

Riscos de geadas em cultivos de batata na região de Guarapuava-PR em diferentes fases do ENOS

Risks of frost in potato crops in the region of Guarapuava-PR in different phases of ENSO

Riesgos de helada en cultivos de patata en la región de Guarapuava-PR en diferentes fases de ENOS

Recebido: 04/11/2020 | Revisado: 08/11/2020 | Aceito: 11/11/2020 | Publicado: 15/11/2020

Natana Maria Metinoski Bueno

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

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: natanamariametinoski@outlook.com

Sidnei Osmar Jadoski

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

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: sjadoski@unicentro.br

Janaina Cosmedamiana Metinoski Bueno

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

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: janainametinoski@gmail.com

Resumo

A condução de cultivos em condições de baixa previsibilidade da variabilidade climática pode ser considerado como um elemento de redução expressiva dos resultados de produção. A batata é definida como uma cultura sensível ao frio intenso, e no Sul do Brasil o ciclo de cultivo pode ocorrer em período de risco de eventos de geada. O estudo objetivou avaliar os riscos de ocorrência de geadas de diferentes intensidades durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da batata em Guarapuava-PR, em diferentes períodos de cultivo nas distintas fases do ENOS. Utilizou-se série histórica de dados climáticos de 43 anos, entre 1976 e 2018. As análises foram realizadas com estatística descritiva utilizando-se índices de porcentagem e normalização de conjunto de dados. Os dados foram agrupados em períodos decenciais para os meses de agosto a outubro e março a maio, em que existe frequência de geadas e possibilidade de lavouras de batata em desenvolvimento no campo. Dentre os principais

resultados verificou-se que o período de plantio, com minimização dos riscos de ocorrência de geadas para a cultura na região de Guarapuava, é compreendido entre 21 de setembro e 31 de janeiro em ambas as fases do ENOS, El Niño e La Niña e neutralidade climática. De forma geral o cultivo de batata em anos de neutralidade está sujeito à maiores riscos de perdas por ocorrência de geadas quando comparados com o plantio em anos de fenômeno El Niño e La Niña.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*; ENOS; Baixas temperaturas; Sul do Brasil.

Abstract

The cultivation of crops under conditions of low predictability of climatic variability can be considered as an element of significant reduction in production results. The potato is defined as a crop that is sensitive to intense cold, and the cultivation cycle can occur in a period of risk of frost events. In the south of Brazil in different phases of the ENSO (El Niño-Southern Oscillation), La Niña, El Niño or in climatic neutrality, oscillations occur in climatic normals, including minimum temperatures. Thus, the study aimed to assess the risks of the occurrence of frosts of different intensities during the potato crop development cycle, at different planting periods in Guarapuava-PR, in different ENSO phases and in climate neutrality. A 43-year historical series of climatic data between 1976 and 2018 was used. The analyzes were performed using descriptive statistics using percentage indexes and normalization of the data set. The data were grouped in december periods for the months of August to October and March to May, when there is a frequency of frosts and the possibility of potato crops under development in the field. Among the main results it was found that the planting period, with the minimization of the risk of frosts occurring in the potato crop for the region of Guarapuava, is comprised between September 21 and January 31 in both phases of ENSO, El Niño and La Niña and Climate neutrality. In general, potato cultivation in years of neutrality is subject to greater risks of losses due to frost when compared to planting in years of El Niño and La Niña phenomenon.

Keywords: *Solanum tuberosum*; ENSO; Low temperatures; Brazil south.

Resumen

El cultivo de cultivos en condiciones de baja previsibilidad de la variabilidad climática puede considerarse un elemento de reducción significativa de los resultados de producción. La papa se define como un cultivo sensible al frío intenso, y el ciclo de cultivo puede ocurrir en un momento de riesgo de eventos de heladas. En el sur de Brasil, en diferentes fases de ENOS

(El Niño- Oscilación del Sur), La Niña, El Niño o en la neutralidad climática, las oscilaciones ocurren en condiciones climáticas normales, incluidas las temperaturas mínimas. Así, el estudio tuvo como objetivo evaluar los riesgos de ocurrencia de heladas de diferentes intensidades durante el ciclo de desarrollo del cultivo de papa, en diferentes momentos de siembra en Guarapuava-PR, en diferentes fases de ENOS y en neutralidad climática. Se utilizó una serie histórica de 43 años de datos climáticos entre 1976 y 2018. Los análisis se realizaron mediante estadística descriptiva mediante índices porcentuales y normalización del conjunto de datos. Los datos se agruparon en los períodos de diciembre a los meses de agosto a octubre y de marzo a mayo, cuando existe frecuencia de heladas y posibilidad de desarrollar cultivos de papa en el campo. Entre los principales resultados se encontró que el período de siembra, con la minimización del riesgo de heladas en el cultivo de papa para la región de Guarapuava, está comprendido entre el 21 de septiembre y el 31 de enero en las dos fases de ENOS, El Niño y La Niña y la neutralidad climática. En general, el cultivo de papa en años de neutralidad está sujeto a un mayor riesgo de pérdidas por heladas en comparación con la siembra en años de El Niño y La Niña.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*; ENOS; Bajas temperaturas; Sur de Brasil.

1. Introdução

As medições de impacto da variabilidade climática na agricultura evoluíram significativamente nos últimos anos, entretanto as perturbações sistemáticas no padrão climático afetam o desempenho produtivo e econômico das atividades agrícolas (Tack & Ubilava, 2015; Ubilava et al., 2011).

Guarapuava está entre os principais produtores de batata (*Solanum tuberosum* L.) do Brasil, com uma área plantada de 2.450 ha, e na microrregião de entorno esta área é superior a 5.000 ha), a cultivar mais plantada é a Ágata (90% da área), com produção anual de aproximadamente 100 mil toneladas (IBGE, 2019). Com plantio entre os meses de setembro até início de fevereiro (Silva et al., 2013).

Apesar de ser produzida em várias regiões do Brasil, a batata apresenta uma faixa de temperatura considerada ótima para o cultivo situada entre 10°C e 30°C. Fora destes limites ocorre significativa inibição no desenvolvimento dos tubérculos (EMBRAPA, 2020).

