

VARIABILIDADE TÉRMICA E A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE GEADA E CALOR EXTREMO NA MESORREGIÃO NORTE PIONEIRO PARANAENSE (BRASIL) – ESTUDO DE CASO DO ANO DE 2019

Thermal variability and the probability of frost and extreme heat in the Mesoregion Northern Pioneer of the Paraná State (Brazil) - case study of the year 2019

Nathan Felipe da Silva Caldana
Universidade Estadual de Londrina
nathancaldana@gmail.com

Jordana Mayra Nassar
Instituto Agronômico do Paraná
jordana.nassar@gmail.com

Marcelo Augusto de Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina
aquiariesilva@uel.br

Recebido em 06/04/2020
Aceito em 28/05/2021

RESUMO: Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima é ainda a variável mais importante na produtividade agrícola. O estado do Paraná se encontra em uma região de transição climática com grande variação dos elementos meteorológicos, sendo essencial a compreensão destes fenômenos devido a seus possíveis impactos. O objetivo deste trabalho foi analisar variabilidade térmica e a probabilidade de ocorrência de geada e calor extremo na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. E como objetivo secundário realizar um estudo de caso das variáveis meteorológicas analisadas para o ano de 2019. Para caracterização de variabilidade térmica, geada e calor extremo, foram utilizados dados de 10 estações meteorológicas. Foram aplicadas técnicas estatísticas e de geoprocessamento, como regressões e interpolações para garantir uma plena cobertura regional de informações. Identificou-se grande variabilidade climática na região, principalmente recorrente as diferenças de altitude que influenciam no regime térmico. Pela localização em área de transição climática a Mesorregião registrou temperaturas máximas e mínimas extremas. A área da região com maiores altitudes apresentou alta probabilidade de ocorrência anual de geada. Pelo estudo de caso, identificou-se que o ano de 2019 foi de 1 a 2,5°C mais quente em toda região, mesmo assim houve ocorrência de geada com a entrada de uma frente fria no início de julho com registro de temperaturas inferiores a -4°C.

Palavras-chave: Eventos Extremos; Variabilidade Climática; Temperatura.

ABSTRACT: Despite recent technological and scientific advances, the climate is still the most important variable for crops productions. The Parana state, South of Brazil, is located in a climatic transition region and this is important to comprehend and to study a great variation of the meteorological elements and their impacts. The objective of this work was to analyze thermal variability and the probability of frost and extreme heat in Mesoregion northern pioneer of the Paraná State. And as a secondary objective to conduct a case study of the meteorological variables analyzed for the year 2019. To characterize thermal variability, frost and extreme heat, data from 10 meteorological stations were used. Were applied statistical and geoprocessing techniques, such as regressions and interpolations to ensure full regional coverage of information. Great climatic variability has been identified in the region, mainly due to differences in altitude that influence the thermal regime. Through the location in a climate transition area, the Mesoregion recorded maximum and minimum extreme temperatures. The area of the region

with the highest altitudes presented a high probability of annual frost occurrence. By the case study, it was identified that the year 2019 was 1 to 2.5°C warmer in the entire region, even so there was a frost occurrence with the entry of a cold front in early July with a record of lower temperatures at -4°C.

Keywords: Extreme Events; Climate Variability; Temperature.

INTRODUÇÃO

Os impactos sociais e ambientais causados por eventos extremos climáticos estão cada vez mais notórios em todo o mundo (WANG et al., 2020). Estudos climáticos que contemplem os impactos no espaço geográfico são fundamentais para se pensar no planejamento de como mitigar os danos dos eventos climáticos extremos que atingem a sociedade de forma diferente conforme sua vulnerabilidade (MENDONÇA et al., 2016). A variabilidade climática concede uma influência significativa sobre as atividades humanas, pois pode oscilar quanto à temperatura, precipitação e frequência de eventos extremos, como secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde e sobre o meio ambiente em escala local ou regional (WANG et al., 2018; YLÄ-ANTTILA et al., 2018). Com essa preocupação, diversos trabalhos são realizados pela comunidade científica mundial para buscar compreender como se formam esses eventos climáticos extremos, quais impactos que vem causando, e os possíveis impactos que poderão causar para as atividades humanas e como mitigar os efeitos das mudanças climáticas (CALDANA et al., 2018; THORPE e FIGGE, 2018; AGOVINO et al., 2019; AUSTIN et al., 2019; HO, 2019; KIM et al., 2019; ZHAI e HELMAN, 2019).

Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima ainda é a variável mais importante na produção agrícola. As variáveis naturais mais significativas no processo produtivo são provenientes do clima, independentemente do modo de produção, sendo consideradas insumos e energia no sistema terrestre (AYOADE, 1986; AGOVINO et al., 2019). O clima e as condições meteorológicas são responsáveis por até 80% da variabilidade da produção agrícola (CARAMORI et al., 2008). A precipitação pluviométrica é o elemento mais importante e o atributo climático de maior expressão e significância nas regiões de clima tropical e subtropical (PELL et al., 2007; GELCER et al., 2018; MICHLER et al., 2018; AGOVINO et al., 2019).

Existem condições que limitam o cultivo por eventos extremos das variáveis meteorológicas, como a geada, considerada o elemento que causa danos irreversíveis a espécies mais sensíveis. Os danos provocados pela geada variam de acordo com a espécie vegetal e seu estágio fenológico, podendo-se estimá-los em função da temperatura do ar junto às plantas (SENTELHAS et al., 1995). A temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico é importante no levantamento de geadas, considerando-se 2°C como o limite abaixo do qual se iniciam os prejuízos (ASTOLPHO et al., 2004; WREGE et al., 2005; CARAMORI et al., 2008). No entanto, é a temperatura mínima observada sobre a relva, na noite da geada, que dará a noção exata do nível de dano ocorrido.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar variabilidade térmica e a probabilidade de ocorrência de geada e calor extremo na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. E como objetivo secundário realizar um estudo de caso das variáveis meteorológicas analisadas para o ano de 2019.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A mesorregião Norte Pioneiro do Paraná está localizada nos segmentos do Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses. Sua área abrange quase 16.000 km², o que corresponde cerca de 7,9% do território do estado. A região é composta por 46 municípios, estando entre eles Cornélio Procópio, Santo Antônio da Platina e Jacarezinho que se destacam devido a quantidade de habitantes expressiva e os níveis de polarização (TOMÉ e DE LIMA, 2014).

A região apresenta dois tipos distintos de clima conforme a classificação climática de Köppen, o Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa) com verões quentes chuvosos (com valores em média de 1.300 mm) e baixa frequência de geadas. A amplitude de temperatura vai de 22°C nos meses mais quentes, e chega a registrar valores inferiores a 18°C nos meses mais frios (NITSCHE et al., 2019).

O relevo da região (Figura 01) apresenta grande diferença altimétrica mesmo sendo uma região pequena do Estado do Paraná. Nas margens do Rio Paranapanema, a altitude não supera os 400m, enquanto avançando pela porção sul da Mesorregião, na porção serrana as altitudes chegam a atingir os 1.100m, apresentando assim, grande variabilidade climática.

