

Nathan Felipe da Silva Caldana

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), bolsista de pesquisa do Instituto Agrônômico do Paraná nathancaldana@gmail.com

Alan Carlos Martelócio

Graduado em Agronomia pelo Centro Universitário de Maringá - Unicesumar (2016), mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Conservacionista, do Instituto Agrônômico do Paraná (2018) amartelocio@agronomo.eng.br

Gênese, frequência e intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, Brasil

Resumo

A precipitação de granizo, um evento extremo caracterizado por precipitação de água em estado sólido, tem alta capacidade destrutiva nos meios rural e urbano, gerando transtornos e prejuízos frequentes. A Mesorregião Centro Oriental Paranaense (MRCOP) e a Mesorregião Sudeste Paranaense (MRSEP) possuem uma grande área de produção agrícola e aproximadamente 900 mil habitantes, que podem estar vulneráveis a eventos meteorológicos extremos, sendo necessários estudos que auxiliem o planejamento e as tomadas de decisão neste recorte específico. Desta forma, este trabalho teve por objetivo identificar a gênese, a frequência e a intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, fornecendo suporte para o planejamento e a adoção de preventivas de combate ao impacto desse fenômeno. Foram utilizadas três fontes distintas de dados: estações agrometeorológicas, imagens de satélite e relatórios de ocorrências, danos e situações de emergência da Defesa Civil. Foram identificados 37 decretos de situação de emergência vinculados a granizo e 372 mil pessoas afetadas nas mesoregiões, em 19 anos de análise. Os sistemas convectivos e as frentes frias foram identificados como os principais sistemas meteorológicos atuantes na formação de granizo nestas mesoregiões. Com ausência de planejamento para redução da vulnerabilidade, a exposição aos eventos extremos meteorológicos permanece frequente.

Palavras-chave: vulnerabilidade, risco climático, eventos extremos, clima urbano.

Abstract

GENESIS, FREQUENCY AND INTENSITY OF HAIL PRECIPITATION IN THE CENTRAL-WESTERN AND SOUTHEAST OF THE PARANÁ STATE, BRAZIL

Hail precipitation, an extreme event characterized by solid state water precipitation, has high destructive capacity in rural and urban environments, generating frequent disturbances and losses. The Central-Western Paraná state Meso-region (MRCOP) and The Southeast Paraná state Meso-region (MRSEP) in southern Brazil has a large agricultural production area and approximately 900 thousand inhabitants, which may be vulnerable to extreme weather events, and studies are needed to assist in decision making in these regions. This work aimed to identify the genesis, frequency and intensity of hail precipitation in The Central-Western Paraná state Meso-region (MRCOP) and The Southeast Paraná state Meso-region (MRSEP), providing support for the planning and adoption of preventive measures to combat the impact of this phenomenon. Three different sources of data were used: agrometeorological stations, satellite images and reports of occurrences, damages and emergency situations issued by the Civil Defense. Thirty-seven emergency decrees related to hail and 372 thousand people affected in the regions were identified in 19 years of analysis. The convective systems and the cold fronts were identified as the main meteorological systems working in the genesis of hail in these regions. In the absence of planning for vulnerability reduction, exposure to extreme weather events remains frequent.

Key-words: vulnerability, climate risk, extreme events, urban climate.

1. Introdução

A atmosfera e sua dinâmica de eventos desempenha papel crucial no equilíbrio climático da Terra. Suas características variam de um lugar para o outro em escalas temporais distintas, podendo variar de segundos a horas, de dias até milênios. As interações que ocorrem nas camadas superficiais podem ser resultantes de mudanças e variações sobre determinado lugar (AYOADE, 2006). As flutuações variam a curto, médio e em longo prazos e, neste caso, o clima é resultado do complexo processo envolvendo a energia solar, intensificado pelo aumento da temperatura média da superfície global em conjunto com os eventos extremos de precipitação. No contexto de um clima mais quente, uma das variáveis atualmente sob investigação está relacionada à detecção de possíveis mudanças na precipitação de granizo (SAINI; SHAFEI, 2019).

A formação do evento extremo de precipitação de granizo ocorre a partir de instabilidades atmosféricas. Sua ocorrência é mais localizada,

devido à formação de nuvens do tipo *cumulunimbus*, dificultando as medições das ocorrências do evento, implicando na busca de outras fontes para detecção dos episódios. O granizo se forma na parte superior da nuvem, onde a temperatura é menor, favorecendo a transformação de gotículas de água em partículas de gelo com diâmetro que pode variar de 5 a 20 cm (AMARANTE, 2009). Seus principais meios de formação são por sistemas convectivos, instabilidades causadas por passagem de frentes frias ou, em maior escala, pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (MIDDLETON; MCWATERS, 2002; MARCELINO et al., 2006; CECIL; BLANKENSHIP, 2012; SILVA et al., 2012; KLANOVICZ, 2013; MOHR et al., 2015; BLAIR et al., 2017; PUNGE; KUNZ, 2016; BLAMEY et al., 2017; CALDANA et al., 2018, 2019; PREIN; HOLLAND, 2018).

O grau de severidade do impacto proporcionado pela precipitação de granizo é determinado pelo tamanho, pela intensidade e pela duração como ocorrem tais eventos. Os espaços são atingidos pelos fenômenos naturais de maneira homogênea, porém a vulnerabilidade expõe a população a riscos distintos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). A condição de pobreza de uma determinada população está estreitamente vinculada à condição de formação de riscos e de vulnerabilidade socioambientais (MENDONÇA, 2005). A ocupação de áreas irregulares e de risco associada às condições socioeconômicas aumentam as consequências dos desastres e os impactos nos grupos sociais. Dessa forma, um fenômeno pode atingir uma região e afetar de maneira diferente a população que ali reside (SCHUSTER et al., 2006; CIDADE et al., 2013; FREIRE et al., 2014; CALDANA et al., 2018, 2019; LI et al., 2018; WILK et al., 2018).

Para a tomada de decisão e planejamento, trabalhos relacionados à precipitação de granizo vêm sendo discutidos em todo o mundo, apresentando seus grandes riscos e identificando como são impactantes os efeitos em culturas agrícolas, casas, carros, edifícios e na biodiversidade (KREUZ, et al., 2002; SÁNCHEZ et al., 2003; NIALL; WALSH, 2005; AMARANTE, 2009; VIANA et al., 2009; ALLEN et al., 2011; HAND; CAPPELLUTI, 2011; SILVA et al., 2012; MEZHER, 2012; KLANOVICZ, 2013; DOLATI et al., 2014; MOHR et al., 2015; PUNGE; KUNZ, 2016; BLAMEY et al., 2017; JIN et al., 2017; PUNGE et al., 2017; SANCHEZ et al., 2017; CALDANA et al., 2018; CAPOZZI et al., 2018; PREIN; HOLLAND, 2018; STRŽINAR; SKOK, 2018;

TREFALT et al., 2018; SAINI; SHAFEI, 2019). O estado do Paraná é um estado localizado em uma zona de transição climática (IAPAR, 2019). As Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense (MRCOP e MRSEP) têm destaque nesse cenário, pois estão entre as regiões mais afetadas por precipitação de granizo no estado, uma das mais expressivas em termos de população e atividades agrícolas (SILVA et al., 2012).