A batata é uma espécie considerada sensível à geada, propensa a lesões por congelamento e incapaz de aclimação ao frio. Pouco tempo de exposição à geada pode reduzir significativamente o rendimento, enquanto geadas intensas podem destruir

completamente plantas e safras inteiras (Kim et al., 2016). As principais regiões produtoras estão localizadas em zonas de clima frio, o que acaba tornando a geada um problema recorrente para esta cultura (Vega & Bamberg, 1995), já que as plantas de batata são significativamente afetadas pela geada, com danos perceptíveis na área foliar e redução na produção de fotoassimilados (Francois et al., 1999).

Thomas et al. (2020), descreveram os estádios de desenvolvimento do ciclo da cultura da batata, dividindo-os em cinco estádios: 1) Desenvolvimento do broto (0-20 DAP), 2) Estolonização (20-50 DAP), 3) Tuberação (40-60 DAP), 4) Enchimento dos tubérculos (55-100 DAP), 5) Maturação/Senescência (80-100 DAP), sendo a colheita realizada a partir de 100-110 DAP. Kim et al. (2016) salientam que a batata é uma cultura altamente sensível a temperaturas negativas durante praticamente todo o seu ciclo vegetativo, sendo que os danos na produção diminuem à medida que os tubérculos estejam desenvolvidos, próximos à época da colheita.

Condori et al. (2014) buscando avaliar a resistência de diferentes genótipos de batata ao frio, constataram que as maiores perdas ocorreram em eventos de geada precoce, com reduções de rendimento médio variando de 70 a 100% quando ocorridas em 30 e 70 DAE, aproximadamente. No caso da geada tardia, posterior a 70 DAE, a redução no rendimento pode chegar a 30% em volume, porém, as perdas econômicas podem ser mais elevadas por perda da qualidade comercial dos tubérculos.

Vários trabalhos têm buscado demonstrar a relação entre a variabilidade da produtividade agrícola e o fenômeno El Niño- Oscilação Sul (ENOS), como já verificado para o milho (Berlato et al., 2005), trigo (Cunha et al., 1999), soja (Berlato & Fontana, 2003) e arroz (Carmona & Berlato, 2002). Porém, ainda são raros os estudos que avaliem essa relação para a cultura da batata.

Os agricultores podem ajustar suas decisões de períodos de plantio para reduzir os impactos da variabilidade climática e evitar ou diminuir perdas causadas por geadas, se dispuserem de informações acerca do risco de ocorrência de geadas nas diferentes fases do ENOS para planejamento do cultivo. Considerando Adams et al. (2003), provavelmente ajustes desta natureza terão um impacto positivo nas variações do resultado econômico.

O objetivo do trabalho foi avaliar os riscos de ocorrência de geadas de diferentes intensidades durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da batata em diferentes períodos de plantio em Guarapuava-PR para as fases do ENOS (El Niño, La Niña) e neutralidade climática.

2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido considerando o município de Guarapuava e seus entornos, localizado na região Centro-Sul do estado do Paraná, tendo como coordenadas centrais 25° 23' 43"S e 51° 27' 29"W, no Terceiro Planalto do Paraná, com área de 3.168,087 km² (IBGE, 2019). A altitude média em relevo é de aproximadamente 1.150 metros (Costa & Andrade, 2017), com predominância de solo do tipo Latossolo Bruno.

O clima na região de Guarapuava é do tipo Cfb (Subtropical Úmido Mesotérmico), segundo classificação de Köppen-Geiger (1928), sem estação seca e a média do mês de menor temperatura é inferior a 18°C. A temperatura média anual é de 17°C, enquanto que a precipitação média anual é superior a 1.700 mm (Costa & Andrade, 2017), em geral bem distribuída durante o ano (Salton et al., 2016).

A identificação da ocorrência e classificação dos eventos de geadas pela intensidade em fraca, moderada, mediana, forte, muito forte, extremamente forte e excepcional, de acordo com a temperatura mínima de relva, foi realizado conforme apresentado por Aguiar & Mendonça (2004), (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da intensidade da geada.

Temperatura mínima (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 & Mendonça, (2004).

A série histórica de dados avaliados compreende 43 anos, do período entre 01 de janeiro de 1976 a 31 de dezembro de 2018. Utilizando o método quantitativo (Pereira et al., 2018), os dados foram arranjados em conjuntos, e em sequência submetidos à análise de estatística de posição. A análise estatística de posição já foi empregada em trabalhos que avaliaram a ocorrência de fases ENOS (Bueno et al., 2020).

Foram utilizados dados diários de temperatura mínima de relva, obtidos do banco de dados da estação meteorológica da UNICENTRO-IAPAR e tendo como suporte para ajuste em período de deficiência de dados os arquivos disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

O estudo foi desenvolvido considerando a cultivar Ágata que apresenta o ciclo de cultivo de aproximadamente 100 dias entre o plantio e a colheita. As avaliações levaram em conta um período de 80 dias do ciclo vegetativo como passível de dano por geadas. Excluindo-se o primeiro e o último decêndios, em que ocorrem os processos de brotação dentro do solo, e a fase final de enchimento e maturação dos tubérculos, respectivamente, sendo que nesta última os produtores realizam dessecação química da parte aérea como preparo para a colheita.

O período convencional de plantio de batata na região de Guarapuava está entre 20 de setembro, conforme definido pelo zoneamento agroclimático (IAPAR, 2003) e o final do mês de janeiro, a partir do conhecimento prático dos produtores e assistência técnica. Sendo assim, neste estudo, plantios anteriores a 20 de setembro foram considerados como *antecipados* e plantios posteriores a 31 de janeiro como *tardios*. Os meses de junho e julho são absolutamente descartados do calendário de cultivo de batata na região, por isso não foram considerados neste estudo.

Para determinação dos riscos de geada, foram considerados os eventos de geada ocorridos, as frequências de suas intensidades e o número de eventos nos diferentes decêndios de cada mês, analisados em relação ao período total, em eventos ocorridos em cultivos de inverno-primavera (a partir de 01 de agosto) e verão-outono (anteriores a 31 de maio).