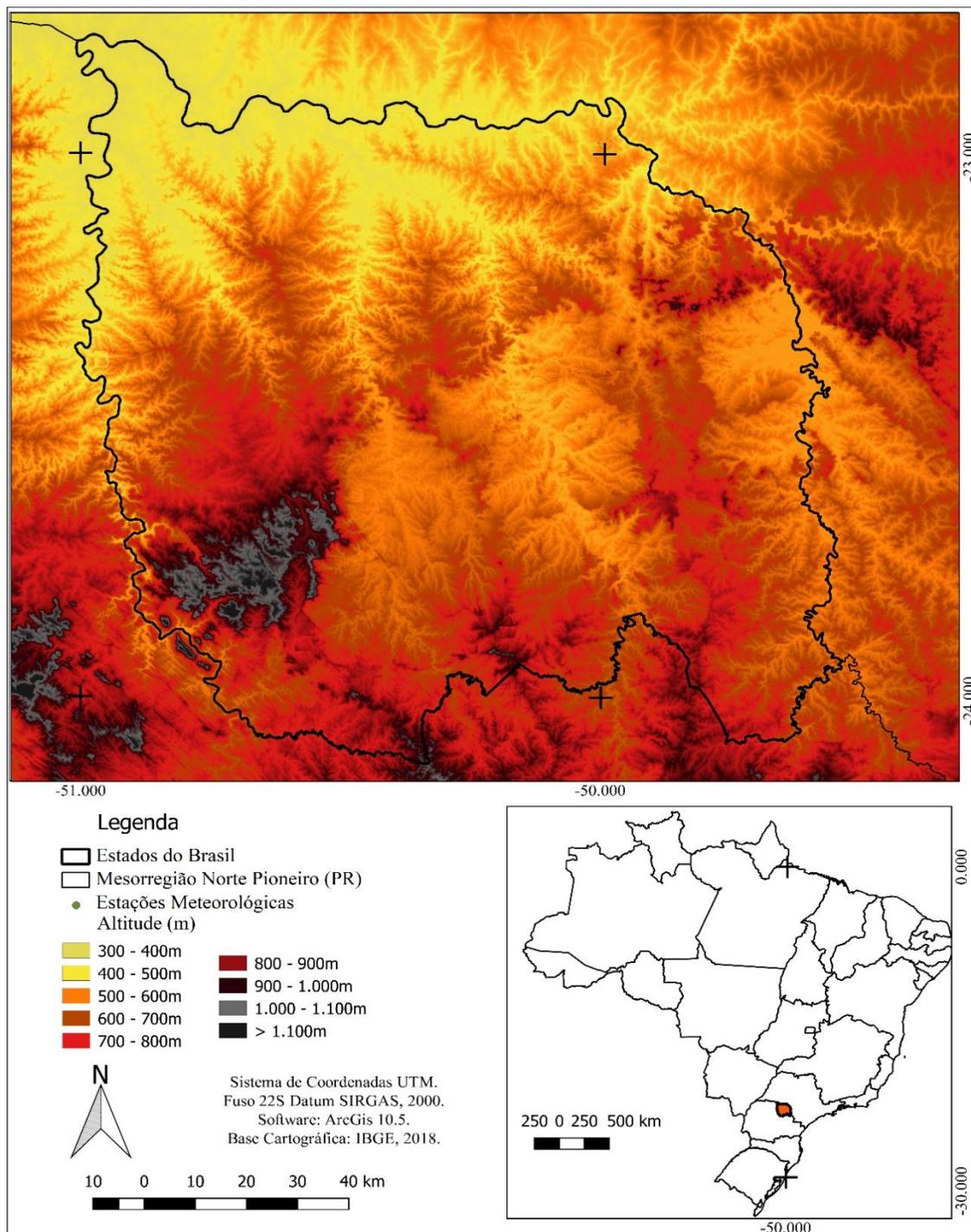


Figura 01. Hipsometria na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Análise estatística

Para a caracterização da variabilidade térmica, geada e de calor extremo foram utilizados dados de 10 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional das Águas (ANA) e do Instituto das Águas do Paraná (Figura 02).

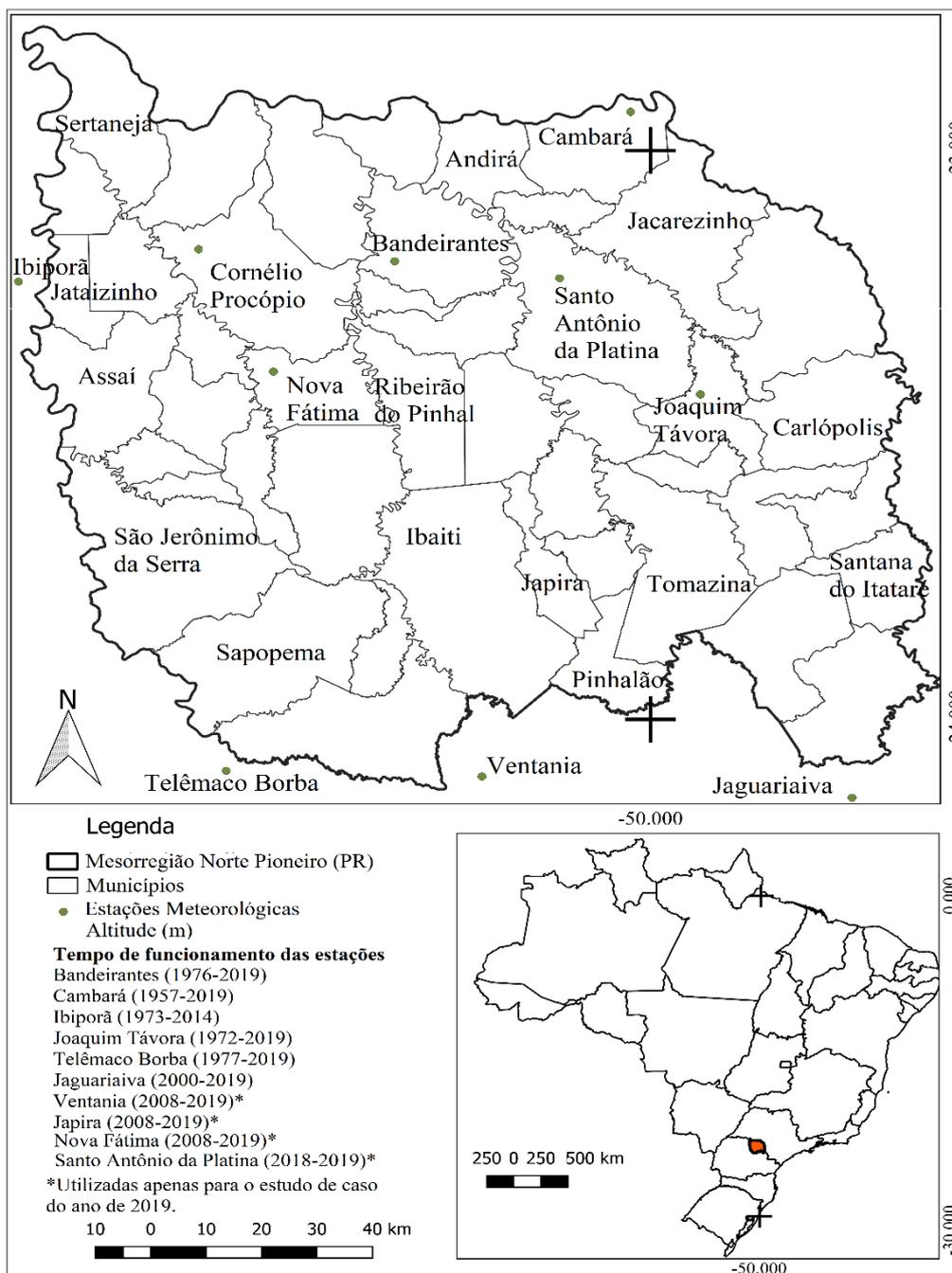


Figura 02. Localização da área de estudo e estações meteorológicas utilizadas da Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Foi utilizado a base do SRTM - Shuttle Radar Topography Mission 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. 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, d são coeficientes da regressão. Essa fórmula é aplicada no software de geoprocessamento Arcgis sobre o arquivo do SRTM, possibilitando gerar mapas, como já mencionado, 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 equação $y = a + x.lat + y.long + z.alt$.

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 foi inferior a 2,0°C. Assim, analisando-se a série de dados de cada estação, sempre que a temperatura de um dia era 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 (WREGE, 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 (WREGE, 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 e os maiores 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:

$$P = n(\text{evento})/n(\text{amostra})$$

Sendo, P a probabilidade de risco

$n(\text{evento})$, o número de ocorrências.

$n(\text{amostra})$, o total de anos analisados por estação.

Sendo classificado, qualquer valor de temperatura do ar inferior a 2°C como geada, e qualquer temperatura superior a 35 e 38°C.

Para o estudo de caso do ano de 2019, foram extraídos a temperatura média das estações analisadas e mapeadas por meio da fórmula de regressão já citada. Para a geada foi mapeada a temperatura mínima do dia 06 de julho de 2019 e criado uma tabela com todas as datas de ocorrência de geada neste ano.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variabilidade térmica

Para a distribuição das temperaturas médias na região (Figura 03), observou-se que na calha do rio Paranapanema, no extremo norte da mesorregião, identificou-se as maiores temperaturas médias, superiores a 23,5°C, é a porção mais baixa da área analisada, com média de 300m de altitude (Figura 01). Na porção central, a uma curta distância, também graças ao fator altitude, encontram-se temperaturas médias inferiores a 20°C.

Com a grande discrepância de altitudes observadas na região (Figura 01) as porções com altitudes superiores a 1.100m registraram as menores temperaturas médias, variando de 17,5 a 19°C, em toda a área serrana, próximo a São Jerônimo da Serra e Sapopema.

O fator geográfico latitude também se mostrou presente, uma vez que, a porção mais a sul da MRNCP apresentou temperaturas médias inferiores a 20°C, mesmo nas áreas com altitude de 400 a 500m.

Por estar localizada em área de transição climática entre o clima tropical e subtropical e cortada pelo trópico de capricórnio (NITSCHKE et al., 2019), a região apresenta temperaturas muito elevadas nas estações de primavera e verão e frias no outono e inverno. A maioria das espécies tropicais se desenvolvem satisfatoriamente quando submetidas à temperaturas acima dos 23°C, onde que atreladas a presença de água no solo, conseguem atingir índices fisiológicos elevados. Entretanto, temperaturas extremas podem causar danos às culturas e ao seu rendimento produtivo (CARAMORI et al., 2016).

