HI+2 was observed in 100% of the cases in both stations. For the CI, in the three ENSO phases in both stations the class CI-1 (temperate nights) occurred with the highest frequency. For the DI, the results of the two stations were quite comparable and conclusive. The class DI-2 was the most prevalent in all the cases, without exception. Therefore, humid conditions are the most commonly found in that region. Without exception, when the El Niño events were not associated with the most common DI class (DI-2, humid) they were associated with next class (DI-1, sub-humid). On the other hand, La Niña events showed the lowest frequency of DI-2 (humid) and the highest frequency of DI+1 (dry) among the ENSO phases.

In the PCAs constructed with the values of the indexes calculated for the station of Palomas (Figure 1), the indexes presented good projections but low correlations among them (Figure 1b). The index with the highest projection on the first dimension was the HI, which is hence a main variable to explain the variability of the data. The grouping and segregation of the production cycles (Figure 1a) indicated strong tendencies according to the three ENSO phases. El Niño and neutral events were more similar and distant from La Niña events. When the $DI_{modified}$ was used (Figure 1c and 1d), the segregation between the three ENSO phases was more evident. El Niño e La Niña became better separated, mainly on the axis of the variable $DI_{modified}$. In fact, this variable is supposed to better express water surpluses in the vineyard (Alves; Tonietto, 2018). Therefore, the hydric conditions expressed by this index were strongly influenced by the ENSO. The variable CI showed the highest and lowest values in neutral years. Nevertheless, the neutral years had on average low CI values, as three out of four years (75%) had CI values below the local overall average.

Table 4: Relative frequency of occurrence of the viticultural climate classes in the production cycles under the influence of the each ENSO phase in the stations of Palomas (from 1994 to 2009) and Rivera (from 2001 to 2021).

Station and number of production cycles under study	ENSO phase	Number of ENSO events	CI class	Frequency of occurrence	DIclass	Frequency of occurrence
Palomas (16 production cycles)	El Niño	5	CI-2	1/5 (20%)	DI-2	3/5 (60%)
			CI-1	4/5 (80%)	DI-1	2/5 (40%)
			CI+1	0/5 (0%)	DI+1	0/5 (0%)
	Neutral	4	CI-2	1/4 (25%)	DI-2	2/4 (50%)
			CI-1	2/4 (50%)	DI-1	1/4 (25%)
			CI+1	1/4 (25%)	DI+1	1/4 (25%)
	La Niña	7	CI-2	3/7 (42.9%)	DI-2	3/7 (42.9%)
			CI-1	4/7 (57.1%)	DI-1	2/7 (28.6%)

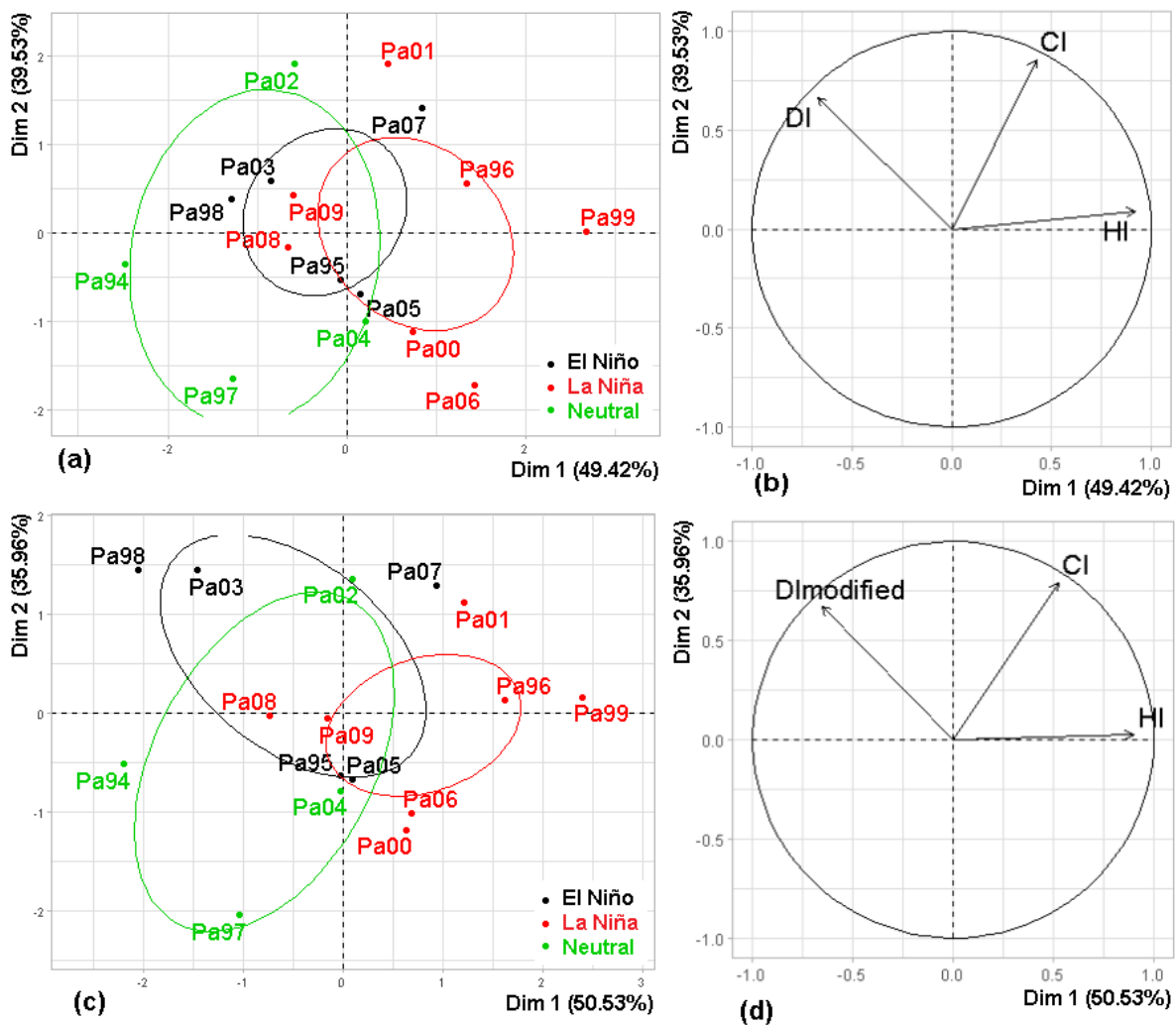
Rivera (21 production cycles)	El Niño	7	CI+1	0/7 (0%)	DI+1	2/7 (28.6%)
			CI-2	1/7 (14.3%)	DI-2	5/7 (71.4%)
			CI-1	6/7 (85.7%)	DI-1	2/7 (28.6%)
			CI+1	0/7 (0%)	DI+1	0/7 (0%)
	Neutral	5	CI-2	2/5 (40%)	DI-2	3/5 (60%)
			CI-1	3/5 (60%)	DI-1	1/5 (20%)
			CI+1	0/5 (0%)	DI+1	1/5 (20%)
	La Niña	9	CI-2	1/9 (11.1%)	DI-2	4/9 (44.4%)
			CI-1	8/9 (88.9%)	DI-1	2/9 (22.2%)
			CI+1	0/9 (0%)	DI+1	3/9 (33.3%)

HI – heliothermal index; CI – cool night index; DI – dryness index; ENSO – El Niño-Southern Oscillation; CI-2 – warm nights; CI-1 – temperate nights; CI+1 – cool nights; DI-2 – humid; DI-1 sub-humid; DI+1 – dry.

Source: Elaborated by the authors.

In the PCAs constructed with data from Rivera (Figure 2), the patterns observed were similar to those from Palomas. The loading plots (Figure 2b and 2d) showed that both HI and DI (or DI_{modified}) - well projected in the first dimension - were main variables to explain the variability in the data. These two variables also presented considerably high inverse relationship. The CI did not correlate well with the other variables but was highly determining for the second dimension, what expressed still around 35% of the variability in the data. The scoreplots (Figures 2a and 2c), as already observed in the PCAs constructed with data from Palomas, confirmed the segregation patterns associated with the polarization between El Niño and La Niña. El Niño events typically presented higher DI or DI_{modified} and lower HI values, what is the exactly opposite observed for La Niña events. When the DI was used (Figures 2a and 2b), the neutral years were more disperse and confused among the years belonging to the other ENSO phases. On the other hand, the use of DI_{modified} (Figures 2c and 2d) allowed a more clear segregation between the three ENSO phases. As also observed in the analysis of data from the other station, neutral years were slightly closer to El Niño years and presented high amplitude of CI values, including their absolute maximum and minimum.

Figure 1: Score plots (a and c) and loading plots (C and d) of the principal component analysis constructed with the values observed for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and dryness index (DI) - a and b - and for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and modified dryness index (DImodified) - c and d - in the stations of Palomas (from 1994 to 2009). Pa94 – Palomas, 1994; Pa95 – Palomas, 1995; Pa96 – Palomas, 1996; Pa97 – Palomas, 1997; Pa98 – Palomas, 1998; Pa99 – Palomas, 1999; Pa00 – Palomas, 2000; Pa01 – Palomas, 2001; Pa02 – Palomas, 2002; Pa03 – Palomas, 2003; Pa04 – Palomas, 2004; Pa05 – Palomas, 2005; Pa06 – Palomas, 2006; Pa07 – Palomas, 2007; Pa08 – Palomas, 2008; Pa09 – Palomas, 2009.



Source: Elaborated by the authors.

The PCAs showed that the variable DImodified was more determining for the segregation of ENSO events than the variable DI and is thus more representative for understanding the variability of the local climate. Another important aspect is that, in the PCAs, this variable allowed to segregate the most extreme El Niño events (those with the highest

positive temperature oscillations in the Pacific Ocean surface waters), namely: 98 and 03 (Figure 1) and 03, 10 e 16 (Figure 2). It means that these most extreme positive temperature anomalies in the Pacific Ocean surface waters were well correlated with the most extreme water surpluses in the region under study. These vintages were also among those with the worst crop failures in the vineyards of Santana do Livramento (Kaltbach *et al.*, 2023). These crop cycles also presented HI values below the mean and median of the datasets. In sum, these strong El Niño events were negative for grape maturation both because of hydric and thermic aspects.

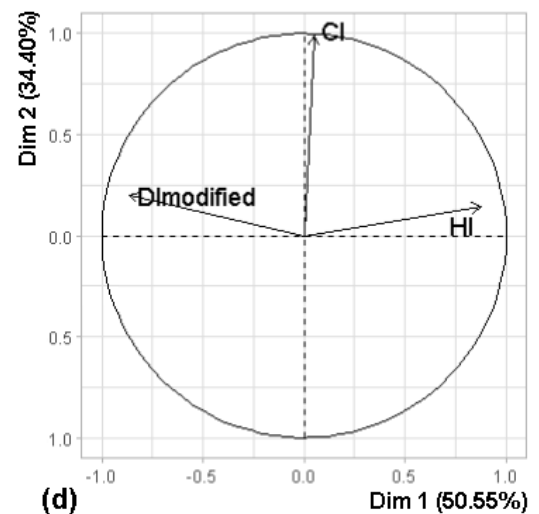
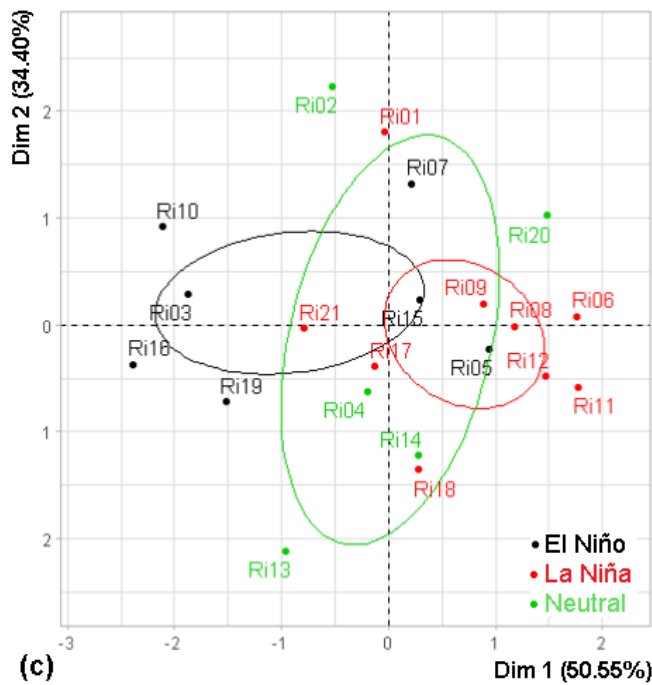
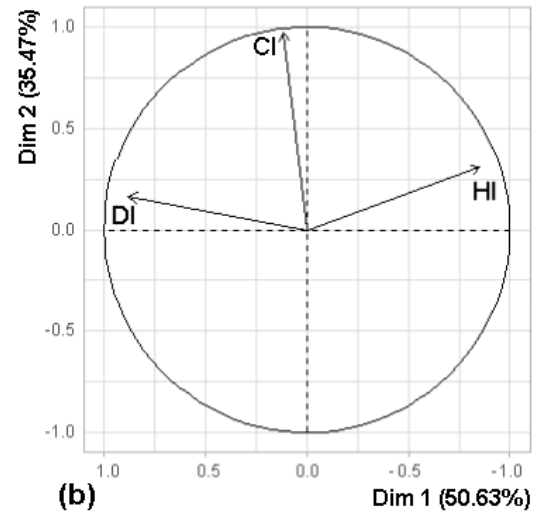
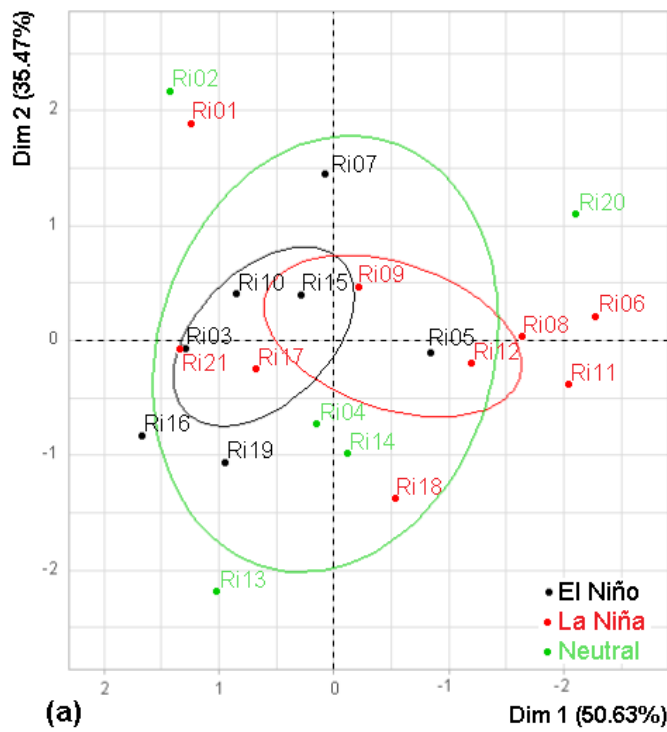
The PCAs also indicated that the variability of continuous values of HI was highly determining for characterizing and explaining the climate variability. Nevertheless, that had not been expressed by the discrete data – class intervals – that classified the production cycles always within only one HI class (HI+2, warm).

Most of the climate variability observed in the region under study could be correlated to the ENSO. El Niño events tend to be the most challenging for viticulture as they present more humid conditions and lower availability of thermal energy. The excess of water in the vineyard tend to increase the pressure of fungal diseases such as mildew, the most important disease attacking vineyards in the Brazilian humid regions (Nachtigal; Mazzarolo, 2008). The lowest availability of thermal energy also tends to retard the phenological development (Cortázar-Atauri *et al.*, 2017; Ollat *et al.*, 2016; Parker *et al.*, 2020). Additionally, the water surplus causes a dilution effect on the photoassimilates accumulated in the berries, what delays even more the harvest dates (Bender *et al.*, 2021). The combination of these factors results in longer production cycles (later harvest dates), with higher demands, mainly with respect to phytosanitary treatments – until the grapes present a sufficient technological maturation level for vinification. Commonly, the excessively humid conditions and its imposed high risk of phytosanitary issues force the anticipation of harvesting, when the ideal heat sum for the desirable grape maturation level has not been reached yet. Therefore, in Santana do Livramento, in these years, there is a tendency for higher costs and lower grape enological quality, as both grape production and sugar levels tend to be reduced by El Niño events (Kaltbach *et al.*, 2022, 2023).