Para interpretação de resultados a frequência média de ocorrência de geadas foi subdividida classificando em níveis de risco entre zero e 100% com intervalos a cada 10%, adaptado a partir de Wrege et al. (2018). Sendo que zero representa a não ocorrência de geada e 100%, o máximo risco de ocorrência de geada no decêndio (Tabela 2).

Tabela 2. Delimitação de faixas de frequências de geadas.

Frequência (%)	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100
Nível (risco)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fonte: Wrege et al., (2018).

O índice proporcional de risco de geadas foi determinado a partir do somatório total dos riscos no período considerado (inverno-primavera ou verão-outono), considerando a data de plantio e tomando como referência a fase ENOS que apresentou o maior somatório total. Sendo assim, os resultados apresentam o valor percentual definido pelo quociente entre o somatório parcial do risco ainda remanescente de geadas até o final do ciclo de cultivo, a partir de um em determinado decêndio e fase do ENOS e o risco total da fase ENOS de referência em comparação entre El Niño, La Niña e neutralidade climática.

As análises considerando estatística descritiva foram realizadas conforme Santos (2007), utilizando-se índices de porcentagem e normalização de conjunto de dados.

3. Resultados e Discussão

Análises do período inverno-primavera

Os resultados da frequência de ocorrência de geadas, para os diferentes fenômenos, El Niño, La Niña, e neutralidade, incluindo também a ocorrência de mais de uma geada, o número médio de eventos e a intensidade provável para o período de desenvolvimento da cultura da batata no campo em função da data de plantio, no final do inverno e início da primavera são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Frequência de geadas, número e intensidade provável no período de agosto a outubro em Guarapuava-PR, nas diferentes fases do ENOS.

Mês	ENOS	Frequência (%)			Número médio			Intensidade mais provável (%)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Decêndio								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ago	N	52	56	52	1,8(54)	2,2(50)	2,5(70)	1(56)	1(42)	1(34)
	LN	30	12	12	1,7(67)	2(67)	1,7(67)	1(60)	1(50)	1(60)
	EN	62,5	50	12,5	1,6(40)	1,6(40)	1	1(87)	1,2(50)	2(100)
Set	N	35	60	35	1,3(15)	1,5(33)	1,1(14)	3(44)	1(39)	1(50)
	LN	40	20	-	1,8(50)	1	-	1(71)	1,2(50)	-
	EN	30,8	15,4	7,7	2,5(50)	1,5(50)	1	1(40)	1,2,3(33)	1(100)
Out	N	6,3	-	-	-	-	-	1(100)	-	-
	LN	8,3	-	-	1	-	-	-	1(100)	-
	EN	-	6,7	-	-	1	-	-	1(100)	-

N=neutralidade, LN = La Niña, EN = El Niño. Entre parêntese: probabilidade (%)

Fonte: Autores, (2020).

Wrege et al. (2018) descrevem que os maiores riscos de geadas no estado do Paraná chegam a 83%, porém consideram níveis de risco de aproximadamente 60% como altos e superiores, muito altos.

A redução no número de geadas e de suas intensidades no mês de outubro (Figura 3), ocorre devido a estação de primavera apresentar elevação das temperaturas (Alvares et al., 2013), tanto mínimas quanto máximas, reduzindo progressivamente a ocorrência de geadas (Back et al., 2012; Liu et al., 2018).

A respeito de ocorrência de mais de uma geada concentrada no mesmo decêndio, conforme Liu et al. (2018) entende-se que quanto maior o estresse térmico maior será o risco para cultura. Para dias consecutivos de frio com mínimas extremas, Rusticucci & Vargas (2001) definem como período de temperaturas anômalas, consideradas comuns em outono/inverno que afetam mais intensivamente a região Sul do Brasil.

Nota-se a prevalência de geadas mais amenas, especialmente de intensidade 1 durante a fase quente do ENOS (Figura 3). Isso deve-se ao fato da fase de El Niño caracterizar-se pelo aumento das temperaturas (Firpo et al., 2012), elevando assim as temperaturas dos meses de inverno.

A fase de fria do ENOS caracteriza-se pela diminuição da temperatura (Cai et al., 2014) na América do Sul, cenário que elevaria a ocorrência de geadas e ao aumento na suas intensidades.

Comparativamente entre as fases do ENOS, no mês de agosto em neutralidade ocorre frequência de risco 5 (41 – 50%) para geadas nos três decêndios do mês. Diferindo de El Niño cujo primeiro decêndio apresenta risco de geadas 7 (60-70%), o segundo decêndio risco 5 (40 a 50%) e o terceiro com redução para risco 2 (10-20%). Já em La Niña a frequência de geadas é inferior aos demais, sendo de risco 3 (20-30%) no primeiro e de 10-20% no segundo e terceiro decêndios, respectivamente (Tabela 3).

No mês de agosto o número médio de eventos é superior em neutralidade, decrescendo ligeiramente para El Niño e La Niña, respectivamente. Destaca-se a média de 2,5 eventos com 70% de frequência no terceiro decêndio em La Niña e de somente um evento em El Niño neste mesmo período. Neste mesmo mês a intensidade provável é de geada do tipo 1, destacando-se eventos do tipo 2 no segundo e terceiros decêndios em El Niño. Observou-se que o evento de maior intensidade foi geada do tipo 5 que ocorre no segundo decêndio em condições de neutralidade, porém com frequência relativamente baixa (19%), (Tabela 3).

Uma explicação provável para a ocorrência de eventos de geadas de maiores intensidades em períodos de neutralidade climática, conforme avaliado no estudo, está

relacionado ao fato, de esta fase ser instável e não apresentar um padrão estabelecido do comportamento de suas variáveis, podendo assim, ocorrer eventos extremos como na precipitação (Pedreira Junior et al., 2020). Maiores números de geadas em anos de neutralidade foram encontrados por Müller et al. (2003), em situações com um centro de baixa pressão localizado no nordeste da área continental, simultaneamente com um sistema de baixa pressão acentuado em latitudes altas, favorecendo as condições mais frias e ocorrência de geadas.