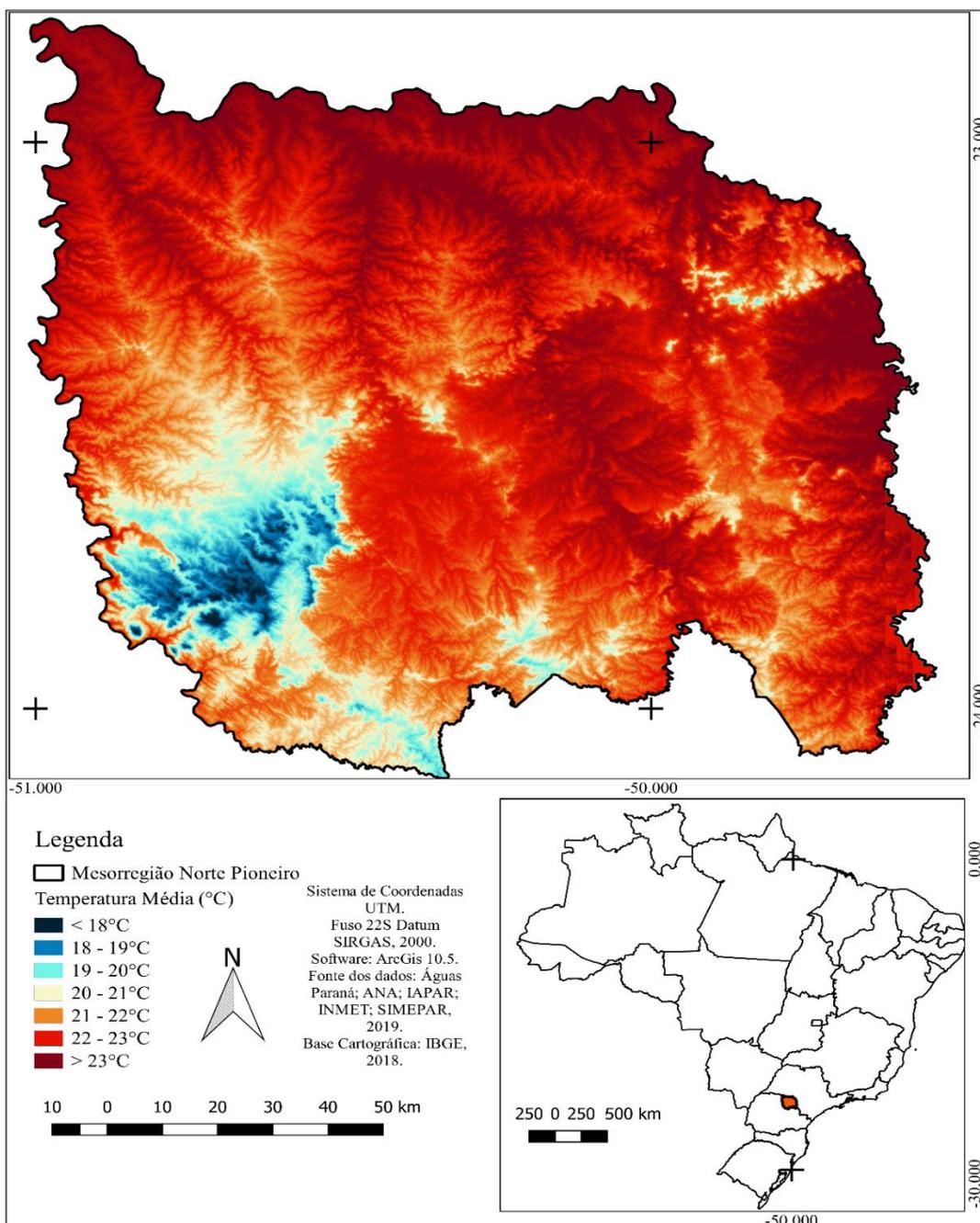


Figura 03. Distribuição da temperatura média do ar na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense (1976-2019). Organizado pelos autores.

Em caso de temperaturas extremas inicia-se o processo com o fechamento estomático, reduzindo drasticamente a fotossíntese. São por essas células, que ocorrem a entrada do dióxido carbono, matéria-prima importante para o processo fotossintético. Entretanto, o fechamento dos estômatos é um evento biofísico com a finalidade de evitar perdas de água para a atmosfera na forma de vapor, equilibrando a temperatura da superfície foliar e evitando assim, a desidratação da planta. Porém,

as temperaturas extremamente frias ocasionam a morte celular (ASTOLPHO et al., 2004). As células das plantas são compostas por solutos, e as temperaturas mínimas extremas aumentam a viscosidade e densidade dos fluídos internos das folhas, reduzindo seu deslocamento intercelular e rompendo as membranas das células. Em outros casos, cessa o crescimento das plantas, e retarda severamente seu ciclo. Dependendo do estágio fenológico, o dano pode ser irreversível, e o impacto é sentido em maior escala no desenvolvimento inicial das culturas (SENTELHAS et al., 1996).

Dessa forma, para conseguir garantir um maior sucesso na prática agrícola, mitigar os riscos e evitar o uso de agroquímicos, conhecer a variabilidade climática de uma região é fundamental para o planejamento agrícola, ainda mais em uma região de transição climática, como a MRNPP.

Por meio das temperaturas médias mensais (Figura 04) a região apresenta grande variabilidade dentre as estações do ano. As temperaturas atingem o ápice no verão, reduzindo gradativamente nos meses de outono e inverno, para voltar a subir na primavera, em toda a região analisada.

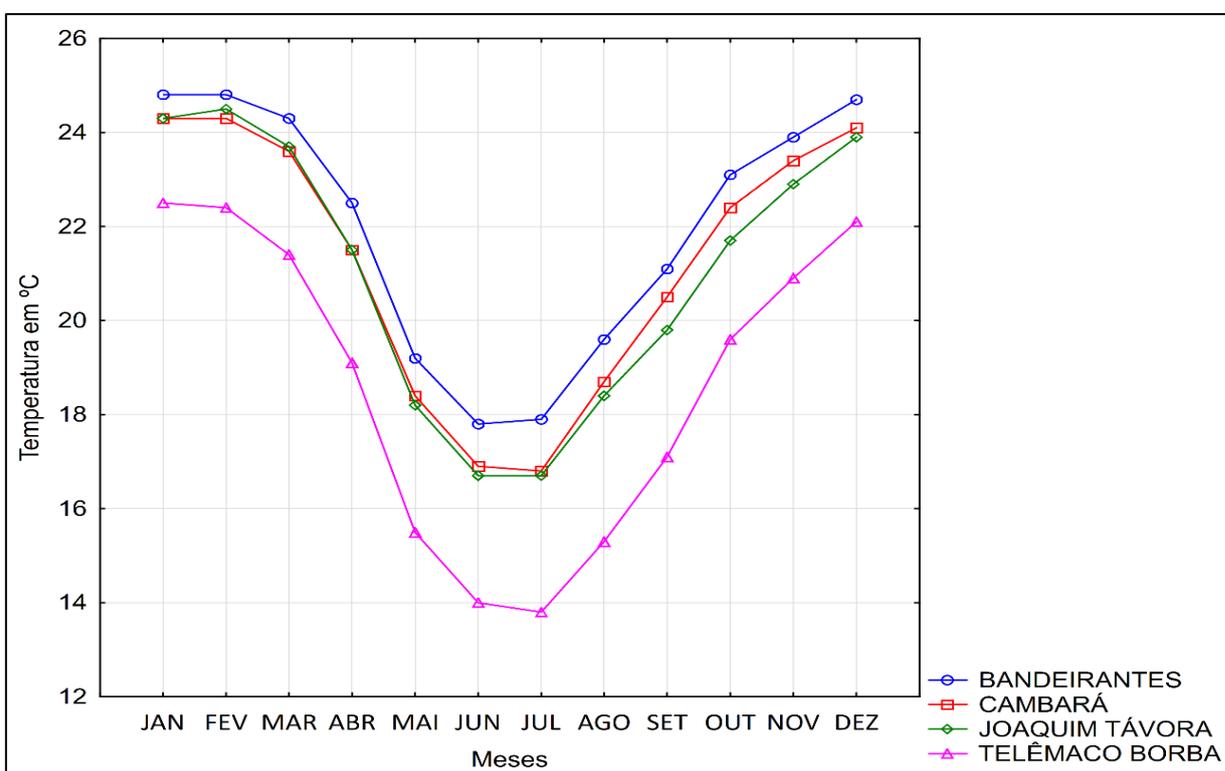


Figura 04. Temperatura do ar média mensal na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

A estação de Telêmaco Borba, localizada a 800 m de altitude e representando a região mais alta da área analisada, possuiu todas as temperaturas médias inferiores as demais localidades analisadas. O menor registro analisado foi no mês de julho com 14,8°C na média, e ainda, com menos de 1,5°C em relação as demais estações.