Neste cenário tornam-se necessários estudos que abordem a variabilidade climática e a ocorrência de eventos extremos, como o granizo. Sendo assim, objetivou-se identificar a gênese, a frequência e a intensidade de precipitações de granizo nas MRCOP e MRSEP, fornecendo suporte para o planejamento e a tomada de decisões preventivas de combate ao impacto desse fenômeno na região.

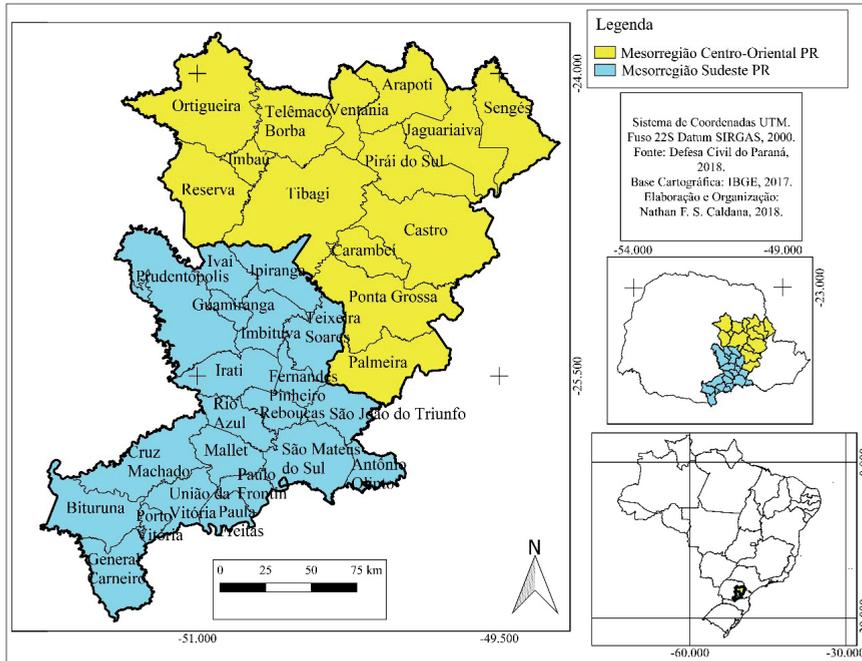
2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

As MRCOP e MRSEP (figura 1) são importantes polos habitacionais no estado do Paraná, contando com aproximadamente 900 mil habitantes (IBGE, 2019). Com 35 municípios, as mesorregiões são áreas expressivas para produção agrícola do Paraná (DE LIMA et al., 2006). A MRCOP conta com um importante polo industrial, localizado na região de Ponta Grossa, e é a mesorregião com municípios de maior extensão territorial. Somadas têm 38.870,45 km², sendo que a MRCOP possui 21.849,55 km² e a MRSEP 17.020,90 km².

As variáveis meteorológicas são de grande importância para o planejamento das atividades desenvolvidas nas mesorregiões, justificando, assim, a importância de estudos dessa gênese. O clima “Cfb” (subtropical, sem estação seca e verão fresco) predomina em toda área das mesorregiões, conforme a classificação climática de Köppen, de 1936 (IAPAR, 2019). As porções central e norte apresentam as menores altitudes das mesorregiões (figura 2), variando de 500 a 800m; diferentemente das porções nordeste, leste e sul das mesorregiões, que apresentam as maiores altitudes com rápida ascensão em uma curta distância, variando de 900 a 1200m.

Figura 1
LOCALIZAÇÃO DAS MESORREGIÕES CENTRO ORIENTAL E SUDESTE PARANAENSE E SEUS RESPECTIVOS MUNICÍPIOS



Fonte: Adaptado de IBGE (2019); organizado pelos autores.

2.2 Procedimentos Técnicos

Para a interpolação dos dados pluviométricos foram utilizados dados de 47 estações pluviométricas (figura 2). Esses dados foram adquiridos junto ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Agência Nacional das Águas (ANA) e ao Instituto das Águas do Paraná, sendo que três estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná também foram utilizadas para a obtenção de dados relacionados à precipitação de granizo. As estações analisadas possuem particularidades entre si pelo tempo de funcionamento, sendo estas: Fernandes Pinheiro (1986-2018), Ponta Grossa (1986-2002) e Telêmaco Borba (1986-2015). Mesmo não localizadas nas mesorregiões analisadas, as estações de Lapa (1988-2017) e Palmas (1986-2018) foram utilizadas

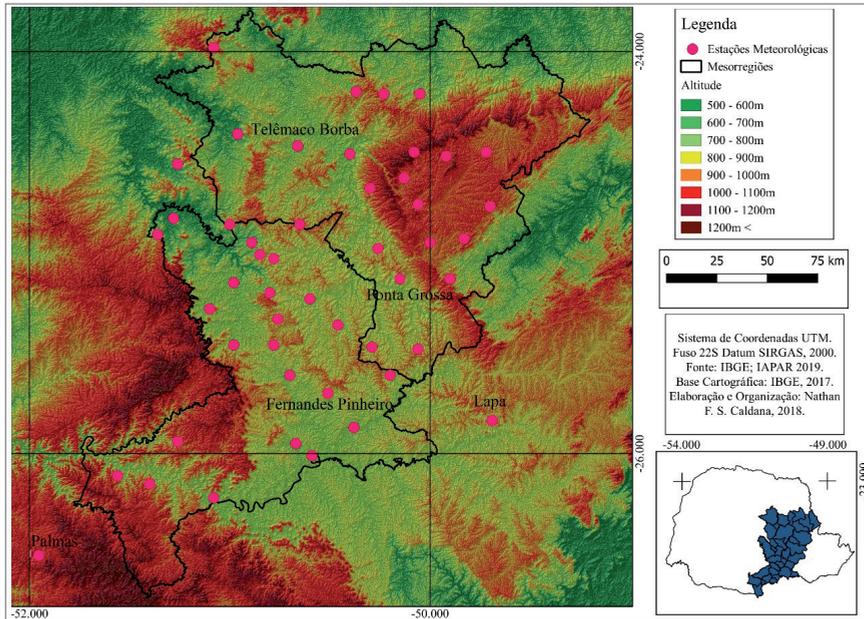
para uma maior regionalização dos dados de granizo por estações meteorológicas. Os registros do IAPAR são realizados por observadores meteorológicos, cabendo a estes o discernimento entre granizo e saraiva e a intensidade da precipitação, sendo esta última classificada como forte, média e fraca.

