

**El Niño-Oscilação Sul e ocorrência de geadas na região de Guarapuava-PR**  
**El Niño-Southern Oscillation and frost occurrence in the Guarapuava-PR region**  
**El Niño-Oscilación del Sur y ocurrencia de heladas en la región de Guarapuava-PR**

Recebido: 24/10/2020 | Revisado: 28/10/2020 | Aceito: 31/10/2020 | Publicado: 05/11/2020

**Natana Maria Metinoski Bueno**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2484-6521>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [natanamariametinoski@outlook.com](mailto:natanamariametinoski@outlook.com)

**Sidnei Osmar Jadoski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6064-2767>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [sjadoski@unicentro.br](mailto:sjadoski@unicentro.br)

**Vanderlei Aparecido de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1569-8723>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: [valima66@gmail.com](mailto:valima66@gmail.com)

**Janaina Cosmedamiana Metinoski Bueno**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0359-2078>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [janainametinoski@gmail.com](mailto:janainametinoski@gmail.com)

## **Resumo**

A associação das características das fases El Niño Oscilação Sul (ENOS) com as condições locais, são ferramentas importantes para serem empregadas na geração de informações inerentes aos riscos de geadas. Apesar do seu grande impacto na região Sul do Brasil e em outras partes do mundo, as geadas são eventos de difícil previsibilidade por serem resultado da interação de diferentes condições climáticas. Este estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de geadas durante os anos de El Niño, La Niña e neutralidade na região de Guarapuava-PR. Foi utilizada uma base de dados históricos das variáveis climáticas de 43 anos (1976 a 2018) posteriormente cruzados com dados do ENOS obtidos da *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Verificou-se que períodos de neutralidade climática são predominantes em relação as fases extremas do ENOS e apresenta maior

frequência de eventos de geadas. Nesta condição a frequência de geadas é de 67% em relação 20% e 13% em La Niña e El Niño, respectivamente.

**Palavras-chave:** Enos; Resfriamento; Neutralidade climática.

### **Abstract**

The association of the characteristics of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phases with local conditions, are important tools to be used in the generation of information inherent to the risks of frosts. Despite its great impact in the southern region of Brazil and in other parts of the world, frosts are events that are difficult to predict because they result from the interaction of different climatic conditions. This study aimed to analyze the occurrence of frost during the years of El Niño, La Niña and neutrality in the region of Guarapuava-PR. A historical database of 43-year-old climate variables (1976 to 2018) was subsequently crossed with ENSO data obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). It was found that periods of climatic neutrality are predominant in relation to the extreme phases of ENSO and have a higher frequency of frost events. In this condition, the frequency of frosts is 67% in relation to 20% and 13% in La Niña and El Niño, respectively.

**Keywords:** Enso; Cooling; Climate neutrality.

### **Resumen**

La asociación de las características de las fases de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) con las condiciones locales, son herramientas importantes que pueden ser utilizadas para la generación de información inherentes a los riesgos de heladas. A pesar de su gran impacto en la región sur de Brasil y otras partes del mundo, las heladas son eventos difíciles de predecir porque son el resultado de la interacción de diferentes condiciones climáticas. Este estudio tuvo como objetivo analizar la ocurrencia de heladas durante los años de El Niño, La Niña y neutralidad en la región de Guarapuava-PR. Posteriormente se cruzó una base histórica de datos de variables climáticas de 43 años (1976 a 2018) con datos de ENOS obtenidos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Se verificó que los períodos de neutralidad climática son predominantes en relación a las fases extremas de ENOS y tienen una mayor frecuencia de eventos de heladas. En esta condición, la frecuencia de heladas es de 67% en relación a 20% y 13% en La Niña y El Niño, respectivamente.

**Palabras clave:** Enos; Heladas; Neutralidad climática.

## 1. Introdução

O clima é um fator decisivo para a agricultura, que impacta de maneira direta a economia e sociedade (Siebert et al., 2017). As geadas caracterizam-se como eventos de ocorrência associada à definição de zonas climáticas, separando os ecossistemas tropical e temperado e determinando a distribuição e a diversidade de espécies (Alvares et al., 2018).

A geada é um fenômeno meteorológico extremo, de ocorrência influenciada por diferentes variáveis como temperatura do solo, temperatura do ar, umidade relativa, umidade das folhas, ponto de orvalho, etc, (Nimer, 1990). A ocorrência de geadas está ainda relacionada a aspectos da latitude e altitude, continentalidade, circulação global atmosférica e oceânica, relevo e invasões de anticiclones polares vindos do Continente Antártico, solo e vegetação (Aguiar e Mendonça, 2004).

Os níveis de tolerância à baixas temperaturas dependem da espécie e da cultivar. Os danos causados pela geada variam conforme o estágio de crescimento e sensibilidade da cultura (Frederiks et al., 2015), sendo um fenômeno muito comum em áreas subtropicais e regiões temperadas como na América do Sul (Fuller et al., 2007).

No Brasil, os estados mais atingidos pela ocorrência das geadas encontram-se na região Sul, devido à localização geográfica situada nos subtrópicos, que permite uma maior amplitude térmica durante o ano (Alves et al., 2017) e conjuntamente com as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, são as que apresentam maior número de ocorrência de geadas (Molion et al., 1981), com temperaturas podendo atingir  $-12^{\circ}\text{C}$  no mês de julho (Wrege et al., 2012). Entre os estados da região Sul, o Paraná apresenta menor frequência de entrada de massas polares, tendendo a uma menor frequência de geadas, que ocorre geralmente entre os meses de maio à setembro. Porém, no estado, a geada é um dos principais fenômenos responsáveis por perdas agrícolas devido ao clima, tanto de culturas anuais quanto perenes (Caramori et al., 2001).

Na região Sul, as geadas são determinadas pelas baixas temperaturas e menos pela umidade do ar. As geadas brancas são formadas por cristais de gelo em uma superfície, que ocorre pelo congelamento do orvalho, adquirindo o estado sólido, enquanto que na geada negra em geral não ocorre formação de cristais de gelo externamente, pois há pouca umidade no ar e a temperatura é inferior à  $0^{\circ}\text{C}$ , elevando os danos causados em relação a geada branca, que acaba congelando os tecidos vegetais e conferindo as plantas um aspecto de queimado (Melo-Abreu, 1985). Desta forma, a temperatura é uma variável determinante para ocorrência

da geada, sendo que a mesma pode ser afetada por diversos padrões climáticos (Snyder e Melo-Abreu, 2005), notadamente pelo ENOS nas suas diferentes fases.