Enquanto Bandeirantes, localizada a 490m de altitude apresentou as maiores temperaturas médias em todos os meses analisados.

O excesso de calor, com temperaturas elevadas (Figura 05), pode trazer danos para as culturas agrícolas. No trigo (*triticum*) por exemplo, são causadores de esterilidade na espiga, sendo um dos principais fatores limitantes da produção (RIBEIRO et al., 2012). Em frutas como a banana e algumas variedades de citros, as temperaturas altas induzem o fechamento dos estômatos, reduzindo bruscamente a taxa fotossintética, levando a uma paralisação do crescimento. As temperaturas superiores a 35°C, acarretam a inibição do desenvolvimento da planta, com a desidratação dos tecidos, principalmente das folhas (BORGES, 2004; COELHO et al., 2009). Para temperaturas superiores a 38°C, cessa o crescimento, levando a folha a apresentar o limbo estreito, curto e reduzido ao nível do pecíolo (BORGES, 2004), sendo classificado sua frequência superior a 20% por decêndio como risco para o pleno desenvolvimento da cultura. Sendo estes, apenas alguns exemplos da nocividade do calor extremo para o campo.

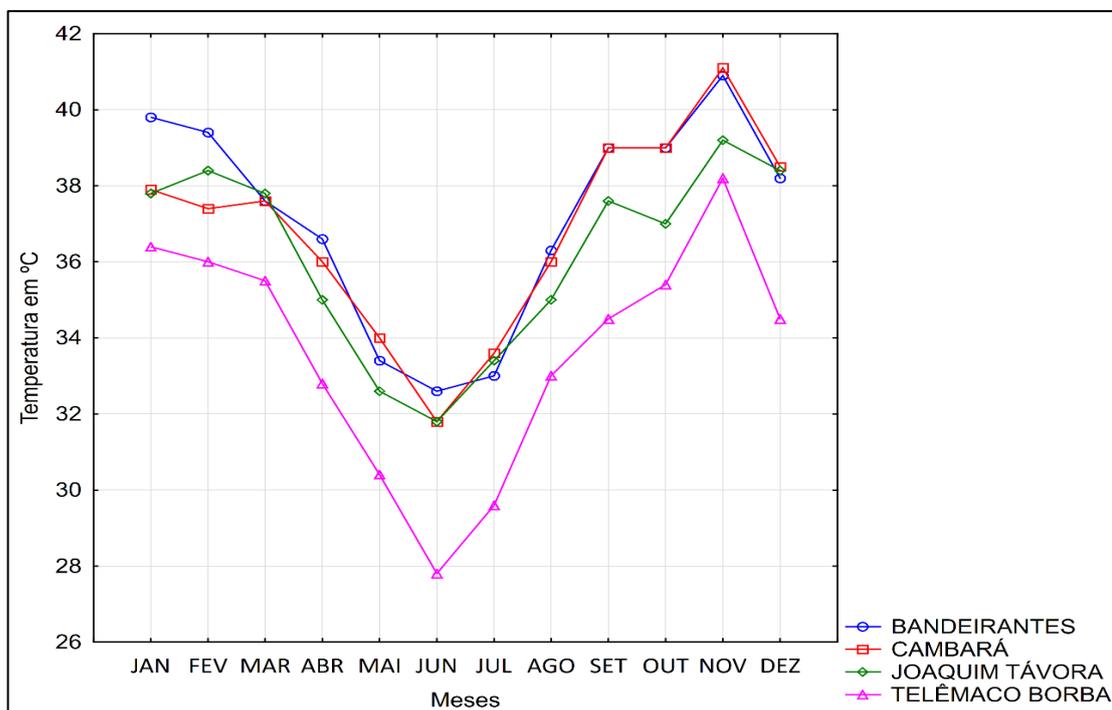


Figura 05. Temperatura Máxima Recorde mensal na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Identificou-se pelos padrões, que diferente das temperaturas médias, os picos de calor extremo ocorreram no final da primavera. Sendo o maior registro na região de 41,1°C em Cambará, e ainda de 40,9°C em Bandeirantes, ambas no mês de novembro de 1985. Essas temperaturas elevadas tendem a ocorrer na primavera em períodos secos. No verão, a probabilidade de ocorrerem temperaturas tão elevadas no estado do Paraná é menor, por ser a estação mais chuvosa, e conseqüentemente com mais

nebulosidade, diminuindo a taxa de radiação direta que chega à superfície (NITSCHKE et al., 2019).

Para os decêndios (Figura 06) o risco foi similar à distribuição dos registros mensais, com maior risco na primavera, seguido do verão e reduzindo progressivamente para o outono e inverno. O maior risco foi registrado em Bandeirantes no decêndio 02-setembro, atingindo 70% de probabilidade. Padrão similar foi identificado em Cambará, com destaque para ocorrências de temperaturas superiores a 38°C, com pico no decêndio 03-outubro de 30%, o maior dentre as estações analisadas.

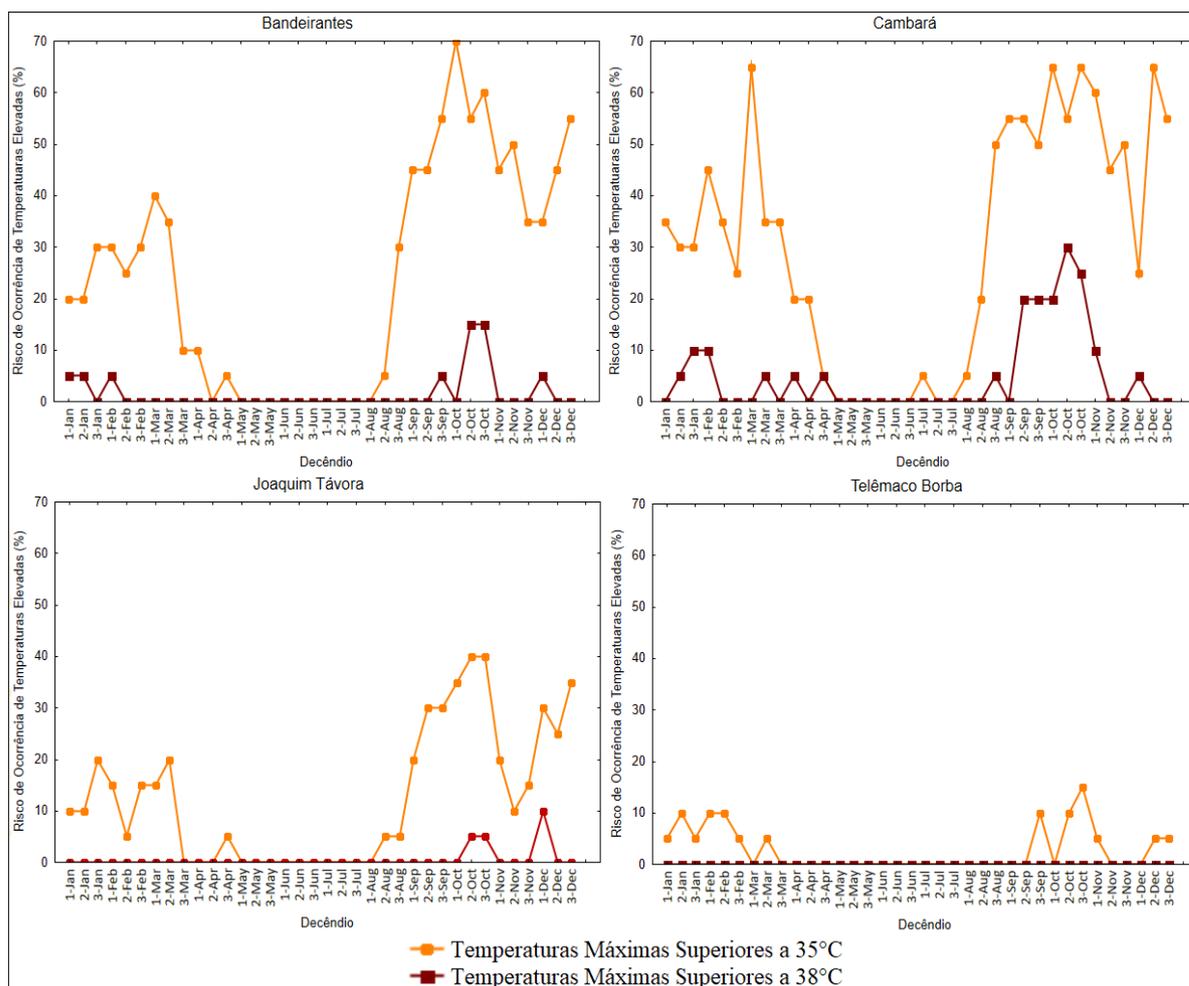


Figura 06. Probabilidade de ocorrência de temperaturas extremas (Superiores a 35 e 38°C) por decêndio na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Em Joaquim Távora, localizada numa área de transição climática da região, o risco diminui, mas ainda se mostra presente. Para temperaturas superiores a 35°C o risco chega a no máximo 40% em dois decêndios, enquanto para 38°C se mostrou muito raro.