Os dados fornecidos pelo IAPAR foram agrupados para a identificação do padrão de ocorrências mensais, e, assim, mesmo que a ocorrência tenha sido na mesma data em diferentes estações, todas foram contabilizadas, visto ser um evento local.

A distribuição espacial dos dados pluviométricos foi obtida por meio de interpolação com o auxílio do *software* QGIS, realizada por meio do método *Inverse distance weighted* (IDW). O IDW é um interpolador apropriado para a espacialização de dados pluviométricos, sendo uma ferramenta estatística fundamentada no modelo do inverso das distâncias. Este procedimento confere maior peso entre os pontos amostrados mais próximos entre si, por meio do cálculo da média ponderada dos pesos amostrais pelo inverso de suas distâncias (MUELLER, 2004; VARELLA; JUNIOR, 2008; ELY; DUBREUIL, 2017). Os dados pontuais das estações pluviométricas foram inseridos no *software* QGIS e convertidos em um arquivo *raster* com o auxílio do interpolador IDW. Este novo arquivo gerado exibe uma superfície regular, ajustada aos dados pontuais de interesse, com pixel de resolução espacial de 1 km por 1 km.

Dados da Defesa Civil do Paraná foram utilizados como auxílio à compreensão da distribuição, da frequência e dos danos relacionados a ocorrências de granizo nas MRCOP e MRSEP. A Proteção Civil Brasileira age de acordo com a necessidade da emergência e de serviço a ser prestado às populações afetadas; a ação ocorre imediatamente após o desastre, sendo o preenchimento do relatório que descreve o fenômeno e os danos resultantes de responsabilidade da equipe enviada (MARTINS et al., 2017).

Figura 2
LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E METEOROLÓGICAS DAS MESORREGIÕES
CENTRO ORIENTAL E SUDESTE PARANAENSE



Fonte: Adaptado de IBGE (2019); organizado pelos autores.

A Defesa Civil do Paraná é estruturada por oito Coordenadorias Regionais, sendo que cada município possui sua Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. A obtenção dos dados foi feita por meio do Relatório de Ocorrência de Tempestade local/convectiva – Granizo. Os dados coletados contêm informações quanto ao número de ocorrências, às pessoas afetadas e aos decretos de situação de emergência e calamidade pública. O recorte temporal de dados utilizados foi de 1990 a 2017.

Por meio da data de ocorrência de granizo na estação meteorológica, buscou-se as informações do radar meteorológico do SIMEPAR, que disponibiliza informações a cada 15 minutos, além de cartas sinóticas do satélite Goes 12 publicadas pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. As cartas são atualizadas e publicadas a cada uma hora desde 1997. A identificação do sistema atuante foi realizada por meio de leitura das cartas e por relatórios

emitidos por ambos os órgãos responsáveis, considerando a formação de precipitação convectiva, frontal e CCM.

Por meio dessas diferentes bases de dados, foram elaborados mapas temáticos para espacializar as ocorrências e localizar as principais áreas onde ocorrem eventos de precipitação de granizo, utilizando o *software* de geoprocessamento QGIS 2.18. Os gráficos foram tabulados e editados nos *softwares* *SigmaPlot* e *Statistica*.

3. Resultados e discussão

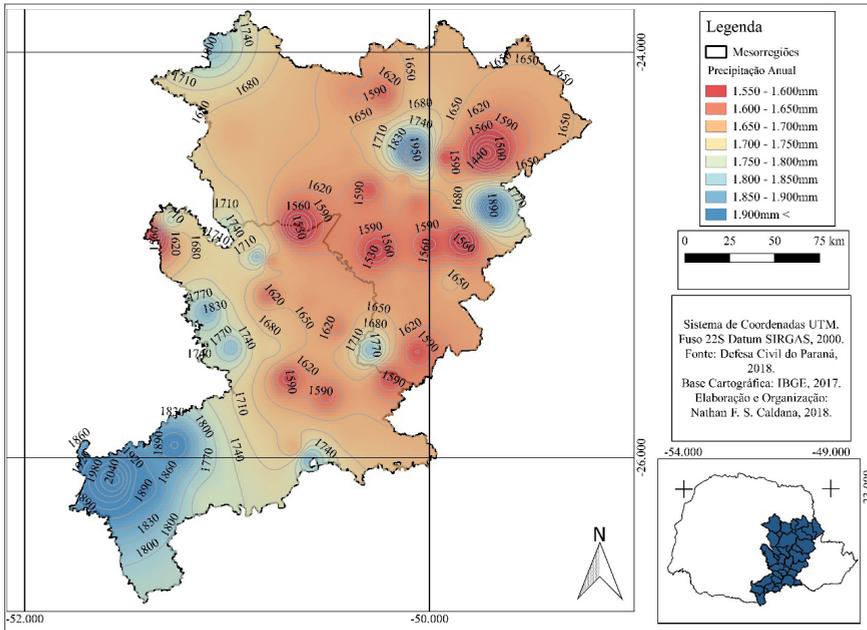
As médias anuais da precipitação pluviométrica apresentaram valores regionalmente discrepantes ao longo das MRCOP e MRSEP (figura 03). A porção da região sul localizada na MRSEP apresentou as maiores médias pluviométricas, em torno de 1900mm chegando a 2040mm. Na porção nordeste, localizada na MRCOP com pontos isolados, evidenciou-se regime de chuva elevado, porém menor que na porção sul. As médias variaram entre 1890mm e 1950mm. Essas porções apresentam as maiores altitudes de toda a área analisada (1100m-1200m), fator que contribui para o maior regime de chuvas nessas localidades. O relevo das mesorregiões apresenta um formato côncavo, com as menores altitudes ao centro e se elevando nas extremidades. Um fragmento da região nordeste mostrou menores chuvas, onde foram registrados 1440mm a 1590mm. Nessa vertente, ocorre um ligeiro declive da altitude (900m -1200m).

Ao centro das mesorregiões, na área onde ocorre a transição de uma mesorregião para outra, as médias de precipitações oscilaram de 1550mm a 1750mm. Essa oscilação do regime de chuvas coincide com as variações da altitude. Na MRCOP concentram-se as menores médias pluviométricas.

Para a ocorrência de precipitação de granizo (figura 4), observou-se que os municípios de Prudentópolis, Irati e São João do Triunfo, todos localizados na MRSEP, obtiveram os maiores registros de ocorrências, entre 9 e 10 registros. Os municípios posicionados na faixa central da mesorregião não apresentaram registros de grandes precipitações, configurando uma região intermediária nas análises pluviométricas. Na MRCOP, os

municípios de Reserva e Ortigueira tiveram as maiores ocorrências de granizo e são municípios com alturas pluviométricas medianas para a região.

