

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

Nathan Felipe da Silva Caldana

Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
nathancaldana@gmail.com

Anderson Paulo Rudke

Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
rudke@alunos.utfpr.edu.br

Iara da Silva

Mestranda em Engenharia Ambiental pela
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
iara@alunos.utfpr.edu.br

Pablo Ricardo Nitsche

Mestre em Engenharia Agrícola
Pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná, Brasil
pablo@iapar.br

Paulo Henrique Caramori

Eng. Agrônomo, Dr. em Agrometeorologia.
Pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná, Brasil
pcaramori@gmail.com

Resumo

Condições de tempo e clima são essenciais para a agricultura e o desenvolvimento da sociedade, entretanto, sua dinâmica pouco compreendida pode comprometer algumas atividades humanas. A precipitação de granizo, um evento extremo caracterizado por precipitação de água em estado sólido, tem alta capacidade destrutiva no meio rural e urbano, gerando transtornos e prejuízos frequentes. A Mesorregião Centro-Sul Paranaense (MRCSP) possui uma grande área de produção agrícola e aproximadamente 500 mil habitantes, que podem estar vulneráveis a eventos meteorológicos extremos, sendo necessário estudos que auxiliem o planejamento para auxiliar tomadas de decisão na região. Desta forma, este trabalho teve por objetivo identificar a gênese, frequência, ocorrência, impactos e a variabilidade de precipitações de granizo na MRCSP, fornecendo suporte para o planejamento e adoção de preventivas de combate ao impacto desse fenômeno na região. Foram utilizadas quatro fontes distintas de dados: estações agrometeorológicas, jornais regionais, 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 395.057 pessoas afetadas na região, em 18 anos de análise. O principal dano observado foi o destelhamento. Em Laranjeiras do Sul observou-se, em média, 5,4 eventos por ano. Os sistemas convectivos e as frentes frias foram identificados como os principais sistemas meteorológicos atuantes na formação de granizo nesta região. Os resultados demonstraram alta frequência de precipitações de granizo em toda região. 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

Weather and climate conditions are essential for agriculture and the development of society; however, their little-understood dynamics can compromise some human activities. Hail precipitation, an extreme event characterised by solid state water precipitation, has high destructive capacity in rural and urban environments, generating frequent disturbances and losses. The Central-South Paraná state Meso-region (MRCSP) in southern Brazil has a large agricultural production area and approximately 500 thousand inhabitants, which may be vulnerable to extreme weather events, and studies are needed to assist in decision making in this region. This work aimed to identify the genesis, frequency, occurrence, impacts and variability of hail precipitation in the MRCSP, providing support for the planning and adoption of preventive measures to combat the impact of this phenomenon. Four different sources of data were used: agrometeorological stations, regional newspapers, satellite images and reports of occurrences, damages and emergencies issued by the Civil Defense. Thirty-seven emergency decrees related to hail and 395,057 people affected in the region were identified in 18 years of analysis. The primary damage observed was roof destruction. In Laranjeiras do Sul, an average of 5.4 events were observed per year. The convective systems and the cold fronts were identified as the central meteorological systems working in the genesis of hail in this region. In the absence of planning for vulnerability reduction, exposure to extreme weather events remains frequent.

Keywords: vulnerability, climate risk, extreme events, urban climate.

1. INTRODUÇÃO

A formação do granizo ocorre a partir de instabilidades atmosféricas. Sua ocorrência está relacionada a eventos localizados, uma vez que as células de precipitação estão limitadas a incidência de nuvens do tipo Cumulonimbus. O granizo possui solidificação extremamente rápida por meio da sublimação, em que ocorre a passagem do estado gasoso diretamente para o sólido. Sua formação acontece 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 0,5 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) (MARCELINO et al., 2006; KLANOVICZ, 2013; MIDDLETON; MCWATERS, 2002; PUNGE; KUNZ, 2016; BLAMEY et al., 2017; JIM et al., 2018; PREIN; HOLLAND, 2018).

