
VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR E A OCORRÊNCIA DE GEADA NA MESORREGIÃO CENTRO-SUL PARANAENSE, BRASIL

Nathan Felipe da Silva **CALDANA**

Doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL)

E-mail: nathancaldana@gmail.com

Thiago Alves de **OLIVEIRA**

Mestrando em Geografia pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

E-mail: thiago.oliveira@ich.ufjf.br

Dihone Henrique **ORGANEK**

Graduando em Tecnologia em Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Graduando em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário UNIFAVIP

E-mail: dihone@alunos.utfpr.edu.br

*Recebido
Abril de 2020*

*Aceito
Maio de 2020*

*Publicado
Julho 2020*

RESUMO: As variáveis meteorológicas têm grande influência sob a variabilidade da produção agrícola, sendo a geada um dos elementos que causam maiores perdas em áreas subtropicais. O objetivo do trabalho foi identificar a variabilidade e tendências da temperatura e avaliar as ocorrências de geada na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. Para isso foram utilizados dados de onze estações meteorológicas, com recorte temporal variando de 1963 a 2019. Foram aplicadas técnicas estatísticas e de geoprocessamento, como regressões e interpolações para garantir uma plena cobertura regional de informações. Além da aplicação do teste de Mann-Kendall e Pettit para análise da tendência. Identificou-se grande variabilidade quanto as variáveis meteorológicas analisadas na região, principalmente vinculadas ao fator altitude. Tanto o risco de geada moderada quanto o de severa apresentaram altas probabilidades de ocorrências anuais. Toda a área com maiores altitudes da região apresentou 100% de risco por ano, enquanto ocorre a diminuição progressiva para as menores altitudes. O decêndio mais crítico para a ocorrência de geada foi 02-julho. Regionalmente, o período livre de geada foi do decêndio 02-março ao 01-novembro. Para as tendências observou-se tendências de elevação para as temperaturas média mínima e média do ar, com maiores intensidades no setor leste da mesorregião.

Palavras-Chave: Agrometeorologia. Risco climático. Frio. Temperatura Mínima. Mudanças Climáticas.

VARIABILITY AND TENDENCIES OF THE AIR TEMPERATURE AND FROST OCCURRENCES IN CENTER SOUTH MESOREGION OF PARANÁ STATE

ABSTRACT: The meteorological variability has a key importance for the world crops production. Frost is one of the main elements responsible for agricultural losses in under tropical areas. The purpose of this study was to identify variability and temperature tendencies for evaluate frost occurrences in Center South Mesoregion of Paraná state, Brazil. For this purpose, we used data from eleven meteorological stations, from 1963 to 2019 series. Were applied statistics techniques and geoprocessing as regressions and interpolations to ensure the area of the study. Was identified a significant meteorological variability, specially altitude. Moderate and strong frost exhibited greater probabilities to occurrences in the region. All areas with higher altitude showed risk of 100% per year, and the risk decrease for the areas with less altitude. The critical ten-day series for frost occurrences was identified in July - 02. We observed that the ten-day series from November 01 to March 02 was the period with no frost registrations. In addition, we verified temperature tendencies for average temperature minimum and medium, with stronger intensities for the East region of the Center South Mesoregion of Paraná state.

Key words: Agrometeorology. Climate risks. Cold. Minimum average temperature. Global climate change.

VARIABILIDAD Y TENDENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LA OCASIÓN DE LA HELADA EN LA MESORREGIÓN CENTRAL-SUR PARANAENSE, BRASIL

RESUMEN: Las variables meteorológicas tienen una gran influencia en la variabilidad de la producción agrícola, siendo las heladas uno de los elementos que causan mayores pérdidas en las áreas subtropicales. El objetivo de este trabajo fue identificar la variabilidad y las tendencias de temperatura y evaluar ocurrencias de heladas en la Mesorregión Centro-Sul Paranaense, Brasil. Para esto, se utilizaron datos de once estaciones meteorológicas, con un período de tiempo que varía de 1963 a 2019. Se aplicaron técnicas estadísticas y de geoprosesamiento, como regresiones e interpolaciones, para garantizar una cobertura completa de la información regional. Además de la aplicación de la prueba de Mann-Kendall y Pettit para analizar la tendencia. Se identificó una gran variabilidad en las variables meteorológicas analizadas en la región, principalmente relacionadas con el factor de altitud. Tanto el riesgo de heladas moderadas como el de heladas severas tenían una alta probabilidad de ocurrencia anual. Toda el área con las altitudes más altas de la región presenta un riesgo del 100% por año, mientras que hay una disminución progresiva a las altitudes más bajas. El período de diez días más crítico para la aparición de heladas fue el 2 de julio. A nivel regional, el período libre de heladas

varió del 10 de marzo al 1 de noviembre. En cuanto a las tendencias, hubo tendencias al alza para las temperaturas mínimas y medias promedio del aire, con mayores intensidades en el sector oriental de la mesorregión.

Palabras clave: Agrometeorología. Riesgo climático. Frío. Temperatura mínima. Cambios climáticos.

INTRODUÇÃO

Mesmo que a agricultura possua grandes avanços tecnológicos e das contribuições da ciência, este setor econômico é extremamente dependente das condições meteorológicas em escala global. Os danos decorrentes de eventos meteorológicos como secas, excessos de chuvas, geadas e granizo, podem ser parciais ou totais com a frequência variável por região e época do ano (CARAMORI et al., 1993). Na agricultura, a variabilidade da produção é afetada em até 80% pelas condições meteorológicas (CARAMORI et al., 2007; CALDANA et al., 2020).

Geadas podem ser conceituadas de duas formas. Primeiramente as advectivas ou geadas negras e as de radiação, essa última é a que acontece com maior frequência, são formadas regionalmente após a passagem de uma frente fria e sob condições de céu limpo. (OLIVEIRA; BORROZINO, 2018). No momento em que ocorre a queda da temperatura abaixo do ponto de congelamento, há a sublimação do vapor d'água do ar e formação de gelo sobre as plantas, ocorrendo o fenômeno da geada (MORAIS et al., 2002). Na região Sul do Brasil, sob temperaturas de 2°C no abrigo meteorológico, ocorre o congelamento da vegetação no solo, uma vez que a inversão térmica, ocasiona -2°C na relva (DA SILVA; SENTELHAS, 2001). Sendo este elemento agrometeorológico um dos principais limitantes para a agricultura na região Sul do Brasil e em diversas áreas subtropicais do globo (AMBROISE et al., 2020; CHAUHAN; RYAN, 2020; KOTIKOT et al., 2020; LIU et al., 2020; RUSSELL; TEDDER, 2020; SHEN et al., 2020).

A ocorrência de baixas temperaturas, mesmo que acima do ponto de congelamento, podem gerar danos foliares letais em diversas espécies, dependendo da idade dos tecidos, condição nutricional, aclimatação e tempo de exposição (MORAIS et al., 2002). Estudos relatam a não-resistência de espécies a geada ou temperaturas mínimas extremas, como acerola, maracujá (SENTELHAS et al., 1996), abacate (ZARO et al., 2014; CALDANA et al., 2019b), batata-doce (MARTELÓCIO et al., 2020), café (CARAMORI et al., 2001; MORAIS et al., 2002), cana-de-açúcar (FIORENTIN et al., 2016), goiaba (CALDANA et al., 2020),

banana, mamão, mangaba (FONSECA et al., 2004), soja (MARTORANO et al., 2000) e milho (ADAMI et al., 2020), dentre diversas outras. Sendo assim, estudos que evidenciem a ocorrência de geada, sua variabilidade e distribuição regional são fundamentais para o planejamento agrícola.

Nos últimos anos muito tem-se discutido acerca das Mudanças Climáticas Globais, com a divulgação dos relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) trazendo diversos resultados e prognósticos acerca do aquecimento global. Em um relatório publicado em 2018 os pesquisadores do grupo destacam que as atividades humanas já produziram um aquecimento de 1°C na Terra, podendo atingir 1,5° entre 2032 e 2050 (IPCC, 2019). Seus impactos sobre a sociedade e as atividades humanas, principalmente a agricultura, são incertos e cada vez mais perceptivos, tornando-se um dos maiores desafios para a sociedade atual e para as gerações futuras (MARENGO; ALVES, 2005; SANCHES et al., 2014).