Figura 3
MÉDIA ANUAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DAS MRCOP E MRSEP (1976-2018)



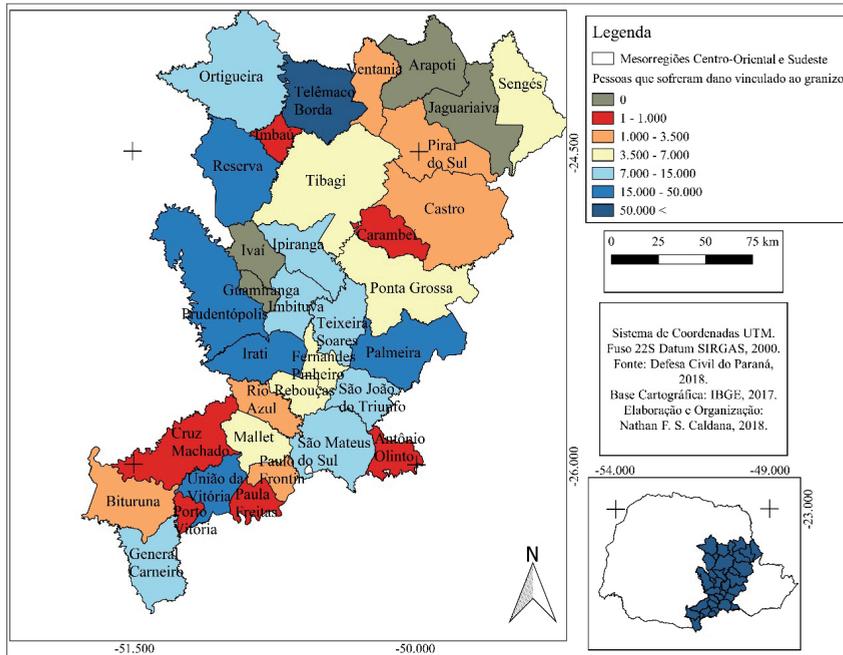
Fonte dos dados: Águas Paraná; ANA; IAPAR e INMET (2019), organizado pelos autores (2019).

É importante destacar que, para a Defesa Civil prestar assistência e registrar a ocorrência de granizo, esse evento tem que ter causado danos para a sociedade, não sendo descartada uma maior frequência nos demais municípios da região.

As menores ocorrências de granizo foram registradas nos municípios que compõem a MRSEP. Essa análise contradiz o regime pluviométrico apresentado na região, que obteve as maiores alturas, principalmente na extensão sul. O município de Bituruna, localizado na faixa mais chuvosa, apresentou seis ocorrências de granizo. Localizado na mesma porção da mesorregião, Cruz Machado registrou apenas duas ocorrências. As porções centrais das mesorregiões oscilaram na faixa mediana de ocorrência de

foram afetadas apenas no município de Telêmaco Borba, que possui 78.135 habitantes (IBGE, 2019). Os dados caracterizam o município como o mais afetado pelo evento de granizo, representando 48,5% de toda a MRCOP e 18,4% de toda a área analisada. Trata-se de um número expressivo, visto que Telêmaco Borba não é o município de maior extensão territorial e muito menos o mais populoso.

Figura 5
QUANTIDADE DE PESSOAS QUE SOFRERAM ALGUM DANO VINCULADO A OCORRÊNCIAS DE PRECIPITAÇÕES DE GRANIZO NA MRCSP (2000-2018)



Fonte: Adaptado de Defesa Civil do Paraná (2019), organizado pelos autores (2019).

Em seguida, acompanhando o número de ocorrências, aparece o município de Irati, com valores bem próximos aos de Telêmaco Borba, totalizando 59.552 pessoas afetadas (16%). O fato alarmante é que sua população é de 60.357 habitantes (IBGE, 2019), demonstrando que eventos de granizo podem certamente atingir mais de uma vez a mesma pessoa.

O município de Prudentópolis vem na sequência com 52.856 pessoas que sofreram com o intempere meteorológico. Possui 2.237 km²,

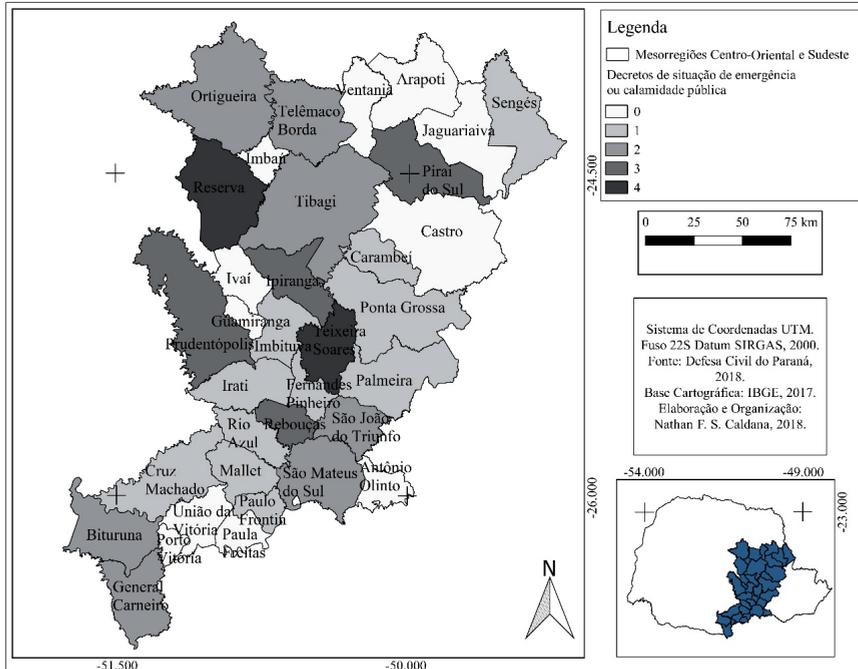
o maior em extensão territorial dentre os municípios da MRSEP, com 51.961 habitantes. O município de Palmeira, da MRCOP, foi o segundo mais afetado nessa mesorregião, totalizando 20.349 pessoas atingidas, com 32.125 habitantes.

Vale ressaltar que os municípios de Guamiranga e Ivaí (MRSEP), Jaguariaíva e Arapoti (MRCOP) não registraram pessoas afetadas pelo evento extremo de granizo. São municípios que estão na mesma posição geográfica, são limítrofes em suas mesorregiões. Ou seja, pela proximidade tendem a sofrer com os mesmos eventos meteorológicos e adversidades. Porém, não se descarta a ocorrência de granizo nesses municípios, apenas não tiveram assistência da Defesa Civil.

Alguns eventos de granizo podem ser tão desastrosos que os municípios decretam Situação de Emergência ou de Calamidade Pública (figura 6), evidenciando o reconhecimento legal de uma situação anormal provocada por desastres naturais ao município atingido. A situação de emergência é caracterizada por danos suportáveis e superáveis pela comunidade afetada, enquanto em calamidade pública o dano além de ser social traz elevado risco à vida; esses danos demandam reparos mais complexos, sendo apenas superados com o auxílio governamental e órgãos externos (CASTRO, 1998; CALDANA et al., 2018, 2019).