Diversas pesquisas demonstram como são impactantes os efeitos da precipitação de granizo em culturas agrícolas, casas, carros, edifícios e na biodiversidade (KREUZ, et al., 2002; NIALI; 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; PUNGE et al., 2017; SANCHEZ et al., 2017; CALDANA et al., 2018; CAPOZZI et al., 2018; JIM et al., 2018; PREIN; HOLLAND, 2018; TREFALT et al., 2018). Como se trata, normalmente, de um evento local, a medição das ocorrências de granizo é dificultada pela baixa densidade de estações meteorológicas que detectam este fenômeno. Desta forma, muitos eventos são ignorados ou não detectados pelo

observador meteorológico, demandando assim, diversas fontes para a detecção da sua formação e frequência (SILVA et al., 2012; MOHR et al., 2015; BLAIR et al., 2017; CECIL; BLANKENSHIP, 2012; MARTINS et al., 2017; CALDANA et al., 2018).

O tamanho, a intensidade e a duração da precipitação de granizo determinam o grau de severidade dos impactos. 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 socioambiental (MENDONÇA, 2004). A ocupação de áreas irregulares e de risco associadas às condições socioeconômicas aumenta 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; CALDANA et al., 2019; LI et al., 2018; WILK et al., 2018;)

No Brasil, a ocorrência de precipitações de granizo é mais comum em estados da região Sul, onde tempestades são anualmente reportadas e relacionadas a graves prejuízos econômicos e sociais (BEREZUK, 2017; MARTINS et al., 2017). Neste contexto, destaca-se a Mesorregião Centro-Sul Paranaense (MRCSP), que está entre as regiões mais afetadas por precipitações de granizo no estado do Paraná (SILVA et al., 2012). O desenvolvimento econômico desigual contribui para a exposição e vulnerabilidade de riscos de desastres ambientais nesta área (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; MENDONÇA, 2004).

A MRCSP conta com aproximadamente 500 mil habitantes (IBGE, 2018). Uma grande parcela de sua área é atualmente destinada à agropecuária - atividade potencialmente vulnerável a ocorrências de granizo. Neste cenário tornam-se necessários estudo que abordem a variabilidade climática e a ocorrência de eventos extremos, como o granizo, para subsidiar o planejamento agrícola. Sendo assim, objetivou-se identificar a gênese, frequência, ocorrência, impactos e a variabilidade de precipitações de granizo na MRCSP, fornecendo suporte para o planejamento e tomada de decisões preventivas de combate ao impacto desse fenômeno na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A MRCSP (Figura 01) 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).