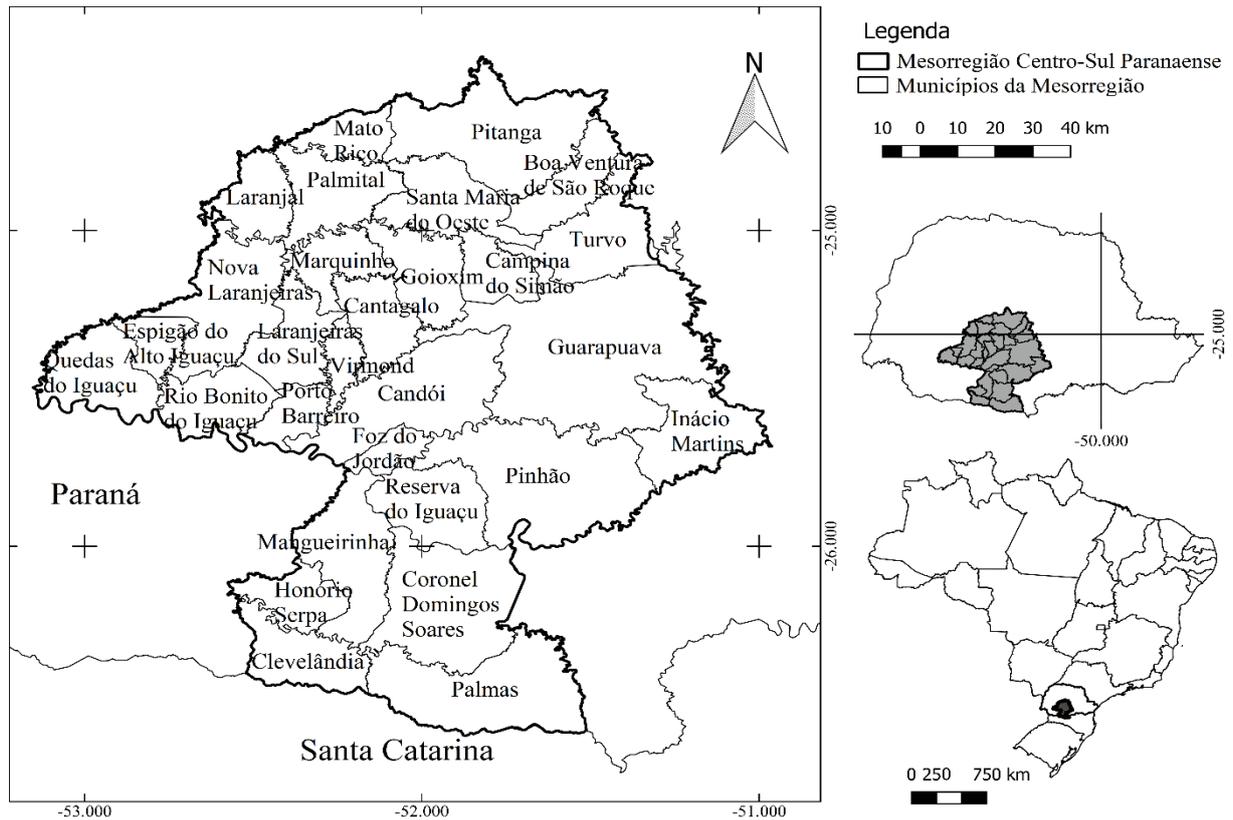
Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi identificar a variabilidade e tendências da temperatura e avaliar a ocorrências de geada na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A MRCSP (Figura 1) conta com aproximadamente 500 mil habitantes (IBGE, 2019). Possui uma importante área de produção agrícola (DE LIMA et al., 2006), demonstrando a importância de estudos das variáveis meteorológicas. A região possui grande parte de sua área com clima “Cfb” (subtropical, sem estação seca e verão fresco), e uma pequena porção com menores altitudes, a leste na região com clima “Cfa” (subtropical, sem estação seca e verão quente) conforme a classificação climática de Köppen, de 1936 (IAPAR, 2019; CALDANA et al., 2019a). É uma das áreas mais chuvosas do estado do Paraná, com precipitação variando de 1.800 a 2.200 mm (CALDANA et al., 2019a).

Figura 1 - Localização e municípios pertencentes a Mesorregião Centro-Sul Paranaense

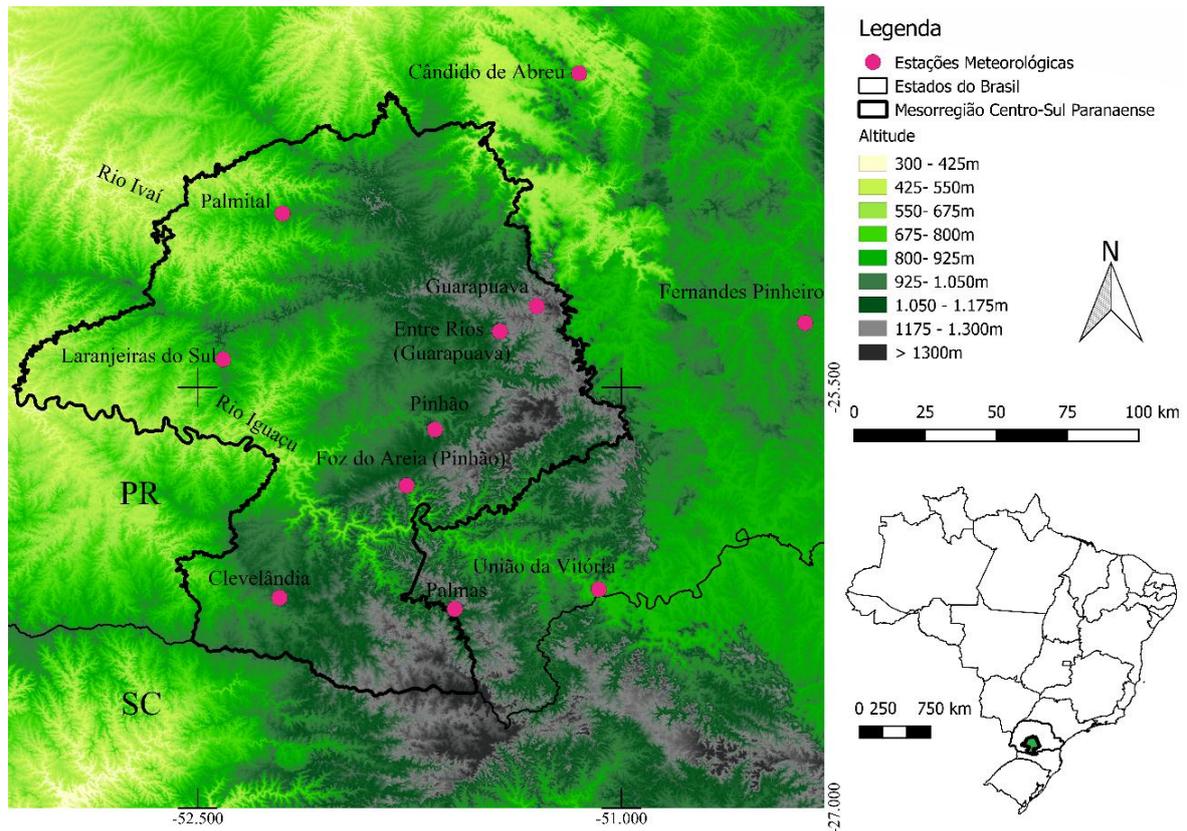


Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Análise estatística

Para a caracterização da variabilidade térmica e geada foram utilizados dados de 11 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) (Figura 2 e Tabela 1), localizada na mesorregião ou em suas proximidades.

Figura 2 - Hipsometria e localização das estações meteorológicas utilizadas da Mesorregião Centro-Sul Paranaense.



Fonte: Organizado pelos autores

Tabela 1 - Informações das estações meteorológicas utilizadas

Órgão responsável	Estação (Município)	Longitude	Latitude	Altitude	Recorte Temporal
IAPAR/SIMEPAR	Cândido de Abreu*	-24,38	-51,15	645m	1989 - 2019
IAPAR	Clelândia	-26,25	-52,21	930m	1973 - 2012
SIMEPAR	Entre Rios (Guarapuava)	-25,3	-51,43	1.050m	1999- 2019
IAPAR	Fernandes Pinheiro	-25,27	-50,35	893m	1963 - 2019
SIMEPAR	Foz do Areia (Pinhão)	-25,85	-51,76	1.020m	1999- 2019
IAPAR	Guarapuava	-25,21	-51,3	1.058m	1976 - 2019
IAPAR	Laranjeiras do Sul	-25,4	-52,41	880m	1974 - 2007
IAPAR/SIMEPAR	Palmas*	-26,29	-51,59	1.100m	1979 - 2019
SIMEPAR	Palmital	-24,88	-52,2	930m	1999- 2019
SIMEPAR	Pinhão	-25,65	-51,66	1.050m	1999- 2019
SIMEPAR	União da Vitória	-26,22	-51,08	736m	1999- 2019

*Estações com dados completados do SIMEPAR, após o encerramento de coleta do IAPAR

Fonte - ANA e IAPAR (2019); organizado pelos autores.