O Brasil tem sua variabilidade climática relacionada a padrões de escala global. O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é tido como o principal responsável pelas variações e flutuações periódicas em escalas sazonais e interanuais, como um resultado da interação entre o oceano e a atmosfera (Araújo e Brito, 2011). Evidências têm demonstrado que o ENOS exerce importante influência na produtividade de culturas por meio de alterações nos padrões de clima em algumas regiões (Ferreira, 2006; Zubair, 2012).

O ENOS caracteriza-se com um fenômeno climático do Oceano Pacífico Equatorial que interfere diretamente no tempo e clima de várias regiões do mundo (Wang, 2018), sendo considerado a mais importante causa da variabilidade climática global. Apresenta elevada influência sobre as temperaturas do continente Sul Americano, podendo estar relacionado à frequência de ocorrência de geadas na região Sul do Brasil. A provável correlação entre a incidência de geadas e influência dos fenômenos El Niño, La Niña e neutralidade climática pode dispor o setor agrícola de informações protetivas importantes contra as geadas visando a redução dos danos ocasionados pelas baixas temperaturas (Berlato, et al. 2005).

A não ocorrência de fases extremas do ENOS implica numa fase de neutralidade deste ciclo. As fases do ENOS caracterizam-se por apresentarem diferentes efeitos no tempo. Porém os fenômenos El Niño e La Niña não culminam obrigatoriamente em condições climáticas espelho um do outro (Chattopadhyay et al., 2019), sendo que o ENOS influencia diretamente, porém não dita as características climáticas do Brasil (Guimarães e Reis, 2012).

Países localizados na zona tropical são mais afetados pelos efeitos do ENOS quando comparados aos que estão fora dessa zona (Hsiang e Meng, 2015) e os impactos do ENOS tendem a ser mais recorrentes e rigorosos futuramente (Yeh et al., 2009; Zhang et al., 2016).

O clima do Sul do Brasil apresenta uma forte conexão com o ENOS (Ropelewski e Halpert, 1987, 1989; Rao e Hada, 1990; Grimm et al., 1998, 2000; Pezzi e Cavalcanti, 2001). O fenômeno ENOS influencia a temperatura e tem uma grande contribuição na modulação da circulação atmosférica e nas anomalias de precipitação no Sul do Brasil. Grimm e Tedeschi (2009) mostraram que o impacto sobre eventos extremos, destacadamente de temperatura e precipitação é maior nas fases El Niño e La Niña.

Os efeitos do ENOS em El Niño causam intensa elevação na pluviosidade, com tendência de aumento da temperatura média, com invernos mais amenos, o que reduz o risco de ocorrência de geadas. Por outro lado, o fenômeno La Niña causa redução na pluviosidade e tendência de diminuição da temperatura média (Ferreira, 2005). Segundo Molion (1981) em

diferentes anos o La Niña e o El Niño provocaram variações nas temperaturas médias globais de  $-0,5^{\circ}\text{C}$  a  $0,7^{\circ}\text{C}$ , sendo essa variação sentida no Brasil, e suficiente para produzir impactos significativos em todo o globo.

É de grande relevância o entendimento do regime de geadas, principalmente para o setor agropecuário (Oliveira e Borrozzino, 2017). O conhecimento detalhado de sua distribuição no tempo e probabilidades de ocorrência possibilitam uma programação com menores riscos de perdas no setor. Em escala global, cerca de um terço das oscilações na produtividade estão associadas a variabilidade climática (Ray et al., 2015). Porém existe atualmente uma escassez de informações acerca da probabilidade de geadas, principalmente que relacionam a ocorrência em primavera e outono. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a ocorrência de geadas durante as fases do ENOS para a região de Guarapuava-PR.

## 2. Material e Métodos

O trabalho tem como área de estudo a região de Guarapuava, localizada no Centro-Sul do estado do Paraná, tendo como coordenadas centrais  $25^{\circ} 23' 43''\text{S}$  e  $51^{\circ} 27' 29''\text{W}$  no Terceiro Planalto do Paraná, e área de  $3.168,087 \text{ km}^2$ , sendo o maior município do estado em extensão territorial. Em relevo a altitude média de Guarapuava é de aproximadamente 1150 metros (Costa e Andrade, 2017), com predominância regional de solo do tipo Latossolo Bruno (Bhering et al., 2013).

O clima é classificado como subtropical mesotérmico úmido (Cfb), Köppen (1948), apresentando verões amenos (temperatura média inferior a  $22^{\circ}\text{C}$ ) e invernos rigorosos (temperatura média superior a  $3^{\circ}\text{C}$  e inferior a  $18^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura média anual é de  $17^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a precipitação média anual é superior a 1700 mm (Costa e Andrade, 2017), em geral bem distribuída durante o ano, com predominância de intensidade moderada (Salton et al., 2016).

Foram analisados dados climáticos históricos da temperatura de relva (superfície do solo) e temperatura mínima do ar (1,5m) para a identificação da ocorrência de geadas e classificação por grau de intensidade, no período de 1976 a 2018 (43 anos). O método empregado foi o quantitativo, os dados foram arranjados em conjuntos, posteriormente submetidos à análise de estatística multivariada (Pereira et al., 2018). Esses dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica da UNICENTRO/IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), tendo também como suporte dados climáticos fornecidos pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná).

A identificação da ocorrência e classificação dos eventos de geadas pela intensidade em fraca, moderada, mediana, forte, muito forte, extremamente forte e excepcional foi realizada conforme descrito por Aguiar e Mendonça (2004), (Tabela 1). Para a classificação das geadas foi utilizada a temperatura mínima do ar junto à relva.

**Tabela 1.** Classificação da intensidade da geada.

TEMPERATURA MÍNIMA DE RELVA (°C)	CLASSIFICAÇÃO DA GEADA
0 a -2	Fraca
-2 a -4	Moderada
-4 a -6	Mediana
-6 a -8	Forte
-8 a -10	Muito forte
-10 a -12	Extremamente forte
< -12	Excepcional

Fonte: Aguiar e Mendonça (2004).

Os dados referentes ao ENOS do período de 1976 a 2018 foram obtidos através da *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Esses dados foram agrupados mensalmente a critério de análise da NOAA realizado pelo (ERSST) versão 5. Posteriormente os anos de El Niño, La Niña e neutralidade na série histórica analisada, foram correlacionados com a ocorrência de geadas. A frequência foi dada a partir da avaliação dos índices verificados para cada intensidade de geada em período mensal em relação ao período total. Essas análises foram feitas no software Excel.