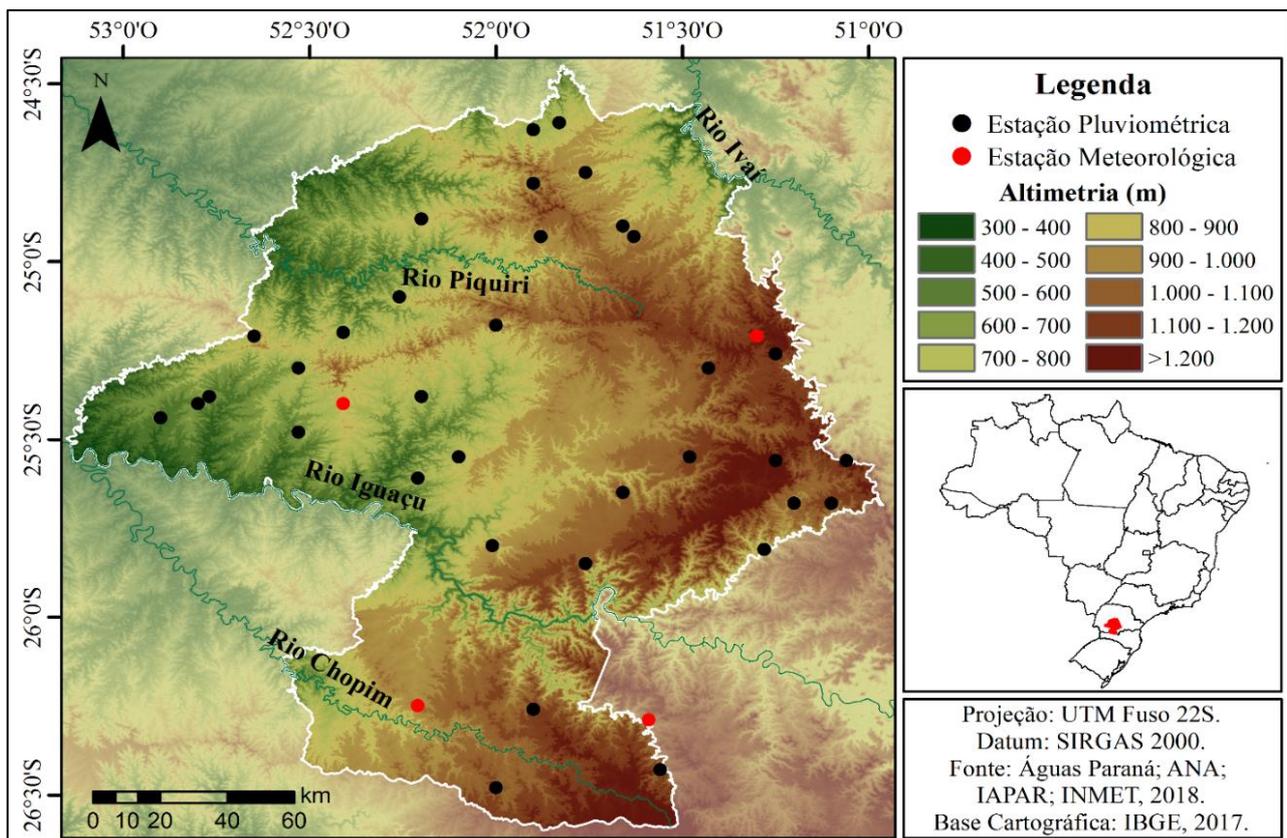


Figura 01 - Localização das estações pluviométricas e meteorológicas da Mesorregião Centro-Sul Paranaense. **Fonte** - adaptado de IBGE (2018); organizado pelos autores.

2.2 Procedimentos Técnicos

Para a interpolação dos dados pluviométricos foram utilizados dados de 39 estações pluviométricas (Tabela 01), sendo estes adquiridos através do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional das Águas (ANA) e do Instituto das Águas do Paraná (Figura 01). Quatro estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná também foram utilizadas para a obtenção de dados relacionados à precipitação de granizo.

A distribuição espacial dos dados pluviométricos foi obtida por meio de interpolação com o auxílio do software QGIS, que foi 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 e 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.