Para analisar a distribuição regional e variabilidade térmica foram utilizados os gráficos no formato de *Box Plot*. Por meio destes gráficos, é possível analisar: a medida de suas dispersões ao entorno da média por meio do desvio padrão, a posição de sua mediana, a que demonstra onde se encontra 50% dos dados, sua assimetria e a presença de pontos discrepantes ou *outliers* e extremos (LEM et al., 2013; SCHNEIDER E DA SILVA, 2014).

Os *box plots* representam cinco classificações de valores, são eles: mediana, *outliers* discrepantes e extremos e valores máximos e mínimos. Sendo classificados três quartis (Q) com 25% dos dados cada, além do valor da mediana, que equivale ao segundo quartil - 50% dos dados (LEM et al., 2013; SCHNEIDER E DA SILVA, 2014). Os *outliers* são divididos em discrepantes (valores acima do considerado máximo, mas que não são extremos) e extremos, sendo considerados quaisquer valores

$$< Q3 + 1,5 (Q3 - Q1) \text{ ou } > Q1 - 1,5 (Q3 - Q1)$$

Os máximos e mínimos são considerados os maiores valores da série, mas que não são extremos ou discrepantes. Para a análise por meio de *Box Plot*, foram utilizados dados de cinco estações meteorológicas com a maior série de dados, sendo estas Clevelândia, Fernandes Pinheiro, Guarapuava, Laranjeiras do Sul e Palmas.

Foi utilizado a base do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para aplicar os valores meteorológicos nos mapas utilizando os fatores geográficos do relevo e altitude na resolução espacial de 30m. Esses fatores são utilizados, visto a influência sobre a temperatura (CALDANA et al., 2020). Esse método é necessário para espacializar e regionalizar os dados para áreas que não possuem dados de temperatura, com maior precisão.

Para a espacialização dos dados de temperatura média e geada os valores medidos nas estações meteorológicas foram ajustados a equações de regressão linear múltipla, articulando os valores das estações meteorológicas com os fatores geográficos de altitude, latitude e longitude, obtendo-se equações de estimativa do tipo:

$$y = a + b.lat + c.long + d.alt$$

em que *a, b, c e d* são coeficientes da regressão. Essa fórmula é aplicada no software de geoprocessamento Qgis sobre o arquivo do SRTM, possibilitando gerar mapas com resolução espacial de 30m.

O método utilizado para a probabilidade de geada foi baseado nas séries históricas de temperatura mínima registrada dentro do abrigo meteorológico. Foram determinadas as probabilidades de ocorrerem valores iguais ou menores que 2,0°C e posteriormente ajustadas

também à regressão linear múltipla para a regionalização dos dados.

Foi estimado a ocorrência da primeira geada (outono) à última (primavera). O método consiste em identificar a geada ao nível da superfície do solo, quando a temperatura mínima de abrigo for igual ou inferior a 2,0°C. Assim, analisando-se a série de dados de cada estação, sempre que a temperatura de um dia for inferior ou igual a uma dessas temperaturas é associado o valor “1” e em caso contrário era atribuído o valor “0”. Em seguida são calculadas as probabilidades de ocorrer pelo menos uma geada por decêndio (WREGGE et al., 2004).

Adotando-se este procedimento, se dentro de um dado decêndio houvesse uma ou mais geadas, aquele decêndio era computado como “1”, independentemente do número de vezes nos quais a geada ocorreu, caso contrário, era computado “0”. Com base nas sequências de “0” e “1” de toda a série histórica de cada estação, calculou-se a frequência acumulada de geadas ao longo do ano para cada estação. A data em que se acumulou 5% de probabilidade em cada uma das estações foi assumida como a primeira geada de outono, contando-se do início para o final do ano. A última geada de primavera também foi determinada para uma frequência acumulada de 5% de probabilidade, mas realizando-se os cálculos partindo-se do final para o início do ano (WREGGE et al., 2004). Os dados foram interpolados utilizando a regressão de temperatura já descrita. Para contribuir com o planejamento agrícola, a análise foi feita por meio de decêndios, técnica que consiste em dividir o ano por 36 períodos com intervalo de 10 dias.

Para a análise dos extremos térmicos, foram extraídos os menores registros de temperatura do ar dentro do abrigo meteorológicos e criado gráficos para a visualização de sua distribuição. Foram calculados risco de geada e de calor extremo por decêndio utilizando probabilidade de ocorrências pela amostra:

$$P = n(evento)/n(amostra)$$

Sendo, P a probabilidade de risco

$n(evento)$, o número de ocorrências.

$n(amostra)$, o total de anos analisados por estação.

E ainda, sendo classificado, qualquer valor de temperatura do ar inferior a 2°C como geada, conforme averiguado nos trabalhos no de Caramori (et al., 2001) e Wrege (et al., 2018).

Técnicas utilizadas para a identificação das tendências

Para a análise de tendência nas temperaturas média mínima e média do ar foram utilizados apenas cinco dos onze postos, sendo eles: Fernandes Pinheiro, Palmas, Clevelândia, Guarapuava e Laranjeiras do Sul, por contarem com séries históricas de dados mais longas (Tabela 01).

O teste não paramétrico Mann-Kendall, foi calculado por meio do software *Past*, a partir do conjunto de testes estatísticos (incluindo o Mann-Kendall) alocados na ferramenta *timeseries*. Este teste tem por objetivo identificar se em determinada série de dados analisados existe tendência temporal de alteração estatisticamente significativa (SALVIANO et al, 2016). Nesse sentido, são testadas duas hipóteses:

H_0 : Onde as observações da série são independentes e igualmente distribuídas (Não há tendência)

H_1 : As observações da série possuem tendência monótona no tempo (Há tendência)

Nesse caso a estatística de teste é dada pela equação abaixo:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_k)$$

Onde:

$$\text{sign} \begin{cases} 1 \text{ se } x > 0 \\ 0, \text{ se } x = 0 \\ -1, \text{ se } x < 0 \end{cases}$$

É possível mostrar que S é normalmente distribuída, ou seja, $S \sim N(\mu, \sigma^2)$ com $\mu = 0$;

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18}$$

Em que n é o número de observações e, considerando o caso em que a série pode ter grupos com observações iguais, P é o número de grupos com observações iguais e t_j é o

número de observações iguais no grupo j . No caso em que o número de observações é superior a 30, a estatística do teste é calculada pela equação seguinte.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

significância α , se para o quantil $Z^{\alpha/2}$ de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq Z^{\alpha/2}$. Em estudos voltados para a climatologia, é utilizado uma confiança de 95%, no entanto a estatística H_0 é rejeitada quando o Z encontrado estiver sob esta condição, $-1,96 < Z < 1,96$ (MARENGO et al., 2007; BLAIN, 2010; SANCHES et al, 2013), além disso para uma confiança de 99% observa-se a seguinte condição $-2,57 < Z < 2,57$.

O teste de Pettit é normalmente utilizado paralelamente ao teste Mann-Kendall com o intuito de verificar o ponto de ruptura na série de dados. Este teste foi calculado em planilhas eletrônicas, ele consiste em observar se um conjunto de dados de uma “amostra X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ verifica o número de vezes que um elemento da primeira amostra é maior que um elemento da segunda” (BLAIN, 2010, p.117).

Segundo Back (2001, p.219) “a estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda”, e pode ser calculada pela equação subsequente:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j)$$

Para $t = 2, \dots, T$; $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

Dessa forma, o ponto de ruptura será definido pelo valor máximo absoluto da estatística de U_t , definido pela equação seguinte.

$$K(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|$$

Além disso, para definir o ponto de mudança brusca, é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação próxima:

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right) * (T^3 + T^2)}{6}}$$

Onde: p= nível de confiança estatística (0,05 e 0,01) e T é o número de elementos da série de dados.

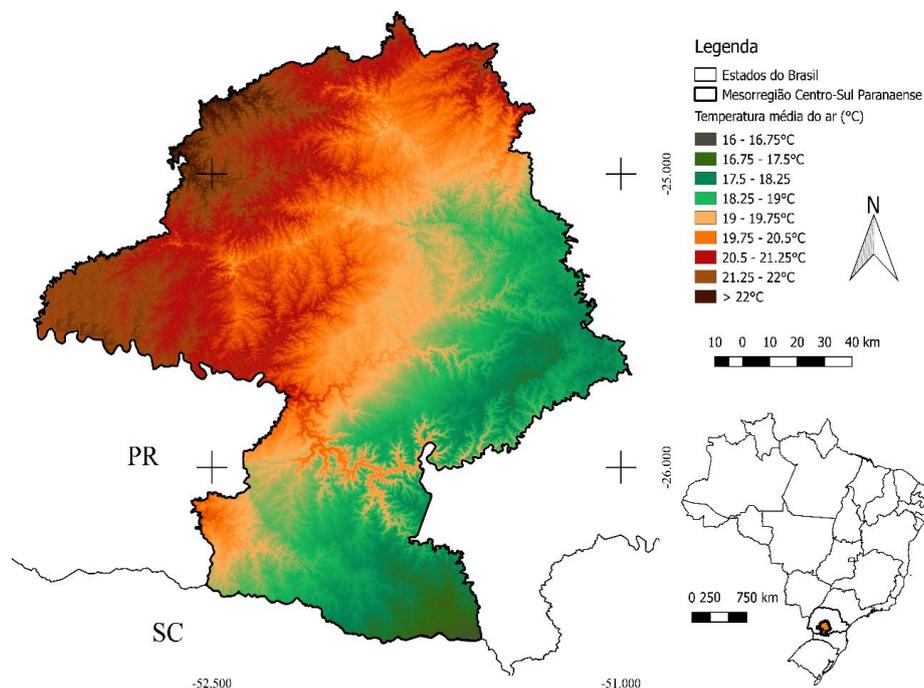
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variabilidade térmica

A temperatura média do ar da região variou de 16 a 22,1°C (Figura 3), a grande variação foi perceptível ao observar o relevo da região que também apresentou grande diferença, mesmo sendo uma área relativamente pequena do Estado do Paraná (Figura 2), com 300m na borda dos rios e chegando a ultrapassar 1.300 m no extremo sul.