Já em Telêmaco Borba, como identificado nas maiores altitudes da região, nunca houve temperatura superior a 38°C, e mesmo as de 35°C se mostraram pouco frequentes nesta área, com risco máximo de 15% no decêndio 03-outubro.

A temperatura limite de sobrevivência das espécies pode variar, tanto para o calor quanto para o frio, dessa forma, foi averiguado o risco ocorrências de temperaturas inferiores a 2°C dentro do abrigo meteorológico (Figura 07), graças a inversão térmica, onde na relva pode atingir -2°C e ocasionar geada (CARAMORI e MANETTI FILHO, 1993).

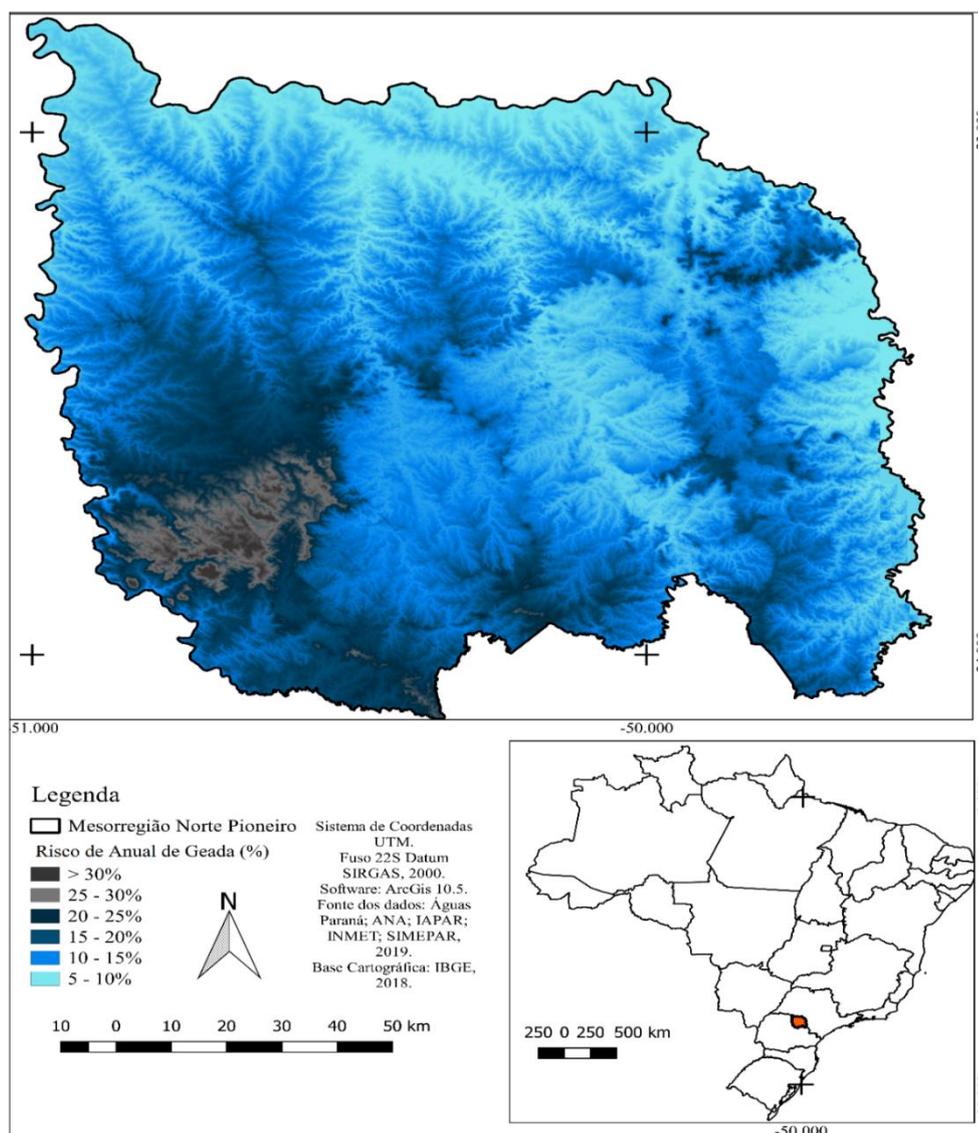


Figura 07. Distribuição do risco de geada anual na Mesorregião Norte Pioneiro (PR). Organizado pelos autores.

O risco e ocorrência de geada é o principal fator restritivo da agricultura no Estado do Paraná (DE OLIVEIRA e BORROZZINO, 2018). Existem as geadas advectivas (também conhecidas como geadas negras) e as de radiação. As geadas que ocorrem

com maior frequência no estado do Paraná são as de radiação. Formam-se regionalmente logo após a passagem das frentes frias e sob condições de céu limpo e ausência de vento (CARAMORI e MANETTI FILHO, 1993). 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).

Identificou-se risco maior de geada nas áreas com maiores altitudes da região, ultrapassando os 30% de risco pela média anual (Figura 07). A região central, graças as grandes amplitudes do relevo mostraram grande variância, oscilando de 10 a 25% em regiões próximas. O risco de geada é reduzido apenas nos extremos da região, nas bordas do Rio Paranapanema (extremo norte) e Itararé (extremo leste) com 5%.

Ao comparar a região analisada com as informações do trabalho de Oliveira e Borrozzino (2018) identificou-se que o número de ocorrência de geadas da região Norte Pioneira mais se assimila com o Norte Central do Paraná, principalmente na estação de Londrina, do que em estações do Centro e Sul do Paraná, como Guarapuava e Palmas, com mais de 1.000m de altitude. O número de geadas e de horas de frio abaixo de 7° C aumenta do norte para o sul do Paraná, variando de 4 até 23 eventos e de 45 até 445 horas de frio por ano.

Se como identificado, temperaturas abaixo de 2°C no abrigo meteorológico já são suficientes para congelar a vegetação na relva, temperaturas ainda menores podem agravar os danos fisiológicos gerados (CARAMORI e MANETTI FILHO, 1993). Dessa forma, identificou-se a temperatura mínima recorde de estações localizadas na região.

O menor registro observado nas distintas séries temporais analisadas foi em Joaquim Távora, com -5,4°C (Figura 08) na “geada negra” de 1975, evento extremo que dizimou o café no Estado do Paraná (RODRIGUES e PELEGRINI, 2018) nesta mesma data, em Cambará, foi registrado -3,7°C. As estações de Telêmaco Borba e Bandeirantes ainda não haviam sido instaladas neste período, mas seguindo as tendências das análises anteriores, é provável que nas regiões com maiores altitudes o evento tenha sido ainda mais danoso e severo.

Como observado, os meses de primavera e verão apresentaram poucos casos de temperaturas realmente frias, ou letais para boa parte das espécies agricultáveis de clima tropical, favorecendo o plantio na região para as espécies de ciclo curto (CALDANA et al., 2019). Apenas Telêmaco Borba apresentou todos os meses com ocorrência de temperaturas inferiores a 10°C.

Quanto ao período livre de geadas, este é fundamental para o planejamento agrícola, apresentando com precisão e a cada 10 dias a probabilidade de se ter uma ocorrência de geada em uma localidade. Dessa forma, pode-se adequar desde a semeadura a colheita de espécies de cultivo temporário, podendo realizar até duas safras no ano de determinada cultura fora do período de geada.