Under La Niña influence, typically, the meteorological characteristics were opposite to those observed during El Niño influence – at least within the range observed for each index. Even though several La Niña years were humid, there were no cases of extreme water surplus (e.g. $DI_{modified} > 800mm$) such as those observed in some El Niño years (98, 03, 10 and 16). So, in general, La Niña provides the most favorable conditions for reducing the incidence fungal diseases (Nachtigal; Mazzarolo, 2008), increasing the accumulation of photoassimilates in the berries (Bender *et al.*, 2021) and shortening the crop cycle (Cortázar-Atauri *et al.*, 2017; Ollat *et al.*, 2016; Parker *et al.*, 2020). The combination of less water and more thermal energy available in the vineyard tends to result in faster grape maturation and less but more effective phytosanitary interventions.

That makes it possible to keep the fruits longer in the plant, in order to achieve higher maturation levels. Therefore, in this years, costs tend to be lower and the adequate enological grape quality tend to be achieved more assertively. In fact, in Santana do Livramento, grape production and sugar levels tend to be higher in La Niña events (Kaltbach *et al.*, 2022, 2023). It is important to emphasize that most of the highest HI values were observed in La Niña events, what imposes higher risk of heat stress, especially in cultivars more sensitive to this.

Figure 2 - Score plots (a and c) and loading plots (b and d) of the principal component analysis constructed with the values observed for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and dryness index (DI) - a and b - and for heliothermal index (HI), cool-night index (CI), and modified dryness index (DI_{modified}) - c and d - in the stations of Rivera (from 2001 to 2021). Plots a and b display unconventional reverse horizontal axis values to improve graphical comparisons. Ri01 – Rivera, 2001; Ri02 – Rivera, 2002; Ri03 – Rivera, 2003; Ri04 – Rivera, 2004; Ri05 – Rivera, 2005; Ri06 – Rivera, 2006; Ri07 – Rivera, 2007; Ri08 – Rivera, 2008; Ri09 – Rivera, 2009; Ri10 – Rivera, 2010; Ri11 – Rivera, 2011; Ri12 – Rivera, 2012; Ri13 – Rivera, 2013; Ri14 – Rivera, 2014; Ri15 – Rivera, 2015; Ri16 – Rivera, 2016; Ri17 – Rivera, 2017; Ri18 – Rivera, 2018; Ri19 – Rivera, 2019; Ri20 – Rivera, 2020; Ri21 – Rivera, 2021.



Source: Elaborated by the authors.

In neutral years, the values observed for DI and HI were mostly intermediate to those observed in the warm and cold phases of the ENSO. Neutral years were more similar to El Niño years but were never extremely humid as strong El Niño years. Therefore, in

Santana do Livramento, in neutral years, crop failures are unusual (Kaltbach *et al.*, 2023) and sugar accumulation is not severely impaired by weather conditions (Kaltbach *et al.*, 2022). On the other hand, the highest and lowest CI values were observed under neutral conditions, what increases the unpredictability of night temperatures in these cases, what might be even more risky for early cultivars (maturing closer to the summer solstice).

Considering the typical variability of the viticultural climate of the region under study, it is possible to conclude that more consistent results along the vintages must be attained with cultivars which present characteristics such as: lower susceptibility to fungal diseases occurring under humid conditions; higher tolerance against heat stress; and adequate maturation at conditions of high day and night temperature. The knowledge about climate variability is fundamental for the vitiviniculture production chain. Since the three ENSO phases present tendencies, monitoring the occurrence of them is strategic for better planning and managing the production cycles and mitigating losses. For example, another study (Kaltbach *et al.*, 2023) has already pointed out that it is possible to foresee an upcoming strong El Niño event still during winter, by monitoring the temperature of the Pacific Ocean surface waters. In this cases, many measures can still be taken, such as: financial planning; purchase of products for phytosanitary treatments; hiring of adequate crop insurance; adequate management practices since winter pruning, in order to promote better air and light flux in the vineyard; and rigorous phytosanitary treatments since the beginning of the crop cycle.

3. CONCLUSIONS

The mean viticultural climate in the region under study is: CI-1 (temperate nights); HI+2 (warm); and DI-2 (humid).

The climate variability could be correlated with the ENSO phases. The values for the indexes calculated from both datasets presented similar or analogous variation patterns. El Niño events typically presented high DI or DI_{modified} values (high humidity) and low HI values (lower thermal energy). In contrast, La Niña events typically presented lower DI or DI_{modified} values (lower humidity) and high HI values (higher thermal energy). Neutral events were characterized by DI, DI_{modified}, and HI values intermediate to those observed in the warm and cold ENSO phases and by a greater amplitude of CI values (night temperatures at maturation laying both between the highest and lowest values recorded in the whole dataset under analysis).

The DI_{modified}, if compared to the DI, could optimize the characterization and segregation of crop cycles under the influence of either El Niño or La Niña. This variable, followed by the DI and the HI were the variables best correlated with the polarization of the warm or cold ENSO phases.

4. ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Vinícola Almadén (Miolo Wine Group Vitivinicultura SA) and the Instituto Uruguayo de Meteorología for providing the meteorological data, and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Capes) for the scholarships granted to the students (Financing Code 001), which made this work possible.

5. REFERENCES

- ALVES, M. E. B.; TONIETTO, J. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2018 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil - Comunicado Técnico 209**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184866/1/Comunicado-Tecnico-209-2018-10-22-14-h.pdf>. Acesso em: 15 Mar. 2024.
- ANDERSON, W. *et al.* Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 151–165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>. Acesso em: 13 Mar. 2024.
- BENDER, A. *et al.* Physicochemical and sensory properties of grape juices produced from different cultivars and extraction systems Propriedades físico-químicas e sensoriais de sucos de uva elaborados com diferentes cultivares e sistemas de extração. **Semina Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1615–1634, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1615>. Acesso em: 12 Mar. 2024.
- CORTÁZAR-ATAURI, I. G. *et al.* Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. **Oeno One**, v. 51, n. 2, p. 115–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1622>. Acesso em: 15 Mar. 2024.
- KALTBACH, P. *et al.* Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento, RS, Brazil. **Semina Ciências Agrárias**, v. 43, n. 5, p. 2031–2044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031>. Acesso em: 11 Mar. 2024.
- KALTBACH, P. *et al.* El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. **Revista Ceres**, v. 70, n. 1, p. 51–60, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>. Acesso em: 16 Mar. 2024.

KELLER, M. **The science of grapevines**. 3. ed. London: Elsevier Academic Press, 2020. 541 p.

NACHTIGAL, J. C.; MAZZAROLO, A. **Uva : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101759/1/500perguntasuva.pdf>. Acesso em: 09 Mar. 2024.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Cold and warm episodes by season**. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 07 Mar. 2024.

OLLAT, N.; TOUZARD, J.; VAN LEEUWEN, C. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. **Journal of Wine Economics**, v. 11, n. 1, p. 139–149, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>. Acesso em: 15 Mar. 2024.

PARKER, A. K. *et al.* Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 285–286, n. 107902, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>. Acesso em: 15 Mar. 2024.

TIMMERMANN, A. *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, v. 559, p. 535–545, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>. Acesso em: 15 Mar. 2024.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 124, p. 81–97, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>. Acesso em: 15 Mar. 2024.

VASCONCELOS, M. C. *et al.* The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 60, n. 4, p. 411–434, 2009. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/60/4/411>. Acesso em: 15 Mar. 2024.

6 Artigo 2 - El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions

Pedro Kaltbach^{2}, Suélen Braga de Andrade Kaltbach², Fabrício Domingues³, Paulo Celso de Mello Farias², Flávio Gilberto Herter², Vagner Brasil Costa²*

Submitted on March 10th, 2022 and accepted on June 01st, 2022.

¹ This work is part of the first author's doctoral thesis. The first two authors (PhD students) received from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) scholarships (financing code 001) for the execution of this work.

² Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Campus Universitário, Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brazil. pedrokaltbach@gmail.com; suelenkaltbach@gmail.com; mellofarias@yahoo.com.br; flavioherter@gmail.com; vagner.brasil@ufpel.edu.br

³ Almadén - Miolo Wine Group, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brazil. fabricio.domingues@miolo.com.br

*Corresponding author: pedrokaltbach@gmail.com

Artigo publicado em 2023 na Revista Ceres (Qualis B1)

DOI: 10.1590/0034-737X202370010006

ABSTRACT

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is an important source of year-to-year fluctuations in the whole global climate system and in the southern Brazilian climate. El Niño events affect this region, imposing unfavorable weather conditions (rainy/humid/overcast) during critical grapevine phenological stages, compromising yields in the current and following crop seasons. The analysis of 29 crop cycles revealed patterns about grape yield oscillations in Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, RS, Brazil. Yield deviations showed correlations with the Oceanic Niño Index (ONI) 3 months running means centered in November. La Niña events correlate with yield oscillations close to or above the tendency line. El Niño events are linked to various results, including the lowest and the highest yields. The four largest crop failures happened in El Niño events, while the three most severe of them happened in cases of early El Niño consolidation. The seven

lowest yields were linked to El Niño, or low or descending yields in the previous year(s), or all these factors combined. Simple criteria allowing early warning of crop failure conditions were defined: ONI (or the monthly Niño–3.4 Index) $\geq +0.5$ °C in July (or earlier); and low or descending yields in the previous year(s).

Keywords: *Vitis vinifera*; wine; ENSO; Oceanic Niño Index; Campanha Gaúcha

1. INTRODUCTION

The phenomenon El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and its warm (El Niño) and cold (La Niña) phases influence on extreme climate variability in several regions of the world. Among them, it is possible to highlight southeastern South America, comprising areas within Uruguay, Argentina, Paraguay and southern Brazil (Cunha et al., 2001). El Niño is characterized by warmer surface water temperatures in the Pacific Ocean and weakening of equatorial trade winds. La Niña presents the opposite characteristics. Neutral conditions are comprised between the minimum thresholds characterizing El Niño and La Niña (TIMMERMAN *et al.*, 2018b). Either the cold or the warm phase occur with irregular frequency and different levels of intensity (e.g. weak, moderate, or strong), and commonly persist for 12–18 months (Cunha, 2001).

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) keeps records and defines ENSO events based on the Oceanic Niño Index (ONI) – 3 month running mean of anomalies (calculated based on Huang et al., 2017) in the Niño 3.4 region (5°N–5°S, 120°–170°W). The events are defined as periods when the ONI thresholds of ± 0.5 °C are reached or exceeded and maintained for 5 or more consecutive months (NOAA,

2021). Early warning of ENSO occurrence is of paramount importance to at-risk societies and environments, once it imposes remarkable societal and ecological impacts (GLANTZ; RAMIREZ, 2020). ENSO also represents ‘the single most prominent source of crop production variability in South and North America (ANDERSON *et al.*, 2017).

The climate of Santana do Livramento (in its region, Campanha Gaúcha, and in most southern Brazil) is classified as Cfa (temperate, without dry season, and with hot summer), following the classification system of Köppen–Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Campanha Gaúcha is currently the second biggest grape producing region in Brazil. It is responsible for supplying the grapes for producing 31% of the total volume of Brazilian wines elaborated with grapes from *Vitis vinifera* cultivars (EMBRAPA, 2020).

Rainfall is notably influenced by ENSO in the southern–most state of Brazil (Rio Grande do Sul, where Campanha Gaúcha is located). Generally, El Niño is correlated with higher rainfall and La Niña is correlated with lower rainfall in any season of the year (MATZENAUER; RADIN; MALUF, 2018). The spring become notably rainier during El Niño events (MATZENAUER; RADIN; MALUF, 2018; NICKNICH *et al.*, 2005). In Rio Grande do Sul, relative humidity is increased by the occurrence of El Niño (Cunha, 2001). In Campanha Gaúcha, during El Niño, the probabilities of rainfall above the average are 55–65% higher in October and 75–85% in November, which presents a monthly rainfall anomaly between +80 and +100 mm (MARQUES; BERLATO; JANKE, 2003). Nearby Campanha Gaúcha (in Pelotas), during El Niño and La Niña events, rainfall is the climate variable showing the largest deviations. Anomalies occur mainly in the October–December quarter. In El Niño events, November is the month that is affected by the largest

deviations from the historical means: higher rainfall; lower solar radiation; and lower evapotranspiration. In contrast, La Niña caused lower rainfall during October–January and higher solar radiation during October–December (STEINMETZ; DE ASSIS; DE CAMPOS, 1999). In sum, in the region under study, El Niño is highly correlated with rainy, overcast (reduced solar radiation) and humid weather during spring.

In Santana do Livramento, the grapevines present the following general phenological patterns, which present some variability of days or weeks, depending mostly on cultivar and weather. Budbreak happens in September. Bloom happens during October–November. Fruit-set and initial berry development are conditioned to effective pollination during bloom and might continue during December (COSTA, 2011).

Yield potential starts to be determined (at least) as early as during the spring of the previous crop cycle. Uncommitted primordia are formed from budbreak to bloom and can differentiate into either inflorescence, tendril or even shoot primordia. Inflorescence differentiation begins around bloom and may continue until the buds enter dormancy. Bud fruitfulness – the maximum number of inflorescences per latent bud – seems to be determined around 3 months after budbreak (Alleweldt & Ilter, 1969; Keller, 2020). Overcast conditions during bloom and fruitset generally affect fruitfulness negatively (Keller & Koblet, 1995; Keller, 2020). Other abiotic factors such as water and nitrogen levels also affect bud fertility (GUILPART; METAY; GARY, 2014b). Fruitfulness will exert effects on the yields of the following crop season, more than one year later.

Once fruitfulness has been established in the previous crop season, the following spring and its conditions for budbreak, shoot development, bloom, pollination and fruitset are the next determining factors for that crop season's yield (Keller, 2020). Rain before

and during bloom can cause flowers to drop without opening. Rainfall is also linked to reduced pollen viability or germination rate, what can lead to excessive flower abscission and poor fruitset (VASCONCELOS *et al.*, 2009). The fruitset is affected by virtually any factor reducing photosynthesis. Frequent rainfall is unfavorable for optimum photosynthesis (GARRIDO *et al.*, 2017; VASCONCELOS *et al.*, 2009). In sum, ‘ideal conditions during bloom, leading to maximum fruitset, are practically identical to those required for maximum inflorescence initiation’ (Keller, 2020). In other words, the unfavorable conditions compromising the yield in a certain crop season are also compromising the yield potential for the following crop season.

This research focused on understanding the patterns of grape yield oscillations in Santana do Livramento and understanding the relationship between these oscillations and the occurrence of ENSO. It also aimed to establish criteria for forecasting, warning of and mitigating crop failures.

2. MATERIAL AND METHODS

Data about grape yields in Santana do Livramento were obtained for the 29 crop seasons between 1993 and 2021. The dataset was recorded and maintained by the company ‘Vinícola Almadén’ as part of their internal control protocols, comprising all their own private vineyards (in an area surrounding 30°47’26’’S, 55°22’29’’W). The vineyards included 11 white grape cultivars and 18 red grape cultivars (all *Vitis vinifera*) growing on a total area ranging from 374 to 575 ha. These vineyards were mostly initiated in the 70ths; in the 80ths the total planted area was already larger than 400ha. The need of

replanting some areas has caused shifts in total planted and harvested area during the last 3 decades. Invariably, yields were consistently calculated in tons per hectare (total harvested grape weight divided by total harvested area).

Data about the temperature oscillations in the Niño 3.4 region was obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA (NOAA, 2021). The latest Oceanic Niño Index (ONI) values collected were according to the Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5) (HUANG *et al.*, 2017). Complete data regarding both ONI values and monthly Niño 3.4 Index values, fully available online (NOAA, 2021), were used as databases for analyses. An analysis of ONI values and ENSO occurrence (NOAA, 2021) was conducted in order to select the single most representative quarter (or as referred in this research, the month in the center of the quarter) to capture the maximum ONI oscillations within El Niño/La Niña events. In other words, the ONI monthly value that most frequently coincides with the most extreme ONI value in each ENSO event was defined. This ONI value was used to provide a comparable estimate for the intensity of El Niño or La Niña events.

November centered ONI values – or ‘OND’ ONI values, i.e. ONI values corresponding to the October-November-December quarter – were the most representative (Figure 1). Along the 29 crop seasons, there were 9 El Niño, 12 La Niña, and only 8 Neutral cases (Figure 1). In 13 out of 21 events (9 El Niño events plus 12 La Niña events), the maximum ONI oscillation corresponds to the ONI value in November. The maximum ONI oscillation was reached in December or January in other 6 and 2 cases, respectively. Within these 8 cases, the oscillation beyond the ONI value observed in November was more often only 0.1 °C (in 5 events), 0.2 °C (in 3 events), and 0.3 °C

(in 1 event). There are further reasons for considering November ONI values, as revised in the introduction: commonly, it is the month showing the most remarkable combination of all weather deviations caused by EL Niño; and it is a critical month for fruitset and yield definition.