Dessa forma, as áreas nas bordas dos Rios Iguazu e Ivaí apresentaram as maiores temperaturas médias, enquanto a porção serrana apresentou as menores, influência da altitude identificada em vários trabalhos sobre temperatura e chuva no estado do Paraná (OLIVEIRA e BORROZZINO, 2018; TERASSI et al., 2018; CALDANA et al., 2019a; ELY; KOGIMA, 2019; CALDANA et al., 2020).

Figura 3 - Distribuição da temperatura média do ar na Mesorregião Centro-Sul Paranaense

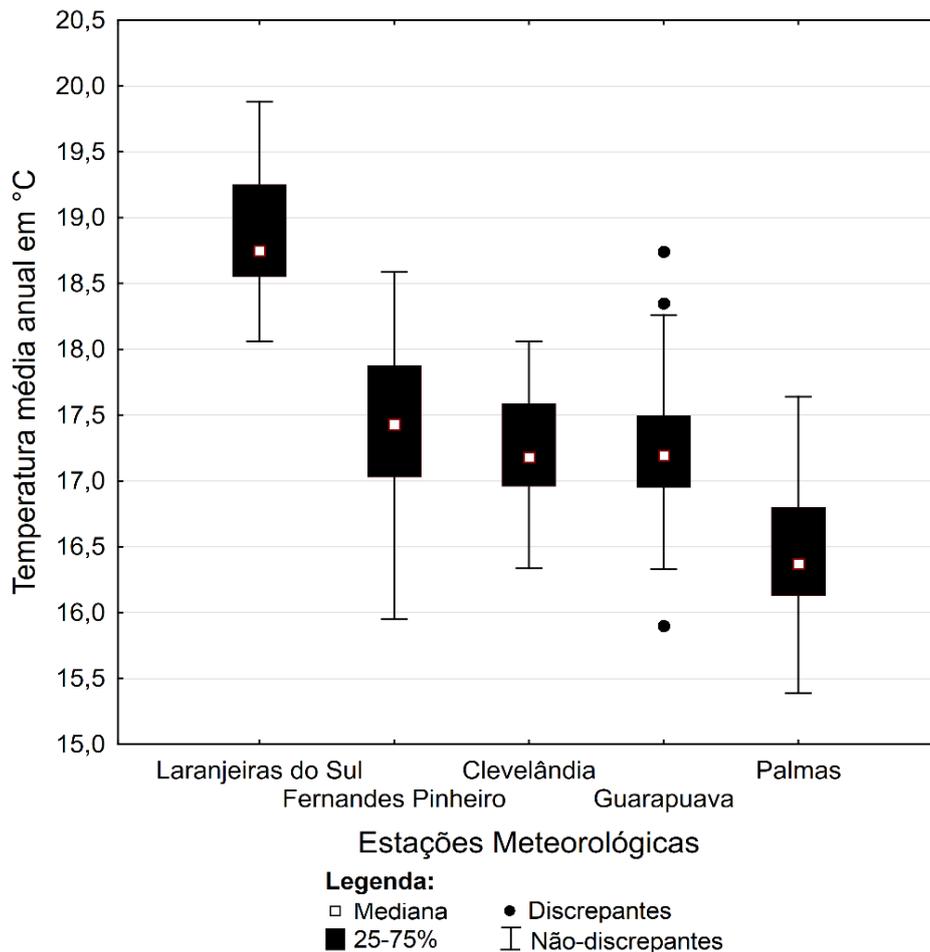


Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Cabe-se destacar ainda, que as áreas mais elevadas da região são as mais chuvosas, e consequentemente com maior nebulosidade e umidade relativa (NITSCHKE et al., 2019; CALDANA et al., 2020), contribuindo para menores horas de sol e distribuição de radiação, contribuindo para as melhores temperaturas.

A distribuição regional da temperatura média anual corrobora com as discrepâncias vinculadas a altitude (Figura 4). A estação de Laranjeiras do Sul localizada a 800m de altitude apresentou todas as temperaturas médias superiores a estações com maiores altitudes, apresentando mediana de 18,6°C e variação de 18,1 a 19,7°C com distribuição assimétrica à direita.

Figura 4 - Variabilidade anual da temperatura média do ar na Mesorregião Centro-Sul Paranaense



Fonte: Organizado pelos autores (2020)

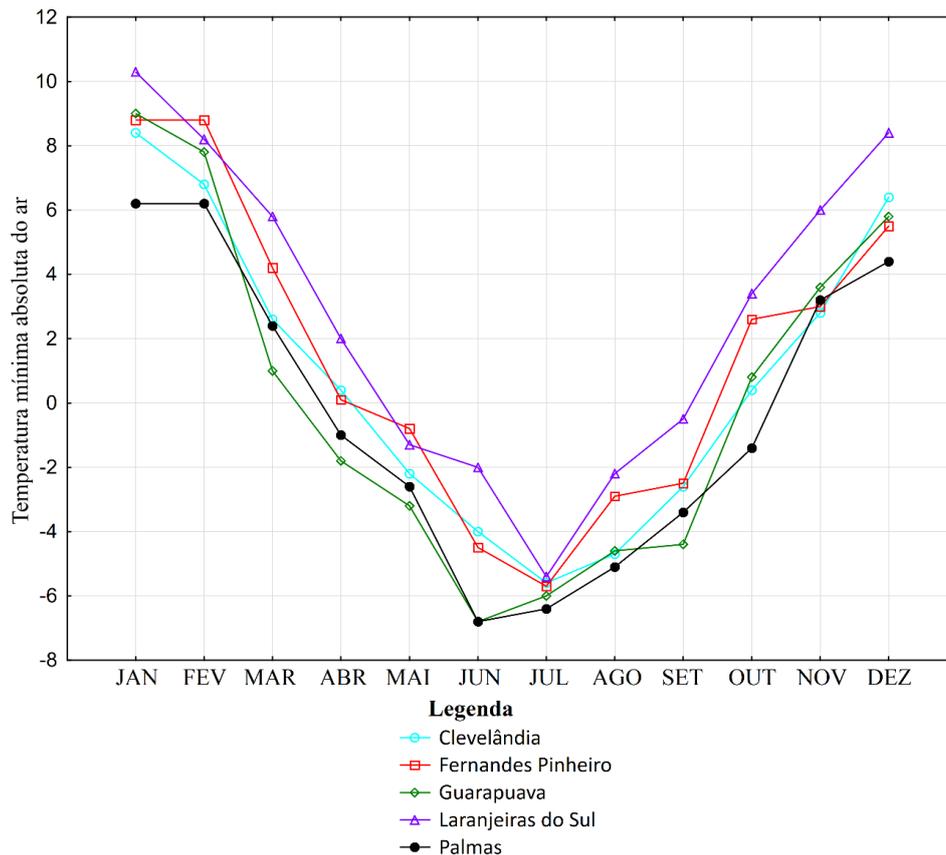
Ao contrário de Laranjeiras do Sul, a estação com maiores altitudes e no extremo sul da região, em Palmas, localizada a 1.100m apresentou a menor mediana, com 16,3°C, com menor registro anual da região, com 15,3°C.

As estações de Fernandes Pinheiro (900m), Clevelândia (930m) e Guarapuava

(1.058m) apresentaram medianas similares de 17,4, 17,2 e 17,3°C respectivamente, com maior variação entre os valores máximos e mínimos na primeira, e três valores discrepantes nos dois lados da caixa em Guarapuava, essa última ainda, foi a que apresentou distribuição mais simétrica dentre as analisadas.

A mesorregião em destaque é a mais fria do estado do Paraná e uma das mais frias do Brasil (NITSCHKE et al., 2019). No contexto dessa afirmação, identificou-se temperaturas mínimas extremas em toda a região e durante pelo menos seis meses, principalmente nas estações de outono e inverno (Figura 5).