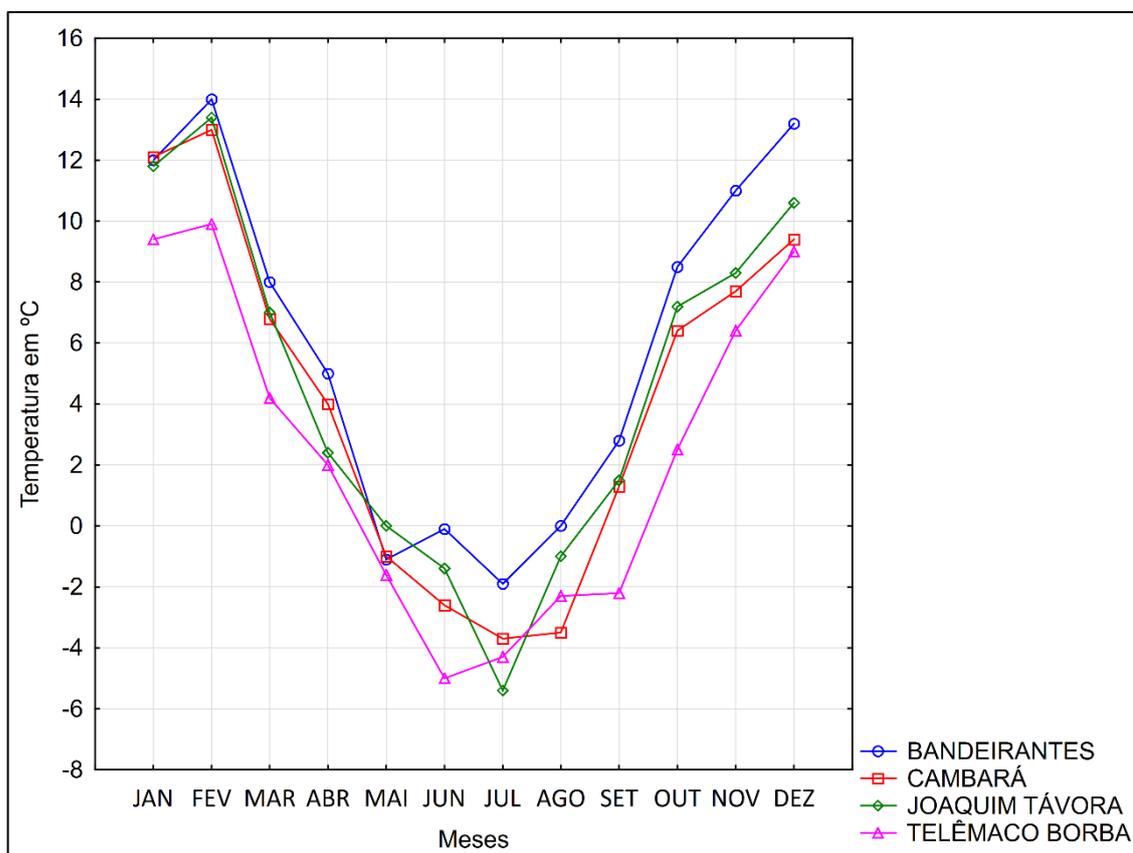


Figura 08. Temperatura Mínima Recorde na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Em Bandeirantes identificou-se risco máximo de 10% (Figura 09) de ocorrência de geada em dois decêndios (03-junho e 03-julho). O risco permanece baixo em Cambará e Joaquim Távora, com máximo de 15%, também no decêndio 03-julho, porém nessas, o risco já se mostra presente de maio a setembro. Os maiores registros foram em Telêmaco Borba, com geadas desde abril e pico de 50% no decêndio 02-julho, demonstrando assim, que metade dos anos da série analisada para essa localidade apresentaram ocorrência de geada.

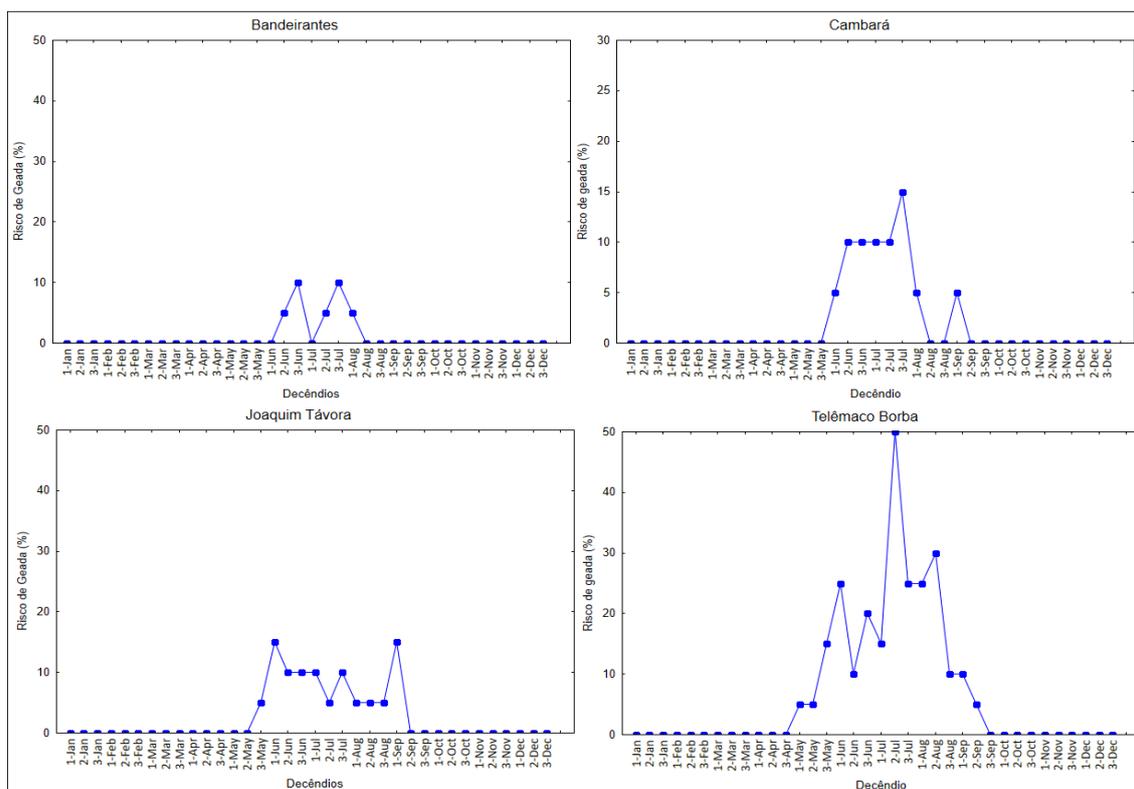


Figura 09. Probabilidade de ocorrência de geada por decêndio Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

O maior período livre de geada foi identificado em Bandeirantes (Tabela 01), localizado na porção norte da bacia e próximo à calha do Rio Parapanema, com risco de geada entre os decêndios 01-junho até 02-agosto. Regionalmente, o período livre de geadas vai do decêndio 03-abril a 03-setembro. Sendo assim, recomenda-se o plantio das espécies sensíveis ao frio e geada no primeiro decêndio de outubro, sendo também o período mais chuvoso (NITSCHKE et al., 2019), contribuindo assim, na semeadura, e garantindo maior período livre de geada no desenvolvimento da muda, e terminar o ciclo de culturas temporárias até a ocorrência da primeira geada na região, que pode ocorrer no final de abril.

Tabela 1. Período livre de geada na Bacia do Rio Paraná 3

Estação Meteorológica	Período Livre de Geada
Bandeirantes	Primeira geada: Decêndio 1-jun Última geada: Decêndio 2-ago
Cambará	Primeira geada: Decêndio 3-mai Última geada: Decêndio 2-set
Joaquim Távora	Primeira geada: Decêndio 2-mai Última geada: Decêndio 2-set
Telêmaco Borba	Primeira geada: Decêndio 3-abr Última geada: Decêndio 3-set

Organizado pelos autores.

Estudo de caso

Para o estudo de caso da temperatura no ano de 2019 (Figura 09), identificou-se aumento na temperatura média desse ano em relação à média histórica (Figura 03). Houve desvio na média ao comparar esse ano de 1 a 2,5°C a mais em toda região.

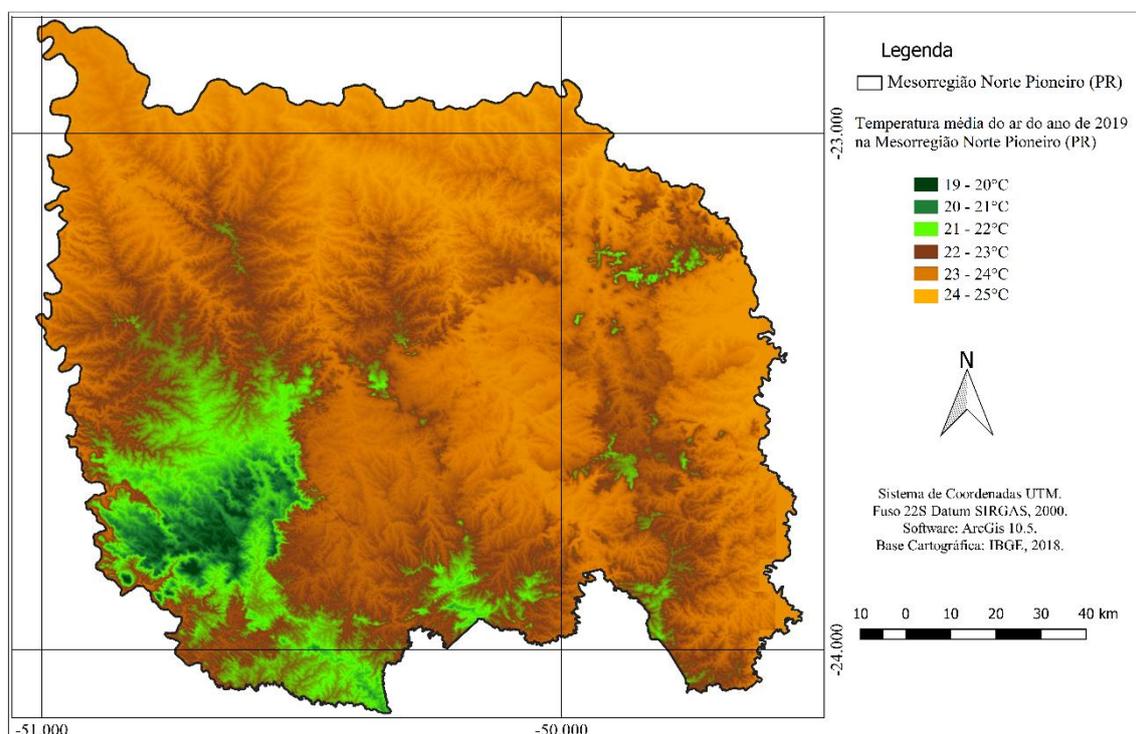


Figura 09. Temperatura média do ar no ano de 2019 na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