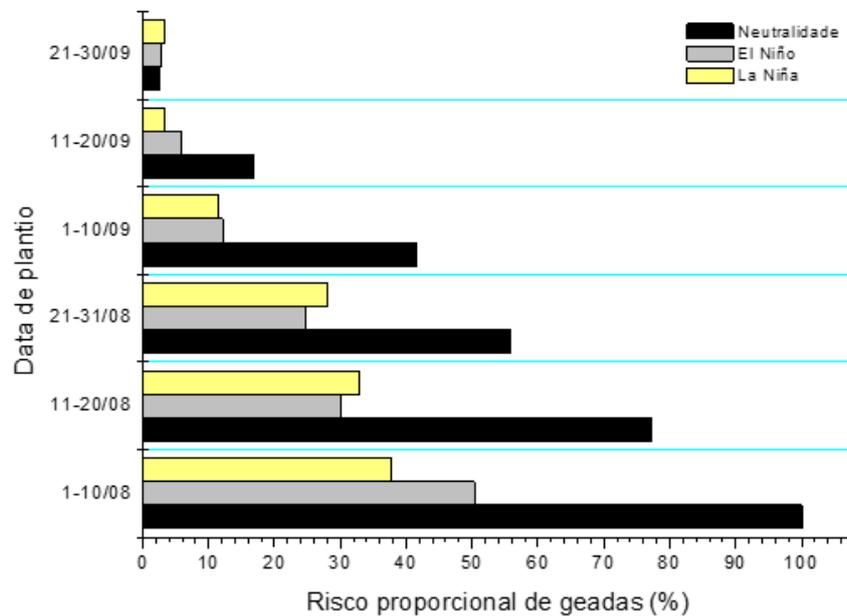
A partir dos dados da Tabela 3 nota-se que no mês de setembro as maiores frequências de geada ocorrem em neutralidade, com risco 6 (50 a 60%) no segundo decêndio do mês, associado com média de 33% de frequência de 1,5 eventos de geada. Já em condições de El Niño e La Niña observou-se prevalência de risco 4 (30 a 40%) e frequência decrescente de eventos de geada nos decêndios ao longo do mês. Neste caso, o primeiro decêndio apresenta comparativamente o maior risco de geadas, com 50% de frequência de 1,8 eventos em La Niña e de 2,5 eventos em El Niño. Destacando-se também a ocorrência de geadas dos tipos 3 e 4 com frequências superiores a 30% em diferentes fases do ENOS, salientando-se que os eventos mais intensos e com riscos relativamente expressivos de ocorrência tem maior frequência no mês de setembro em relação a agosto.

Alvares et al. (2018) estudando a ocorrência de geadas na região centro-sul do Brasil, também verificaram geadas intensas no mês de setembro. Os mesmos autores ainda evidenciam que um número maior de geadas nesse período ocorre principalmente nas regiões de clima Cfb, como é o caso da região de Guarapuava.

Observa-se ainda na Tabela 3 que no período de agosto a outubro as intensidades mais prováveis são de 81,7%, 11,7% e 6,7% para eventos de geadas dos tipos 1, 2 e 3, respectivamente, com distinção inexpressiva entre as fases do ENOS. Na análise da série histórica de dados, verificou-se o registro de um evento de geada do tipo 7 (excepcional) derivada de temperatura ≤ -12 °C, no mês de setembro, em período de El Niño, fato que segundo Alvares et al. (2018), pode ocorrer na região Sul, e segundo Wrege et al. (2012), é esperado principalmente em locais com altitude média superior a 1.029m, como o caso da região de Guarapuava, porém com extrema raridade.

Na Figura 1 são apresentados dados do risco proporcional acumulado de geadas paulatinamente remanescente no ciclo de cultivo da batata, para plantios em diferentes decêndios ao longo do período entre agosto e outubro, visando comparação entre as fases do ENOS, simultaneamente em que mostra que a condição de neutralidade apresenta os maiores riscos.

Figura 1. Risco proporcional de ocorrência de geadas durante o ciclo vegetativo para o plantio de batata nos meses de agosto a outubro em Guarapuava-PR nas diferentes fases do ENOS.



Fonte: Autores, (2020).

A Figura 1, evidencia o risco proporcional de geadas em condições de neutralidade climática e para as fases opostas do ENOS com o passar dos decêndios para o plantio de batata entre agosto e setembro.

Para o plantio realizados no primeiro decêndio de agosto o risco de ocorrência de geadas em fases posteriores é 50% menor em La Niña e 60% menor em El Niño, em relação a neutralidade (Figura 1). Para plantios nos demais decêndios de agosto ocorre sequencial redução do risco potencial acumulado, entretanto em período de neutralidade os índices são aproximadamente 60% mais elevados. Estes resultados ocorrem de forma similar para o primeiro decêndio de setembro, contudo cultivos em períodos de neutralidade detém proporcionalmente ainda 45% dos riscos acumulados de geada, contra apenas 15% em relação à El Niño e La Niña, aproximadamente.

Ainda na Figura 1 pode ser observado que para o plantio no segundo decêndio de setembro os riscos ainda remanescentes de geada são reduzidos, porém em Neutralidade os riscos se mantêm ainda amplamente superiores a El Niño e La Niña, considerando a possibilidade de eventos no terceiro decêndio de setembro e ainda no primeiro decêndio de outubro para La Niña e Neutralidade e no segundo decêndio para El Niño.

A partir destes resultados, fica evidente que o cultivo de batata com plantio antecipado para datas anteriores a 20 de setembro, apresenta riscos aproximadamente 100% mais elevados de ocorrência de geadas em períodos de neutralidade climática, em relação ao cultivo nas fases de El Niño e La Niña. Além de que, em ambas as fases do ENOS, quanto maior for a antecipação do plantio, maiores serão os riscos de ocorrência de geadas. Em neutralidade os índices de frequência e intensidades de eventos são mais elevados, contudo, mesmo que em El Niño e La Niña as frequências e intensidades sejam menores, os riscos mais elevados no primeiro decêndio de setembro representam uma limitação a ser considerada para a decisão de plantio antecipado.