Posteriormente foram realizadas análises de estatística multivariada, que configuram-se como uma possibilidade de análise para longas séries de dados climáticos (Bueno et al., 2020a; Bueno et al., 2020b). Os dados foram submetidos à análise de cluster hierárquico (HCA) e análise de componente principal (ACP) no software Statistic versão 8, para a verificação de similaridade quanto a ocorrência de geadas pela intensidade para os diferentes fenômenos climáticos. As análises de cluster hierárquico foram obtidas a partir do Ward's Method utilizando como medida de similaridade a distância euclidiana. Na escala horizontal dos dendrogramas formados os meses foram alocados de modo a formar grupos com maior semelhança entre si. A ACP correlacionou a frequência de ocorrência das intensidades das geadas para cada mês em cada fenômeno estudado.

### 3. Resultados e Discussões

Os dados de temperatura média do ar e da frequência de eventos de geada ao longo ano, em série temporal do período de 1976 a 2018 para Guarapuava-PR, estão dispostos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Temperatura média do ar e frequência mensal de geadas no período de 1976-2018.

MÊS	TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C)	PROBABILIDADE DE GEADA (%)
Janeiro	20,9	-
Fevereiro	20,7	-
Março	19,8	7,0
Abril	17,6	14,0
Maiο	14,3	55,8
Junho	13	74,4
Julho	12,9	76,7
Agosto	14,5	62,8
Setembro	15,8	51,2
Outubro	17,8	7,0
Novembro	19,2	-
Dezembro	20,4	-

Fonte: Autores (2020).

Na Tabela 2, encontra-se os dados de temperatura média do ar e a probabilidade de geadas para a área de estudo, de forma a evidenciar a relação entre essas duas variáveis climáticas. Observa-se que as menores temperaturas ocorreram entre os meses de maio a setembro, coincidindo com o período de maior ocorrência de geadas para a área de estudo. Esse período é marcado pelo final de outono e pelo inverno na região Sul, caracterizado pela expressiva redução dos valores médios de temperatura do ar (Wrege et al., 2018), essa diminuição ocorre por fatores climáticos que agem nesse período, destacando-se a Frente Polar Atlântica e a Massa Polar Atlântica (Jorge e Mendonça, 2009).

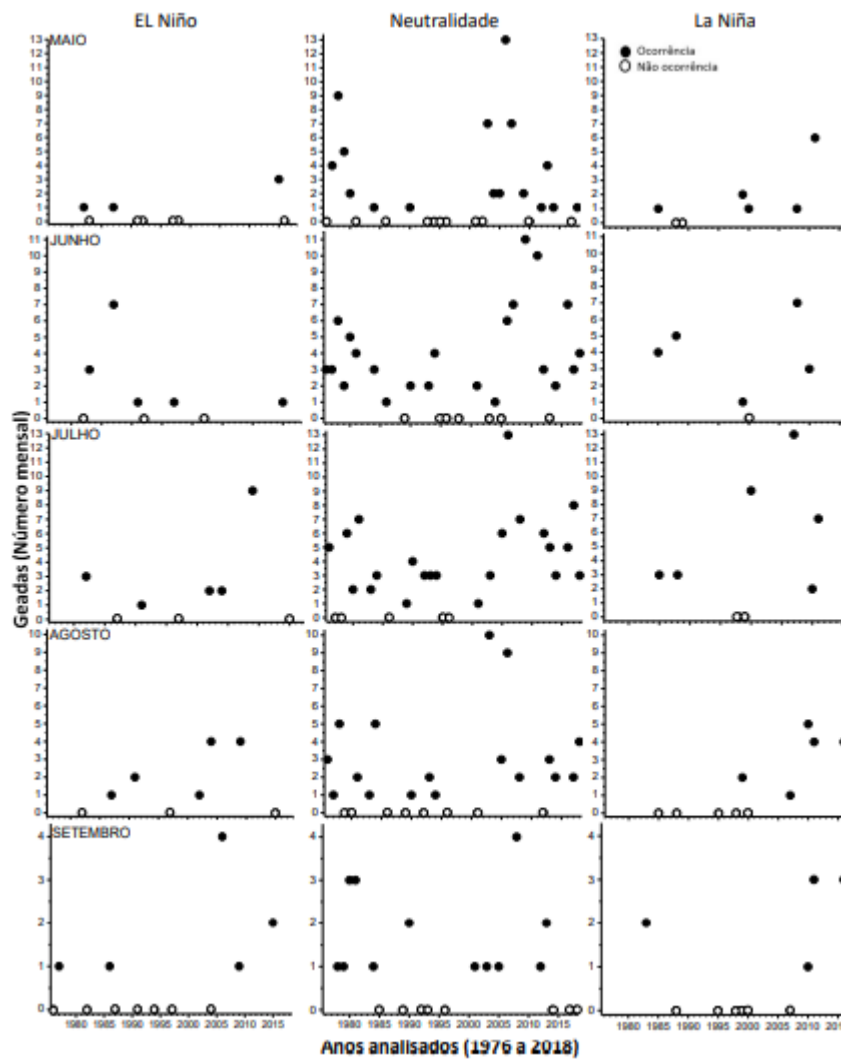
Os dados demonstram que o período de geadas vai de março a outubro (Tabela 2), sendo a maior probabilidade observada entre os meses de maio a setembro, destacando-se junho e julho. Esta característica expressa as condições climáticas regionais, caracterizado pelo clima Cfb, com invernos de temperaturas mais baixas. Estes resultados estão em concordância com Oliveira e Borrozzino (2017), que descrevem que a região apresenta cinco



meses (de novembro a março) sem gear e a média de eventos de geada anual seria 12, sendo que essa média de eventos sofre influência da latitude e altitude local, e sendo os meses de junho e julho os que mais contribuem. Porém no referido estudo os autores não diferenciaram as diferentes fases do ENOS.

A distribuição da frequência dos eventos de geadas para Guarapuava-PR é encontrada na Figura 1.

**Figura 1.** Ocorrência de geadas nas fases do Enos em Guarapuava-PR.



Fonte: Autores (2020).