Figura 5 - Temperaturas mínimas absolutas do ar em estações da Mesorregião Centro-Sul Paranaense



Fonte: Organizado pelos autores (2020)

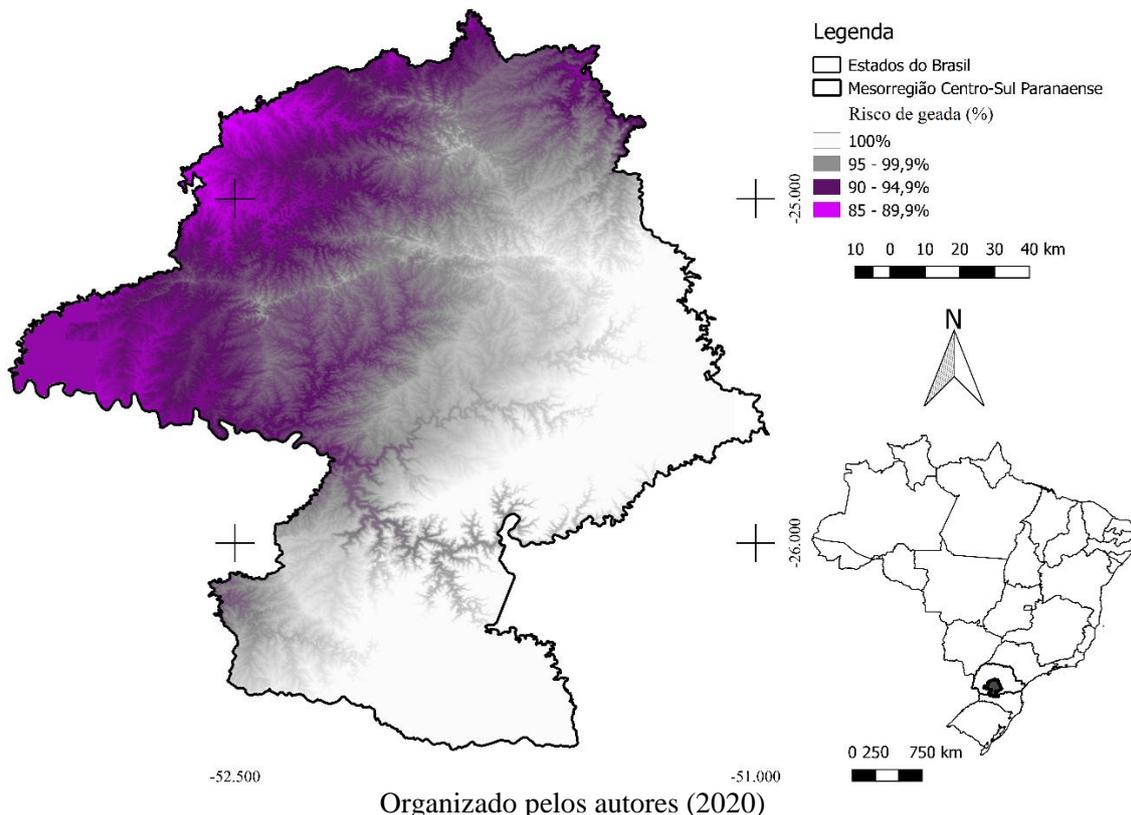
O menor registro foi de -6,8°C, no mês de junho e nas estações de Palmas e Guarapuava, porém em anos diferentes, em 1981 e 1978, respectivamente. A estação de Palmas, ainda, apresentou maior frequência de temperaturas do ar negativa, ocorrendo de abril a outubro. A única estação a não apresentar temperaturas inferiores a 10°C em todos os meses foi Laranjeiras do Sul, no mês de janeiro.

O frio na região, também, foi averiguado no trabalho de Oliveira e Borrozzino (2018) que compararam a quantidade de horas de frio em Guarapuava, Palmas (localizadas na mesorregião analisada) e Londrina (localizada no norte do Estado do Paraná) e identificaram que o número de geadas e de horas de frio abaixo de 7° C aumentam do norte para o sul do Paraná, variando de 4 até 23 eventos de geada e de 45 (Londrina) até 445 horas de frio (Palmas) por ano. Apresentando assim, a grande diferença entre a quantidade de frio e geada da mesorregião Centro-Sul para outras áreas do Paraná. Variação também identificada por Wrege et al. (2018) onde constatou-se que o risco de geada, nos Estados de transição climáticas Paraná e São Paulo, pode variar de 0 a 80%, mesmo nas áreas tropicais.

Ocorrências e risco de geada

Como mencionado, a região possui alta frequência de ocorrência da geada. Ao analisar o risco anual (Figura 6), toda a área leste e sul da mesorregião apresentou 100% de risco de geada anual, com pelo menos uma ocorrência em todos os anos de dados disponível, abrangendo as regiões de municípios como Guarapuava, Pinhão, Palmas e Clevelândia.

Figura 6 - Risco anual de geada moderada (<2°C) na Mesorregião Centro-Sul Paranaense. Fonte:

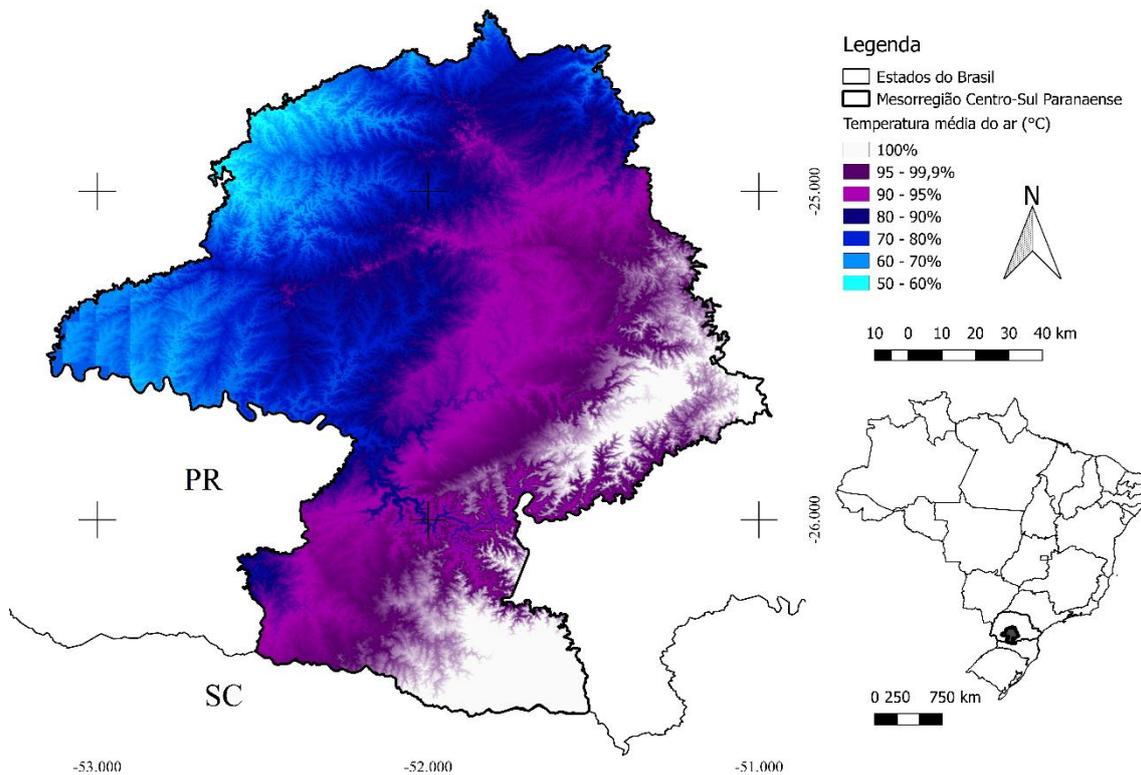


Mesmo nas regiões com menores altitudes e consequentemente mais quentes o risco permanece alto. Nas áreas em cinza do mapa, poucos anos da série não tiveram geadas, e possuem risco superiores a 95%, nas áreas em tons de roxo o risco varia de 85 a 95%.

Para compreender a gênese de formação das geadas nessa região, deve-se atentar a atuação das frentes frias, sendo identificadas pela atuação da massa Polar atlântica (mPa) formando uma linha de descontinuidade com um bolsão de ar aquecido em contraste com outro de características térmicas diferentes (BORSATO, 2016). O encontro dessas massas de ar de diferentes temperaturas causa ascensão do ar mais aquecido podendo provocar chuva, após em condições normais, predomina-se a atuação do ar seco e frio, e dependendo a sua intensidade pode culminar na formação de geadas na manhã seguinte, se o céu estiver limpo (CALDANA et al., 2019b).