Os resultados encontrados para a fase de neutralidade estão de acordo com o trabalho recente de Lin & Qian (2019), que evidenciam que os anos neutros não são “neutros” em si, de forma que apresentam anomalias extremas de temperatura de superfície do mar e anomalias significativas na temperatura do ar e na precipitação em todos os continentes. Nessa perspectiva seria comum a ocorrência de geadas, conforme verificado na região de estudo.

Neste contexto, verifica-se que a antecipação de plantio para o primeiro decêndio de setembro, em períodos de El Niño e La Niña representa uma opção de menor risco de perdas posteriores por geada em relação a neutralidade, entretanto em ambos os casos podem ocorrer danos à cultura caso ocorram geadas nos períodos posteriores de setembro, ou tardias em outubro, afetando a estolonização e a tuberação, quando as plantas estão próximas ao máximo desenvolvimento vegetativo da parte aérea.

Análises do período verão-outono

Os resultados das avaliações de risco decenal de ocorrência de geadas para fases do ENOS, El Niño, La Niña, e neutralidade climática, incluindo o número médio de eventos e a intensidade provável para o plantio de batata no final da primavera e no verão, com ciclo vegetativo no verão e outono são apresentados na Tabela 4.

Com base nos dados da Tabela 4, podemos observar que em períodos de El Niño, existe histórico de ocorrência de geadas consideradas precoces, com frequência ainda na estação do verão, no segundo decêndio do mês de março, com risco de 11 a 20% para em média um evento de intensidade 1. Em períodos de La Niña, existe também histórico de frequência de geadas, já no primeiro decêndio de março, embora com risco 1, inferior a 10% para geadas de intensidade 1, índices similares aos verificados no terceiro decêndio do mês.

Tabela 4. Frequência de geadas, número e intensidade provável no período de março a maio em Guarapuava-PR, nas diferentes fases do ENOS.

Mês	ENOS	Frequência (%)			Número médio			Intensidade mais provável (%)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Decêndio										
Mar	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LN	8	-	8	1	-	1	1(100)	-	1(100)
	EN	-	12	-	-	1	-	-	1(100)	-
Abr	N	-	10	14	-	1,3(33)	1	-	1(100)	1(100)
	LN	-	14	-	-	1	-	-	1(100)	-
	EN	-	-	14	-	-	1	-	-	1(100)
Mai	N	26	18	41	2,1(57)	3,2(80)	2,8(54)	2(60)	1(62)	1(48)
	LN	7	7	9	1,7(67)	1,3(33)	1,5(25)	1(100)	1(100)	1(50)
	EN	11	-	33	2	-	1	1,2(50)	-	1(100)

N=neutralidade, LN = La Niña, EN = El Niño. Entre parêntese: probabilidade (%)

Fonte: Autores, (2020).

No mês de abril, não foram registradas geadas no primeiro decêndio nas diferentes fases do ENOS (Tabela 4). Em neutralidade verificou-se risco de 2 (10 a 20%) para ocorrência de geada do tipo 1 no segundo e terceiro decêndios, com 35% de frequência de em média 1,3 eventos no segundo decêndio. Em El Niño foi observada frequência de geadas somente no terceiro decêndio e em La Niña somente no segundo, ambos com risco 10-20% de ocorrência de em média 1 evento com geada de intensidade 1. Estes resultados estão de acordo com pesquisas realizadas no estado de Santa Catarina por Aguiar & Mendonça (2004), que verificaram que em La Niña e El Niño houve incidência de geadas precoces na série de dados avaliada, porém sendo estas de baixa intensidades.

No mês de maio em neutralidade podem ocorrer geadas nos três decêndios, com nível de risco 2 (10-20%) para o primeiro e segundo decêndios e 5 (40-50%) para o terceiro (Tabela 4). Já em El Niño não foi constatada frequência de geadas no segundo decêndio, sendo risco 2 no primeiro e 4 (30-40%) no terceiro. Em La Niña, assim como em neutralidade verificou-se frequência de geadas em todos os decêndios, porém com nível de risco 1 ($\leq 10\%$).

No mês de maio prevalecem geadas de intensidade 1 para ambos os fenômenos, porém em neutralidade existe ocorrência de geadas também de intensidades 2 e 3 em ambos os decêndios, sendo de frequência inferior a 20% no segundo e a 10% no primeiro e terceiro decêndios, respectivamente (Tabela 4). O número médio de geadas em neutralidade varia entre 2 a 3 eventos por decêndio. Em El Niño é de uma geada no primeiro e terceiro

decêndios, porém no segundo decêndio existe 70% de frequência de em médias 2 geadas. Em La Niña o número médio decendial é de aproximadamente 1,5 eventos de geadas, contudo a frequência de mais de um evento se reduz de 70% para 40% e 30% no primeiro, segundo e terceiro decêndios, respectivamente.

Observa-se ainda na Tabela 4 que no período de março a maio existe 89% de frequência de geadas de intensidade 1, seguida por 11% dos eventos com geadas de intensidade 2.

Os resultados obtidos estão de acordo com o trabalho de Oliveira & Borrozzino (2017), que afirmam que as geadas na região de Guarapuava iniciam em geral em abril, ocorrendo elevação do número de eventos no mês de maio. Para Lin & Qian (2019), os riscos de frio intenso em período de neutralidade podem ser justificados pela instabilidade das anomalias ocorridas nesse fase. Collazo et al. (2019) demonstraram que em períodos de Neutralidade, a ocorrência de noites frias na Argentina apresenta altas frequências de frios extremos, sendo esta frequência superior em relação as demais fases do ENOS.