Nos períodos de neutralidade climática observa-se maior frequência de ocorrência de geadas em relação aos fenômenos El Niño e La Niña (Figura 1), destacando-se os meses de junho e julho. Nota-se também que as fases opostas, El Niño e La Niña apresentam frequência similares entre si (Figura 1). Essa redução do número de geadas, está relacionada ao aumento do número de bloqueios atmosféricos, simultaneamente em que o jato subtropical encontra-se



mais fraco aliado ao deslocamento menos intenso do Anticiclone do Pacífico Sul (Collazo et al., 2019).

Quando observado a frequência mensal das fases do ENOS na série climática (Tabela 3), verifica-se a prevalência de neutralidade climática durante o ano com pequenas diferenças entre os fenômenos El Niño e La Niña no período de outono inverno. Porém destacam-se os meses de maio e junho com maior frequência de La Niña, fase que segundo Grimm e Tedeschi (2009), apresenta característica de ocasionar maior intensidade de frio na região Sul do Brasil.

**Tabela 3.** Probabilidade de ocorrência dos fenômenos El Niño (EL), neutralidade (N) e La Niña (LN), em Guarapuava-PR.

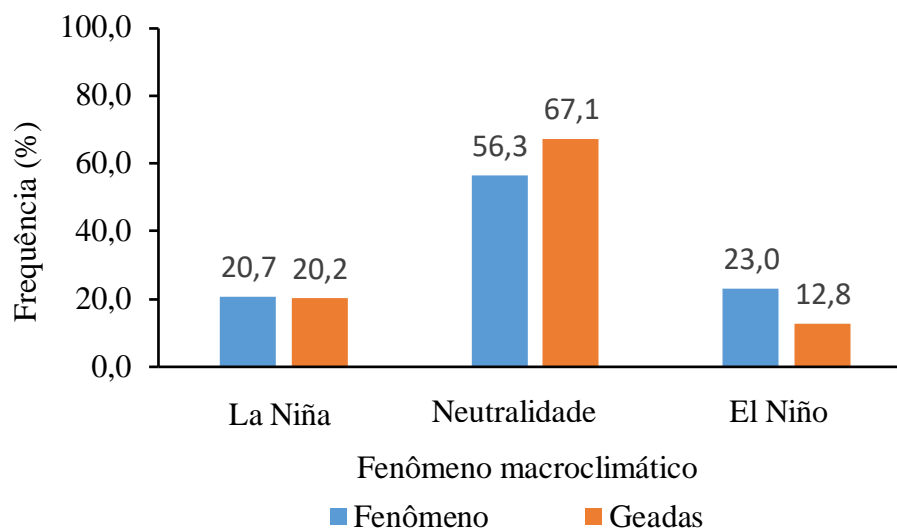
MESES	Fenômeno		
	EL	N	LN
	(% )		
MARÇO	18,6	53,5	27,9
ABRIL	16,3	67,4	16,3
MAIO	20,9	62,8	16,3
JUNHO	18,6	67,4	14
JULHO	18,6	62,8	18,6
AGOSTO	18,6	58,1	23,3
SETEMBRO	30,2	46,5	23,3
OUTUBRO	34,9	37,2	27,9

Fonte: Autores (2020).

A maior frequência de fenômenos de neutralidade durante os meses (Tabela 3), é um dado já relatado na literatura (Bueno et al., 2020a), no qual é atribuído cerca de 50% dos meses avaliados para essa condição atmosférica. Nota-se que esse padrão tende a se repetir para os meses nessa pesquisa, em que a maioria dos valores em condições de neutralidade climática são próximos a essa porcentagem (Tabela 3).

A distribuição das geadas a partir da frequência das fases do ENOS e sua associação com a ocorrência de eventos, demonstra que a ordem de frequência de geadas evidencia a neutralidade climática, seguida respectivamente de La Niña e El Niño (Figura 2).

**Figura 2.** Frequência das fases do Enos e ocorrência de geadas em Guarapuava-PR.



Fonte: Autores (2020).

Embora La Niña seja definitivamente a fase fria do ENOS, é notória a elevação da frequência de geadas em períodos de neutralidade (Figura 2). Neste caso, períodos neutros apresentam elevada variabilidade, sem uma tendência definida para predominância de frio ou calor. Para Lin e Qian (2019), os períodos de neutralidade são realmente variáveis climaticamente, apresentando anomalias extremas de temperatura de superfície do mar e anomalias significativas na temperatura do ar e da precipitação em todos os continentes. Neste caso, as ocorrências de ondas de frio na região Sul, resultam no aumento da frequência de eventos de geadas.

Os resultados da Tabela 4 reforçam a caracterização dos meses de junho e julho como os que apresentaram os maiores riscos de ocorrência de geadas independente da fase Enos. As menores probabilidades de eventos foram registradas para os meses de março em neutralidade (zero%) outubro em neutralidade (6,3%) e em El Niño (6,7%).

**Tabela 4.** Probabilidade de ocorrência de geadas durante El Niño (EL), Neutralidade (N) e La Niña (LN), para os meses de março à outubro em Guarapuava-PR.

Mês	Frequência de Geadas (%)		
	EL	N	LN
MARÇO	12,5	0,0	16,7
ABRIL	14,3	13,8	14,3
MAIO	33,3	59,3	71,4
JUNHO	62,5	75,9	83,3
JULHO	62,5	81,5	75,0
AGOSTO	62,5	68,8	50,0
SETEMBRO	46,2	60,0	40,0
OUTUBRO	6,7	6,3	8,3

Fonte: Autores (2020).

O mês de abril apresentou probabilidades de ocorrência de geadas inferiores a 15%, independente do fenômeno climático predominante (Tabela 4). A avaliação desta série climática aponta a neutralidade como sendo uma condição climática de maior probabilidade de ocorrência de geadas na região. Os resultados concordam com os apresentados por Aguiar e Mendonça (2004), que analisando episódios de geadas na região sul relataram que estas são mais frequentes entre os meses de maio à setembro, sendo junho e julho os meses de maior incidência, embora sem inferências em relação ao fenômeno ENOS.

Com relação à avaliação da intensidade das geadas verificou-se que as ocorrência de geadas fracas (intensidade 1) predominam sobre as demais. As geadas classificadas como moderadas (intensidade 2) apresentam a segunda maior frequência na área de estudo (Tabela 5).

Os dados demonstram que nos meses de março, abril e outubro a probabilidade é de que as geadas sejam de intensidade 1 (Tabela 5). Os resultados são convergentes aos apresentados por Oliveira e Borrozzino (2017), que avaliando ocorrência de geadas no Paraná verificaram que as geadas fortes representaram 22% dos eventos, enquanto que evidenciam a predominância (48,3%) de geadas fracas.