Dispersions and barplots were constructed with the variables under study (ONI values, years and all the yield related variables) in order to allow the visualization of data, tendencies and correlations between the variables. When applicable, tendency lines (using linear, exponential, and polynomial regression equations) were drawn, tested, and selected based on their coefficient of determination (R^2).

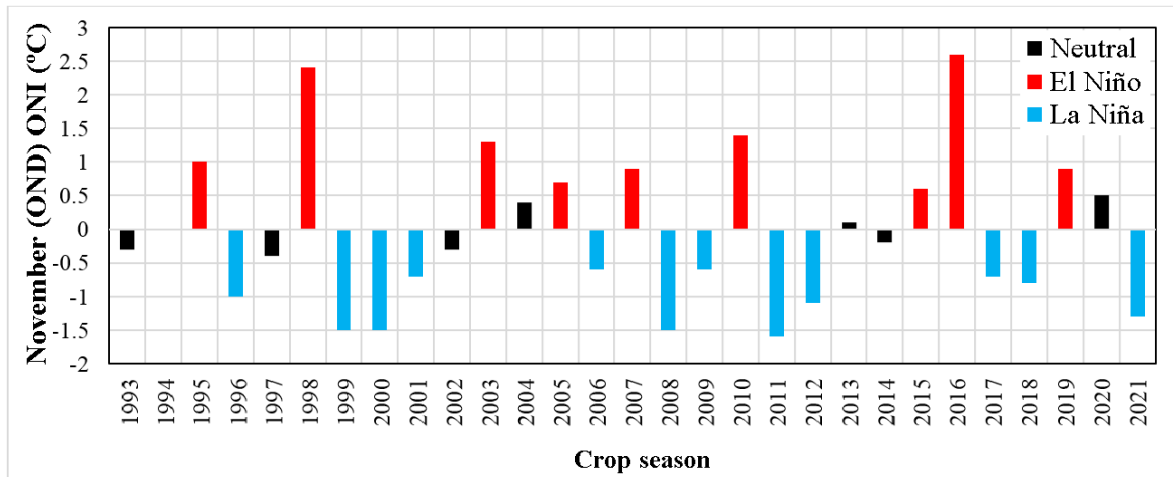


Figure 1: November (OND) ONI values (NOAA, 2021) in the crop seasons 1993–2021

Along the 29 crop seasons, different crop management practices (mainly pruning techniques and fertilization regimes) were gradually introduced and implemented. Identifying the effects of these practices along the crop seasons and isolating them from the annual effects of climate variability was mandatory. Therefore, a tendency line was fitted on the dots in a plot of years $\times$ yields and some calculations were performed as described next.

Yield shifts (absolute and relative) were calculated (Equations 1 and 2) annually, in relation to each previous year's. Yield deviations (absolute and relative) were calculated (Equations 3 and 4) annually, in relation to the theoretical annual yield defined by the best fitting tendency line and its regression equation in a plot of years $\times$ yields. Absolute yield deviations were calculated following procedures already employed in previous research (Cunha et al., 2001). Yield shifts and yield deviations were considered as better estimates than yields for expressing yield oscillations caused by climate variability.

$$[\text{Absolute yield shift}] = [\text{Yield}] - [\text{Previous year's yield}] \quad (\text{Equation 1})$$

$$[\text{Relative yield shift}] = [\text{Yield}] / [\text{Previous year's yield}] \quad (\text{Equation 2})$$

$$[\text{Absolute yield deviation}] = [\text{Theoretical yield}] - [\text{Yield}] \quad (\text{Equation 3})$$

$$[\text{Relative yield deviation}] = [\text{Absolute yield deviation}] / [\text{Theoretical yield}] \quad (\text{Equation 4})$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Yields, absolute yield deviations and relative yield deviations

Yields (Figure 2a) clearly showed a tendency along the period under study. A polynomial tendency line could be fitted with a coefficient of determination of 0.5. Yields in the 16–18 t.ha⁻¹ range in the first crop seasons decreased to around 8 t.ha⁻¹ in 2011 and showed a slight increase since 2017, reaching 11 t.ha⁻¹ in 2021. These tendencies are supposed to be unrelated to climate. They result from technological or crop management aspects. Along the 29 crop seasons the company had 3 different owners, with different objectives and policies. These largest yield differences (i.e. between 16–18 t.ha⁻¹ and 8 t.ha⁻¹) arise first of all from pruning techniques and secondly from fertilization regimes.

Leaving less buds in winter pruning and/or reducing fertilization were the practices responsible for lowering yields.

Absolute yield deviations showed considerable variability (Figure 2b), ranging from $+5.14 \text{ t.ha}^{-1}$ to -7.55 t.ha^{-1} . Accordingly, relative yield deviations (Figure 2c) – calculated relatively to the tendency line in Figure 2a – ranged from +56% to -75%. Considering relative yield deviations was particularly important in this study because it allowed to compensate the whole range of average yields described by the tendency line shown in Figure 2a ($8\text{--}18 \text{ t.ha}^{-1}$, approximately) and make the yields of all the 29 crop seasons more directly comparable. Some logical patterns and correlations between November centered ONI values (Figure 1) and relative yield deviations (Figure 2c) can be pointed out in Figure 3.

Out of the 29 crop seasons, the three largest relative crop failures (negative relative yield deviations, between -49 and -75%) happened in El Niño events (Figure 2c). That is already a fact showing that ENSO does affect yields in the region under study. Another remarkable feature is that El Niño events are very scattered on Figure 3, what indicates that, under El Niño events, multiple scenarios might be expected. On the other hand, La Niña cases are even less scattered than Neutral cases, display mostly positive relative yield deviations and no large crop failures (the most negative relative yield deviation was -9.5%). Therefore, La Niña is the most positive condition for yields in this region, causing less unpredictability, high yields and no considerable crop failures.

Regarding predictability, even though these general negative and positive effects of respectively El Niño and La Niña on yields can be observed at a first glance, some

additional patterns must be understood. Further observations on the ONI values, as well as the monthly Niño 3.4 Index values (NOAA, 2021), and yields (Figure 2a) allowed to reach new important insights discussed in the next subsections (3.2 and 3.3).

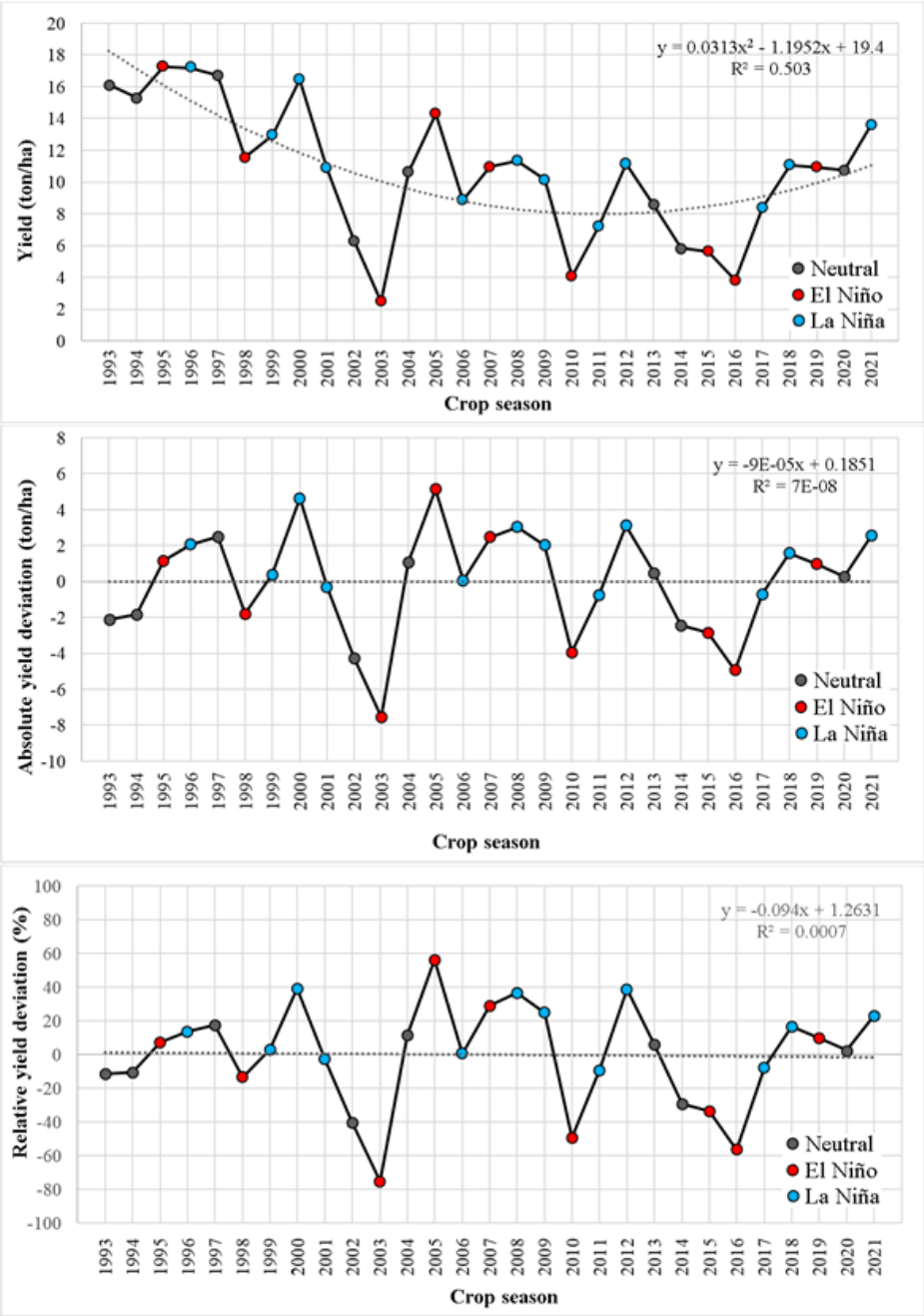


Figure 2: yields (a), absolute yield deviations (b), and relative yield deviations (c) in the crop seasons 1993-2021

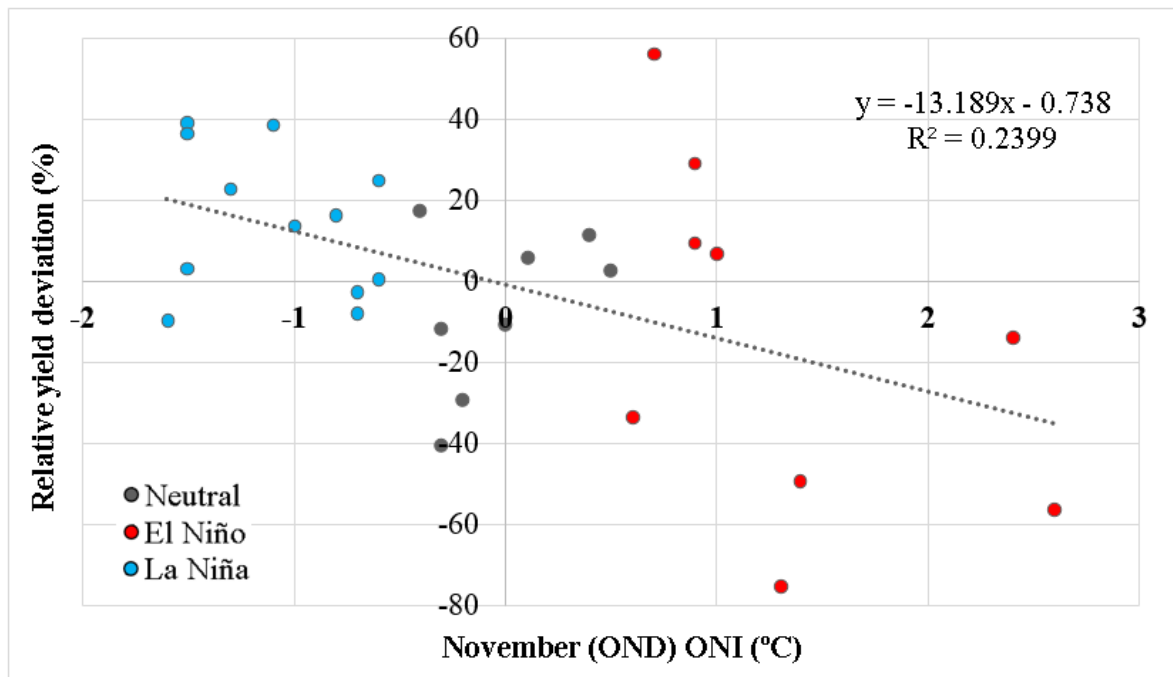


Figure 3: November ONI values (NOAA, 2021) *versus* relative yield deviations in the crop seasons 1993-2021

3.2 Early El Niño consolidation versus late El Niño consolidation

The three largest relative crop failures (2003, 2010 and 2016) and the seventh largest relative crop failure (1998) (Figure 2b) were the four only cases – referred here as cases of ‘early El Niño consolidation’ – in which the November (OND) ONI reached or surpassed $+1.3^{\circ}\text{C}$ (Figure 3) – and the monthly Niño–3.4 index surpassed $+1.4^{\circ}\text{C}$. These were also the only four events in which the ONI was $\geq +1^{\circ}\text{C}$ already in October. The two largest crop failures also share the common feature of a very early El Niño consolidation, respectively for the 2003 and 2016 crops seasons: the $+0.7^{\circ}\text{C}$ ONI and the monthly Niño

3.4 Index thresholds were reached in June and April (this was actually a second consecutive El Niño event); the $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ONI and the monthly Niño 3.4 Index thresholds were reached in September and June; the fifth consecutive months displaying an ONI above $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ were October and July. The only other similarly early El Niño consolidation happened in the 1998 crop season (it was actually earlier than in the case of the 2003 crop season) and is further discussed in the subsection 3.4 as an reasonable exception among these cases.

It is important to emphasize that not all the events commonly classified as El Niño impacted negatively on yields. El Niño events displaying November ONI values $\leq +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ – referred here as cases of ‘late El Niño consolidation’ – presented positive relative yield deviations in four cases (1995, 2005, 2007 and 2019) out of five cases (the exception is 2015). It is also important to correlate the facts that these El Niño events of late consolidation and those of early consolidation were respectively events of weaker and stronger intensity (maximum $\pm$ ONI oscillation). Still, considering the scope of this research, understanding them as events of early or late consolidation is thus more appropriate for warning purposes.

In sum, two general El Niño patterns were observed, forming two groups of El Niño events (with their respective current crop season’s typical yield response), either: early El Niño consolidation (and low yields); or late El Niño consolidation (and high yields). There was only one reasonable exception within each group: one, among the four cases of early El Niño consolidation (1998, with a reasonably high yield); and another, among the five cases of late El Niño consolidation (2015 with the fourth lowest yield and

the fifth most negative relative yield deviation). Those exceptions led to other insights described in the next subsection (3.4).

3.3 High or ascending yields versus low or descending yields

By observing the progression of consecutive yields (Figure 2a) and the difference between each crop season and its preceding ones, other enlightening patterns can be pointed out. 2003 and 2016 (the two largest crop failures, which happened under the worse El Niño scenario, i.e. early El Niño consolidation) were also successors of crop seasons with already descending yields as well as yields below the tendency line. In contrast, before 1998 (which was also threatened by the worse scenario of very early El Niño consolidation but did not present a comparable severe crop failure), the three preceding crop seasons had yields above the tendency line and all the five preceding crops seasons were among the six largest yields in the whole time series of 29 crop seasons. The opposite complement to this logic pattern was 2015 (which is among the cases of late El Niño consolidation but with low yields), preceded by the fifth lowest yielding crop season in the whole time series (2014) and two crop seasons of already descending yields (2013 and 2014). In contrast, just four crop seasons later, in 2019, another case of late El Niño consolidation, yields above the tendency line were observed, in this case after two consecutive La Niña events and crop seasons of ascending yields. Further corroborating, among the neutral years, the two largest crop failures (2002 and 2014) also had their preceding years with descending yields (Figure 2a).

These facts suggest that not solely the early El Niño consolidation caused noticeable negative effects on yields. Yields tended to be lower if the yield(s) in the preceding year(s) were low and/or already descending. The six largest crop failures – comprising the two cases of the neutral years mentioned above – were all linked to descending yields in the previous year(s). It is already well understood in the literature, as reviewed in the introduction, that the optimum weather conditions for flowering and fruitset (influencing on current crop season's yields) are similar to those required for maximum inflorescence initiation (influencing on following crop season's yields). 'This is the likely reason to explain why years in which the shoots carry more clusters than usual often follow years with above-average fruit set' (Keller, 2020).