E, ainda, como observado, temperaturas negativas ocorrem com frequências em alguns meses na região (Figura 01), dessa forma, estimou-se o risco de ocorrência de geadas severas com temperaturas abaixo de 0°C (Figura 7), tomando-se como base, que com a inversão térmica, a temperatura do solo pode atingir -4°C a menos que do abrigo meteorológico em noites de geadas (DA SILVA; SENTELHAS, 2001; CARAMORI et al., 2007).

Figura 7 - Risco anual de geadas severas ($<0^{\circ}\text{C}$) na Mesorregião Centro-Sul Paranaense



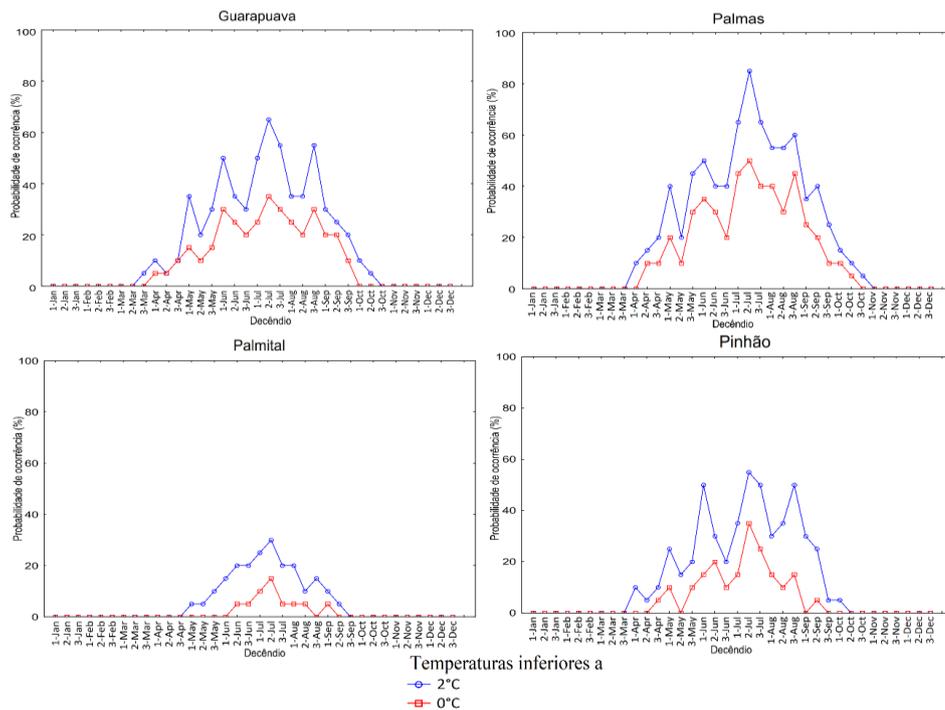
Fonte: Organizado pelos autores (2020)

O risco de geada severa mostrou similaridade ao de geada moderada, porém, com redução das áreas com 100% de risco, apenas as áreas com as maiores altitudes da região apresentaram risco de ocorrer todos os anos. Enquanto nas áreas mais baixas e próximo a calha de rios o risco cai para 50% de chance de ocorrência.

Para a agricultura e ao estado do Paraná, as plantas respondem a intensidades diferentes quanto à geada. As culturas anuais que possuem porte e dossel foliar são mais sensíveis a geada, as de ciclo curto podem ser readequadas para o período do ano livre de geada, se houver (SENTELHAS et al., 1996; CARAMORI et al., 2008). As culturas arbóreas sentem menos o impacto devido o porte elevado, em alguns sistemas de cultivo, atua como protetoras de outras culturas principais. Porém, dependendo da intensidade da geada e a sua forma de ocorrência, elas também estarão sujeitas aos impactos negativos do evento (SENTELHAS et al., 1996).

Dessa forma, identificar o risco de geada em períodos curto de tempo, como em decêndios, podem contribuir para o planejamento agrícola e adequação da época de semeadura, podendo garantir o sucesso de espécie de pequeno ciclo no período livre de geadas (CALDANA et al., 2020). Sendo assim, estimou-se o risco de geada por decêndios, em diferentes áreas da mesorregião (Figura 8).

Figura 8- Risco de geada moderada e severa por decêndio na Mesorregião Centro-Sul Paranaense.



Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Identificou-se que todas as estações apresentaram risco de ocorrência de temperatura negativa em inúmeros decêndios, e como esperado, com risco maior na estação de inverno. Palmas apresentou o maior risco em único decêndio superando os 80% no dia 02-jul. E nesse mesmo decêndio, superando o risco de 40% para temperaturas negativas e geada severa.

Guarapuava e Pinhão apresentaram distribuição dos riscos similares, sendo relativamente maior na primeira citada. Enquanto em Palmital, houve os menores riscos, com apenas dois decêndios com risco superior a 10% de geada severa e cinco de geada moderada.

O conhecimento do regime de geadas é um importante subsídio na tomada de decisões do setor agropecuário. Informações como o número de geadas esperado em cada mês, a data de ocorrência da primeira geada de outono e da última geada de primavera, permitem o planejamento mais seguro de atividades como plantio das culturas anuais e manejo de podas, colheita e outras operações nas culturas perenes (DE OLIVEIRA e BORROZZINO, 2018). Dessa forma, estimou-se o período livre de geada em localidades diferentes da região (Tabela 2).

Tabela 2 - Período livre de geada na Mesorregião Centro-Sul Paranaense

Estação Meteorológica	Período Livre de Geada
Guarapuava	Primeira geada: Decêndio 3-mar Última geada: Decêndio 2-out
Palmas	Primeira geada: Decêndio 2-mar Última geada: Decêndio 3-out
Palmital	Primeira geada: Decêndio 1-mai Última geada: Decêndio 3-set
Pinhão	Primeira geada: Decêndio 1-abr Última geada: Decêndio 2-out

Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Guarapuava e Palmas apresentaram os menores períodos livre de geada, com menos de cinco meses sem registros da adversidade meteorológica. Mesmo que com o risco baixo no mês de março, como já houve registro (Figura 07), é configurado como período crítico. Dessa forma, apenas nos meses de novembro a fevereiro apresentaram aptidão para o plantio de espécies não resistentes a geada nessas áreas e, ainda, há de se optar por espécies com ciclo curto.

O posto Palmital foi a estação que apresentou maior período livre de geadas, demonstrando que as áreas com menores altitudes são mais propícias para o cultivo de espécies tropicais.

Sendo assim, regionalmente, recomenda-se o plantio das espécies sensíveis ao frio e geada no terceiro decêndio de outubro ou no primeiro novembro, sendo também um dos períodos mais chuvosos na região (CALDANA et al., 2019a; NITSCHE et al., 2019), contribuindo assim, na semeadura, e garantindo maior período livre de geada no desenvolvimento da espécie, e ainda sendo possível terminar o ciclo de culturas temporárias até a ocorrência da primeira geada na região, que pode ocorrer no final de abril.

Tendências

Os dados de temperatura média mínima demonstram que todos os postos investigados observaram tendência de aumento ao longo das séries, mesmo com períodos de coleta distintos. A partir do coeficiente de determinação (R^2) observou-se que as estações de Fernandes Pinheiro, Palmas e Guarapuava registraram os maiores indicativos de mudança ao longo do tempo, em menor nível encontra-se Laranjeiras do sul e Clevelândia.

Os testes de verificação Mann Kendall e Pettit revelaram que os pontos Fernandes Pinheiro, Laranjeiras do Sul, Palmas e Guarapuava apresentam tendência de elevação a 99% de confiança, apenas o ponto de Clevelândia, que tem tendência de elevação, porém sem significância estatística.

Já o teste de Pettit identificou o ponto de ruptura nas séries de dados, com isso a 99% de significância observa-se as rupturas de Fernandes Pinheiro e Palmas, em 1981 e 1990, respectivamente. Com 95% de significância observou-se alteração em Laranjeiras do Sul e Guarapuava, em 1990 e 1991/1993, respectivamente, além de Clevelândia que apresentou ruptura em 1990, porém sem significância. Há que se destacar o fato de que quatro dos cinco postos registraram suas rupturas no início da década de 1990, apenas Fernandes Pinheiro registrou em 1981, no entanto, esta estação apresenta uma série de dados maior, desde 1963 (Quadro 1).