Já os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro apresentam elevada ocorrência de geadas para as diferentes intensidades (Tabela 5). Apenas nos meses de junho e setembro ocorreram geadas excepcionais, a partir de temperaturas de relva iguais ou menores a  $-12\text{ C}^{\circ}$  (Tabela 5).

**Tabela 5.** Probabilidade de ocorrência de geadas por intensidade, em diferentes meses para Guarapuava-PR.

Mês	Intensidade provável das geadas (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>MARÇO</b>	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>ABRIL</b>	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>MAIO</b>	56,1	29,3	12,2	1,2	1,2	0,0	0,0
<b>JUNHO</b>	51,6	21,8	12,9	7,3	4,0	1,6	0,8
<b>JULHO</b>	43,8	33,3	13,1	7,2	2,0	0,7	0,0
<b>AGOSTO</b>	49,4	22,4	15,3	8,2	3,5	1,2	0,0
<b>SETEMBRO</b>	52,3	25,0	15,9	2,3	0,0	2,3	2,3
<b>OUTUBRO</b>	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autores (2020).

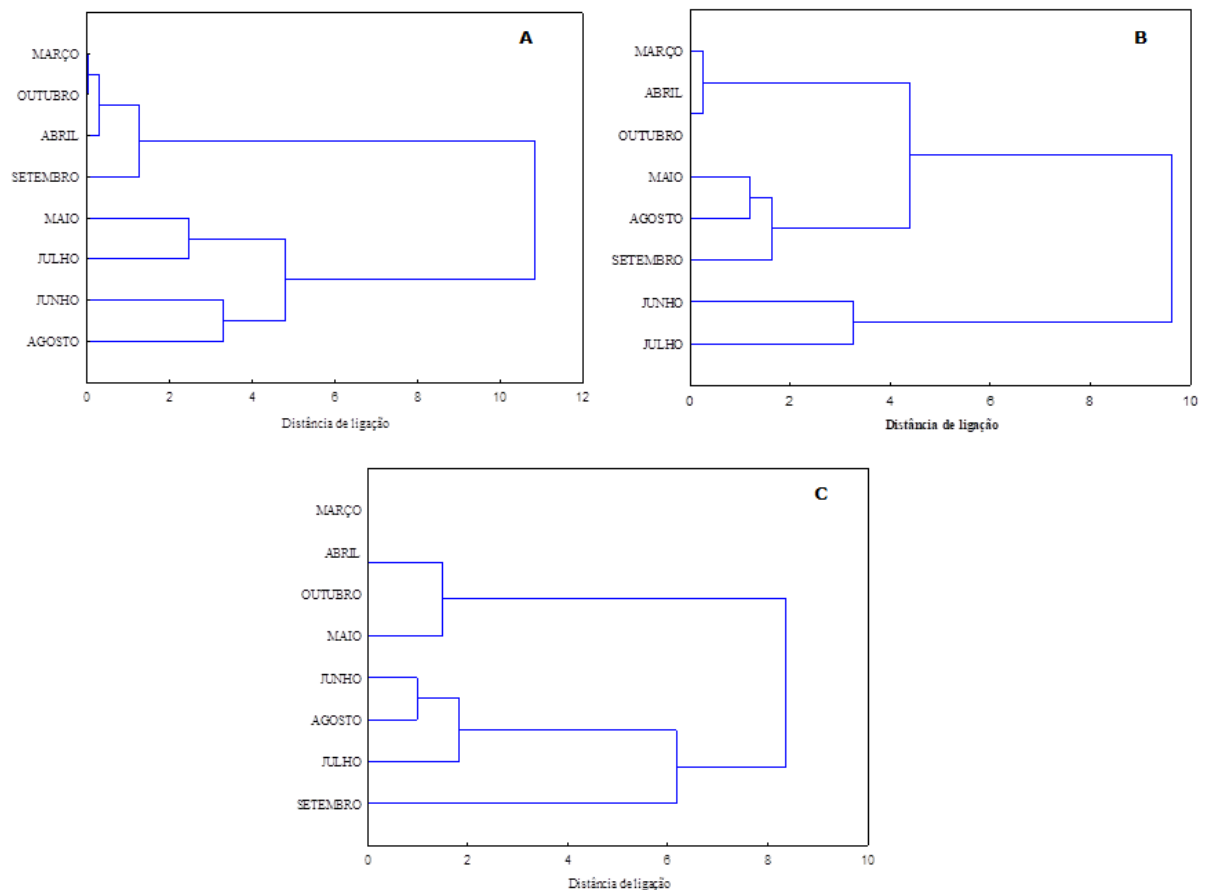
Os fenômenos El Niño, La Niña e anos de neutralidade foram avaliados separadamente em função da ocorrência de geadas nos diferentes meses por meio de estatística multivariada utilizando análise de cluster hierárquico (HCA) para a formação de dendogramas (Figura 3) e análise de componente principal (ACP) (Figura 4).

Ao analisar os clusters sob a nível de corte 8 da distância Euclidiana, nota-se a separação das fases ENOS em dois grupos, sendo que os meses de junho e julho mantêm altas similaridades nas diferentes fases. O dendrograma (Figura 3A) formado a partir da neutralidade aloca os meses de março, abril, setembro e outubro em um grupo homogêneo, sendo que destes, março e outubro apresentam a maior similaridade. Os meses de maio, junho, julho e agosto formam outro grupo homogêneo. Enquanto que em fenômenos de La Niña (Figura 3B) os meses de junho e julho se destacam pela grande similaridade, havendo ainda formação de mais dois grandes grupos, para o nível de corte 4 da distância Euclidiana. O primeiro constituído pelos meses de março, abril e outubro e o segundo grande grupo, alocando os meses de maio, agosto e setembro, sendo que maio e agosto demonstraram possuir mais correlação entre si (Figura 3B).

Para o fenômeno El Niño (Figura 3C), ocorre a formação de dois grandes grupos para o nível de corte 8 da distância Euclidiana. O primeiro composto pelos meses de junho, julho, agosto e setembro com alta similaridade entre si. Os meses de junho e agosto demonstram

elevada similaridade em El Niño. No segundo grupo tem-se abril e maio. Em El Niño, março e outubro não apresentam distância de ligação com os demais meses analisados, sendo os que apresentam a menor ocorrência de geadas.