This hypothesis about the influence of previous year(s) conditions can be also suitable to (at least partially) explain the remarkable periods of descending yields (Figures 2–4): 2000–2003 e 2012–2016. Following the same logic – but in the opposite direction – years with normal or ascending yields should be favorable to the maintenance of satisfactory yields for the following year(s). With this concept in mind it is possible to observe that there are, indeed, sequences of crop seasons with yields close to or above the tendency line (Figure 2a): 1993–1997; 1999–2001; 2004–2009; 2011–2013; and 2017–2021.

Another hypothesis that might be even more straightforward to provide further explanations for yield shift patterns is that the yield negative shifts are mostly gradual (Figure 2a). The two largest negative relative yield shifts (calculated with Equation 2) were -61 and -60 %, respectively in 2003 and 2010 (cases of early El Niño consolidation, not surprisingly). Even though the relative shifts were almost identical, they corresponded

to quite different yield shifts (calculated with Equation 1) of -3.8 and -6.1 ton/ha and resulted in yields of 2.5 and 4.1 ton/ha, respectively. The fourth largest negative yield shift was -5.2 ton/ha in 1998 (also in a case of early El Niño consolidation), close to the average between the just mentioned -3.8 and -6.1 ton/ha. However, in that crop season (1998) this similar yield shift of 5.2 ton/ha represented only -31% of relative yield shift (approximately the half of the just mentioned -61 and -60%) and still resulted in a yield of 11.55 ton/ha. From the perspective of a company which has to cover at least fixed costs, producing under the worse weather conditions either 2.5, 4.1 or 11.5 ton/ha are three very different scenarios. Therefore, it becomes clear that paying attention to and investing efforts and resources on preventing descending yields is strategic to mitigate upcoming crop failures.

3.4 Predicting and warning of crop failures

Considering all the information discussed so far, it is possible to establish that the severity of crop failures were the highest when the following was observed: early El Niño consolidation; and/or low and/or descending yields in the previous year(s).

In all the three cases with earliest El Niño consolidation (1998, 2003, and 2016 crop seasons) when the ONI (and the monthly Niño-3.4 Index) threshold of $+0.7^{\circ}\text{C}$ were reached or surpassed in June (or as early as April or May), lower yields than in their 5 immediate preceding crop seasons happened without exception. Therefore, simply and objectively, the observation of a single monthly ONI or Niño-3.4 index value of $+0.7^{\circ}\text{C}$ in June (or earlier, of course) must be considered a primary criterion for warning of very early El Niño consolidation and consequent crop failures in this region.

Interestingly, corroborating with these results, another recent research (considering a time series in the period from 1950 to 2020) has established the simple criterion that a single ONI value of $+0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ‘identifies a tipping point at which the El Niño event becomes locked in’, meaning that an anomalous warming of sea surface temperatures in the Niño 3.4 region will surely continue. Once this threshold is reached, regions commonly affected by El Niño – such as the region under study – must be prepared to adapt and tackle the upcoming weather conditions (GLANTZ; RAMIREZ, 2020).

It is important to mention that the ONI values are available online only after each quarter (3 months period) has ended, i.e. around two months after the center of the quarter. ONI values may change up to two months after the initial ‘real time’ value is posted, since the value is precisely adjusted after some extra months of observations and calculations. Monthly Niño-3.4 Index values (which are used to calculate the more precise and more comparable ONI values) are available online earlier, in the following month (NOAA, 2021).

Another broader criterion for warning of early El Niño consolidation could be set as the occurrence of an ONI (or the monthly Niño–3.4 Index) value $\geq +0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in July (or earlier, of course). Precisely, in one of the cases, 2010, the monthly Niño–3.4 index was actually still $+0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$, while the ONI was finally calculated as $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Within the 29 years under study, four (1998, 2003, 2010, 2016) out of five crop seasons with this characteristic ($\text{ONI} \geq +0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in July) presented lower yields, if compared to yields (Figure 2a) in all their immediate five preceding years. The exception (with a high yield) among these five crops seasons was 2005, which had a preceding crop season of neutral

conditions and exceptional ascending yields. Therefore, with or without the risk of El Niño occurrence, it is strategic to monitor low and/or descending yields in the previous year(s) as indicators of (cumulative) unfavorable conditions for optimum plant metabolism and yield.

These results are in accordance with the fact already well described in the literature and revised in the introduction, that the yield in a certain crop season is strongly dependent not just on the conditions along its current crop season but is also dependent on the conditions during its previous one(s). Therefore, effects and consequences of the environmental conditions imposed cumulatively along the years on this perennial crop must be common to grapevines in different grape producing regions.

3.5 Mitigating crop failures

If an upcoming scenario of strong El Niño is forecasted early (during winter), several measures can be taken. The agrochemicals (such as systemic fungicides) necessary for tackling the adversities of fungal diseases in high humidity conditions and maintaining crop sanitary status can be purchased in advance and applied earlier. The financial planning of the companies can be better adjusted in advance. Agricultural insurance against crop failures can be suitably adjusted. Several other measures at field and crop management level are described next.

Canopy management is an important key to modulate light, temperature, air circulation and humidity inside the vineyard (Dry, 2000; Nachtigal & Mazzarolo, 2008). Since flowering, the removal of leaves and lateral shoots adjacent to bunches is an important strategy to improve air circulation, lowering humidity and optimizing the application of fungicides (NACHTIGAL; MAZZAROLO, 2008). It also reduces shading,

what increases the percentage of leaves with high photosynthetic rates, increasing the availability of photoassimilates and fruitfulness (Dry, 2000). Adjusting the doses of nitrogen (reducing total nitrogen or applying it in small doses) reduces vegetative vigor. High doses of nitrogen favor the development of mildew, the main grapevine disease occurring in Brazilian humid climates (NACHTIGAL; MAZZAROLO, 2008).

In order to keep yields at an acceptable or 'safe' level, an important focus of attention must be fruitfulness. Keeping the physiological status of the vines at an optimum level is crucial, above all, during inflorescence induction and differentiation, what happens in the previous production cycle. It is relevant to note that, additionally to weather conditions, adequate levels of nutrients and water available in the soil are also crucial to maximize the number of inflorescence primordia (Guilpart et al., 2014; Keller, 2020).

After addressing bud fruitfulness, the next factor to be taken into consideration is the number of fruitful buds kept at winter pruning. A simple and cheap strategy to mitigate lower yields caused by unfavorable spring weather (which lowers fruitset) would be possible until July–August (winter pruning): leaving more buds – and hence more inflorescences – at winter pruning in order to compensate the expected lower fruitset. Even though leaving more buds is generally considered undesirable in a normal/ideal condition, because leaving more shoots tend to result in more total biomass and create an imbalance between vegetative and reproductive growth, with larger shoot number per vine, individual shoots display lower vigor, creating a partial compensation at plant level. Invariably, the final net result is that, in vines bearing increased shoot number, total plant leaf area increases and plant total yield as well (Keller et al., 2015). It is also worth to

mention that, in vines with more buds, grape quality might also shift – but not necessarily negatively –, resulting eventually in fruitier and less vegetal wines with more intense red color in a red grape variety (Cabernet Sauvignon), for example (CHAPMAN *et al.*, 2004, 2005).

In El Niño events, another strategy which could be combined to the previous ones is triggering a delay in bud phenological development. That could be achieved by, for example: employing later winter pruning and applying sodium alginate gel (FRIEND *et al.*, 2011); or employing other treatments, such as those with growth regulators which could finally delay flowering (as well as inflorescence induction and inflorescence differentiation), what normally happens in October–November, under the most adverse El Niño spring weather conditions.

4. CONCLUSIONS

The analysis of 29 crop cycles revealed patterns to partially explain grape yield oscillations in Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, RS, Brazil. Relative yield deviations were calculated according to a fitted tendency line and showed correlations with the Oceanic Niño Index (ONI) 3-month running means centered in November (OND). La Niña events resulted in yield deviations close to or above the tendency line. El Niño events were linked to various yield results, including the lowest and the largest yields. The four largest crop failures happened in El Niño events, while three out of them happened in cases of early El Niño consolidation. The seven largest negative relative yield deviations – comprising four cases of early El Niño consolidation, one case of late El Niño consolidation and two cases of neutral years – were mostly linked to low yields

and/or descending yields (negative yield shifts) in the previous year(s). The seven lowest yields were linked to El Niño, or descending or low yields in the previous year(s), or all these factors combined. Some simple criteria allowing early warning of conditions for crop failures were defined: Oceanic Niño Index (ONI) $\geq +0.7$ °C (or the monthly Niño–3.4 Index) in June (or earlier); or, more broadly, ONI $\geq +0.5$ °C (or the monthly Niño–3.4 Index) in July (or earlier); and/or low and/or descending yields in the previous year(s), even upon no risk of early El Niño consolidation during the next spring.

ACKNOWLEDGEMENTS, FINANCIAL SUPPORT AND FULL DISCLOSURE

Special thanks to Vinícola Almadén, for collecting and providing the data used in this research. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. Authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- ALLEWELDT, G.; ILTER, E. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blütenbildung und Triebwachstum bei Reben. **Vitis**, [S. l.], v. 8, p. 286–313, 1969.
- ALVES, Maria Emília Borges; TONIETTO, Jorge. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2018 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil - Comunicado Técnico 209**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184866/1/Comunicado-Tecnico-209-2018-10-22-14-h.pdf>

ANDERSON, Weston *et al.* Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 239, p. 151–165, 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>

BENDER, Angelica *et al.* Physicochemical and sensory properties of grape juices produced from different cultivars and extraction systems Propriedades físico-químicas e sensoriais de sucos de uva elaborados com diferentes cultivares e sistemas de extração. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1615–1634, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1615>

BRANAS, J. **Viticulture**. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique., 1974. *E-book*.

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Yield Effects on 2-Methoxy-3-Isobutylpyrazine Concentration in Cabernet Sauvignon Using a Solid Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 52, n. 17, p. 5431–5435, 2004. Disponível em:
<https://doi.org/10.1021/jf0400617>

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 339–347, 2005. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00033.x>

CONSTANTINESCU, G. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d’une région et du choix des cépages. **Bulletin de l’O.I.V.**, [S. l.], v. 441, p.

1179–1205, 1967.

CORDEIRO, Ana Paula A.; BERLATO, Moacir A. Frequência da temperatura mínima do ar associada a eventos el niño, la niña e neutros no Rio Grande do Sul. *In:* 2009, **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22 a 25 de setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.** [S. l.: s. n.]

COSTA, Vagner Brasil. Efeito Das Condições Climáticas Na Fenologia Da Videira Européia Em Santana Do Livramento , Rio Grande Do Sul. [S. l.], p. 89, 2011.

CUNHA, Gilberto Rocca da. El NIÑO - OSCILAÇÃO DO SUL E PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS APLICADAS NO MANEJO DE CULTURAS NO SUL DO BRASIL. *In:* 1999, Florianópolis. **Anais XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.** Florianópolis: Epagri, 1999. p. 1340–1346.

CUNHA, G.; DALMAGO, G.; ESTEFANEL, V. El Nino Southern Oscillation Influences on Wheat Crop in Brazil. *In:* **Wheat in a Global Environment.** [S. l.]: Springer, 2001. p. 445–450. *E-book.* Disponível em:
https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-017-3674-9_58

CUNHA, G. R. El Niño southern oscillation and climate forecasts applied to crops management southern Brazil. *In:* CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; BERLATO, M. A. (org.). **Applications of climate forecasting for better decision-making processes in agriculture.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 181–201. *E-book.*

DA COSTA, Ângela Beatriz Ferreira *et al.* Geadas na região sul relacionadas ao el niño

oscilação sul. *In*: 2013, **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**.

[S. l.: s. n.]

DE ASSIS, Francisco Neto; MARTINS, Sérgio Roberto; MENDEZ, Marta Elena Gonzalez. Anomalias pluviométricas associadas à ocorrência de El Niño e de La Niña no Rio Grande Do Sul. *In*: 1997, Piracicaba. **Anais: agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 283–285.

DE CORTÁZAR-ATAURI, Iñaki García *et al.* Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. **Oeno One**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 115–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1622>

DE SIQUEIRA, Dalmo Lopes; PEREIRA, Walter Esfrain. **Planejamento e Implantação de pomar**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2018. *E-book*.

DEIBLER, Alexandre Nunes; FERNANDES, Diego Simões; DE CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E ANOS NEUTROS NO RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA EM BAGÉ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *In*: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

DRY, Peter R. Canopy management for fruitfulness. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 109–115, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00168.x>

EMBRAPA. **Ciência ajuda vinho da Campanha Gaúcha a conquistar Indicação Geográfica**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52668635/ciencia-ajuda-vinho-da-campanha-gaucha-a-conquistar-indicacao-geografica>. Acesso em: 3 set. 2020.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. INFLUÊNCIA DO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL SOBRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 127–132, 1997.

FRIEND, A. P. *et al.* Effect of delaying budburst on shoot development and yield of *Vitis vinifera* L. Chardonnay “Mendoza” after a spring freeze event. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 378–382, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00162.x>

GALVANI, EMERSON; PEREIRA, ANTONIO ROBERTO. EL NIÑO-OSCILAÇÕES SUL (ENOS), QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO FENÔMENO. In: 1997, Piracicaba. **Anais X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 280–282.

GARRIDO, Lucas da Ressurreição *et al.* **Manual de identificação das doenças abióticas da videira**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.embrapa.br/uva-e-vinho>

GLANTZ, Michael H.; RAMIREZ, Ivan J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Niño’s Impacts. **International Journal of Disaster Risk Science**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 394–403, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s13753-020-00275-w>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Dormência em frutíferas de clima temperado - Documento 310**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2010.

HIDALGO, L. **Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los vinedos españoles. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Producción Vegetal, 29**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias., 1980. *E-book*.

HUANG, Boyin *et al.* Extended reconstructed Sea surface temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilites héliothermiques d'un milieu viticole. In: 1978, Konstanz. **Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire**.

Konstanz: [s. n.], 1978. p. 89–98.

HUSSON, François; BOCQUET, Valéry; PAGÈS, Jérôme. Use of confidence ellipses in a PCA applied to sensory analysis application to the comparison of monovarietal ciders. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 510–518, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.062104.x>

IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 1ª edição digital. In: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1a Edição ed. São Paulo: [s. n.], 2008. *E-book*.

JACKSON, D. I.; LOMBARD, P. B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 44, p. 409–430, 1993.

KALTBACH, Pedro *et al.* Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento , RS , Brazil. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 2031–2044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031>

KALTBACH, Pedro *et al.* El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. **Revista Ceres**, [S. l.], v. 70, n. 1, p. 51–60, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>

KELLER, M.; KOBLET, W. Dry matter and leaf area partitioning, bud fertility and second season growth of *Vitis vinifera* L.: Responses to nitrogen supply and limiting irradiance. **Vitis**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 77–83, 1995.

KELLER, Markus *et al.* Crop load management in concord grapes using different pruning techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 35–50, 2004.

KELLER, Markus. **The science of grapevines**. 3 ed. ed. London: Elsevier - Academic Press, 2020. *E-book*.

KELLER, Markus; DEYERMOND, Laura S.; BONDADA, Bhaskar R. Plant hydraulic conductance adapts to shoot number but limits shoot vigour in grapevines. **Functional Plant Biology**, [S. l.], v. 42, n. 4, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1071/FP14206>

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], 2008. Disponível em:
<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

MANDELLI, Francisco; BERLATO, Moacir Antonio; TONIETTO, Jorge. Influência do fenômeno El Niño / La Niña no rendimento e na qualidade da uva da “ Serra Gaúcha ”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 85–90, 2003.

MARQUES, Julio Renato; BERLATO, Moacir A.; JANKE, Aline. Probabilidade empírica de ocorrência de anomalia de precipitação pluvial sobre O Rio Grande Do Sul condicionada a eventos El Niño - Oscilação Sul. *In*: 2003, Santa Maria. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Santa Maria: [s. n.], 2003. p. 1059–1060.

MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O

fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 323–331, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>

NACHTIGAL, Jair Costa; MAZZAROLO, Adriano. **Uva : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. *E-book*.

NICKNICH, Fernanda *et al.* Efeitos dos Fenômenos El Niño e La Niña no rendimento de grãos das principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul. *In*: 2005, Campinas.

Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas: [s. n.], 2005.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). **Cold & Warm Episodes by Season**. [s. l.], 2023. Disponível em:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

Acesso em: 2 ago. 2023.

NUZZO, Vitale; MATTHEWS, Mark A. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed Cabernet Sauvignon on four rootstocks. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 314–324, 2006.

OLLAT, Nathalie; TOUZARD, Jean-Marc; VAN LEEUWEN, Cornelis. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 139–149, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>

PARKER, A. K. *et al.* Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 266–276, 2015.

Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12132>

PARKER, Amber K. *et al.* Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 285–286, n. September 2019, p. 107902, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

PREVITALI, Pietro *et al.* Crop Load and Plant Water Status Influence the Ripening Rate and Aroma Development in Berries of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 69, n. 27, p. 7709–7724, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01229>

RCORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: www.R-project.org

RIBEREAU-GAYON, Pascal *et al.* **Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications: Second Edition**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0470010363>

RIOU, C.; PIERI, P.; CLECH, B. Le. Consommation d’eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. **Vitis**, [S. l.], v. 115, p. 109–115, 1994. Disponível em: <http://www.vitis->

vea.de/admin/volltext/e033651.pdf

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. Boston: [s. n.], 2020.

Disponível em: <http://www.rstudio.com/>

STEINMETZ, Silvio; DE ASSIS, Francisco Neto; DE CAMPOS, Cláudia Jacondino.

Influência do El Niño Oscilação Sul (enos) sobre as condições climáticas, no período de outubro a março, na região de Pelotas-RS. *In*: 1999, **Anais do XI Congresso**

Brasileiro de Agrometeorologia. [S. l.: s. n.]

TIBA (COORD.), Chigeru. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados**

Terrestres. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. *E-book*. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>

TIMMERMAN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.],

v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TIMMERMAN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.],

v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TONIETTO, Jorge. **LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET**

L'INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH ET DU

MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE - Méthodologie de

Caractérisation. 1999. - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE

MONTPELLIER T, [s. l.], 1999.

TONIETTO, Jorge; CARBONNEAU, Alain. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 124, n. 1–2, p. 81–97, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

TUCHTENHAGEN, Patrícia Nunes *et al.* Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul. In: 2015, Lavras. **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Lavras: [s. n.], 2015. p. 1503–1508.

VAISSIE, Pauline; MONGE, Astrid; HUSSON, Francois. **Factoshiny package for R**. [S. l.: s. n.]

VAN LEEUWEN, Cornelis; DARRIET, Philippe. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 150–167, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

VASCONCELOS, M. C. *et al.* The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. [S. l.], v. 60, n. 4, p. 411–434, 2009. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/60/4/411>

VILLA NOVA, N. A. *et al.* **Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Universidade de São Paulo-Instituto de Geografia, 1972. v. 30 *E-book*.

WESTPHALEN, S. L. Bases ecológicas para determinação de regiões de maior aptidão vitivinícola no Rio Grande do Sul. *In*: 1977, Montevideo. **Simpósio Latinoamericano de la uva y del vino, 1976. Annales Laboratorio Tecnológico Cuaderno Técnico.** Montevideo: [s. n.], 1977. p. 89–101.

WINKLER, A. J. *et al.* **General viticulture.** 2nd. ed. Berkeley: University of California, 1974. *E-book.*

WMO, World Meteorological Organization. **Manual on the Global Observing System.** Geneva: [s. n.], 2003. Disponível em:
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Manual/WMO544.pdf>

ZAMPIERI, Sergio Luiz; BRAGA, Hugo José. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NA AVALIAÇÃO DO FENÔMEMO ENOS (El Niño e La Niña) EM RELAÇÃO À INTENSIDADE E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA CONFORME DIFERENTES AUTORES. *In*: 2005, **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.** [S. l.: s. n.]

7 Artigo 3 - Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento, RS, Brazil

Relações entre El Niño Oscilação Sul, e produtividade e acúmulo de açúcares em uvas cultivadas em Santana do Livramento, RS, Brasil

Pedro Kaltbach^{1*}; Suélen Braga de Andrade Kaltbach¹; Fabrício Domingues²; Flávio Gilberto Herter³; Vagner Brasil Costa³

Received: Nov. 29, 2021 - Approved: June 03, 2022

¹ PhD Students at Programa de Pós-Graduação em Agronomia, PPGA, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Capão do Leão, RS, Brazil. E-mail: pedrokaltbach@gmail.com; suelenkaltbach@gmail.com

² Agronomist at Vinícola Almadén, Miolo Wine Group Vitivinicultura SA, Estrada Municipal Livramento, Passo da Cruz, Sant'Ana do Livramento, RS, Brazil. E-mail: fabriciodom1976@gmail.com

³ Profs. Drs. at Programa de Pós-Graduação em Agronomia, PPGA UFPel, Capão do Leão, RS, Brazil. E-mail: flavioherter@gmail.com; vagner.brasil@ufpel.edu.br

* Author for correspondence

Artigo publicado em 2022 na Revista Semina Ciências Agrárias (Qualis B1)

DOI: 10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031

Highlights

Simple calculations for detecting annual oscillations in yield and sugar content

El Niño-Southern Oscillation impacts greatly on yield and sugar content

El Niño events tend to lower yield and sugar content

La Niña events tend to increase yield and sugar content

Neutral events affect crop seasons more similarly to El Niño events

Abstract

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is a well-known source of interannual variability in the climate of Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brazil. It affects the agronomical responses of several crops grown in the region. The analysis of a dataset comprising observations of grape yield and grape sugar content in 11 white grape cultivars and 17 red grape cultivars along almost 3 decades revealed some patterns. In the long term (several years or decades), yield and sugar content showed a negative relationship – larger crop loads resulted in lower sugar content at harvest. However, some calculations and principal component analyses allowed to define that annual yield and annual sugar content fluctuations in the short term can be better explained by considering only the results of each crop season's one and two previous years as reference points. By following these simple calculations, a clear separation between El Niño events and La Niña events could be noticed. In the vineyards of this region, La Niña events typically tend to present both higher grape yields and higher grape sugar content at harvest. In contrast, El Niño events typically tend to present both lower grape yields and lower grape sugar content at harvest. Neutral events typically present results closer to El Niño events.

Key-words: La Niña; *Vitis vinífera*; ENSO

Resumo

O El Niño *Oscilação Sul* (ENSO) é uma fonte conhecida de variabilidade interanual no clima de Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brasil, que afeta as respostas agrônômicas de diversas culturas agrícolas cultivadas na região. A análise de um conjunto de dados que compreende observações de produtividade e teores de açúcar em uvas de videiras de 11 cultivares brancas e 17 cultivares tintas ao longo de quase 3 décadas revelou alguns padrões. No longo prazo (vários anos ou décadas), a produtividade e o teor de açúcar mostraram correlação negativa – maiores cargas de fruto resultaram em menores teores de açúcar na colheita. No entanto, alguns cálculos e análises de componentes principais permitiram definir que as oscilações da produtividade anual e do teor anual de açúcar no curto prazo podem ser melhor explicadas se for considerando apenas os resultados de um e dois anos anteriores de cada safra como pontos de referência. Seguindo esses cálculos, pôde-se notar uma clara separação entre eventos de El Niño e eventos de La Niña. Nos vinhedos desta região, os eventos de La Niña tipicamente tendem a resultar tanto em maior produtividade quanto em maior teor de açúcar na colheita. Em contraste, eventos de El Niño tipicamente tendem a causar menor produtividade e menor teor de açúcar na colheita. Anos neutros tipicamente apresentam resultados mais próximos aos eventos de El Niño.

Palavras-chave: Campanha Gaúcha; La Niña; *Vitis vinifera*; ENOS

Introduction

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is correlated with crop production anomalies in South-America (ANDERSON *et al.*, 2017). In the Brazilian southernmost state, Rio Grande do Sul, El Niño events cause higher rainfall throughout the year (MATZENAUER; RADIN; MALUF, 2018).

The overcast conditions and rainy weather during spring and early summer tend to decrease the availability of photoassimilates and increase the incidence of fungal diseases. Both factors are negative for flowering and fruit set and tend to compromise yields (VASCONCELOS *et al.*, 2009). These same weather conditions during ripening, are also negative for grape sugar accumulation (KELLER, 2020).

Crop load influences on ripening. Lower vine yields tends to accelerate maturation (sugar accumulation rate) and consequently increase grape sugar content at certain harvest date

(NUZZO; MATTHEWS, 2006; PARKER *et al.*, 2015; PREVITALI *et al.*, 2021). Additionally to the crop load, seasonal effects also affect largely on yields and sugar accumulation (KELLER, 2020).

Campanha Gaúcha is the second largest grape producing region in Brazil. It produces 31% of all the Brazilian wine (produced from *Vitis vinifera* grape varieties) (EMBRAPA, 2020).

The objective of this research was to understand the correlations between grape yields and grape sugar contents, as well as the influence of ENSO events on these variables, along almost three decades of observations in a vineyard in Santana do Livramento, Campanha Gaúcha, Brazil

Material and methods

Data regarding grape yields and grape sugar content observations in Santana do Livramento were obtained for the 28 crop seasons between 1993 and 2021 (coded with ‘y.’ followed by 1 or 2 numerals, e.g. ‘99’ for 1999, ‘0’ for 2000, and ‘1’ for 2001, or simply the numerals). The dataset was recorded and maintained by the company Almadén as part of their internal control protocols and comprised 11 white grape cultivars (Chardonnay, Chenin blanc, Flora, French colombar, Gewurztraminer, Riesling [Johannisberg], Moscato, Riesling italico, Sauvignon blanc, Semillon, Saint-Émilion) and 17 red grape cultivars (Alicante, Ancelota, Arinarnoa, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Ekigaina, Gamay, Marselan, Merlot, Black Muscat, Napa Gamay, Petit Saint George, Petit Syrah, Pinot noir, Pinotage, Tannat), all *Vitis vinifera*, growing on a total area ranging from 374 to 575 ha yields were consistently calculated in tons per hectare for each cultivar.

Data about the temperature oscillations in the Niño 3.4 region and the definition of ENSO (El Niño-Southern Oscillation) events (El Niño, La Niña and Neutral periods) were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA [National Oceanic and Atmospheric Administration], 2021).

Several types of graphs (dispersions, barplots, histograms, etc.) were applied to allow the visualization of data, tendencies and correlations. When applicable, tendency lines (using linear, exponential, and polynomial regression equations) were drawn and tested, based on the coefficient of determination (R^2). Some additional variables were calculated based on the

variables yield and sugar content, as shown in Equations 1-4. These calculations involving yield and sugar content were applied in order to partially isolate the effects of annual fluctuations (mostly due to diverse weather conditions, climate variability) from long-term fluctuations (resulting from technological tendencies). It is necessary to mention that, the calculation of these variables imply that the first or first two crop seasons of observations in the time series cannot be used for further analysis.

(Equation 1):

$$[1 \text{ year yield shift, 'yield1'}] = [\text{yield}] - [\text{Previous year's yield}]$$

(Equation 2):

$$[2 \text{ years yield shift, 'yield2'}] = [\text{yield}] - [\text{Average of the two previous year's yield}]$$

(Equation 3):

$$[1 \text{ year sugar content shift, 'sugar1'}] = [\text{sugar content}] - [\text{Previous year's sugar content}]$$

(Equation 4):

$$[2 \text{ years sugar content shift, 'sugar2'}] = [\text{sugar content}] - [\text{Average of the two previous year's sugar contents}]$$

Principal component analysis was applied to the dataset or parts of this. Different arrangements of active or supplementary quantitative variables were used, including yield (t ha⁻¹), sugar content (Babo) and the other variables shown in Equations 1-4. The quantitative variables were always standardized to variance unit value. The supplementary qualitative variables was ENSO (either El Niño, La Niña, or Neutral). The analysis were run using the software R (RCORE TEAM, 2020), the interface RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020), and the packages FactoMiner

(LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008) and FactoShiny (VAISSIE; MONGE; HUSSON, 2020). Using these packages, a Wilks test was run to determine which variables are better correlated with the PCA dimensions and can better explain the distance between the individuals. Confidence ellipses were drawn around the barycenters of the individuals belonging to the three ENSO categories (El Niño, La Niña and Neutral), by applying a v-test at 95% confidence level.

Results and discussion

Red and white grape cultivars presented, respectively: yield mean values of 9.38 and 11.93 t ha⁻¹; yield median values of 9.33 and 12.57 t ha⁻¹; sugar content mean values of 17.49 and 16.13 Babo; and sugar content median values of 17.68 and 16.21 Babo. These results already characterize red and white grape cultivars as diverging data populations, which were therefore analyzed separately.

The tendency lines fitted on the data regarding yield and sugar content along the 28 crop seasons (Figures 1 and 2) follow the same pattern in red and white grape cultivars. Considering the whole time series of 28 crop seasons, it was possible to observe that yield and sugar content have a tendency of being to a certain extent inversely proportional. That can be considered logical as each plant has a limited photosynthetic capacity and, as yields increase, the photoassimilates have to be further partitioned between the fruits, which tend to accumulate sugars slower (PARKER *et al.*, 2015; PREVITALI *et al.*, 2021). Nevertheless, annual values of yield and sugar content (separately for red and white grape cultivars) when observed pairwise, vary above and below their tendency lines without following always the same inverse relationship. These observations indicate that, additionally to the long term observed tendency of an inverse relationship between yield and sugar content, other factors are annually imputing specific variations on the two variables.

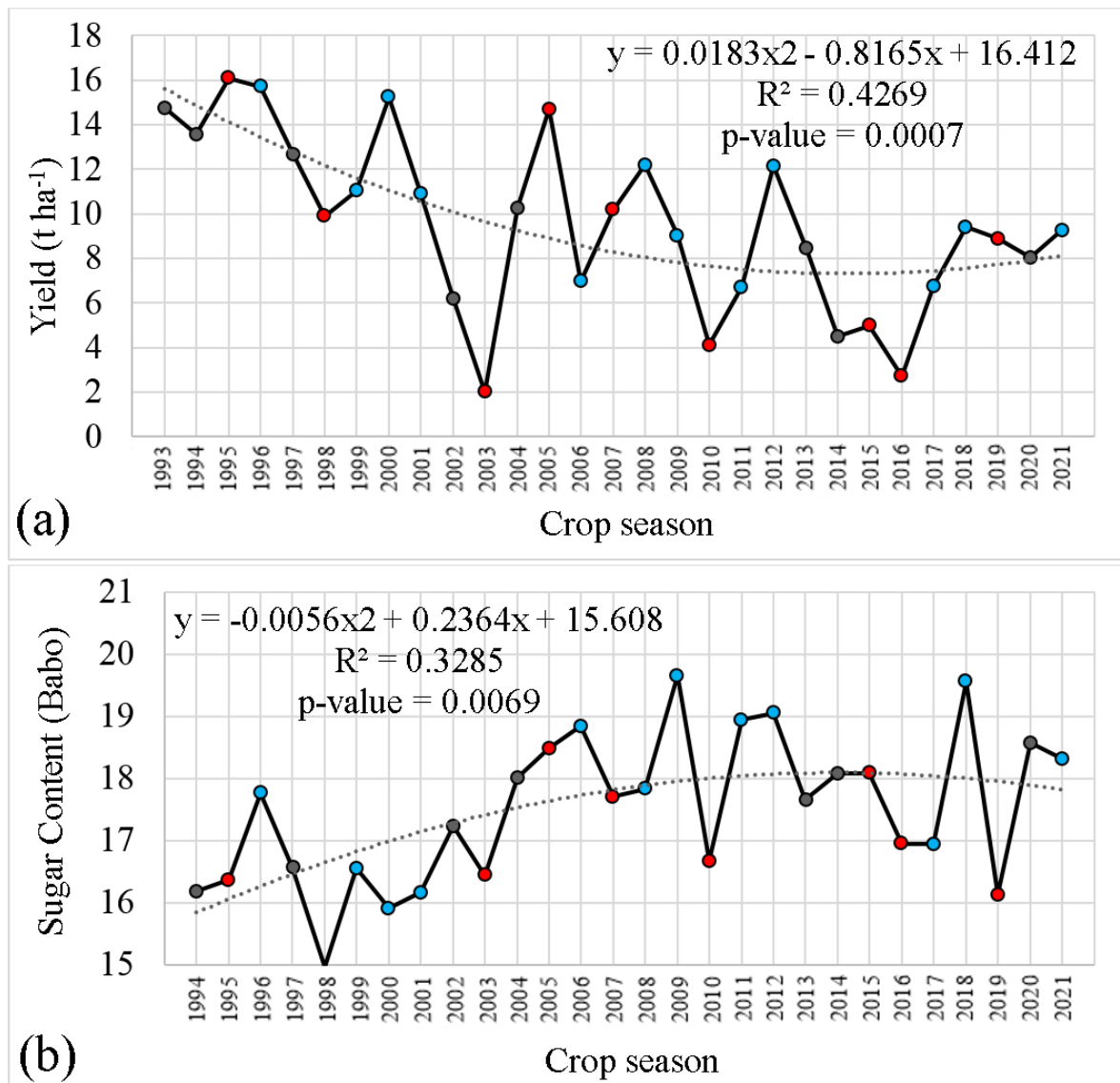


Figure 1: average annual yields (a) and average annual sugar content (b) of red grapes varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; and black dots - neutral.