Na região fria, as menores temperaturas por meio da média histórica é de 17,5°C enquanto no ano de 2019, os menores registros foram de 19°C. Enquanto as áreas mais quentes as máximas foram registradas nas bordas dos rios com valores máximos de 23,2°C, neste ano, foi registrado 24,3°C em algumas localidades.

Como este estudo abordou-se especificamente esse ano não foi identificado se esse aumento vem se tornando um padrão, principalmente em relação as mudanças climáticas, porém mesmo particularmente nesse ano os valores apresentaram cenários alarmantes que devem ser analisados.

Mesmo com a média do ano superior à média histórica, toda a região, como todo o Estado do Paraná e Região Sul do Brasil tiveram geadas de intensidade moderada a severa no ano de 2019 (SIMEPAR, 2019).

No dia 03 de julho, a entrada de uma massa de ar polar encontrou o ar mais quente na região sul do Brasil e causou chuvas leves e posteriormente predomínio de ar frio e formação de geada na manhã seguinte em todo o Estado do Rio Grande do Sul e

parte de Santa Catarina, na Figura 10 pode-se observar a entrada do sistema no Estado Paraná. No dia 04 e 05, a frente fria já havia se instaurado sob o Sul do Estado do Paraná, trazendo chuva, graças ao choque de massas, e no dia 06 na Mesorregião analisada, localizada no Nordeste do Paraná.

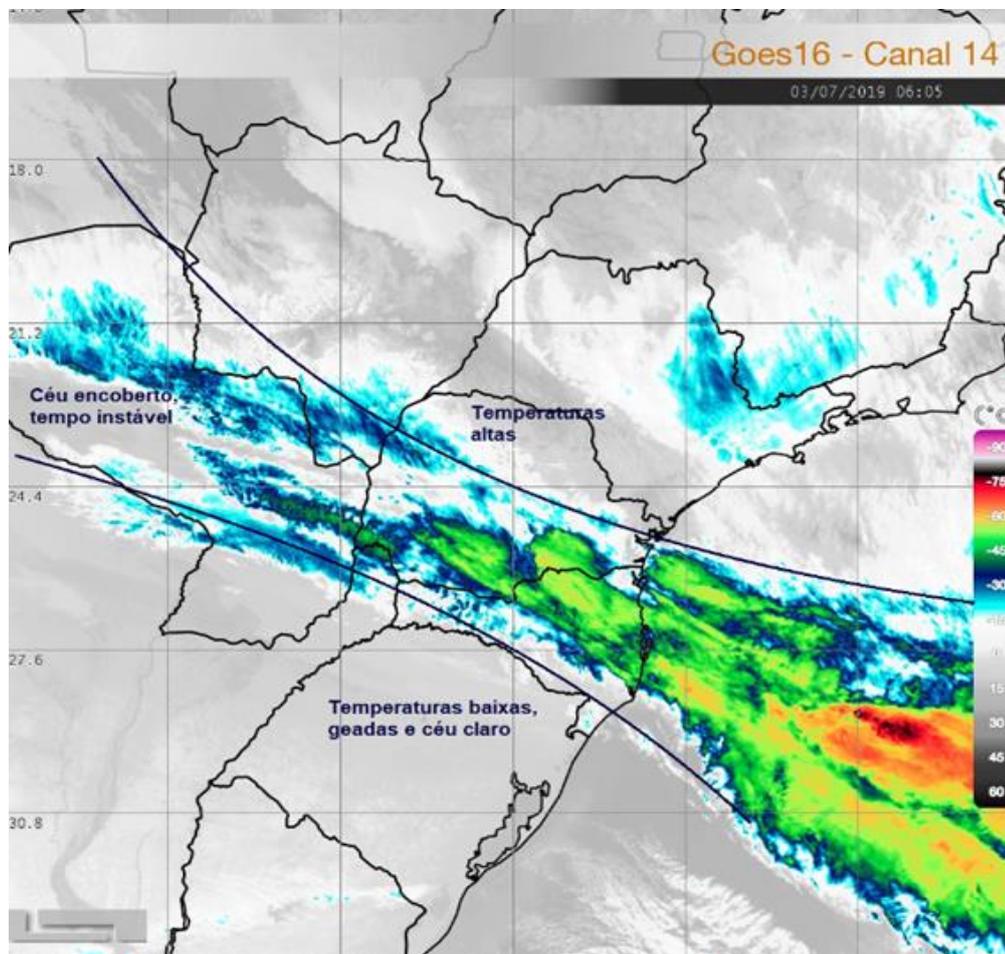


Figura 10. Imagem de satélite das condições atmosféricas no dia 03 de julho de 2019 na Região Sul do Brasil Fonte: SIMEPAR, 2019; adaptado pelos autores (2020)

Especificamente, no dia 06 de julho de 2019, após a passagem da chuva, as temperaturas despencaram e houve a formação de geada moderada a severa em boa parte da região. Pela regressão a temperatura mínima estimada para a região com maiores altitudes foi $-4,2^{\circ}\text{C}$ (Figura 11).

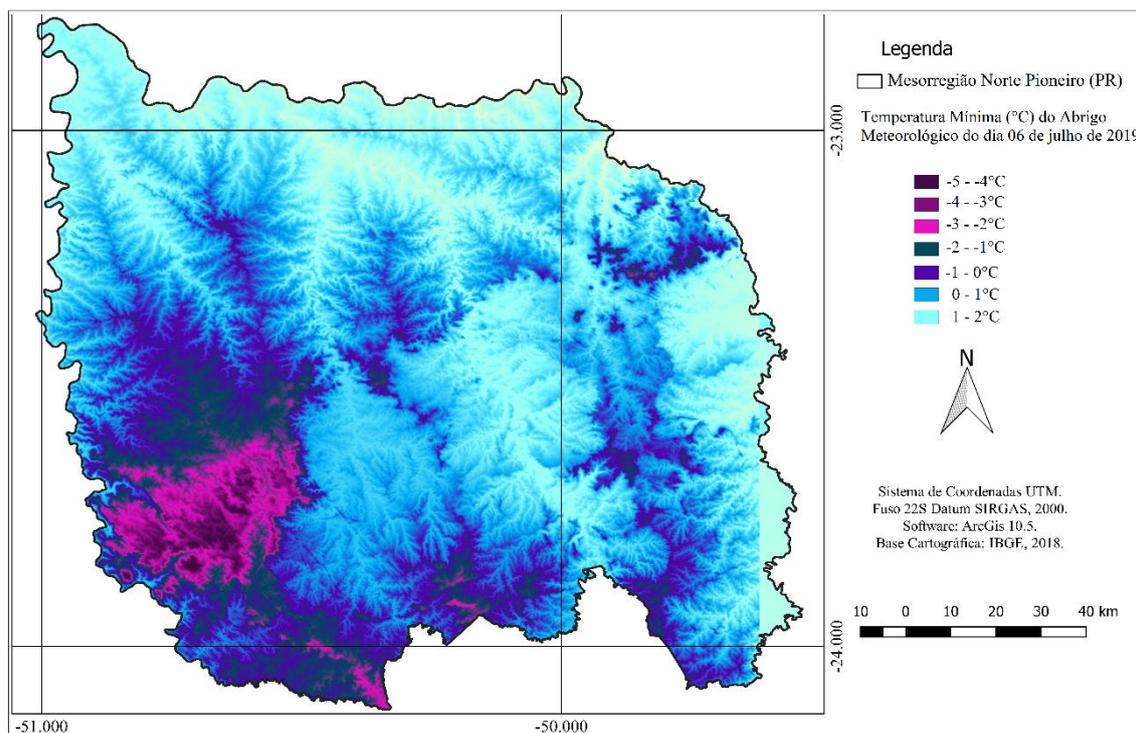


Figura 11. Temperatura Mínima (°C) do Abrigo Meteorológico no dia 06 de julho de 2019 na Mesorregião Norte Pioneiro Paranaense. Organizado pelos autores.