**Figura 3.** Análise de cluster hierárquico dos meses nos fenômenos em relação a intensidade da geada em Neutralidade (A), La Niña (B) e El niño (C).



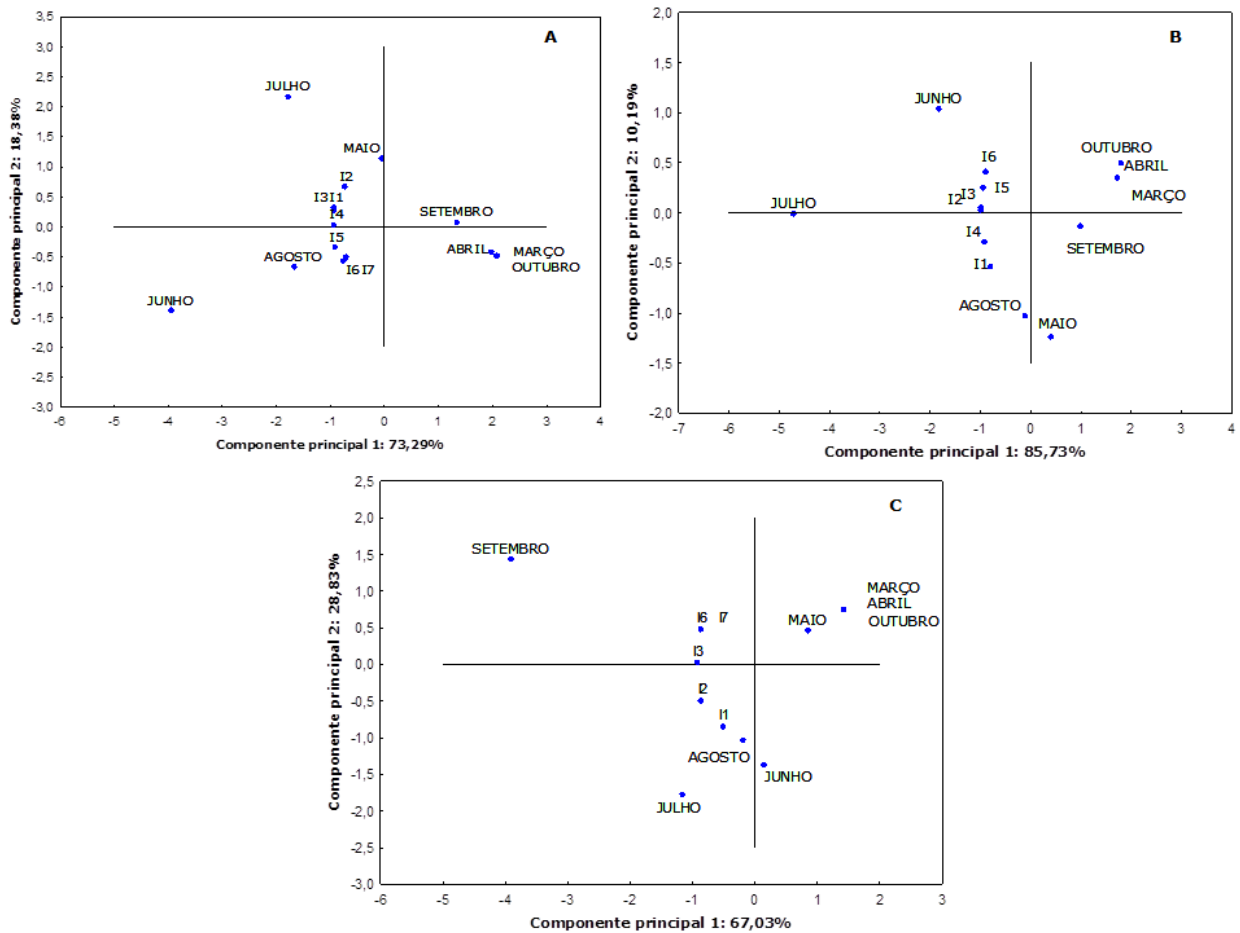
Fonte: Autores (2020).

As duas primeiras componentes principais (ACP1 e ACP2) representaram 91,67% da variabilidade dos dados. Para períodos de neutralidade climática a análise alocou todas as variáveis do lado negativo do componente principal um, onde os meses de maio, junho, julho e agosto denotam maior ocorrência de geadas nas diferentes intensidades (Figura 4A).

Durante períodos de neutralidade climática os meses de março, abril, setembro e outubro apresentaram as menores frequências de geadas para todas as intensidades. O mês de julho foi o que apresentou a maior ocorrência das intensidades um, dois, três e quatro (fraca, moderada, mediana e forte, respectivamente), enquanto o mês de junho apresentou o maior

número de ocorrência das intensidades cinco, seis e sete (muito forte, extremamente forte e excepcional), (Figura 4A).

**Figura 4.** Análise de componente principal dos meses nos fenômenos em relação a intensidade da geada em Neutralidade (A), La Niña (B) e El Niño (C).



Fonte: Autores (2020).

As duas componentes principais para o fenômeno de La Niña representam 95, 92% da variabilidade dos dados (Figura 4B). Neste caso a análise alocou todas as variáveis do lado negativo do componente principal um. Deste modo os meses de junho, julho e agosto denotam ser os de maior número de ocorrência de geadas para todas as intensidades consideradas. Os meses de março, abril, maio, setembro e outubro apresentaram as menores frequências de ocorrências de geadas para todas as intensidades. Pontualmente destaca-se os mês de julho, por apresentar o maior número de ocorrência de geadas para todas as intensidades.

Observando os meses correlacionados com as maiores intensidades (de 4 a 7) nota-se que em neutralidade o período de ocorrência de geadas mais intensas vai de maio a agosto, enquanto que em La Niña ocorre redução desse período, de junho a agosto, porém a fase fria do ENOS apresenta simultaneamente eventos de geadas antecipados em relação ao El Niño (Müller et al., 2000).

Em El Niño os meses de julho, agosto e setembro, denotam ser os de maior ocorrência de geadas. Nesta fase, geadas de intensidades três, seis e sete (mediana, extremamente forte e excepcional, respectivamente), apresentaram maior ocorrência no mês de setembro, enquanto que as de intensidades um e dois (fraca e moderada), tiveram maior frequência nos meses de julho e agosto. Pontualmente o mês de setembro destaca-se pela ocorrência de geadas com as maiores intensidades.