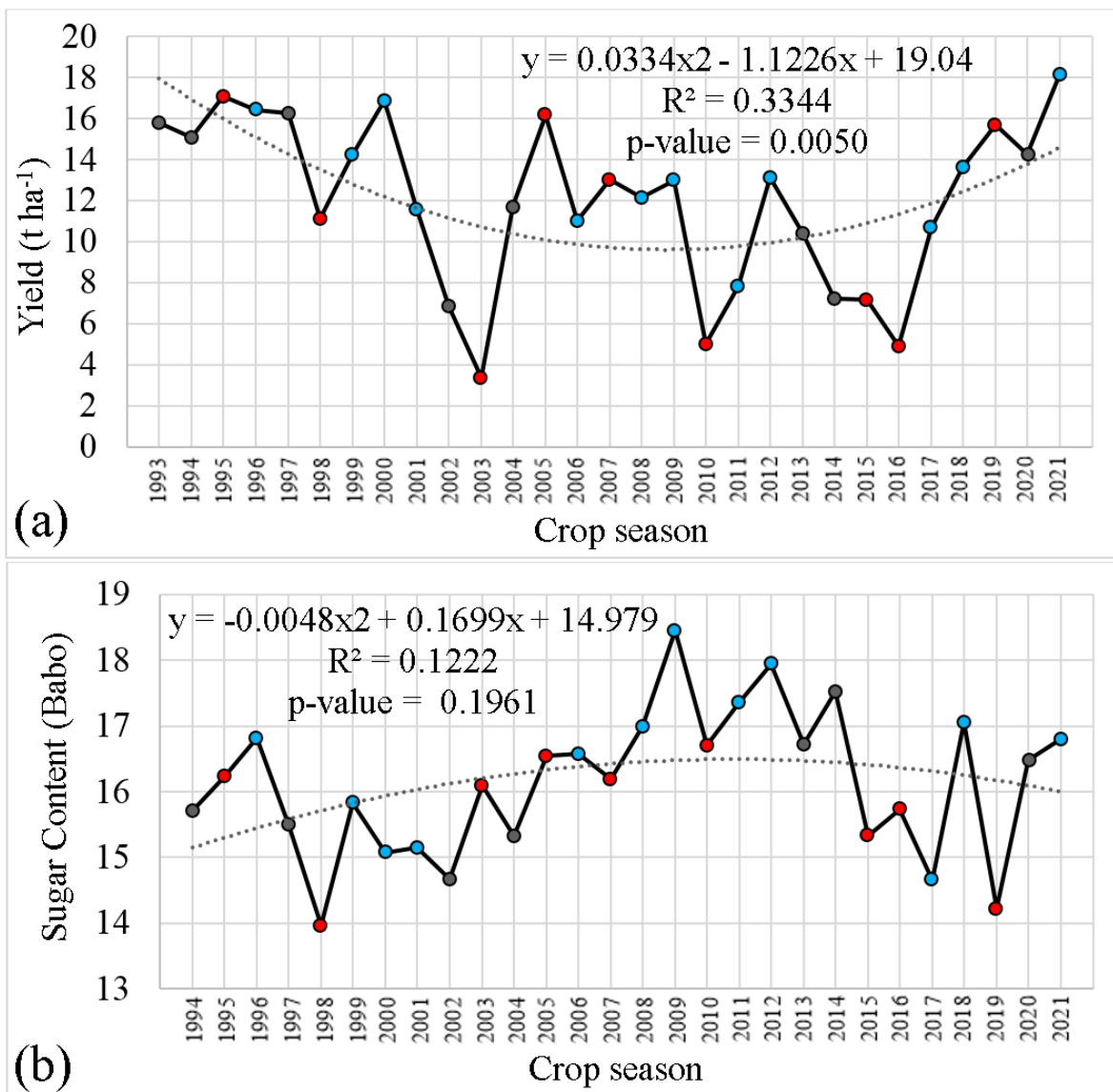


Figure 2: average annual yields (a) and average annual sugar content (b) of white grapes varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; and black dots – neutral.

When average annual yields and average annual sugar contents in red and white grape varieties are plotted one against each other, only some minor tendencies (according to ENSO) can be observed (Figure 3). The same is true for the PCAs run with the same datasets (Figure 4). Each PCA could capture in the second dimension the inverse relationship between the two variables, what was already observed throughout the time series in Figures 1 and 2. Nevertheless, in the first dimension each PCA displays some positive correlation between these two variables.

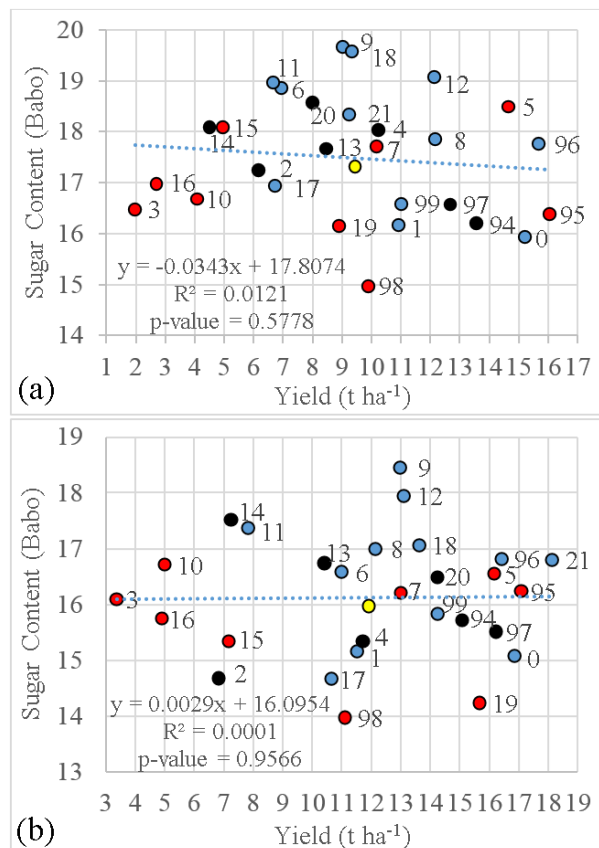


Figure 3 – Dispersion of average annual yields x average annual sugar content in red (a) and white (b) grape varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; black dots – neutral; and yellow dot – centroid.

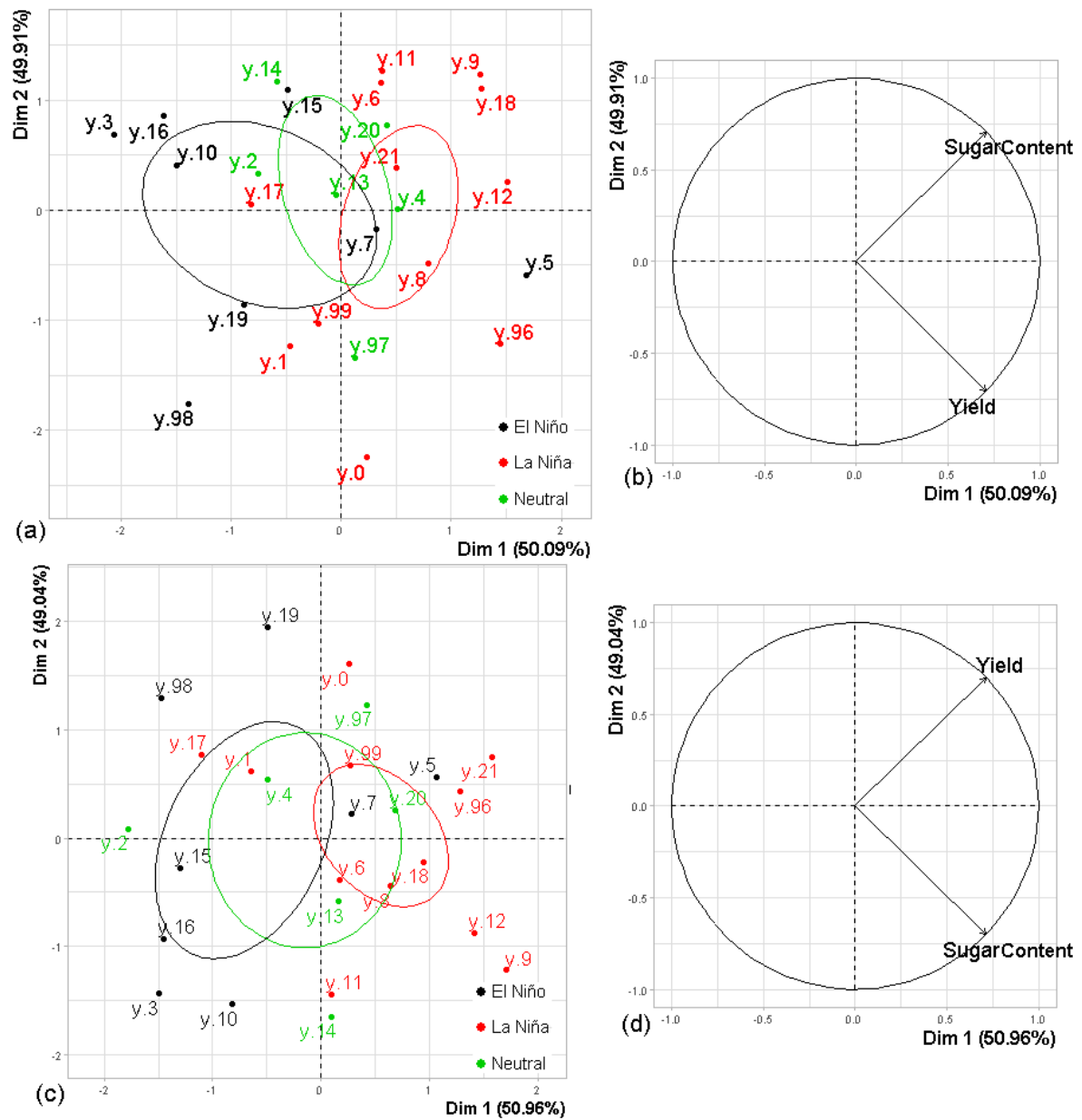


Figure 4 – PCAs run solely with average annual yield and average annual sugar content of red and white grape varieties. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape varieties.

The PCAs (Figure 5) constructed using the variables yield, sugar content and the other variables calculated in the Equations 1-4 could summarize more than 80% of the variance in both cases (only 20% of the information cannot be seen in the first two dimensions). These PCAs provided further insights on the correlations between yield and sugar content in these data sets, as well as the influence of ENSO. Regarding the scoreplots (Figure 5a and 5c), the crop seasons are well divided according to their ENSO group.

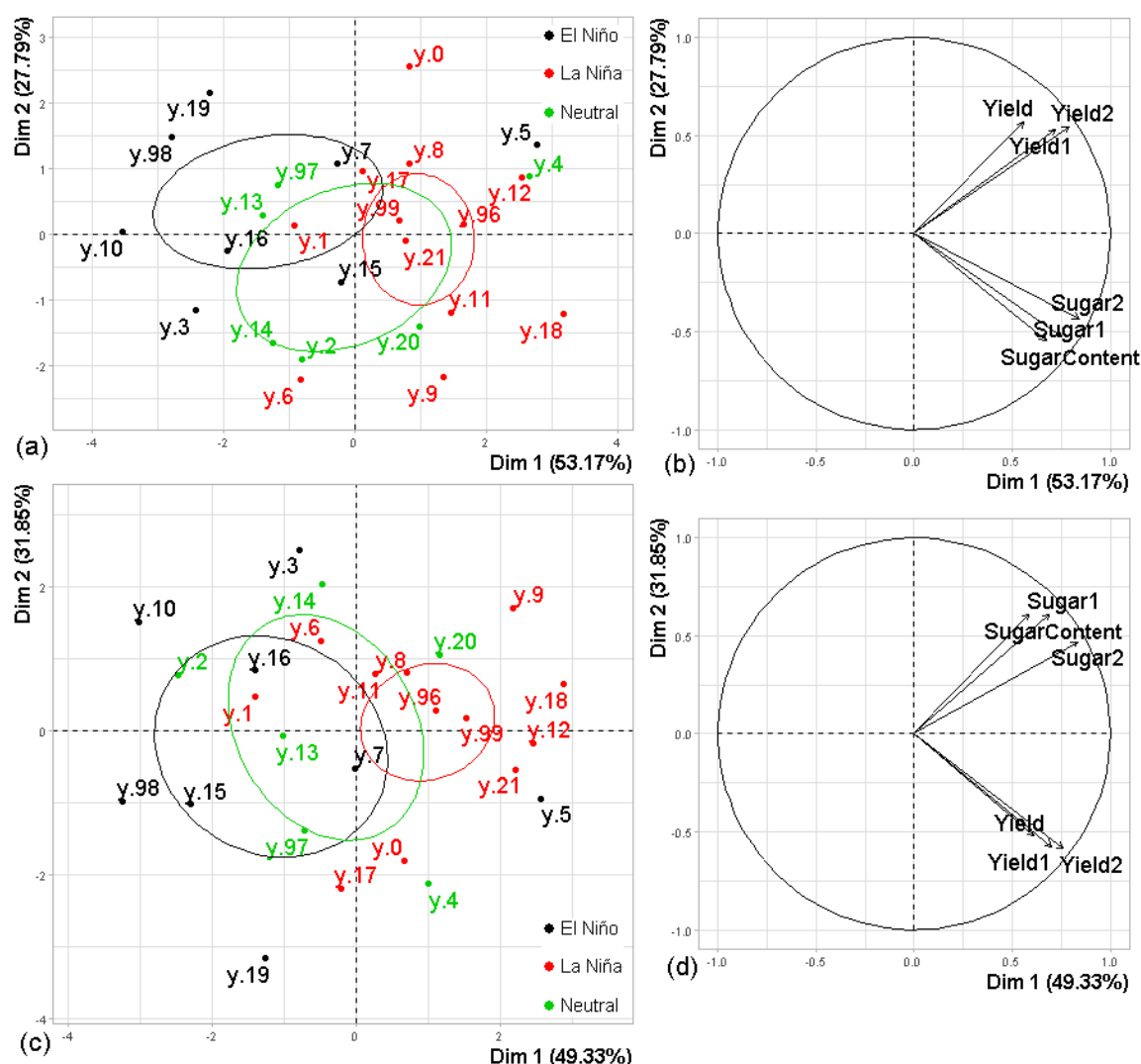


Figure 5 – PCAs run with the variables yield, sugar content and the other variables shown in Equations 1-4. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape varieties.

In the loading plots (Figure 5a and 5c), the projections of yield and sugar content on the first dimension of each PCA are the lowest. In contrast, the multivariate analysis showed that all

the 4 other variables which express the short term fluctuations are better than yield and sugar content to characterize the dataset, once they are better projected on the first dimension. Therefore, these 4 variables were successful in order to generate a more precise estimate of annual fluctuations caused by current crop seasons weather.

The variables with the best projection on the first dimension (Figure 5b and 5d) were sugar2, followed by sugar1 (among those regarding sugar content) and yield2, followed by yield1 (among those regarding yield). The variables yield2 and yield1, and sugar2 and sugar1 were all well projected on the first dimension, showing a direct relationship between them, while yield and sugar content were less projected than the other variables on the first dimension and better projected on the second dimension, showing some inverse relationship between them.

The PCAs (Figure 6) run with the variables yield2 and sugar2, which showed the best projections (the highest correlations and smallest p-values) on the first dimension in Figure 5, further confirm these patterns and can be compared with the PCAs in Figure 4, run solely with the variables yield and sugar content. Only by checking the projections of the variables on the first two dimensions of each PCA it becomes clear that - in this dataset, along the whole time series - yield and sugar content present a considerable inverse relationship (inversely proportional in the second dimensions, which comprise approximately 50% of the variability in the datasets). In contrast, the new variables calculated taking in consideration the average of the previous years – accounting for the short term status of the vineyard and the annual fluctuations – are mostly positively correlated (directly proportional in the first dimension of each PCA, accounting for most of the variability in the datasets, Figure 6). Moreover, solely these new variables were able to separate the years according to ENSO.