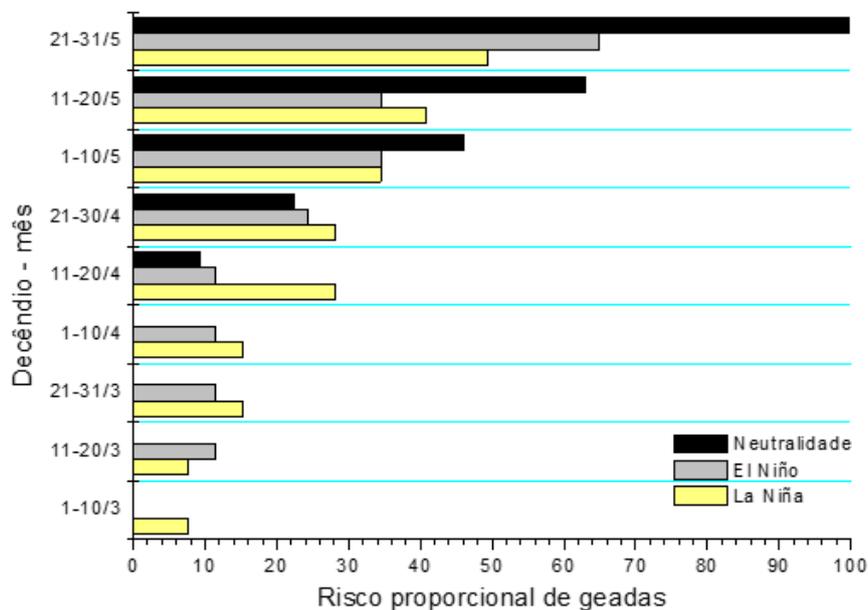
O mês de maio apresenta comportamento diferenciado para as fases opostas do ENOS, sendo que o risco de geadas mais severas eleva-se em condições de La Niña quando comparado com eventos de El Niño (Tabela 4). Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Muller et al. (2000) e de Rusticucci et al. (2017), que relatam respectivamente, uma maior frequência de geadas em cenários de La Niña e uma maior porcentagem de noites mais quentes durante o inverno em fases de El Niño.

Na Figura 2 é apresentado o risco proporcional de ocorrência de geadas nas diferentes Fases do ENOS, com a proporção de risco acumulado até cada determinado decêndio em relação ao maior risco total acumulado até o final do mês de maio, sendo, neste caso, verificado em período de neutralidade.

Na Figura 2, nota-se que em fenômenos de La Niña o risco de geadas é antecipado em relação as demais fases, iniciando no primeiro decêndio de março, enquanto que em El Niño os riscos se iniciam no segundo decêndio do mesmo mês. Já em neutralidade climática os riscos de geadas iniciam-se mais tardiamente em relação aos outros fenômenos e apresentam os maiores riscos para os meses de maio.

Estudos referentes a ocorrência de geadas ao longo dos meses do ano associadas as fases do ENOS são ainda raros. Alexander & Hayman (2008), descrevem uma antecipação da data mediana da última geada nas fases de La Niña em relação as fases de El niño e neutralidade.

Figura 2. Risco proporcional de ocorrência de geadas durante o ciclo vegetativo para o plantio de batata nos meses de março a maio em Guarapuava-PR nas diferentes fases do ENOS.



Fonte: Autores, (2020).

No mês de maio a frequência de eventos de geada passa a ser mais evidente em períodos de neutralidade climática em relação as demais fases. Os riscos em períodos de El Niño passam a ser mais expressivos, igualando-se a La Niña no primeiro decêndio e sendo superiores no terceiro decêndio do mês. Desta forma, a análise da Figura 2 demonstra que durante os meses de março e abril os riscos de geada são baixos e não são verificados para períodos de neutralidade climática, até o segundo decêndio do mês de abril. No mês de maio, em períodos de neutralidade os índices apresentam maior elevação em relação as demais fases do ENOS, e associando esta análise à Tabela 2, nota-se que o El Niño apresenta riscos de eventos de geada mais elevados no último decêndio, o que contribui substancialmente para que o risco proporcional total acumulado seja mais elevado em El Niño em relação a La Niña.

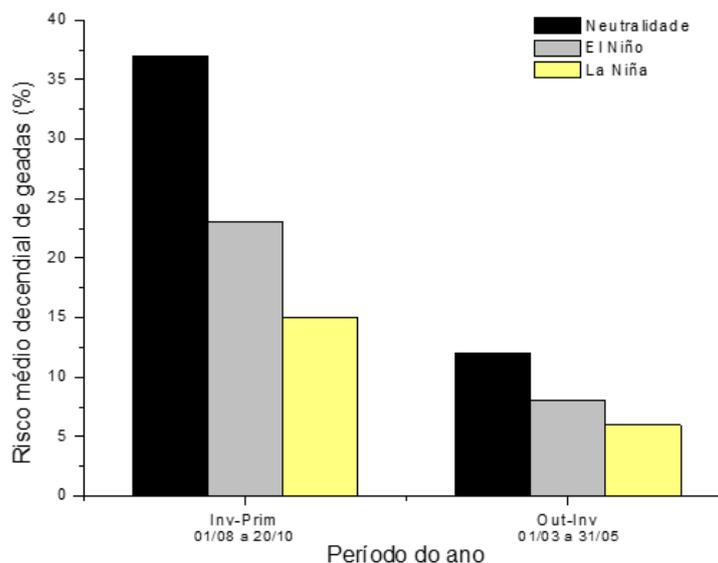
A partir dos resultados entende-se que plantios realizados no período convencional, até 31/01, os índices de risco para a cultura em neutralidade são praticamente nulos, podendo ocorrer perdas devido a geada do tipo 1 aos 80 a 90 dias do ciclo da cultura. Para cultivos com ciclos em La Niña e El Niño, os riscos pontuais de eventos em março e abril são muito baixos, porém é preciso considerar que apresentam frequência de geadas em 3 a 4 decêndios destes dois meses, o que denota riscos superiores ao cultivo em neutralidade. Porém os danos

sobre a cultura podem ser reduzidos devido serem previstas somente geadas do tipo 1, com um único evento por decêndio.

Cultivos cujo ciclo vegetativo adentrem o mês de maio apresentam um risco acumulado maior, sendo mais expressivos para neutralidade e no último decêndio também para El Niño. No mês de maio o risco acresce considerando também as maiores possibilidades de ocorrência de mais de um evento por decêndio e com alguma frequência de intensidades superiores a 2, o que ativa as possibilidades de maiores danos sobre as plantas e na produção, inclusive perdas totais, como sugere o trabalho de Wu et al. (2014).