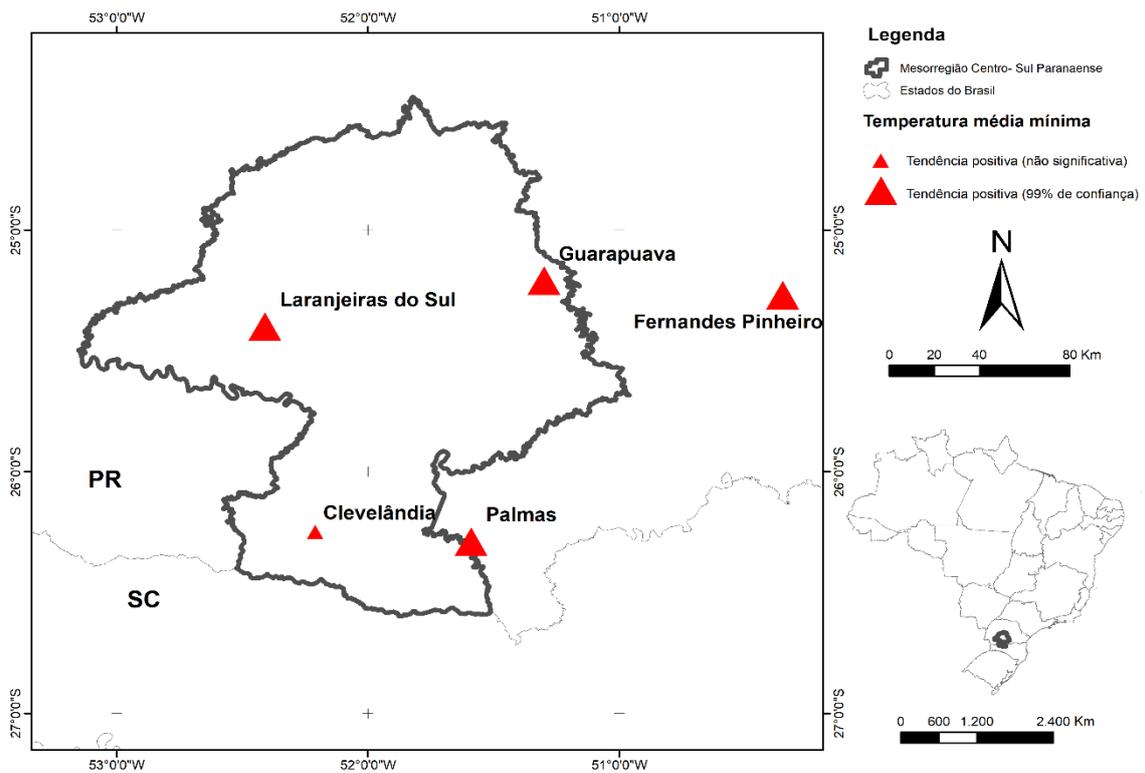
Observando na Figura 9 a espacialização dos pontos permite destacar que mesmo nas áreas mais elevadas como Guarapuava e Palmas, onde a probabilidade de ocorrência de geadas é elevada, as tendências são de elevação da temperatura média mínima do ar. Além disso, no setor sudoeste da mesorregião se encontra o único ponto que registrou tendência, porém, ainda sem significância estatística, localizado em Clevelândia.

Quadro 1 - Cálculos estatísticos oriundos da regressão linear simples, Teste Mann-Kendall e Teste de Pettit para a temperatura média mínima do ar.

Estação	Equação	R ²	MK	Tendência	Pettit
Fernandes Pinheiro	$0,0337x + 12,036$	0,5624	6,2305**	+	1981**
Laranjeiras do Sul	$0,0227x + 13,868$	0,232	2,6848**	+	1990*
Clevelândia	$0,0102x + 12,849$	0,0753	1,6899	+	1990
Palmas	$0,0317x + 11,433$	0,4091	4,0975**	+	1990**
Guarapuava	$0,028x + 12,275$	0,3759	3,7029**	+	1991* e 1993*

Fonte: Organizados pelos autores. Significância a 99%=** e 95%=*

Figura 9 - Tendência da temperatura média mínima do ar, por ponto de coleta.



Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Os dados de temperatura média apontam para um cenário parecido ao da temperatura média mínima do ar, todos os pontos apresentam também tendência de elevação na temperatura média do ar, sendo que os postos de Fernandes Pinheiro, Guarapuava e Palmas tem os maiores coeficientes de determinação (R^2).

O teste Mann Kendall revelou que estes três postos citados (Fernandes Pinheiro, Palmas e Guarapuava) têm tendência de elevação considerada significativa a 99% de confiança. Os outros postos, apesar de manterem tendências de elevação, estas são observadas com uma intensidade menor, o ponto de Clevelândia com um $MK = 2,43$ apresentou-se como significativo a 5%, já o posto Laranjeiras do Sul tem uma tendência não significativa (Quadro 2).

Quadro 2 - Cálculos estatísticos oriundos da regressão linear simples, Teste Mann-Kendall e Teste de Pettit para os dados de temperatura média do ar.

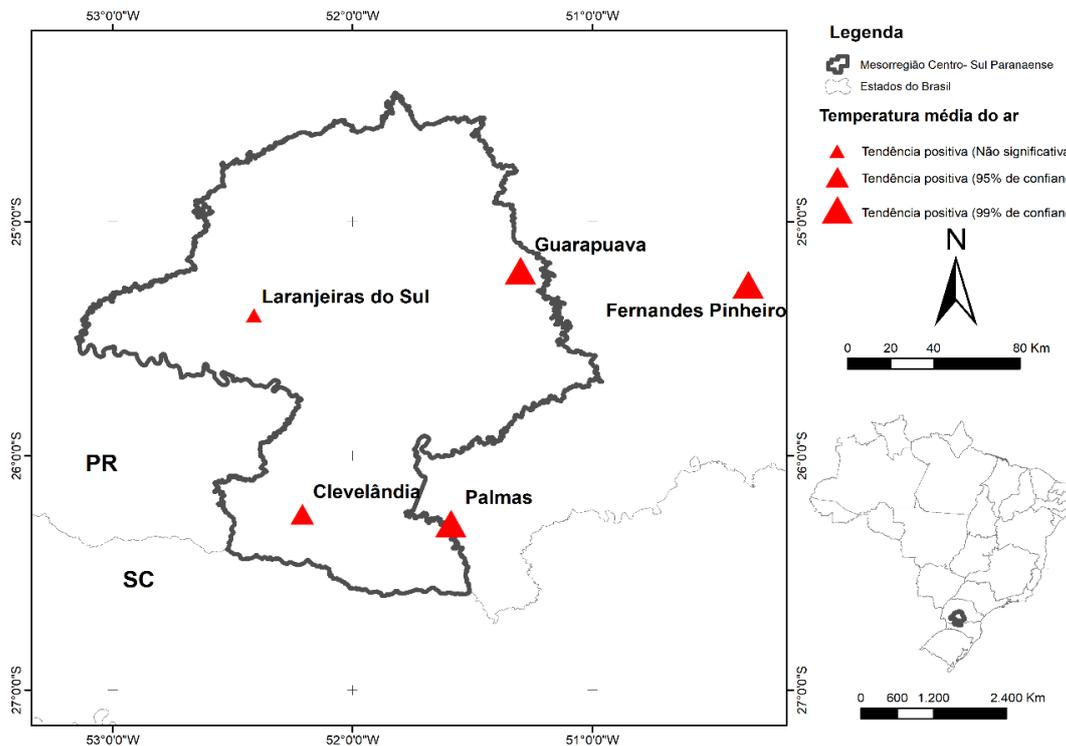
Estação	Equação	R^2	MK	Tendência	Pettit
Fernandes Pinheiro	$0,0279x + 16,618$	0,5689	6,184**	+	1983**
Laranjeiras do Sul	$0,0075x + 18,711$	0,031	1,471	+	2000
Clevelândia	$0,0132x + 16,982$	0,1443	2,435*	+	1990
Palmas	$0,0239x + 15,924$	0,4061	4,119**	+	2000**
Guarapuava	$0,0292x + 16,604$	0,4784	4,634**	+	2000**

Fonte: Organizados pelos autores. Significância a 99%=** e 95%=*

Além disso, no teste de Pettit pode se constatar que, diferentemente da temperatura média mínima do ar, as rupturas se concentraram no início dos anos 2000, em três dos cinco postos (Laranjeiras do Sul, Palmas e Guarapuava), sendo que no caso de Laranjeiras do sul esta não foi significativa. Já o posto Fernandes Pinheiro teve sua ruptura no ano de 1983 com confiança de 99% e Clevelândia teve a alteração em 1990, porém sem significância (Quadro 02).

Na Figura 10 repara-se que os postos localizados no setor leste da mesorregião apresentaram as maiores tendências de elevação, conforme já destacado, nos postos de Palmas, Guarapuava e Fernandes Pinheiro, já os postos de Clevelândia, no setor sudoeste e Laranjeiras do Sul na porção centro-oeste apresentam tendências de menor intensidade.

Figura 10 - Tendência da temperatura média do ar, por ponto de coleta.