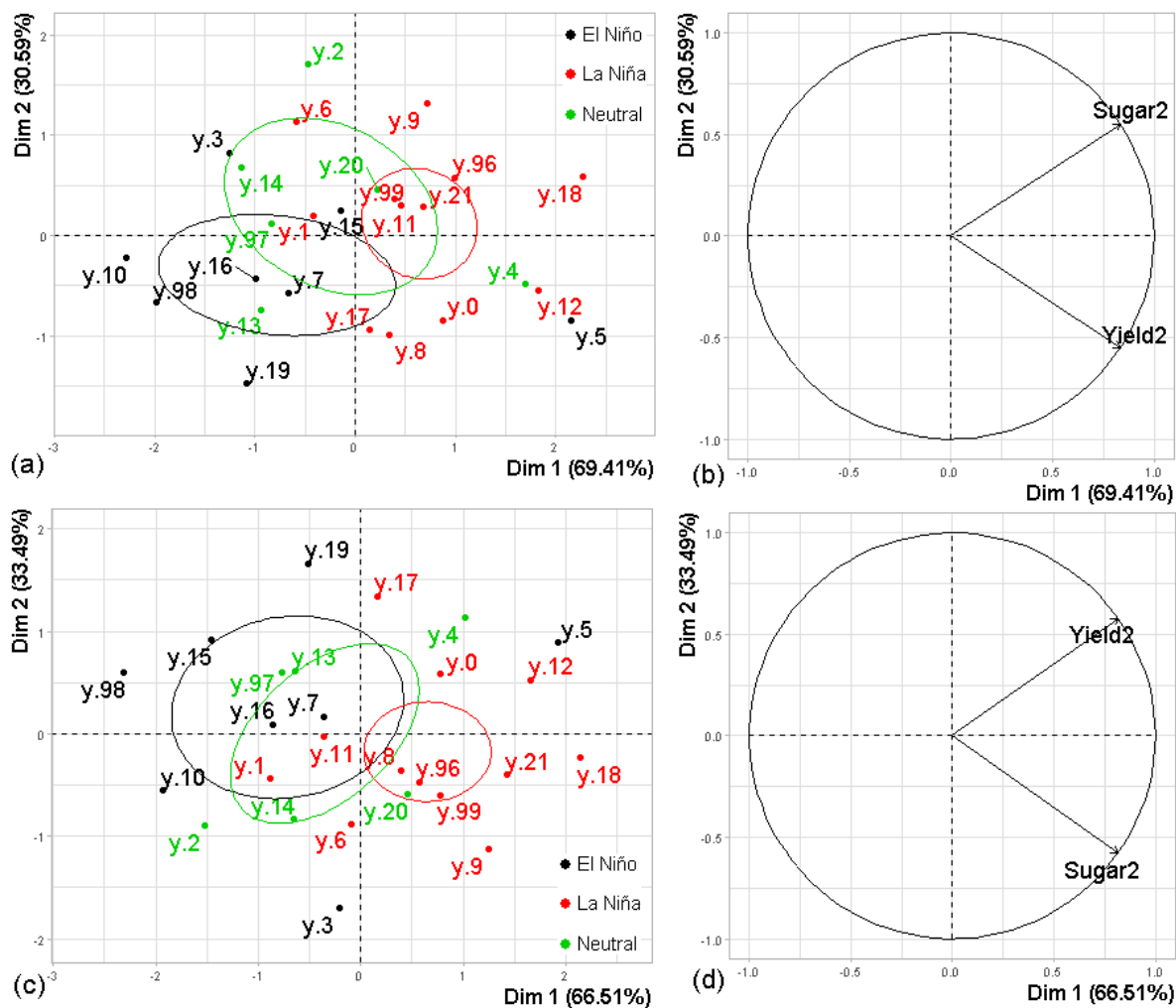


Figure 6 – PCAs run with the variables yield2 and sugar2. Score plot (a) and loading plot (b) for red grape varieties, and score plot (c) and loading plot (d) for white grape varieties.

Finally, simple dispersions (Figure 7) of the variables yield2 against sugar2 could isolate the effects of ENSO much more accurately than in Figure 3 (dispersions of yield and sugar content). When considering the short term/annual fluctuations, the general tendencies are clear. Most of the El Niño events are characterized by lower yields and lower sugar content. Most neutral events are closer to El Niño events but form almost an interface between El Niño and La Niña events. La Niña events display predominantly above average sugar contents and close to or above average yields. Therefore, seasonal effects are strong and highly impacting. Corroborating, another study on crop load management over a five-year period showed that variations in vine growth, yield and fruit composition were more influenced by the intrinsic conditions of each growing season than the pruning strategies themselves (KELLER *et al.*, 2004).

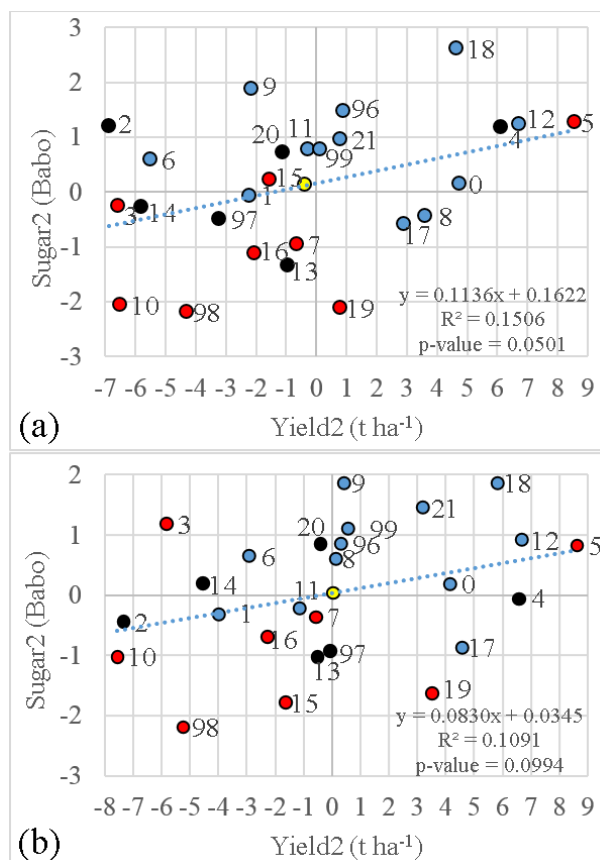


Figure 7 - Dispersions of yield2 x sugar2 for red (a) and white (b) grape varieties. Red dots – El Niño; blue dots – La Niña; black dots – neutral; and yellow dot – centroid.

Conclusion

Along the whole time series, it was possible to notice a negative correlation between sugar content and yield. Therefore, hypothetically, if the crops seasons had identical weather conditions, yield and sugar content would tend to present an inverse relationship. The definition of simple calculations involving the results of each crop season's one and two previous years allowed perceiving and understanding the short-term patterns of yields and sugar contents and their correlation with ENSO. Since weather conditions in this region vary severely from year to year (above all due to ENSO), crop seasons with more favorable weather conditions (typically La Niña) tend to present both higher grape yield and higher grape sugar content at harvest. In contrast, crop seasons with less favorable weather conditions (typically El Niño) tend to present both lower grape yield and lower grape sugar content at harvest. Neutral events typically present results closer to El Niño events.

References

- ALLEWELDT, G.; ILTER, E. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blütenbildung und Triebwachstum bei Reben. **Vitis**, [S. l.], v. 8, p. 286–313, 1969.
- ALVES, Maria Emília Borges; TONIETTO, Jorge. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2018 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil - Comunicado Técnico 209**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184866/1/Comunicado-Tecnico-209-2018-10-22-14-h.pdf>
- ANDERSON, Weston *et al.* Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 239, p. 151–165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>
- BENDER, Angelica *et al.* Physicochemical and sensory properties of grape juices produced from different cultivars and extraction systems Propriedades físico-químicas e sensoriais de sucos de uva elaborados com diferentes cultivares e sistemas de extração. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1615–1634, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1615>
- BRANAS, J. **Viticulture**. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique., 1974. E-

book.

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Yield Effects on 2-Methoxy-3-Isobutylpyrazine Concentration in Cabernet Sauvignon Using a Solid Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 52, n. 17, p. 5431–5435, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0400617>

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 339–347, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00033.x>

CONSTANTINESCU, G. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages. **Bulletin de l'O.I.V.**, [S. l.], v. 441, p. 1179–1205, 1967.

CORDEIRO, Ana Paula A.; BERLATO, Moacir A. Frequência da temperatura mínima do ar associada a eventos el niño, la niña e neutros no Rio Grande do Sul. *In*: 2009, **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22 a 25 de setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG**. [S. l.: s. n.]

COSTA, Vagner Brasil. Efeito Das Condições Climáticas Na Fenologia Da Videira Européia Em Santana Do Livramento , Rio Grande Do Sul. [S. l.], p. 89, 2011.

CUNHA, Gilberto Rocca da. El NIÑO - OSCILAÇÃO DO SUL E PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS APLICADAS NO MANEJO DE CULTURAS NO SUL DO BRASIL. *In*: 1999, Florianópolis. **Anais XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Florianópolis: Epagri, 1999. p. 1340–1346.

CUNHA, G.; DALMAGO, G.; ESTEFANEL, V. El Nino Southern Oscillation Influences on Wheat Crop in Brazil. *In*: **Wheat in a Global Environment**. [S. l.]: Springer, 2001. p. 445–450. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-017-3674-9_58

CUNHA, G. R. El Niño southern oscillation and climate forecasts applied to crops management southern Brazil. *In*: CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; BERLATO, M. A. (org.). **Applications of climate forecasting for better decision-making processes in agriculture**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 181–201. *E-book*.

DA COSTA, Ângela Beatriz Ferreira *et al.* Geadas na região sul relacionadas ao el niño oscilação sul. *In*: 2013, **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s.

n.]

DE ASSIS, Francisco Neto; MARTINS, Sérgio Roberto; MENDEZ, Marta Elena Gonzalez. Anomalias pluviométricas associadas à ocorrência de El Niño e de La Niña no Rio Grande Do Sul. In: 1997, Piracicaba. **Anais: agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 283–285.

DE CORTÁZAR-ATAURI, Iñaki García *et al.* Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. **Oeno One**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 115–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1622>

DE SIQUEIRA, Dalmo Lopes; PEREIRA, Walter Esfrain. **Planejamento e Implantação de pomar**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2018. *E-book*.

DEIBLER, Alexandre Nunes; FERNANDES, Diego Simões; DE CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E ANOS NEUTROS NO RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA EM BAGÉ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. In: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

DRY, Peter R. Canopy management for fruitfulness. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 109–115, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00168.x>

EMBRAPA. **Ciência ajuda vinho da Campanha Gaúcha a conquistar Indicação Geográfica**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52668635/ciencia-ajuda-vinho-da-campanha-gaucha-a-conquistar-indicacao-geografica>. Acesso em: 3 set. 2020.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. INFLUÊNCIA DO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL SOBRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 127–132, 1997.

FRIEND, A. P. *et al.* Effect of delaying budburst on shoot development and yield of Vitis vinifera L. Chardonnay “Mendoza” after a spring freeze event. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 378–382, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00162.x>

GALVANI, EMERSON; PEREIRA, ANTONIO ROBERTO. EL NIÑO-OSCILAÇÕES SUL

(ENOS), QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO FENÔMENO.

In: 1997, Piracicaba. **Anais X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 280–282.

GARRIDO, Lucas da Ressurreição *et al.* **Manual de identificação das doenças abióticas da videira**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.embrapa.br/uva-e-vinho>

GLANTZ, Michael H.; RAMIREZ, Ivan J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Niño's Impacts. **International Journal of Disaster Risk Science**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 394–403, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00275-w>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Dormência em frutíferas de clima temperado - Documento 310**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2010.

HIDALGO, L. **Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los vinedos españoles. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Producción Vegetal, 29**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias., 1980. *E-book*.

HUANG, Boyin *et al.* Extended reconstructed Sea surface temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilites héliothermiques d'un milieu viticole. In: 1978, Konstanz. **Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire**. Konstanz: [s. n.], 1978. p. 89–98.

HUSSON, François; BOCQUET, Valéry; PAGÈS, Jérôme. Use of confidence ellipses in a PCA

applied to sensory analysis application to the comparison of monovarietal ciders. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 510–518, 2004. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.062104.x>

IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 1ª edição digital. In: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1a Edição ed. São Paulo: [s. n.], 2008. *E-book*.

JACKSON, D. I.; LOMBARD, P. B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 44, p. 409–430, 1993.

KALTBACH, Pedro *et al.* Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento, RS, Brazil. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 2031–2044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031>

KALTBACH, Pedro *et al.* El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. **Revista Ceres**, [S. l.], v. 70, n. 1, p. 51–60, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>

KELLER, M.; KOBLET, W. Dry matter and leaf area partitioning, bud fertility and second season growth of *Vitis vinifera* L.: Responses to nitrogen supply and limiting irradiance. **Vitis**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 77–83, 1995.

KELLER, Markus *et al.* Crop load management in concord grapes using different pruning techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 35–50, 2004.

KELLER, Markus. **The science of grapevines**. 3 ed. ed. London: Elsevier - Academic Press, 2020. *E-book*.

KELLER, Markus; DEYERMOND, Laura S.; BONDADA, Bhaskar R. Plant hydraulic conductance adapts to shoot number but limits shoot vigour in grapevines. **Functional Plant Biology**, [S. l.], v. 42, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP14206>

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

MANDELLI, Francisco; BERLATO, Moacir Antonio; TONIETTO, Jorge. Influência do fenômeno El Niño / La Niña no rendimento e na qualidade da uva da “ Serra Gaúcha ”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 85–90, 2003.

MARQUES, Julio Renato; BERLATO, Moacir A.; JANKE, Aline. Probabilidade empírica de ocorrência de anomalia de precipitação pluvial sobre O Rio Grande Do Sul condicionada a eventos El Niño - Oscilação Sul. *In*: 2003, Santa Maria. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Santa Maria: [s. n.], 2003. p. 1059–1060.

MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 323–331, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>

NACHTIGAL, Jair Costa; MAZZAROLO, Adriano. **Uva : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. *E-book*.

NICKNICH, Fernanda *et al.* Efeitos dos Fenômenos El Niño e La Niña no rendimento de grãos das principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul. *In*: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). **Cold & Warm Episodes by Season**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 2 ago. 2023.

NUZZO, Vitale; MATTHEWS, Mark A. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed Cabernet Sauvignon on four rootstocks. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 314–324, 2006.

OLLAT, Nathalie; TOUZARD, Jean-Marc; VAN LEEUWEN, Cornelis. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 139–149, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>

PARKER, A. K. *et al.* Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 266–276, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12132>

PARKER, Amber K. *et al.* Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide

range of *Vitis vinifera* L. cultivars. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 285–286, n. September 2019, p. 107902, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

PREVITALI, Pietro *et al.* Crop Load and Plant Water Status Influence the Ripening Rate and Aroma Development in Berries of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon.

Journal of Agricultural and Food Chemistry, [S. l.], v. 69, n. 27, p. 7709–7724, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01229>

RCORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: www.R-project.org

RIBEREAU-GAYON, Pascal *et al.* **Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications: Second Edition**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2006. *E-book*.

Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0470010363>

RIOU, C.; PIERI, P.; CLECH, B. Le. Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. **Vitis**, [S. l.], v. 115, p. 109–115, 1994. Disponível em: <http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e033651.pdf>

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. Boston: [s. n.], 2020.

Disponível em: <http://www.rstudio.com/>

STEINMETZ, Silvio; DE ASSIS, Francisco Neto; DE CAMPOS, Cláudia Jacondino. Influência do El Niño Oscilação Sul (enos) sobre as condições climáticas, no período de outubro a março, na região de Pelotas-RS. In: 1999, **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]

TIBA (COORD.), Chigeru. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**.

Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. *E-book*. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>

TIMMERMAN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TIMMERMAN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TONIETTO, Jorge. **LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET L’INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH ET DU MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE - Méthodologie de Caractérisation**. 1999. - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER T, [s. l.], 1999.

TONIETTO, Jorge; CARBONNEAU, Alain. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 124, n. 1–2, p. 81–97, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

TUCHTENHAGEN, Patrícia Nunes *et al.* Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul. In: 2015, Lavras. **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Lavras: [s. n.], 2015. p. 1503–1508.

VAISSIE, Pauline; MONGE, Astrid; HUSSON, Francois. **Factoshiny package for R**. [S. l.: s. n.]

VAN LEEUWEN, Cornelis; DARRIET, Philippe. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 150–167, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

VASCONCELOS, M. C. *et al.* The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. [S. l.], v. 60, n. 4, p. 411–434, 2009. Disponível em: <https://www.ajeonline.org/content/60/4/411>

VILLA NOVA, N. A. *et al.* **Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Universidade de São Paulo- Instituto de Geografia, 1972. v. 30E-book.

WESTPHALEN, S. L. Bases ecológicas para determinação de regiões de maior aptidão vitivinícola no Rio Grande do Sul. In: 1977, Montevideo. **Simpósio Latinoamericano de la uva y del vino, 1976. Annales Laboratorio Tecnológico Cuaderno Técnico**. Montevideo: [s. n.], 1977. p. 89–101.