Com base nos dados gerais, e independente da fase ENOS, os meses de março e outubro apresentaram somente geadas de intensidade 1, com eventos de intensidade 2 ocorrendo entre maio e setembro. Geadas com intensidade superior apresentam ocorrência aproximada a 15%, 9%, 4%, 2,5 e 2,5% para as intensidades 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

Gobo et al. (2018) salientam estudos que indicam a necessidade de melhor compreensão das características climáticas associadas a previsão de ocorrência de geadas. Neste sentido, as avaliações realizadas considerando as diferentes fases ENOS contribuem para melhorar o entendimento dos riscos de ocorrência de geadas, levando-se em consideração Grimm et al. (2000), que descrevem que a previsão de estabelecimento de El Niño e La Niña, e as transições em períodos de neutralidade, tem crescente previsibilidade com meses de antecedência. Para Alexander e Hayman (2008), a associação das características das fases ENOS com as condições locais, são ferramentas importantes para a serem empregadas para a geração de informações inerentes aos riscos de geadas.

Neste sentido, estudos regionalizados, associando características locais com as oscilações do ENOS e frequência de geadas, podem possibilitar redução de impactos com planejamento mais preciso de atividades de risco inerente as geadas, especialmente na agropecuária. Para Wrege et al. (2018), a geada é responsável pela maior parte dos sinistros agrícolas ocorrentes no Centro-Sul do Brasil. Já Caramori et al. (2001) salientam que no estado do Paraná a geada e deficiência hídrica são os principais eventos responsáveis pelas perdas agrícolas de culturas anuais e perenes. Diante do exposto, os resultados deste trabalho apresentam potencial de contribuição para aplicabilidade prática de dados climáticos, não somente na região de estudo, mas potencialmente para outras regiões de ocorrência de geadas.



#### **4. Conclusões**

A partir dos resultados considerando a ocorrência de geadas na região de Guarapuava-PR conclui-se que:

Períodos de neutralidade climática são predominantes em relação as fases extremas do ENOS e apresenta maior frequência de eventos de geadas. Nesta condição a frequência de geadas é de 67% em relação 20% e 13% em La Niña e El Niño, respectivamente.

O histórico de eventos de geadas na região engloba o período de março (exceto em neutralidade) a outubro. Independente da fase ENOS, os meses de junho e julho apresentam a maior frequência de geadas e março, abril e outubro as menores.

O período de maior ocorrência de geadas está entre maio e setembro, sendo a frequência aproximada de 33, 62, 62, 62 e 46% em El Niño, 60, 76, 81, 69 e 60 % em neutralidade e de 71, 83, 75, 50 e 40% em La Niña, para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, respectivamente.

Em geral predomina a ocorrência de geadas de intensidade 1, e com menor frequência de intensidades 2 e 3. Eventos de geadas mais severas, de intensidades superior a 3, em neutralidade climática ocorrem entre maio a agosto, em La Niña entre junho a agosto e em El Niño apresentam maior frequência no mês de setembro.

Considerando o cenário atual, de propensão as geadas de algumas atividades relevantes, como por exemplo a agricultura, os resultados deste trabalho apresentam potencial de contribuição para aplicabilidade prática de dados climáticos, não somente na região de estudo, mas potencialmente para outras regiões de ocorrência de geadas, visando melhores épocas de cultivo. Além de contribuir para trabalhos futuros que busquem investigar a distribuição de ocorrência de fenômenos climáticos associados ao ENOS através da análise estatística multivariada.

#### **Agradecimento**

Agradecimento a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, fornecendo bolsa de mestrado, suporte financeiro 001.

## Referências

Aguiar, D., & Mendonça, M. (2004). Climatologia das Geadas em Santa Catarina. In: *I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, Florianópolis, Brasil.

Alexander, B., & Hayman, P. (2008). Can we use forecasts of El Nino and La Nina for frost management in the Eastern and Southern grains belt? In: *Proceedings of the 14th Agronomy Conference*, Adelaide, Australia.

Alvares, C. A., Sentelhas, P. C., & Stape, J. L. (2018). Modeling monthly meteorological and agronomic frost days, based on minimum air temperature, in Center-Southern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1): 177-191.doi:10.1007/s00704-017-2267-6

Alves, M. P. A., Silveira, R. B., Minuzzi, R. B., & Franke, A. E. (2017). The Influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on Cold Waves and Occurrence of Frosts in the State of Santa Catarina, Brazil. *Climate*, 5(1), 1-13.doi:10.3390/cli5010017

Araújo, W. S., & Brito, J. I. B. (2011). Indices of trends of climatic changes for the states of the Bahia and Sergipe by means of daily precipitation indices and its relation with SST'S of the Pacific and Atlantic. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(4), 541-554.doi:10.1590/S0102-77862011000400004

Berlato, M. A., Farenzena, H., & Fontana, D. C. (2005). Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(1), 423-432.doi:10.1590/S0100-204X2005000500001

Bhering, S. B., Santos, H. G., Manzatto, C. V., Bognola, I., Fasolo, P. J., Carvalho, A. P., Potter, O., Aglio, M. L. D., Silva, J. S., Chaffin, C. E., & Carvalho Junior, W. (2013). *Mapa de solos do Estado do Paraná*. Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná. Rio de Janeiro, 2013, 74 p.

Bueno, J. C. M., Jadoski, S. O., Lima, V. A., & Bueno, N. M. M. (2020). Fases do Enos e características da precipitação pluvial e temperatura na região de Guarapuava, Sul do Brasil. *Research, Society and Development*, 9(5), 1-21 a.doi:10.33448 / rsd-v9i5.3117

Bueno, J. C. M., Jadoski, S. O., & Lima, V. A., (2020). Estudo de características climáticas da região de Guarapuava por meio de análise de série temporal e modelagem ARIMA. *Research, Society and Development*, 9(5), 1-18 b.doi:10.33448 / rsd-v9i5.3119

Caramori, P. H., Caviglione, J. H., Wrege, M. S., Gonçalves, S. L., Androcioli Filho, A., Sera, T., Chaves, J. C. D., & Koguish, M.S., (2001). Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9(3): 486-494.doi: 10.1590/S1806-66902010000300004

Chattopadhyay, R., Shivsaiajit, D., & Goswami, B. N., (2019). A Modal Rendition of ENSO Diversity. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.doi:10.1038/s41598-019-50409-4

Collazo, S., Barrucand, M., & Rusticucci, M. (2019). Variability and predictability of winter cold nights in Argentina. *Weather and Climate Extremes*, 26(1): 1-15.doi: 10.1016 / j.wace.2019.100236