Tabela 01 - Informações das estações pluviométricas utilizadas

Órgão responsável	Estação (Município)	Longitude	Latitude	Altitude	Recorte Temporal
ANA	Arroio Grande (Pitanga)	-51.83	-24.61	1050m	1976 - 2017
ANA	Barra Grande (Santa Maria do Oeste)	-51.90	-24.78	929m	1976 - 2017
ANA	B. V. de São Roque (Boa Ventura de São Roque)	-51.63	-24.93	950m	1976 - 2017
ANA	Bom Retiro (Pitanga)	-51.90	-24.63	911m	1976 - 2017
ANA	Cachoeira (Candói)	-52.21	-25.61	716m	1976 - 2017
ANA	Campina Bonita (Inácio Martins)	-51.25	-25.56	1250m	1976 - 2017
ANA	Campo de Dentro (Guarapuava)	-51.25	-25.26	1202m	1976 - 2017
ANA	Campo Novo (Quedas do Iguaçu)	-52.90	-25.44	550m	1976 - 2015
ANA	Campo Verde (Laranjeiras do Sul)	-52.41	-25.20	785m	1976 - 2017
ANA	Carazinho (Boa Ventura de São Roque)	-51.66	-24.90	906m	1976 - 2017
IAPAR	Clevelândia (Clevelândia)*	-52.21	-26.25	930m	1976 - 2013
ANA	Colônia Dalegrave (Inácio Martins)	-51.10	-25.68	1150m	1976 - 2017
ANA	Colônia Vitória (Guarapuava)	-51.48	-25.55	1000m	1976 - 2017
ANA	E. Alto do Iguaçu (Espigão Alto do Iguaçu)	-52.80	-25.40	632m	1976 - 2017
ANA	Goioxim (Goioxim)	-52.00	-25.18	958m	1976 - 2017
IAPAR	Guarapuava (Guarapuava)*	-51.30	-25.21	1058m	1976 - 2017
ANA	Inácio Martins (Inácio Martins)	-51.06	-25.56	1268m	1976 - 2017
ANA	Invernadinha (Guarapuava)	-51.43	-25.30	1050m	1976 - 2017
IAPAR	Laranjeiras do Sul (Laranjeiras do Sul)*	-52.41	-25.40	880m	1976 - 2008
ANA	Leonópolis (Inácio Martins)	-51.20	-25.68	445m	1976 - 2016
ANA	Madeira Gavazzoni (Inácio Martins)	-51.28	-25.81	1190m	1976 - 2013
ANA	Marquinhos (Marquinhos)	-52.26	-25.10	840m	1976 - 2017
ANA	Nova Laranjeiras (Nova Laranjeiras)	-52.53	-25.30	728m	1976 - 2017
ANA	Palmital (Palmital)	-52.20	-24.88	890m	1976 - 2016
IAPAR	Palmas (Palmas)*	-51.59	-26.29	1100m	1979 - 2017
ANA	Palmas (Palmas)	-52.00	-26.48	1060m	1976 - 2017
ANA	Passo Grande (Candói)	-52.10	-25.55	782m	1976 - 2017
ANA	Pinhão (Pinhão)	-51.66	-25.65	1050m	1976 - 2017
ANA	Pitanga (Pitanga)	-51.76	-24.75	860m	1976 - 2017
ANA	Reserva do Iguaçu (Reserva do Iguaçu)	-52.01	-25.80	1000m	1976 - 2017
ANA	Rio B. do Iguaçu (Rio Bonito do Iguaçu)	-52.53	-25.48	704m	1976 - 2017
ANA	Santa Cruz (Pinhão)	-51.76	-25.85	1020m	1976 - 2015
ANA	S. M. do Oeste (Santa Maria do Oeste)	-51.88	-24.93	900m	1976 - 2017
ANA	São Pedro (Palmas)	-51.56	-26.43	1150m	1977 - 2017
ANA	São Roque (Espigão Alto do Iguaçu)	-52.77	-25.38	620m	1976 - 2016
ANA	Ubaldo Taques (Coronel Domingos Soares)	-51.90	-26.26	1180m	1977 - 2017
ANA	Vila Guarani (Nova Laranjeiras)	-52.65	-25.21	800m	1976 - 2017
ANA	Virmond (Virmond)	-52.20	-25.38	758m	1976 - 2017

*Estação com dados de precipitação de granizo

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

Dados da Defesa Civil do Paraná foram utilizados como auxílio à compreensão da distribuição, frequência e danos relacionados a ocorrências de granizo na MRCSP. 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).

A Defesa Civil do Paraná é estruturada por oito Coordenadorias Regionais de Defesa Civil, 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, pessoas afetadas e decretos de situação de emergência e calamidade pública. O recorte temporal de dados utilizados foram de 1990 a 2017.

Notícias de jornais regionais com informações sobre tempestades de granizo foram incorporadas a esta pesquisa visando a ampliar os métodos de coleta de dados e identificar um maior número de eventos. Os jornais são fontes relevantes para aquisição de eventos meteorológicos extremos (SILVA et al., 2012; CALDANA et al., 2018), pois noticiam eventos de adversidades meteorológicas que causam danos sociais, econômicos e/ou ambientais. O granizo é responsável por 12% dos desastres naturais provenientes de fenômenos atmosféricos, sendo, neste sentido, um fenômeno constantemente noticiado (MARCELINO et al., 2006). Os principais jornais consultados foram Gazeta do Povo, O Estado do Paraná, Banda B, Tribuna PR, O Bonde, Jornal do Povo Paraná, Jornal Extra Guarapuava, Jornal A Folha do Sudoeste e Sudoeste Online. A principal vantagem da utilização de dados de jornais e dos relatórios da Defesa Civil é a identificação do fenômeno por município. O recorte temporal analisado foi de 2000 a 2017.