Ao todo, 37 decretos vinculados a granizo foram registrados na região – mais de dois decretos por ano. Os municípios com maior número de decretos (4) foram Reserva, localizado na MRCOP, e o município de Teixeira Soares, da MRSEP. Apesar dos municípios não apresentarem os maiores registros de ocorrência de granizo, 8 e 6 ocorrências respectivamente, não houve destaque em análises anteriores. Possuem 26.602 e 10.277 habitantes, respectivamente (IBGE, 2019).

Figura 6
DECRETOS DE SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA OU CALAMIDADE PÚBLICA POR OCORRÊNCIAS DE GRANIZO NAS MESORREGIÕES CENTRO ORIENTAL E SUDESTE PARANAENSE (2000-2018)

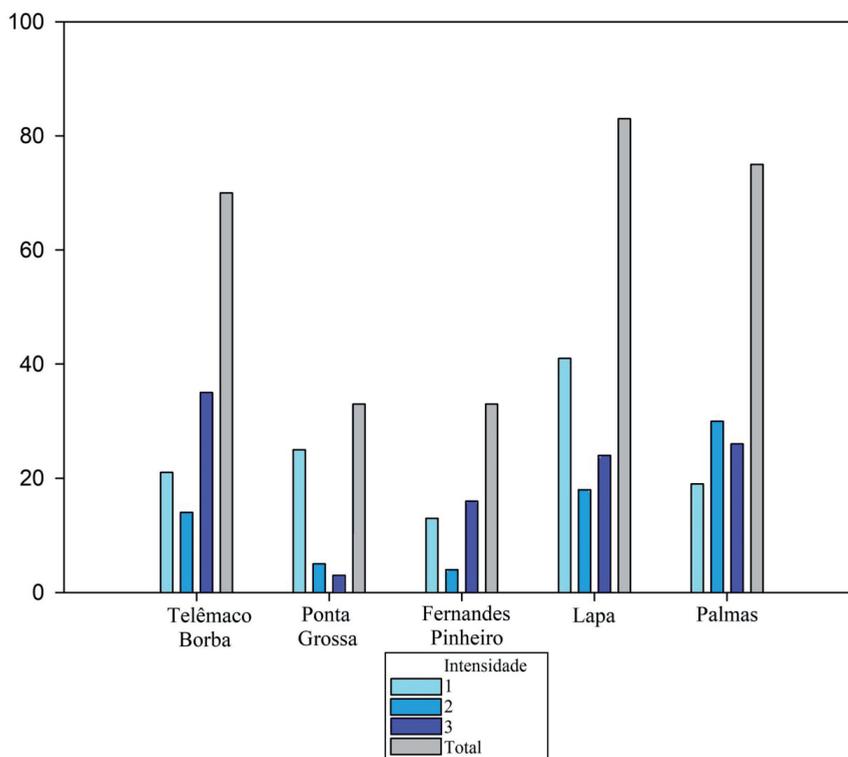


Fonte: Adaptado de Defesa Civil do Paraná (2019), organizado pelos autores (2019).

Os municípios de Prudentópolis (MRSEP) e Piraí do Sul (MRCOP) vêm na sequência com três decretos cada. Vale ressaltar que o município de Prudentópolis obteve nove registros de ocorrências de granizo, com cerca de 50 mil habitantes, o que mostra ser um município de certa expressividade para a MRSEP.

Para identificar a variabilidade e a intensidade das precipitações de granizo, utilizou-se dados das estações agrometeorológicas do IAPAR com relatos de ocorrência. A análise dos dados foi realizada considerando-se o tempo de funcionamento das estações (figura 7).

Figura 7
OCORRÊNCIA DE GRANIZO POR INTENSIDADE NAS MRCOP E MRSEP (1986-2018)



Fonte: IAPAR (2019), organizado pelos autores (2019).

A estação meteorológica com maior número de eventos foi a Lapa, registrando 83, sendo que metade dos eventos foi de intensidade fraca (figura 7), contabilizando 42 eventos do tipo. Nessa escala de intensidade, a estação de Lapa foi a que registrou o maior número de ocorrências com intensidade fraca (1), dentre as cinco estações meteorológicas analisadas. Com 74 registros de eventos extremos de granizo, a estação de Palmas figura na sequência. Nessa estação, a intensidade média (2) foi a de maior ocorrência, com 29 registros, e, em seguida, a de intensidade forte (3), com 26.

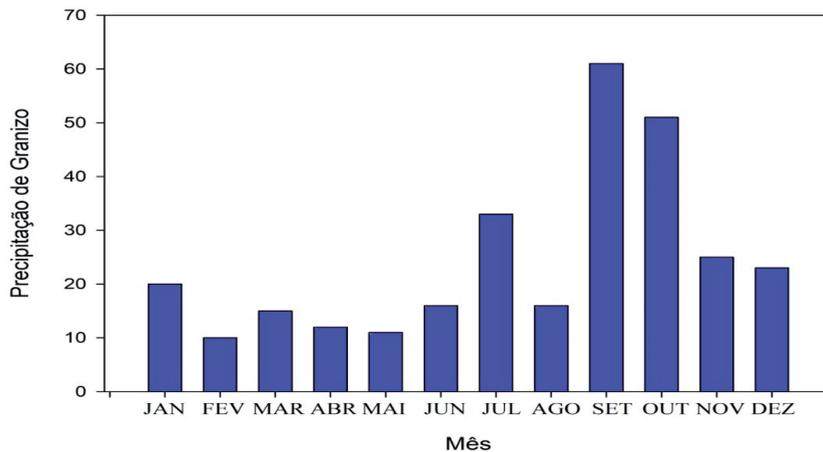
A estação de Telêmaco Borba (MRCOP) marcou 69 precipitações de granizo. Foi a estação que se destacou com a maior intensidade dentre todas as estações analisadas, chegando a 34 situações de intensidade forte.

Telêmaco Borba sofreu maior impacto e é o mais vulnerável à ocorrência do evento meteorológico extremo.

Por fim, as estações de Fernandes Pinheiro e Ponta Grossa registraram o evento em quantidades menores. Na estação de Ponta Grossa, o tempo de funcionamento da estação foi menor que as demais, com disponibilidade de 19 anos de dados e média de duas ocorrências por ano, enquanto Fernandes Pinheiro registrou em média uma ocorrência.

Analisando-se a ocorrência mensal das precipitações de granizo (figura 8) e agrupando-se as cinco estações meteorológicas disponíveis, é possível observar que os meses da estação primavera concentraram as maiores precipitações. De forma isolada e no inverno, o mês de julho também apresentou concentrações elevadas.

Figura 8
OCORRÊNCIA MENSAL DE PRECIPITAÇÕES DE GRANIZO NA MRCOP E MRSEP (1986-2018)



Fonte: IAPAR (2019), organizado pelos autores (2019).