Na Figura 3 são representados os riscos médios de ocorrência de geadas nos períodos de agosto a outubro (inverno-primavera) e de março a maio (verão-outono), agrupando as diferentes fases do ENOS. Observa-se que tanto conjuntamente quanto de forma individual para as fases de Neutralidade, El Niño e La Niña, o risco de geadas é superior no período inverno-primavera, em comparação a verão-outono. Resultados que estão de acordo com outros apresentados por Sansigolo & Nery (2000). Indicando que os riscos por plantio antecipado em relação a 20 de setembro, são mais elevados em relação aos riscos por plantio tardio durante o mês de fevereiro.

Figura 3. Risco médio decendial de ocorrência de geadas nos períodos de Inverno-primavera e verão-outono em Guarapuava-PR nas diferentes fases do ENOS.



Fonte: Autores, (2020).

Para os resultados gerais observados, nota-se que os eventos de geada ocorrem durante as diferentes fases do ENOS, incluindo El Niño, em que são esperados períodos de com

elevação da temperatura. Neste sentido a relação entre os eventos El Niño e La Niña e os extremos de frio e calor no Cone Sul da América do Sul foram pesquisados por Grimm & Togatlian (2002), que concluíram que o aumento da frequência de eventos severos frios, durante La Niña, é maior do que a diminuição de eventos severos quentes; assim como o aumento da frequência de eventos severos quentes, durante El Niño, é maior que a diminuição de eventos severos frios; a partir disto, Firpo et al. (2012) acrescentam que estes eventos contribuem para aumentar a variabilidade da temperatura diária. Resultados que corroboram para o entendimento de geadas em El Niño na área de estudo, pois o fenômeno tende causar eventos de calor, porém, a redução de eventos de frio não ocorre na mesma proporção.

Atualmente grande parte dos produtores buscam ampliar o período de produção de batata. Tendo em vista que os plantios são realizados de forma escalonada visando colheitas em diferentes períodos, a ampliação do período de produção é almejada a partir da possibilidade de plantios antecipados no inverno, ou tardios no final do verão, sendo que a principal dificuldade encontrada são os riscos de ocorrência de geada durante o ciclo da cultura. Tais dificuldades são evidenciadas por Gobo et al. (2018), que descrevem que a geada é responsável pela maior parte dos sinistros agrícolas no Centro-Sul do Brasil, e segundo Wrege et al. (2018) ocasionam perdas econômicas por longos períodos, por isso, deve ser considerada para o planejamento da produção agrícola.

Neste contexto, os resultados deste trabalho indicam que quando se visa ampliar o período de produção de batata na região de Guarapuava, cultivos tardios, com plantios durante o mês de fevereiro, representam claramente a opção de menor risco em comparação aos índices representados pelo cultivo antecipado no inverno, em qualquer uma das fases do ENOS estabelecida no período. Entretanto, em ambos os casos, de cultivo antecipado ou tardio da batata, devido a sensibilidade ao frio intenso, a fase de neutralidade climática representa maior risco por frequência de eventos de geadas.

4. Conclusões

Com base nos resultados das avaliações de ocorrência de geadas na região de Guarapuava/PR, conclui-se que:

O período de plantio com minimização dos riscos de ocorrência de geadas na cultura da batata, é compreendido entre 21 de setembro e 31 de janeiro em ambas as fases do ENOS, El Niño, La Niña e neutralidade climática.

Em períodos de El Niño e La Niña existem riscos de ocorrência de geadas precoces, nos meses de março, ainda no final do verão, e primeiros dois decêndios de abril, contudo, com índices de frequência, inferiores a 15%.

Podem ocorrer geadas tardias (a partir de 20 de setembro com registros até 20 de outubro), sendo frequências inferiores a 10% em períodos de La Niña e El Niño, e de 35% no terceiro decêndio de setembro em neutralidade climática.

Quando busca-se ampliar o período de produção de batata, plantios durante o mês de fevereiro, representam claramente a opção de menor risco em comparação aos representados pelo cultivo antecipado no inverno, em qualquer uma das fases do ENOS estabelecidas no período. Entretanto, em ambos os casos de cultivo antecipado ou tardio, a fase de neutralidade climática representa maior risco de perdas de produção por frequência de eventos de geada.

As geadas do tipo 1 (temperatura de 0 a -2°C) ocorrem com frequência de aproximadamente 82% e 89% dos eventos nos períodos de março a maio e agosto a outubro, respectivamente.

Os resultados desta pesquisa apresentam potencial para serem aplicados em outras regiões do continente Sul-americano, considerando que as fases do ENOS apresentam abrangência continental, contudo devem ser feitas avaliações locais quanto as características das geadas. Além de contribuir para trabalhos futuros que busquem averiguar o risco de ocorrência de geadas em diferentes culturas.

Agradecimentos

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

Referências

Adams, R. M., Houston, L., Mccarl, B. A., Tiscareño, M. L., Matus, J. G., & Weiher, R. F. (2003). The benefits to Mexican agriculture of an El Niño- Southern Oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 115(1), 183-194. doi:10.1016 / S0168-1923 (02) 00201-0

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 Niño and La Niña 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

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. (2013). Modeling Monthly Mean Air Temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1), 407–427. doi: 10.1007/s00704-012-0796-6

Back, Á. J., Bruna, E. D., & Vieira, H. J. (2012). Tendências climáticas e produção de uva na região dos Vales da Uva Goethe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 497–504. doi: 10.1590/S0100-204X2012000400004

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(5), 423-432. doi:10.1590/S0100-204X2005000500001

Berlato, M. A., & Fontana, D. C. (2003). *El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS.