O maior registro foi observado na estação meteorológica de Bandeirantes e nas áreas próximo a calhas dos grandes rios da região, apresentando temperaturas de 1,5 a 2°C. O predomínio do ar seco e frio continuou no decorrer do dia e as máximas na região não superaram os 14°C (SIMEPAR, 2019).

No decorrer da noite do dia 6 as temperaturas entraram em declínio após o pôr do sol, para que na madrugada dia 7, boa parte da região apresentasse geada novamente (Tabela 02). Apenas na estação meteorológica de Bandeirantes as temperaturas mínimas não chegaram a menos que 2°C.

Em Telêmaco Borba e nas áreas com altitudes maiores que 1.000m a geada se perdurou até o dia 9. Nestas áreas, no início do mês de agosto, nos dias 4 e 15 houve a formação de novas geadas com a entrada de novas massas de ar polar.

Tabela 2. Ocorrências de geada na Mesorregião Norte Pioneiro (PR) em 2019

Estação Meteorológica	Bandeirantes	Cambará	Jaguariaíva	Joaquim Távora	Telêmaco Borba
Temperatura do ar e data de ocorrência	2°C (06/07)	-0,5°C (06/07)	-0,9°C (06/07)	0,5°C (06/07)	-1,8°C (06/07)
		1,5°C (07/07)	-0,9°C (07/07)	0,5°C (07/07)	-1,2°C (07/07)
					-0,5°C (08/07)
					1,0°C (09/07)
					1,8°C (04/08)
					0,5°C (15/08)

Fonte: IAPAR e SIMEPAR (2019). Organizado pelos autores.

Dessa forma, averiguou-se que mesmo em anos mais quentes na região são propícios a formação de geada. A força da massa de ar polar ou o atrito com o ar mais quente localizado nesta porção do continente podem favorecer para a intensidade e severidade do evento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificou-se grande variabilidade climática na região, principalmente recorrente as diferenças de altitude que influenciam no regime térmico. A temperatura média histórica dentre as estações da região apresentou grande discrepância, variando de 17,5 a 23°C. Pela localização em área de transição climática a Mesorregião registrou temperaturas máximas extremas superiores a 40°C e mínimas inferiores a -5°C. A área da região com maiores altitudes e conseqüentemente mais fria apresentou alta probabilidade de ocorrência anual e risco de 50% no decêndio 2 do mês de julho. Regionalmente, o período livre de geada foi do decêndio 02-abril ao 01-outubro. Pelo estudo de caso identificou-se que o ano de 2019 foi de 1 a 2,5°C mais quente em toda região. Mesmo assim houve ocorrência de geada com a entrada de uma frente fria no início de julho com registro de temperaturas inferiores a -4°C.

AGRADECIMENTO

Agradeço a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de Bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

AGOVINO, M., CASACCIA, M., CIOMMI, M., FERRARA, M., & MARCHESANO, K. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, v. 105, p. 525-543, 2019

AUSTIN, S. E., FORD, J. D., BERRANG-FORD, L., BIESBROEK, R., & ROSS, N. A. Enabling local public health adaptation to climate change. *Social Science & Medicine*, v. 220, p. 236-244, 2019.

ASTOLPHO, F., CAMARGO, M. B. P. D., & BARDIN, L. Probabilidades mensais e anuais de ocorrência de temperaturas mínimas do ar adversas à agricultura na região de Campinas (SP), de 1891 a 2000. *Bragantia*, v. 63, n. 1, p. 141-147, 2004.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. *Difel*, 2006.

BORGES, C. V., BELIN, M. A. F., AMORIM, E. P., MINATEL, I. O., MONTEIRO, G. C., GOMEZ, H. A. G., ... & LIMA, G. P. P. Bioactive amines changes during the ripening and thermal processes of bananas and plantains. *Food Chemistry*, v. 298, p. 125020, 2019.

CALDANA, N. F. DA S., JUNIOR, G. M. Y., DE MOURA, D. A. V., DA COSTA, A. B. F., & CARAMORI, P. H. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, p. 343-355, 2018.

CALDANA, N. F. D. S., NITSCHKE, P. R., MARTELÓCIO, A. C., RUDKE, A. P., ZARO, G. C., BATISTA FERREIRA, L. G., ... & MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Avocado (*Persea americana*) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. *Agriculture*, v. 9, n. 263, p. 1-11, 2019.

CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J. *Proteção dos cafeeiros contra geadas*. Londrina, IAPAR, 1993. 28p.

CARAMORI, P. H., CAVIGLIONE, J. H., WREGGE, 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.

CARAMORI, P. H., NITSCHKE, P. R., DEPPE, F., LEITE, E. A., TSUKAHARA, R. Y., & BORROZZINO, E. Agrometeorologia operacional no estado do Paraná. *Agrometeoros*, v. 24, n. 1, 2016.

COELHO, E. F. Banana. in. MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, p. 321-332, 2009.

GELCER, E., FRAISSE, C. W., ZOTARELLI, L., STEVENS, F. R., PERONDI, D., BARRETO, D. D., ... & SOUTHWORTH, J. Influence of El Niño-Southern oscillation (ENSO) on agroclimatic zoning for tomato in Mozambique. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 248, p. 316-328, 2018.

HO, D. T. K. Climate change in Malaysia: Trends, contributors, impacts, mitigation and adaptations. *Science of the Total Environment*, v. 650, p. 1858-1871, 2019.

KIM, B. T., BROWN, C. L., & KIM, D. H. Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Marine Policy*, v. 99, p. 111-122, 2019.

MENDONÇA, F., BUFFON, E. A. M., CASTELHANO, F. J., & SITOIE, G. Resiliência socioambiental-espacial urbana a inundações: possibilidades e limites no bairro Cajuru em Curitiba (PR). *Revista da ANPEGE*, v. 12, n. 19, p. 279-298, 2016.

MICHLER, J. D., BAYLIS, K., ARENDS-KUENNING, M., & MAZVIMAVI, K. Conservation agriculture and climate resilience. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 93, p. 148-169, 2018.

NITSCHKE, P. R., CARAMORI, P. H., RICCE, W. D. S., & PINTO, L. F. D. *Atlas Climático do Estado do Paraná*. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. 2019. Available in: <
<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677> > Acesso em: 12 de outubro de 2019.

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, 2018.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., & MCMAHON, T. A. Update World Map of the Köppen - Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, n. 01, p. 1633-1644, 2007.

RIBEIRO, G., PIMENTE, A. J. B., DE SOUZA, M. A., & DA FONSECA, W. B. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 18, n. 2, 2012.

RODRIGUES, J. P. P.; PELEGRINI, S. de C. A. Imprensa e memória: a geada negra de 1975 no estado Paraná. *Revista Labirinto (UNIR)*, v. 27, p. 210-222, 2018.

SENTELHAS, P. C., ORTOLAN, A. A., & PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo ea relva em noites de geada. *Bragantia*, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

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. 231-235, 1996.

SIMEPAR - Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. *Palavra do Meteorologista*. Disponível em: <
http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline_limited/palavra_meteorologista_simepar > Acesso em 07 de julho de 2019.

THORPE, A.; FIGGE, F. Climate change and globalisation as ‘Double Exposure’: Implications for policy development. *Environmental Science & Policy*, v. 90, p. 54-64, 2018.

TOMÉ, L. H. P.; DE LIMA, J. F. O desenvolvimento humano nos municípios da mesorregião Noroeste Paranaense. *Revista Geografar*, v. 9, n. 1, p. 99-116, 2014.

WANG, S., FU, B., CHEN, H., & LIU, Y. Regional development boundary of China’s Loess Plateau: Water limit and land shortage. *Land Use Policy*, v. 74, p. 130-136, 2018.

WANG, P., DU, Y., YU, W., ALGEO, T. J., ZHOU, Q., XU, Y., ... & PAN, W. The chemical index of alteration (CIA) as a proxy for climate change during glacial-interglacial transitions in Earth history. *Earth-Science Reviews*, v. 201, p. 103032, 2020.

WREGGE, M. S., CARAMORI, P. H., GONÇALVES, A. C. A., BERTONHA, A., FERREIRA, R. C., CAVIGLIONE, J. H., ... & GONÇALVES, S. L. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 1, p. 113-122, 2005.

YLÄ-ANTTILA, T., GRONOW, A., STODDART, M. C., BROADBENT, J., SCHNEIDER, V., & TINDALL, D. B. Climate Change Policy Networks: Why and How to Compare Them Across Countries. *Energy Research & Social Science*, v. 45, p. 258-265, 2018.

ZHAI, Z. J.; HELMAN, J. M. Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, v. 44, p. 511-519, 2019.