O mês de setembro, caracterizado pelo início da estação primavera foi o mês que registrou as maiores ocorrências das precipitações de granizo, totalizando 62 eventos na escala analisada. É possível identificar que houve a maior diferença entre os meses analisados, pois agosto registrou apenas 17 eventos. Isso mostra que a transição de uma estação a outra pode favorecer a ocorrência de granizos ou qualquer outro evento extremo de forma rápida e muito concentrada. Para evidenciar tal situação, a diferença entre

os meses de setembro e outubro, que estão dentro da mesma estação, foi menos visível, já que outubro foi marcado por 52 ocorrências, o segundo maior dentre todos os meses. Ocorre uma variação pequena entre os meses, salvo entre agosto e setembro, outubro e novembro, períodos nos quais as diferenças são mais visíveis.

Os meses dentro da estação do inverno registraram as menores ocorrências, com exceção do mês de julho. Com 34 registros foi o maior dentro da estação e o terceiro maior registro dentre os meses. Para firmar a amplitude do evento extremo de granizo no mês, o somatório das ocorrências de junho e agosto (17) equivale à quantidade de eventos ocorrida apenas no referido mês. Julho é o mês mais frio e com maiores entradas de frentes frias sobre o estado do Paraná (CALDANA et al., 2018, 2019; IAPAR, 2019). O choque das diferentes massas de ar gera fortes instabilidades, contribuindo para a formação de *cumulunimbus* e podendo contribuir para a formação de granizo neste mês.

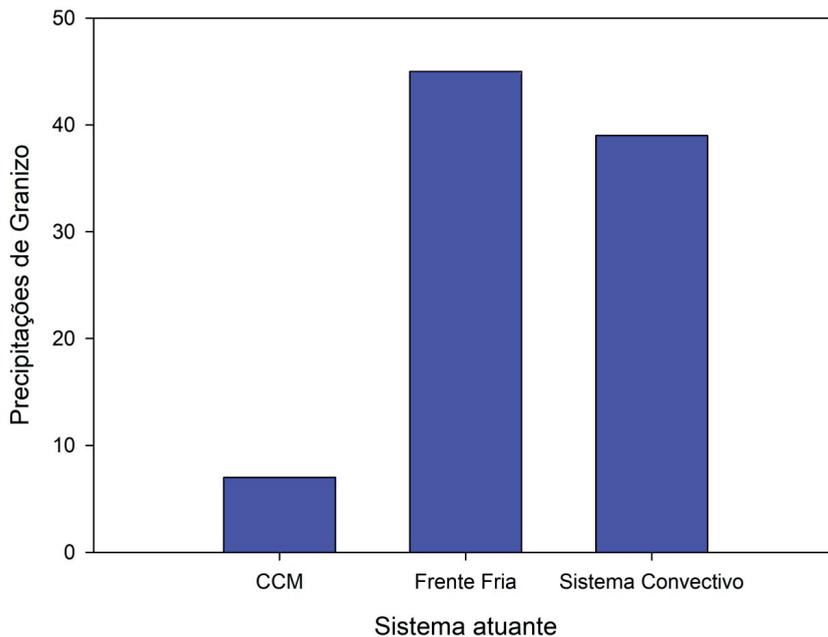
Fevereiro, maio e abril registraram as menores ocorrências de precipitação de granizo: 10, 11 e 13, respectivamente. Por fim, as MRCOP e MRSEP registraram 302 ocorrências de granizo na escala analisada, que dá em torno de 25 ocorrências por mês e 9 por ano. Ter conhecimento do mês nos quais as concentrações de ocorrência são maiores é fundamental para se adotar estratégias para minimizar e reduzir danos. Foram registradas 210 ocorrências entre os meses de setembro e março, o que equivale a quase 70% de toda a precipitação de granizo.

Na região sul do Brasil três tipos de formação de granizo são predominantes: Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), sistemas convectivos e passagem de frentes frias, gerando instabilidades atmosféricas. No período em estudo (2000 a 2017), foi possível identificar 85 de 257 eventos de granizo em cartas sinóticas, imagens de radar ou relatórios emitidos pelo SIMEPAR (figura 9).

Dos 85 eventos associados à formação de granizo na região, oito ocorrências foram caracterizadas como CCM. Este sistema é identificado em imagens de satélite por seu formato aproximadamente circular e uma vasta área de abrangência de tempestades. Sua incidência é principalmente na estação do verão, mas com ocorrências também nas estações de transição. São definidos como um aglomerado de *cumulunimbus* cobertos por uma

densa camada de *cirrus*, sendo ainda sistemas de nuvens convectivas, com rápido crescimento vertical e horizontal num intervalo de tempo de 6 a 12 horas. Dependendo de sua intensidade, podem criar vários núcleos com formação e incidência de granizo (HOLLEMAN, 2001; SCAGLIONI; SARAIVA, 2004; KUNZ et al., 2009; PUNGE; KUNZ, 2016; DAFIS et al., 2017; PUNGE et al., 2017; CALDANA et al., 2018, 2019; TREFAULT et al., 2018).

Figura 9
SISTEMA METEOROLÓGICO ATUANTE NA FORMAÇÃO DE GRANIZO NAS MRCOP E MRSEP (1997-2018)



Fonte: SIMEPAR, INPE e CPTEC (2019), organizado pelos autores (2019).

Quanto ao sistema convectivo, 38 ocorrências foram identificadas, sendo o sistema meteorológico mais atuante na formação de granizo. Sua maior incidência ocorre nas estações mais quentes, primavera e verão, porém podendo acontecer, em menor abrangência, durante todo o ano. Os sistemas convectivos se diferenciam dos CCM pela menor abrangência espacial, formando-se pelo processo de transferência de calor por condução que ocorre em intensos movimentos verticais, levando, assim, ao rápido

processo de condensação e à formação de *cumulunimbus*. Desse modo são geradas severas tempestades, fortes rajadas de vento, podendo levar à formação e à incidência de granizo (HOLLEMAN, 2001; MIDDLETON; MCWATERS, 2002; SCAGLIONI; SARAIVA, 2004; KUNZ et al., 2009; DAFIS et al., 2017; CALDANA et al., 2018, 2019; TREFAULT et al., 2018).

Para as frentes frias, identificou-se 45 ocorrências de granizo na região (figura 9). As frentes frias são caracterizadas pelo encontro da Massa de Ar Polar com a massa de ar quente continental e a umidade gera uma forte instabilidade atmosférica, podendo levar à formação de *cumulunimbus* e acarretar a formação de granizo. Essas têm atuação, principalmente, no outono, no inverno e no início da primavera e são responsáveis pelas elevadas alturas pluviométricas na região. A Massa de Ar Polar tem trajetória favorecida pela calha do Rio Paraná e, posteriormente, Rio Iguaçu, tendo grande impacto na chuva da região. Esses eventos são identificados em imagens de satélite por uma grande linha de instabilidade que avança no estado do Paraná no sentido Sudoeste-Nordeste (HOLLEMAN, 2001; BEREZUK; SANT'ANNA NETO, 2006; KUNZ et al., 2009; PUNGE; KUNZ, 2016; BEREZUK, 2017; SANCHEZ et al., 2017; CALDANA et al., 2018, 2019).