O IAPAR registra a ocorrência de granizo a partir de quatro estações agrometeorológicas localizadas na área em estudo (Tabela 01). Os registros 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.

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.

Para a análise da formação de granizo, utilizou-se dados e relatórios emitidos pelo SIMEPAR, bem como cartas sinóticas publicadas pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, considerando a formação de precipitação convectiva, frontal e CCM. Para a interpretação dos fatores geográficos que contribuem na formação de granizo utilizou-se informações de latitude, longitude, relevo e precipitação pluviométrica.

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

A média anual da precipitação pluviométrica apresentou valores regionalmente discrepantes ao longo da MRCSP (Figura 02). A região central e sul são as mais chuvosas, com alturas de precipitação variando de 2040 a 2200mm. Nesta localidade constatou-se grande amplitude de elevação, com altitudes de 400-500m, na parte em que permeia o Rio Iguaçu, que ascendem até a 1200m numa distância próxima, tanto para norte quanto para sul (Figura 01). Com alturas pluviométricas semelhantes (2.000-2.090mm) destaca-se também, a porção noroeste da bacia, esta, com dinâmica diferente e altitudes menores (500-900m) e permeando o Rio Piquiri.

A região nordeste apresentou as menores alturas pluviométricas da MRCSP, oscilando de 1860 a 1960mm. Nesta porção o relevo chega a 1200m mas decresce a uma curta distância no sentido nordeste, chegando a 400m nas margens do Rio Ivaí e seus afluentes (figura 01). Destacam-se também as porções a oeste da MRCSP, as margens do Rio Iguaçu e extremo sul, com alturas pluviométricas variando de 1910 a 2000mm.

Por meio dos dados de frequência, ocorrência, danos e impactos da precipitação de granizo, observou-se que Guarapuava foi o município com o maior número de registros de ocorrências e maior variedade de danos (Figura 02). Três aspectos justificam essas observações: (1) o município de Guarapuava, com 3.178,659km², possui a maior área do estado do Paraná (IBGE, 2018); (2) este município, considerado como capital regional, é o mais populoso da MRCSP (180.344 habitantes), onde se encontram as sedes dos principais jornais da região, portanto os eventos que ali ocorrem são mais noticiados; (3) o município possui áreas com altitude que variam de 1000-1200m de altitude (Figura 01), favorecendo o choque de sistemas meteorológicos com o relevo, o que pode contribuir para a formação de tempestades severas com formação de granizo (SILVA et al., 2012; CALDANA et al., 2018).

Com altitudes similares a Guarapuava, destaca-se também o município de Pinhão, onde se registrou 13 ocorrências pela Defesa Civil (Figura 03), com danos de destelhamento, desalojados e perdas de produção. Com mais de 10 ocorrências destacam-se também os municípios de Mangueirinha, Quedas do Iguaçu e Rio Bonito do Iguaçu. Todos estes, com área do município próxima ao Rio Iguaçu e relevo ascendendo no sentido da área urbana, sendo Quedas do Iguaçu e Rio Bonito do Iguaçu no sentido norte ao rio e Mangueirinha no sentido sul, este último com maior discrepância no relevo, variando de 500-600m na área próxima ao Rio Iguaçu a 930m na área urbana.