Fonte: Organizado pelos autores (2020)

Após a investigação de tendência nos postos estudados atenta-se para o fato de que Palmas, Guarapuava e Fernandes Pinheiro mostraram tendência de elevação tanto na temperatura média do ar, como também na média mínima do ar, em ambos os casos com 99% de confiança, sendo estas localizadas no setor leste da mesorregião Centro-Sul Paranaense. Os pontos localizados no setor oeste, Clevelândia e Laranjeiras do Sul, apresentam tendências de aumento, porém com menor intensidade a partir dos testes estatísticos realizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Mesorregião Centro-Sul Paranaense apresentou grande discrepância nas variáveis meteorológicas analisadas principalmente vinculadas ao fator geográfico altitude, como a temperatura média variou de 16 a 22,1°C.

Tanto o risco de geada moderada quanto o de severa apresentaram altas probabilidades de ocorrências anuais. Toda a área com maiores altitudes da região apresentou 100% de risco por ano, enquanto ocorre a diminuição progressiva para as menores altitudes. Enquanto o

decêndio mais crítico para a ocorrência de geada foi 02-julho, indo do dia de 10 a 20 deste mês. Regionalmente, o período livre de geada foi do decêndio 02-março ao 01-novembro.

A análise de tendência relevou tendências significativas de elevação nas temperaturas média mínima e média do ar em três pontos, Fernandes Pinheiro, Palmas e Guarapuava, sendo as duas últimas localizadas nas áreas mais elevadas no setor leste da mesorregião.

Sendo assim, regionalmente, recomenda-se o plantio das espécies sensíveis ao frio e geada no terceiro decêndio de outubro ou no primeiro novembro, dessa forma, mostra-se possível o cultivo de espécies tropicais na mesorregião, desde que essas tenham ciclo curto.

REFERÊNCIAS

ADAMI, P. F., COLET, R. A., LEMES, E. S., OLIGINI, K. F., & BATISTA, V. V. Plantas de cobertura nas entressafras soja-trigo e soja-soja/Cover plants in soybean-wheat and soybean-soybean offseason. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16551-16567, 2020.

AMBROISE, V., LEGAY, S., GUERRIERO, G., HAUSMAN, J. F., CUYPERS, A., & SERGEANT, K. The roots of plant frost hardiness and tolerance. **Plant and Cell Physiology**, v. 61, n. 1, p. 3-20, 2020.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BLAIN, G.C. Detecção de tendências monótonas em série mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p1027-1033, 2010.

BORSATO, V. A dinâmica dos sistemas atmosféricos: Brasil e as massas de ares. In: **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Editora CRV, 182p. 2016.

CALDANA, N. F. S., RUDKE, A. P., DA SILVA, I., NITSCHKE, P. R., & CARAMORI, P. H. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil/Genesis, Impact and Variability of Hail Precipitations in the Central South Mesoregion of the State of Paraná, Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 56, p. 61-61, 2019.

CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; MARTELOCIO, A. C.; RUDKE, A. P.; COSTA, G. C. Z.; FERREIRA, L. G. B.; ZACCHEO, P. V. C.; CARVALHO, S. L. C.; MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Avocado (*Persea americana*) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. **Agriculture**, v. 9, p. 1-11, 2019.

CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; MARTELOCIO, A. C.; FERREIRA, L. G. B.; CARAMORI, P. H.; MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Guava (*psidium guajava* L.) in the Basin of Paraná River 3. **Revista De Agricultura Neotropical**, 2020.

CARAMORI, P. H. e; MANETTI FILHO, J. **Proteção dos cafeeiros contra geadas**.

Londrina, IAPAR, 1993. 28p. (IAPAR, Circular 79).

CARAMORI, P. H., MORAIS, H., ANDROCIOLO, A., LEAL, A. C., GORRETA, R., & CRUZ, R. F. R. **Utilização de espécies intercalares ao cafezal para proteção contra geadas: Resultados e perspectivas**. SPCB (02: 2001: Vitória, ES) – Resumos Expandidos [385] 2001. Disponível em < <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/1096> > Acesso em: 15 de março de 2020.

CARAMORI, P., ESQUERDO, J., ZULLO JÚNIOR, J., PINTO, H., & ASSAD, E. Análise da ocorrência de geadas no Estado do Paraná com base na temperatura de superfície obtida dos dados AVHRR/NOAA. In: **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE; SELPER, 2007.

CARAMORI, P. H., CAVIGLIONE, J. H., WREGE, M. S., HERTER, F. G., HAUAGGE, R., GONÇALVES, S. L., ... & RICCE, W. D. S. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.

CHAUHAN, Y. S.; RYAN, M. Frost Risk Management in Chickpea Using a Modelling Approach. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 460, 2020.

ELY, D. F.; KOGIMA, K. C. Índices Térmicos Para A Identificação De Ondas De Calor Aplicados Ao Estado Do Paraná, Brasil. **Geo UERJ**, n. 34, p. 40947, 2019.

FIORENTIN, A. M. X., DE MIRANDA, R. B., SCARPINELLA, G. D. A., CAMELINI, J. H., & MAUAD, F. F. Estudo de susceptibilidade à geada para a cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 43-50, 2016.

FONSECA, E. L.; BOLFE, E. L.; DA SILVA JÚNIOR, J. F. **Zoneamento agrícola para espécies frutíferas tropicais do Centro-Sul do Estado de Sergipe-Abacaxi, Banana, Mamão e Mangaba**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 19p. 2004.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **Censo Demográfico: Brasil**, 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: < <https://censo2020.ibge.gov.br> > Acesso em: 14 de março de 2020.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. **Special report on global warming of 1.5 C (SR15)**. 2019. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/> > Acesso em: 15 de março de 2020.

KOTIKOT, S. M., FLORES, A., GRIFFIN, R. E., NYAGA, J., CASE, J. L., MUGO, R., ... & IRWIN, D. E. Statistical characterization of frost zones: Case of tea freeze damage in the Kenyan highlands. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 84, p. 101971, 2020.

LEM, S., ONGHENA, P., VERSCHAFFEL, L., & VAN DOOREN, W. The heuristic interpretation of box plots. **Learning and Instruction**, v. 26, p. 22-35, 2013.

DE LIMA, J. F., ALVES, L. R., PIFFER, M., & PIACENTI, C. A. Análise regional das mesorregiões do Estado do Paraná no final do Século XX. **Análise Econômica**, v. 24, n. 46, 2006.

LIU, Y., ZHENG, W., WANG, Q., CAO, C., CHANG, M., & ROCCHI, I. Evaluating sulfur-free lignin as a sustainable additive for soil improvement against frost resistance. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119504, 2020.

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI** – Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 212 p. 2a edição, 2007.

MARTELOCIO, A. C.; CALDANA, N. F. S.; CARAMORI, P. H. Potencialidades e riscos climáticos para o cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) na Mesorregião Norte Central Do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 049-066, 2020.

MORAIS, H., CARAMORI, P. H., LEAL, A. C., MOREIRA, I. A., DE ARRUDA RIBEIRO, A. M., & FILHO, F. C. Avaliação de métodos de proteção contra geadas em cafezais recém implantados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 259-264, 2002

DE OLIVEIRA, D., BORROZZINO, E. Risco de geada e ocorrência de horas de frio abaixo de 7° C em Londrina, Guarapuava e Palmas, no estado do Paraná. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p.333-337, 2018.

RUSSELL, J. M.; TEDDER, M. J. Frost tolerance in *Vachellia sieberiana* var. *woodii* in the high-altitude grasslands of southern Africa. **South African Journal of Botany**, v. 128, p. 239-245, 2020.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente, Água**, v.8, n.3. p.214-228, 2013.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 31, p. 64-73, 2016.

SENTELHAS, P. C., JÚNIOR, P., TOLEDO, C., SIGRISTI, J. M. M., KAVATI, R., & PARODI, M. T. Temperatura letal de diferentes plantas frutíferas tropicais. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 201-235, 1996.

SHEN, Y., TANG, T., ZUO, R., TIAN, Y., ZHANG, Z., & WANG, Y. The effect and parameter analysis of stress release holes on decreasing frost heaves in seasonal frost areas. **Cold Regions Science and Technology**, v. 169, p. 102898, 2020.

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

SCHNEIDER, H.; DA SILVA, C. A. O uso do modelo box plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul.

Revista do Departamento de Geografia, v. 27, p. 131-146, 2014.

TERASSI, P. D. B., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., GOIS, G., & GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do paraná associada aos eventos de el nio-oscilação sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 11-25, 2018.

WREGE, M. S., FRITZSONS, E., SOARES, M. T. S., PRELA-PANTANO, A., STEINMETZ, S., CARAMORI, P. H., ... & PANDOLFO, C. Risco de Ocorrência de Geadas na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018.

ZARO, G. C., RICCE, W. D. S., CARAMORI, P. H., CARVALHO, S. L. C., & VICENTINI, M. E. Zoneamento agroclimático para a cultura do abacateiro no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 363-372, 2014.