A transformação de um evento natural em um desastre natural com implicações para a vida humana surge quando modificamos o meio em que vivemos e a força da natureza passa a danificar toda a estrutura criada. A situação de desastre natural está intimamente ligada à situação socioeconômica da população e à condição de reagir a tais eventos. Ocorrem no mundo inteiro, mas têm maior repercussão nos países em desenvolvimento, por suas condições econômicas e dificuldade de resposta (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; CIDADE, 2013; CALDANA et al., 2018).

Como identificado, nas fontes de dados utilizadas, as precipitações de granizo ocorrem com grande frequência, chegando a atingir uma média de mais de nove eventos ao ano nas mesorregiões. Dessa forma, cabe à sociedade e ao Estado buscar formas de amenizar os danos e o número de pessoas afetadas por esse tipo de evento extremo meteorológico. Como mencionado, a construção civil e a localização das habitações podem estar vinculadas ao número de pessoas afetadas e aos tipos de danos causados. A exposição de parcela da população aos danos causados por este fenômeno pode ser reduzida a partir de melhorias no local de habitação, bem

como utilização de materiais resistentes à precipitação de granizo, visto a frequência e a intensidade que ocorrem na região. Locais suscetíveis a tempestades severas frequentes devem evitar a utilização de telhas feitas de fibrocimento e barro, visto a baixa resistência dos mesmos a esse tipo de fenômeno e os constantes casos de destelhamentos associados a granizo no estado (CANEVER; LAUREANO JUNIOR, 2016; BEREZUK, 2017; METZ et al., 2017; SANCHEZ et al., 2017; CALDANA et al., 2018, 2019).

Para agricultura não existem valores quantificados do efeito de granizo nas lavouras do Paraná. Alguns métodos de proteção são usados para reduzir os impactos do granizo, principalmente para os segmentos que produzem em escalas menores, como a agricultura familiar ou orgânica, nos quais os métodos são usados sem impactar financeiramente. Tais proteções podem ser proporcionadas por telas antigranizo, sendo o método mais utilizado na região sul do Brasil. As telas têm a função de impedir o impacto físico do granizo com as plantas, evitando o dano causado pelo choque, entretanto existe perda de radiação solar incidente na lavoura. As telas de coloração branca, apesar de durabilidade menor (10 anos) que a da tela preta (15 anos), permitem maior incidência de radiação (KUROSAKI et al., 2007; AMARANTE et al., 2009; BOSCO et al., 2015; NESET et al., 2018; CALDANA et al., 2018).

Como observado, diversas técnicas e medidas podem ser tomadas para mitigar o impacto do granizo na agricultura na região Sul do Brasil. No entanto, faz-se necessário um levantamento preciso quanto ao número de ocorrências, à frequência e aos tipos de danos causados no campo para buscar medidas aplicáveis a cada região, e aos métodos a serem utilizados para garantir proteção e reduzir os riscos. As tomadas de decisões e o planejamento agrícola são estratégias para minimizar os impactos, aliados a estudos mais profundos e análises das áreas mais afetadas, que são importantes ferramentas para ajustar melhor o planejamento das áreas agrícolas e urbanas.

Considerações finais

Identificou-se que os eventos de granizo nas mesorregiões analisadas são pontuais e têm grande variabilidade devido à latitude, à longitude, à variabilidade pluviométrica e ao relevo. Os locais com grande discrepância na altitude em curta distância, principalmente nas vertentes norte e sul das regiões, foram os mais atingidos por esse tipo de fenômeno.

Ao todo, foram 372 mil pessoas afetadas por precipitação de granizo nas mesorregiões em 19 anos de análise, com 152 ocorrências; média de 19.5 pessoas que sofreram algum dano econômico ou físico por essa adversidade. Tais números reforçam a importância da atuação da Defesa Civil em prestar assistência às pessoas afetadas, especialmente as que se encontram em uma situação maior de exposição ao evento. Esforços e incentivos públicos são vitais para viabilizar o assistencialismo da Defesa Civil, principalmente nas ocorrências de granizos de forte impacto. O município de Telêmaco Borba foi o município com maior vulnerabilidade, apresentando mais de 68 mil pessoas afetadas.

Com isso, os resultados demonstraram alta frequência de precipitações de granizo em toda região. Os eventos de granizo têm ganhado destaque por se constituir como eventos extremos de precipitação, pelas consequências danosas, pelo número de pessoas afetadas e pelo impacto na agricultura. E, com o avanço das mudanças climáticas, as ocorrências de granizo poderão aumentar, em frequência e intensidade, ganhando um apelo maior, pelo impacto que causa à sociedade civil, especialmente aos mais pobres e vulneráveis, amplamente discutidos nesse trabalho.

Então, aumentar a resiliência da sociedade exposta a esse evento se torna indispensável para superar ocorrências do tipo, além de políticas e estratégias locais para minimizar os impactos. Com ausência de planejamento para redução da vulnerabilidade, a exposição aos eventos extremos meteorológicos permanece frequente. A vulnerabilidade social é um agravante que precisa ser considerado quando se discute eventos extremos como o granizo. Apesar dos eventos naturais afetarem os espaços homogeneamente, seus habitantes não são afetados nas mesmas proporções.

Referências

- ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.
- ALLEN, J. T. et al. A severe thunderstorm climatology for Australia and associated thunderstorm environments. **Australian Meteorological and Oceanographic Journal**, v. 61, n. 3, p. 143-158, 2011.
- AMARANTE, C. V. T. et al. Disponibilidade de luz em macieiras “fuji” cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 664-670, 2009.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Difel, 2006
- BEREZUK, A. G.; SANT’ANNA NETO, J. M. Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos de 1997, 1998 e 2001. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 9-22, 2006.
- BEREZUK, A. G. Eventos Extremos: Estudo da Chuva de Granizo de 21 de Abril de 2008 na Cidade de Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 5, p. 153-164, 2017.
- BLAIR, S. F. et al. High-resolution hail observations: Implications for NWS warning operations. **Weather and Forecasting**, v. 32, n. 3, p. 1101-1119, 2017.
- BLAMEY, R. C. et al. A climatology of potential severe convective environments across South Africa. **Climate Dynamics**, v. 49, n. 5-6, p. 2161-2178, 2017.
- BOSCO, L. C. et al. Apple production and quality when cultivated under anti-hail cover in southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 7, p. 773-782, 2015.
- CANEVER, A. P.; LAUREANO JUNIOR, R. O. Ajuda humanitária em Santa Catarina: desastres envolvendo granizo. **Revista Ordem Pública**, v. 9, n. 1, p. 235-246, 2016.
- CALDANA, N. F. S. et al. 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. S. et al. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, p. 61-80, 2019.