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. doi:10.33448 / rsd-v9i5.3117

Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M., Guilyardi, E., Fei-Fei, J. (2014). Increasing Frequency of Extreme El Niño Events Due to Greenhouse Warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116. https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/17214/Cai_etal_2013.pdf?sequence=1

Carmona, L. C., & Berlato, M. A. (2002). El Niño e La Niña e o rendimento de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1), 147-152. <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1321.pdf>

Condori, B., Hijmans, R. J., Ledent, J. F., & Quiroz, R. (2014). Managing potato biodiversity to cope with frost Risk in the high Andes: a modeling perspective. *Plos One*, 9(1), 1-11. doi:10.1371/journal.pone.0081510

Collazo, S., Barrucand, M., & Rusticucci, M. (2019). Variability and Predictability of Winter Cold Nights in Argentina. *Weather and Climate Extremes*, 26(1), 100236. 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. [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/51625-214460-2-PB%20\(8\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/51625-214460-2-PB%20(8).pdf)

Cunha, G. R., Dalmago, G. A., & Estefanel, V. (1999). ENSO influences on wheat crop in Brazil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7(1), 127-138. <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/210.pdf>

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020). *A cultura da batata*. Sistemas de Produção. Recuperado de <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/clima>.

Firpo, M. Â. F., Sansigolo, C. A., & Assis, S. V. de. (2012). Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(1), 95–106. doi:10.1590/S0102-77862012000100010

Francois, C., Bosseno, R., Vacher, J. J., & Seguin, B. (1999). Frost risk mapping derived from satellite and surface data over Bolivian Altiplano. *Agriculture and Forest Meteorology*, 95(2), 113–137. doi:10.1016/s0168-1923 (99) 00002-7

Gobo, J. P. A., Domingues, I. de A. S., Galvani, E., & Wollmann, C. A. (2018). Variabilidade climática em episódios Enos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) nos municípios de Cambé e Mirador/PR. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23(14), 72 – 87. doi: 10.5380 / abclima.v23i0.59977

Grimm, A. M., & Togatlian, I. M. (2002). Relação entre eventos El Niño /La Niña e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Foz do Iguaçu, Brasil.

IAPAR-Instituto Agrônômico do Paraná. (2003). *Zoneamento agrícola do Estado do Paraná*. IAPAR-SEAB, 76p.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. (2019). Séries históricas. Brasil. Recuperado de <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=series-historicas>>.

Kim, Y. H., Kim, M. D., Park, S. C., Jeong, J. C., Kwaki, S. S., & Lee, H. S. (2016). Transgenic potato plants expressing the cold- inducible transcription fator SCOF-1 display enhanced tolerance to freezing stress. *Plant Breeding*, 135(1), 513-518. doi: 10.1111/pbr.12390

Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes.

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

Liu, Q., Piao, S., Janssens, I. A., Fu, Y., Peng, S., Lian, X., Ciais, P., Myneni, R. B., Peñuelas, J., Wang, T. (2018). Extension of the Growing Season Increases Vegetation Exposure to Frost. *Nature Communications*, 9(426), 1-8. doi: 10.1038/s41467-017-02690-y

Müller, G. V., Compagnucci, R., Nunez, M. N., Salles, A. (2003). Surface Circulation Associated with Frost in the Wet Pampas. *International Journal of Climatology*, 23(8), 943–961. doi:10.1002 / joc.907

Müller, G. V., Nuñez, M. N., & Seluchi, M. E. (2000). Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Húmeda region. *International Journal of Climatology*, 20(13), 1619–1637.doi:10.1002 / 1097-0088 (20001115) 20: 133.3.CO; 2-6

Oliveira, D., & Borrozzino, E. (2017). Risco de geada e ocorrência de horas de frio abaixo de 7°C em Londrina, Guarapuava e Palmas, no estado do Paraná. *Agrometeoros*, Passo Fundo, 25(2), 333-337. <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.

Pedreira Junior, A. L., Querino, C. A. S., Biudes, M. S., Machado, N. G., Santos, L. O. F., Ivo, I. O. (2020). Influence of El Niño and La Niña Phenomena on Seasonality of the Relative Frequency of Rainfall in Southern Amazonas Mesoregion. *RBRH*, 25(1), 1-8.doi: 10.1590/2318-0331.252020190152

Rusticucci, M., Barrucand, M., & Collazo, S. (2017). Temperature Extremes in the Argentina Central Region and Their Monthly Relationship with the Mean Circulation and ENSO Phases. *International Journal of Climatology*, 37(6), 3003–3017.doi:10.1002 / joc.4895

Rusticucci, M. M., & Vargas, W. M. (2001). Interannual variability of temperature spells over Argentina. *Atmósfera*, 14(1), 75-86. <http://www.scielo.org.mx/pdf/atm/v14n2/v14n2a3.pdf>

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), 623-638.doi:10.1590/0102-7786312314b20150108

Sansigolo, C. A., & Nery, J.T. (2000). Distribuição de extremos de temperatura mínima no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8(2), 247-253. <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/411.pdf>

Santos, C. (2007). *Estatística Descritiva - Manual de auto aprendizagem*. Edições Silabo.

Silva G. O., Stoker, G., Ponijaleki, R., & Pereira, A.S. (2013). Rendimento de tubérculos de três cultivares de batata sob condições de estiagem. *Horticultura Brasileira*, 31(1), 216-219. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87334/1/20133126.pdf>

Tack, J. B., & Ubilava, D. (2015). Climate and agricultural risk: Measuring the effect of ENSO on US crop insurance. *Agricultural Economics*, 46(1), 245-257. doi:10.1111/agec.12154

Thomas, A., Bredemeier, C., & Vian, A. L. (2020). *Desenvolvimento da planta de batata*. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147544/001000579.pdf?sequence=1>.

Ubilava, D., Barnett, B. J., Coble, K. H., & Harri, A. (2011). The SURE program and its interaction with other federal farm programs. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 36(3), 630-648. doi:10.22004 / ag.econ.119184

Vega, S. E., & Bamberg J. B. (1995). Screening the US potato collection for frost hardiness. *America Potato Journal*, 72(1), 13-21. doi:10.1007/BF02874375

Wrege, M. S., Fritzsos, 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.

Wu, Y. F., Zhong, X. L., Hu, X., Ren, D. C., Lv, G. H., Wei, C. Y., & Song, J. Q. (2014). Frost affects grain yield components in winter wheat. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42(3), 194–204. doi:10.1080/01140671.2014.887588

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Natana Maria Metinoski Bueno – 40%

Sidnei Osmar Jadoski – 30%

Janaina Cosmedamiana Metinoski Bueno – 30%