Costa, C., & Andrade, A. R. (2017). Dinâmica da precipitação pluviométrica na cidade de Guarapuava, PR: Condicionantes locais e regionais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21(1), 205-224.doi:10.5380/abclima.v21i0.51625

Ferreira, D. B. (2006). *Relação entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Ferreira, R. N. (2005). O que é o El niño. *Revista Eco 21*, XV(101): 1. Recuperado de [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas\\_climaticas/artigos/o\\_e\\_o\\_el\\_nino.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas_climaticas/artigos/o_e_o_el_nino.html)

Frederiks, T. M., Christopher, J. T., Sutherland, M. W., & Borrell, A. K. (2015). Post-head-emergence frost in wheat and barley: defining the problem, assessing the damage, and identifying resistance. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3487–3498.doi: 10.1093/jxb/erv088

- Fuller, M. P., Fuller, A. M., Kaniouras, S., Christophers, J., & Fredericks, T. (2007). The freezing characteristics of wheat at ear emergence. *European Journal of Agronomy*, 26(1), 435–441.doi: 10.1016/j.eja.2007.01.001
- Grimm, A. M., Barros, V. R., & Doyle, M. E., (2000). Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13(1), 35-58.doi: 10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2
- Grimm, A. M., Ferraz, S. E. T., & Gomes, J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11(11), 2863-2880.doi: 10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2
- Grimm, A. M., & Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22(7), 1589-1609.doi:10.1175/2008JCLI2429.1
- Gobo, J. P. A., Domingues, I. A. S., Galvani, E., & Wollmann, C. A. (2018). Variabilidade climática em episódios ENOS na produtividade da cana-de-acúcar (*Saccharum ssp.*) no municípios de Cambé e Mirador/PR. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23(14), 72-87.doi: 10.5380 / abclima.v23i0.59977
- Guimarães, D. P., & Reis, R. (2012). Impactos do Fenômeno Enos Sobre a Temperatura no Brasil. *Revista Espinhaço*, 1(1), 34-40.doi:10.5281/zenodo.3968883
- Hsiang, S. M., & Meng, K. C. (2015). “Tropical Economics”. *American Economic Review*, 105(1), 257–61.doi:10.1257 / aer.p20151030
- Jorge, F. V., & Mendonça, F. (2009). O clima da fachada Atlântica Sul do Brasil: Uma atualização introdutória. *Revista Brasileira de Climatologia*, x(x), 119-131.doi:10.5380/abclima.v5i0.50481
- Köppen, W. (1948). *Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra*. Mexico: Fondo de Cultura Economica.
- Lin, J., & Qian, T. (2019). A New Picture of the Global Impacts of El Nino-Southern

Oscillation. *Scientific Reports*, 9(1): 1-7.doi:10.1038/s41598-019-54090-5

Müller, G. V., Nunez, M. N., & Seluchi, M. E. (2000). Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Húmeda region. *International Journal of Climatology*, 20(1), 1619-1637.doi 10.1002 / 1097-0088 (20001115) 20, 133.3.CO; 2-6

Melo-Abreu, J. P. M. (1985). *As Geadas. Conceitos, Génese, Danos e Métodos de Protecção*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.

Molion, L. C. B., Ferreira, N. J., & Meira Filho, L. G. (1981). *O uso de satélites ambientais para o monitoramento de geadas*. INPE, São José dos Campos. Jun (INPE-2128-RPE/352).

Nimer, E. (1990). *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE-Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration (2019). *Climate Prediction Center*. U.S.A. 2019. Recuperado de <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>.

Oliveira, D., & Borrozzino, E. (2017). Risco de geadas e ocorrência de horas de frio abaixo de 7°C em Londrina, Guarapuava e Palmas, no estado do Paraná. *Agrometeoros*, 25(2): p.333-337. Recuperado de <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/viewFile/26068/14089>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Perreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria, RS: UFSM.

Pezzi, L. P., & Cavalcanti, I. F. A. (2001). The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, 17(1), 205-212.doi: 10.1007/s003820000104

Rao, V. B., & Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(1), 81-90.doi:10.1007/BF00868215

Ray, D. K., Gerber, J., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6(1), 1-9.doi: 10.1038/ncomms6989

Ropelewski, C. H., & Halpert, S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115(1), 1606-1626.doi:10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2

Ropelewski, C. H., & Halpert, S. (1989). Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2(3), 268-284.doi: 10.1175/1520-0442(1989)002<0268:PPAWTH>2.0.CO;2

Salton, F. G., Morais, H., Caramori, P. H., & Borrozzino, E. (2016). Climatologia dos Episódios de Precipitação em Três Localidades no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4), 626-638.doi:10.1590/0102-7786312314b20150108

Siebert, S., Webber, H., & Rezaei, E. E. (2017). Weather impacts on crop yields - searching for simple answers to a complex problem. *Environmental Research Letters*, 12(1), 1-3.doi:10.1088 / 1748-9326 / aa7f15

Snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. P. (2005). *Frost protection: fundamentals, practice and economics*. Rome: FAO.

Wang, C. (2018). A review of ENSO theories. *National Science Review*, 5(1), 813-825.doi: 10.1093/nsr/nwy104

Wrege, M. S., Fritzsons, E., Soares, M. T. S., Praela-Pântano, A., Steinmetz, S., Caramori, P. H., Radin, B., & Pandolfo, C. (2018). Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22(1), 524-553.doi: 10.5380/abclima.v22i0.57306

Wrege, M. S., Steinmetz, S., Reisser Junior, C., & Almeida, I. R. (2012). *Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.

Yeh, S.-W., Kug, J.-S., Dewitte, B., Kwon, M.-H., Kirtman, B. P., & Jin, F.-F. (2009). El Niño in a changing climate. *Nature*, 461(1), 511–514.doi:10.1038/nature08316

Zhang, W., Li, H., Stuecker, M. F., Jin, F.-F., & Turner, A. G. (2016). A new understanding of El Niño's impact over East Asia: Dominance of the ENSO combination mode. *Journal of Climate*, 29(1), 4347–4359.doi:10.1175/JCLI-D-15-0104.1

Zubair, L. (2012). El Niño Southern Oscillation influences on rice production in Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 22(1), 249-260.doi:10.1002 / joc.714

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Natana Maria Metinoski Bueno – 40%

Sidnei Osmar Jadoski – 20%

Vanderlei aparecido de Lima – 20%

Janaina Cosmedamiana Metinoski Bueno – 20%