- CAPOZZI, V. et al. Fuzzy-logic detection and probability of hail exploiting short-range X-band weather radar. **Atmospheric Research**, v. 201, p. 17-33, 2018.
- CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil**: estudos de riscos e medicina de desastres. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.
- CECIL, D. J.; BLANKENSHIP, C. B. Toward a global climatology of severe hailstorms as estimated by satellite passive microwave imagers. **Journal of Climate**, v. 25, n. 2, p. 687-703, 2012.
- CIDADE, L. C. F. Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar. **Cadernos MetrÓpole**, v. 15, n. 29, 2013.
- CUNHA, G. R. et al. **Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.
- DAFIS, S. et al. Observational and modeling study of a mesoscale convective system during the HyMeX—SOP1. **Atmospheric Research**, v. 187, p. 1-15, 2017.
- DE LIMA, J. F. et al. Análise regional das mesorregiões do Estado do Paraná no final do Século XX. **Análise Econômica**, v. 24, n. 46, 2006.
- DOLATI, S. H. et al. Hail impact damage behaviors of glass fiber reinforced epoxy filled with nanoclay. **Journal of Composite Materials**, v. 48, n. 10, p. 1241-1249, 2014.
- ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das Tendências Espaço-Temporais das Precipitações anuais para o Estado do Paraná - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13 p. 553-569, 2017.
- FREIRE, N. B. C. et al. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas. Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3755-3762, 2014.
- HAND, W. H.; CAPPELLUTI, G. A global hail climatology using the UK Met Office convection diagnosis procedure (CDP) and model analyses. **Meteorological Applications**, v. 18, n. 4, p. 446-458, 2011.
- HOLLEMAN, I. **Hail Detection Using Single-Polarization Radar**. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2001.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas Climáticas**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em 09 de fevereiro de 2019.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico**: Brasil, 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

JIN, H.-G. et al. A hail climatology in South Korea. **Atmospheric Research**, v. 188, p. 90-99, 2017.

KLANOVICZ, J. Chuvas de granizo e desastre nos pomares de maçã catarinenses: produzindo uma agricultura de risco. **Esboços-Revista do Programa de Pós-Graduação em História da UFSC**, v. 20, n. 30, p. 67-89, 2013.

KREUZ, C. L. et al. Viabilidade econômica do uso da tela antigranizo em pomares de pera japonesa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 416-419, 2002.

KUNZ, M. et al. Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 15, p. 2283-2297, 2009.

KUROSAKI, A. B. et al. Análise de viabilidade econômica de sistema convencional e sistema com uso de telado na produção de ameixa (*Prunus domestica*), em condições de risco de granizo, na região de Botucatu-SP. **Científica**, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2007.

LI, X. et al. Climatology of Hail Frequency and Size in China, 1980–2015. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 57, n. 4, p. 875-887, 2018.

LYONS, W. A. **The handy weather answer book**. Detroit: Visible Ink, 1997.

MARCELINO, E. V. et al. Mapeamento de risco de desastres naturais no estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 17, p. 72-84, 2006.

MARTINS, J. A. et al. Climatology of destructive hailstorms in Brazil. **Atmospheric Research**, v. 184, p. 126-138, 2017.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: Uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** (UFPR), Curitiba, v. 1, p. 139-148, 2005.

METZ, A. J. et al. Estudo de impacto de chuva de granizo sobre coberturas residenciais com telhas de fibrocimento e de materiais reciclados. **Seminário de Iniciação Científica**, p. 168, 2017

MEZHER, R. N. et al. Climatology of hail in Argentina. **Atmospheric research**, v. 114, p. 70-82, 2012.

MIDDLETON, S.; MCWATERS, A. Hail netting of apple orchards australian experience. **Compact Fruit Tree**, v. 35, n. 2, p. 51-55, 2002.

- MOHR, S. et al. Development and application of a logistic model to estimate the past and future hail potential in Germany. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 9, p. 3939-3956, 2015.
- MOTA, C. S. et al. Comportamento vegetativo e produtivo de videiras “Cabernet Sauvignon” cultivadas sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, p. 148-153, 2008.
- MUELLER, T. G. et al. Map Quality For Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 2042-2047, 2004.
- NESET, T. et al. Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture. **Ecological Indicators**, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042>. 2018.
- NIALL, S.; WALSH, K. The impact of climate change on hailstorms in southeastern Australia. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 25, n. 14, p. 1933-1952, 2005.
- PREIN, A. F.; HOLLAND, G. J. Global estimates of damaging hail hazard. **Weather and Climate Extremes**, v. 22, p. 10-23, 2018.
- PUNGE, H. J.; KUNZ, M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. **Atmospheric Research**, v. 176, p. 159-184, 2016.
- PUNGE H. J. et al. Hail frequency estimation across Europe based on a combination of overshooting top detections and the ERA-INTERIM reanalysis. **Atmospheric Research**, v. 198, p. 34-43, 2017.
- SAINI, D.; SHAFEI, B. Prediction of extent of damage to metal roof panels under hail impact. **Engineering Structures**, v. 187, p. 362-371, 2019.
- SANCHEZ, J. L. et al. Analysis of mesoscale convective systems with hail precipitation. **Atmospheric research**, v. 67, p. 573-588, 2003.
- SANCHEZ, J. L. et al. Are meteorological conditions favoring hail precipitation change in Southern Europe? Analysis of the period 1948–2015. **Atmospheric Research**, v. 198, p. 1-10, 2017.
- SCAGLIONI, T. P.; SARAIVA, J. M. B. Climatologia dos sistemas precipitantes para o período de fevereiro a dezembro de 2003, no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza. **Anais...**, 2004.
- SCHUSTER, S. S. et al. Relationship Between Radar-Derived Hail Kinetic Energy and Damage to Insured Buildings For Severe Hailstorms in Eastern Australia. **Atmospheric Research**, v. 81, n. 3, p. 215-235, 2006.

SILVA, G. M. F. et al. O Jornal Como Fonte de Informação Sobre Precipitações de Granizo no Estado do Paraná. **Revista GeoNorte**, v. 1, p. 1079-1090, 2012.

STRŽINAR, G.; SKOK, G. Comparison and optimization of radar-based hail detection algorithms in Slovenia. **Atmospheric research**, v. 203, p. 275-285, 2018.

TREFAULT, S. et al. A Severe Hail Storm in Complex Topography in Switzerland-Observations And Processes. **Atmospheric Research**, v. 209, p. 76-94, 2018.

VARELLA, C. A. A.; JUNIOR, D. G. S. **Estudo do Interpolador IDW do Arcview para Utilização em Agricultura de Precisão**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

VIANA, D. R. et al. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 91-105, 2009.

WILK, J. et al. The perspectives of the urban poor in climate vulnerability assessments–The case of Kota, India. **Urban climate**, v. 24, p. 633-642, 2018.

Recebido em: 19/04/2019

Aceito em: 26/05/2019