WINKLER, A. J. *et al.* **General viticulture**. 2nd. ed. Berkeley: University of California, 1974. *E-book*.

WMO, World Meteorological Organization. **Manual on the Global Observing System**. Geneva: [s. n.], 2003. Disponível em:
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Manual/WMO544.pdf>

ZAMPIERI, Sergio Luiz; BRAGA, Hugo José. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NA AVALIAÇÃO DO FENÔMENO ENOS (El Niño e La Niña) EM RELAÇÃO À INTENSIDADE E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA CONFORME DIFERENTES AUTORES. In: 2005, **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]

8 Considerações finais

O fenômeno El Niño Oscilação Sul impõe uma variabilidade significativa ao clima vitícola da região de Santana do Livramento. Para a série de dados analisada, de quase três décadas, os ciclos produtivos sob a influência de El Niño tenderam a apresentar condições de maior umidade e menor disponibilidade de energia térmica. Em contrapartida, períodos de La Niña tenderam a causar os efeitos contrários, de menor umidade e maior disponibilidade de energia térmica. Anos neutros foram caracterizados por condições térmicas e hídricas geralmente intermediárias às das fases quente e fria no ENOS, apresentando, no entanto, os valores mais extremos (superior e inferior) de temperaturas noturnas na maturação observado nas séries de dados.

As oscilações de temperatura nas águas superficiais do pacífico – parâmetro fundamental para a definição das fases do ENOS - apresentaram notável correlação com a produtividade dos vinhedos de Santana do Livramento. Em geral, os casos mais preocupantes foram eventos de El Niño que se consolidaram mais cedo e causaram maiores quebras de safra. Por outro lado, essa consolidação mais precoce haveria permitido um alerta também mais precoce, antes mesmo do início das brotações primaveris nos vinhedos. Portanto, o monitoramento das oscilações de temperatura nas águas superficiais do oceano pacífico é uma ferramenta simples e praticamente gratuita para o planejamento estratégico dos ciclos produtivos na região de Santana do Livramento.

Não apenas a produtividade tendeu a ser negativamente afetada pela ocorrência de períodos de El Niño, mas o acúmulo de açúcares também. Ou seja, períodos de El Niño tenderam a ser desfavoráveis, enquanto períodos de La Niña tenderam a ser mais favoráveis para ambos os aspectos analisados. Adicionalmente, cabe ressaltar que os resultados de produtividade e acúmulo de açúcares em um dado ciclo produtivo puderam ser correlacionados com os resultados dos dois ciclos produtivos anteriores. Isso enfatiza a importância dos

cuidados constantes com o manejo dessas plantas perenes, em prol da manutenção de suas condições fisiológicas em estado ótimo para o enfrentamento das adversidades ambientais e a obtenção da qualidade e produtividade desejadas nas vindimas.

Talvez seja essa uma das conclusões mais importantes das análises desse trabalho: as videiras geram resultados quantitativos e qualitativos evidentemente encadeados ao longo dos ciclos anuais e do seu grande e longo ciclo de vida. Logo, é de suma importância conduzir os tratos culturais em um vinhedo, pensando-se em manter a produtividade e a qualidade a cada ano. Em geral e elencando-se apenas alguns fatores principais, as plantas mantidas em condições fisiológicas ótimas, sob baixa pressão de patógenos e dentro de faixas de produtividade e qualidade altas (dentro dos limiares de equilíbrio possíveis) são as melhores candidatas para, nos ciclos produtivos vindouros, também apresentarem melhores condições para as brotações primaveris, alta fertilidade de gemas, menor pressão de inóculos iniciais e área fotossintética mais eficiente para melhor amadurecer frutos mais saudáveis. Nova e redundantemente, todos esses e tantos outros são fatores que otimizam as condições gerais do vinhedo para um ciclo e, conseqüentemente, para os ciclos seguintes.

Frente à variabilidade climática, várias medidas a serem tomadas ou aspectos a serem observados podem ser elencados como potencialmente mitigadores de resultados insatisfatórios nas vindimas. Todos estes citados a seguir (mesmo que alguns deles não tenham sido mencionados nos três artigos da tese) merecem estudos futuros especificamente delineados para a região, para sua variabilidade climática típica e para os efeitos dessa última sobre a produtividade e a qualidade das uvas ali produzidas, tal como já relatado ao longo da presente tese.

Do ponto de vista de infraestrutura e instalação de vinhedos, pode-se otimizar: drenagem do solo (declividade e drenos); drenagem do ar úmido (altura do vão livre entre o solo e o dossel vegetativo e disposição estratégica das linhas

de cultivo de acordo com as correntes predominantes de ar); exposição solar; e plantas de cobertura (altura, cobertura do solo, capacidade de evapotranspiração e albedo antes e após dessecação). Do ponto de vista do planejamento financeiro e logístico, pode-se otimizar: contratação de seguro agrícola; compra de agroquímicos necessários ao controle fitossanitário; compra, aluguel ou compartilhamento de maquinário agrícola; e negociação de preços de comercialização da produção. Do ponto de vista do manejo do dossel vegetativo, da adubação, da poda e do manejo fitossanitário, pode-se otimizar: penetração de luz no dossel (o que se correlaciona com o percentual de folhas com alta atividade fotossintética, o saldo de fotoassimilados, fecundidade de gemas e a maturação dos frutos); acessibilidade e exposição dos frutos, ramos e folhas a tratamentos fitossanitários; circulação de ar; redução de umidade e tempo de molhamento foliar; doses de fertilizantes (principalmente o nitrogênio, cujo uso excessivo é altamente vinculado ao aumento de vigor vegetativo e suscetibilidade a doenças com o míldio); poda (época e intensidade); uso de fitorreguladores (sincronização da brotação e do restante dos estádios fenológicos); e tratamentos fitossanitários rigorosos.

9 Referências

ALLEWELDT, G.; ILTER, E. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blütenbildung und Triebwachstum bei Reben. **Vitis**, [S. l.], v. 8, p. 286–313, 1969.

ALVES, Maria Emília Borges; TONIETTO, Jorge. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2018 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil - Comunicado Técnico 209**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184866/1/Comunicado-Tecnico-209-2018-10-22-14-h.pdf>

ANDERSON, Weston *et al.* Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 239, p. 151–165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>

BENDER, Angelica *et al.* Physicochemical and sensory properties of grape juices produced from different cultivars and extraction systems Propriedades físico-químicas e sensoriais de sucos de uva elaborados com diferentes cultivares e sistemas de extração. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1615–1634, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1615>

BRANAS, J. **Viticulture**. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique., 1974. *E-book*.

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Yield Effects on 2-Methoxy-3-Isobutylpyrazine Concentration in Cabernet Sauvignon Using a Solid Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 52, n. 17, p. 5431–5435, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0400617>

CHAPMAN, Dawn M. *et al.* Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 339–347, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00033.x>

CONSTANTINESCU, G. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages. **Bulletin de l'O.I.V.**, [S. l.], v. 441, p. 1179–1205, 1967.

CORDEIRO, Ana Paula A.; BERLATO, Moacir A. Frequência da temperatura mínima do ar associada a eventos el niño, la niña e neutros no Rio Grande do Sul. In: 2009, **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22 a 25 de setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG**. [S. l.: s. n.]

COSTA, Vagner Brasil. Efeito Das Condições Climáticas Na Fenologia Da

Videira Européia Em Santana Do Livramento , Rio Grande Do Sul. [S. l.], p. 89, 2011.

CUNHA, Gilberto Rocca da. EL NIÑO - OSCILAÇÃO DO SUL E PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS APLICADAS NO MANEJO DE CULTURAS NO SUL DO BRASIL. *In*: 1999, Florianópolis. **Anais XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Florianópolis: Epagri, 1999. p. 1340–1346.

CUNHA, G.; DALMAGO, G.; ESTEFANEL, V. El Nino Southern Oscillation Influences on Wheat Crop in Brazil. *In*: **Wheat in a Global Environment**. [S. l.]: Springer, 2001. p. 445–450. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-017-3674-9_58

CUNHA, G. R. El Niño southern oscillation and climate forecasts applied to crops management southern Brazil. *In*: CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; BERLATO, M. A. (org.). **Applications of climate forecasting for better decision-making processes in agriculture**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 181–201. *E-book*.

DA COSTA, Ângela Beatriz Ferreira *et al.* Geadas na região sul relacionadas ao el niño oscilação sul. *In*: 2013, **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]

DE ASSIS, Francisco Neto; MARTINS, Sérgio Roberto; MENDEZ, Marta Elena Gonzalez. Anomalias pluviométricas associadas à ocorrência de El Niño e de La Niña no Rio Grande Do Sul. *In*: 1997, Piracicaba. **Anais: agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 283–285.

DE CORTÁZAR-ATAURI, Iñaki García *et al.* Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. **Oeno One**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 115–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1622>

DE SIQUEIRA, Dalmo Lopes; PEREIRA, Walter Esfrain. **Planejamento e Implantação de pomar**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2018. *E-book*.

DEIBLER, Alexandre Nunes; FERNANDES, Diego Simões; DE CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E ANOS NEUTROS NO RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA EM BAGÉ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *In*: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

DRY, Peter R. Canopy management for fruitfulness. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 109–115, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00168.x>

EMBRAPA. **Ciência ajuda vinho da Campanha Gaúcha a conquistar Indicação Geográfica**. [s. l.], 2020. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52668635/ciencia-ajuda-vinho-da-campanha-gaucha-a-conquistar-indicacao-geografica>. Acesso em: 3 set. 2020.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. INFLUÊNCIA DO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL SOBRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 127–132, 1997.

FRIEND, A. P. *et al.* Effect of delaying budburst on shoot development and yield of *Vitis vinifera* L. Chardonnay “Mendoza” after a spring freeze event. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 378–382, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00162.x>

GALVANI, EMERSON; PEREIRA, ANTONIO ROBERTO. EL NIÑO-OSCILAÇÕES SUL (ENOS), QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO FENÔMENO. *In*: 1997, Piracicaba. **Anais X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 280–282.

GARRIDO, Lucas da Ressurreição *et al.* **Manual de identificação das doenças abióticas da videira**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.embrapa.br/uva-e-vinho>

GLANTZ, Michael H.; RAMIREZ, Ivan J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Niño’s Impacts. **International Journal of Disaster Risk Science**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 394–403, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00275-w>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

GUILPART, Nicolas; METAY, Aurélie; GARY, Christian. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 54, p. 9–20, 2014 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Dormência em frutíferas de clima temperado - Documento 310**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2010.

HIDALGO, L. **Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Producción Vegetal, 29**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias., 1980. *E-book*.

HUANG, Boyin *et al.* Extended reconstructed Sea surface temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilites héliothermiques d'un milieu viticole. *In*: 1978, Konstanz. **Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire**. Konstanz: [s. n.], 1978. p. 89–98.

HUSSON, François; BOCQUET, Valéry; PAGÈS, Jérôme. Use of confidence ellipses in a PCA applied to sensory analysis application to the comparison of monovarietal ciders. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 510–518, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.062104.x>

IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 1ª edição digital. *In*: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1a Edição ed. São Paulo: [s. n.], 2008. *E-book*.

JACKSON, D. I.; LOMBARD, P. B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 44, p. 409–430, 1993.

KALTBACH, Pedro *et al.* Relationship between the El Niño-Southern Oscillation and yield and sugar content of wine grapes grown in Santana do Livramento , RS , Brazil. **Semina Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 2031–2044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2031>

KALTBACH, Pedro *et al.* El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. **Revista Ceres**, [S. l.], v. 70, n. 1, p. 51–60, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>

KELLER, M.; KOBLET, W. Dry matter and leaf area partitioning, bud fertility and second season growth of *Vitis vinifera* L.: Responses to nitrogen supply and limiting irradiance. **Vitis**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 77–83, 1995.

KELLER, Markus *et al.* Crop load management in concord grapes using different pruning techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 35–50, 2004.

KELLER, Markus. **The science of grapevines**. 3 ed. ed. London: Elsevier - Academic Press, 2020. *E-book*.

KELLER, Markus; DEYERMOND, Laura S.; BONDADA, Bhaskar R. Plant hydraulic conductance adapts to shoot number but limits shoot vigour in grapevines. **Functional Plant Biology**, [S. l.], v. 42, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP14206>

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

MANDELLI, Francisco; BERLATO, Moacir Antonio; TONIETTO, Jorge. Influência do fenômeno El Niño / La Niña no rendimento e na qualidade da uva da “ Serra

Gaúcha”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 85–90, 2003.

MARQUES, Julio Renato; BERLATO, Moacir A.; JANKE, Aline. Probabilidade empírica de ocorrência de anomalia de precipitação pluvial sobre O Rio Grande Do Sul condicionada a eventos El Niño - Oscilação Sul. *In*: 2003, Santa Maria. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Santa Maria: [s. n.], 2003. p. 1059–1060.

MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 323–331, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>

NACHTIGAL, Jair Costa; MAZZAROLO, Adriano. **Uva : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. *E-book*.

NICKNICH, Fernanda *et al.* Efeitos dos Fenômenos El Niño e La Niña no rendimento de grãos das principais culturas agrícolas do Rio Grande do Sul. *In*: 2005, Campinas. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Campinas: [s. n.], 2005.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). **Cold & Warm Episodes by Season**. [s. l.], 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 2 ago. 2023.

NUZZO, Vitale; MATTHEWS, Mark A. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed Cabernet Sauvignon on four rootstocks. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 314–324, 2006.

OLLAT, Nathalie; TOUZARD, Jean-Marc; VAN LEEUWEN, Cornelis. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 139–149, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>

PARKER, A. K. *et al.* Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 266–276, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12132>

PARKER, Amber K. *et al.* Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of Vitis vinifera L. cultivars. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 285–286, n. September 2019, p. 107902, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

PREVITALI, Pietro *et al.* Crop Load and Plant Water Status Influence the Ripening Rate and Aroma Development in Berries of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 69, n. 27, p. 7709–7724, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01229>

RCORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: www.R-project.org

RIBEREAU-GAYON, Pascal *et al.* **Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications: Second Edition**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0470010363>

RIOU, C.; PIERI, P.; CLECH, B. Le. Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. **Vitis**, [S. l.], v. 115, p. 109–115, 1994. Disponível em: <http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e033651.pdf>

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. Boston: [s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>

STEINMETZ, Silvio; DE ASSIS, Francisco Neto; DE CAMPOS, Cláudia Jacondino. Influência do El Niño Oscilação Sul (enos) sobre as condições climáticas, no período de outubro a março, na região de Pelotas-RS. *In*: 1999, **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]

TIBA (COORD.), Chigeru. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. *E-book*. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>

TIMMERMANN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TIMMERMANN, Axel *et al.* El Niño–Southern Oscillation complexity. **Nature**, [S. l.], v. 559, n. 7715, p. 535–545, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>

TONIETTO, Jorge. **LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET L'INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH ET DU MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE - Méthodologie de Caractérisation**. 1999. - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER T, [s. l.], 1999.

TONIETTO, Jorge; CARBONNEAU, Alain. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 124, n. 1–2, p. 81–97, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

TUCHTENHAGEN, Patrícia Nunes *et al.* Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul. *In:* 2015, Lavras. **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Lavras: [S. n.], 2015. p. 1503–1508.

VAISSIE, Pauline; MONGE, Astrid; HUSSON, Francois. **Factoshiny package for R**. [S. l.: s. n.]

VAN LEEUWEN, Cornelis; DARRIET, Philippe. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. **Journal of Wine Economics**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 150–167, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

VASCONCELOS, M. C. *et al.* The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. [S. l.], v. 60, n. 4, p. 411–434, 2009. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/60/4/411>

VILLA NOVA, N. A. *et al.* **Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativas de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura-base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Universidade de São Paulo- Instituto de Geografia, 1972. v. 30 *E-book*.

WESTPHALEN, S. L. Bases ecológicas para determinação de regiões de maior aptidão vitivinícola no Rio Grande do Sul. *In:* 1977, Montevideo. **Simpósio Latinoamericano de la uva y del vino, 1976. Annales Laboratorio Tecnológico Cuaderno Técnico**. Montevideo: [s. n.], 1977. p. 89–101.

WINKLER, A. J. *et al.* **General viticulture**. 2nd. ed. Berkeley: University of California, 1974. *E-book*.

WMO, World Meteorological Organization. **Manual on the Global Observing System**. Geneva: [s. n.], 2003. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Manual/WMO544.pdf>

ZAMPIERI, Sergio Luiz; BRAGA, Hugo José. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NA AVALIAÇÃO DO FENÔMEMO ENOS (El Niño e La Niña) EM RELAÇÃO À INTENSIDADE E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA CONFORME DIFERENTES AUTORES. *In:* 2005, **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. [S. l.: s. n.]

<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1669.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.