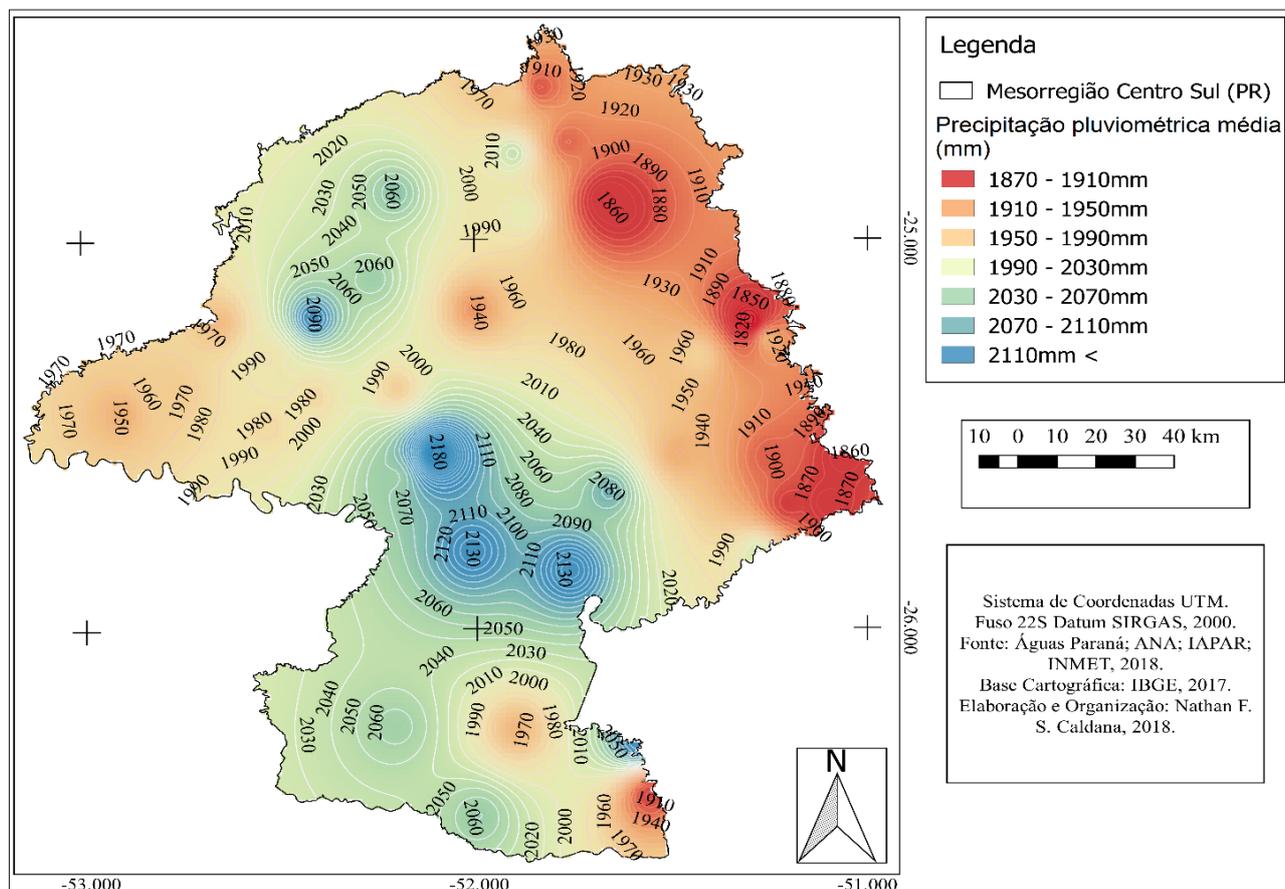


Figura 02 - Média anual da precipitação pluviométrica da MRCSP (1976-2017). **Fonte dos dados** - Águas Paraná; ANA; IAPAR e INMET (2018), organizado pelos autores (2018).

O dano mais comum observado foi o destelhamento, com incidência em boa parte dos municípios da MRCSP. Este ocorre com maior frequência nas telhas feitas de fibrocimento e barro. O granizo pode destruir ou danificar a estrutura das casas e o que estiver dentro da mesma em casos extremos de destelhamento, incluindo danos físicos aos moradores (CANEVER; LAUREANO JUNIOR, 2016; BEREZUK, 2017; METZ et al., 2017; CALDANA et al., 2018; CALDANA et al., 2019).

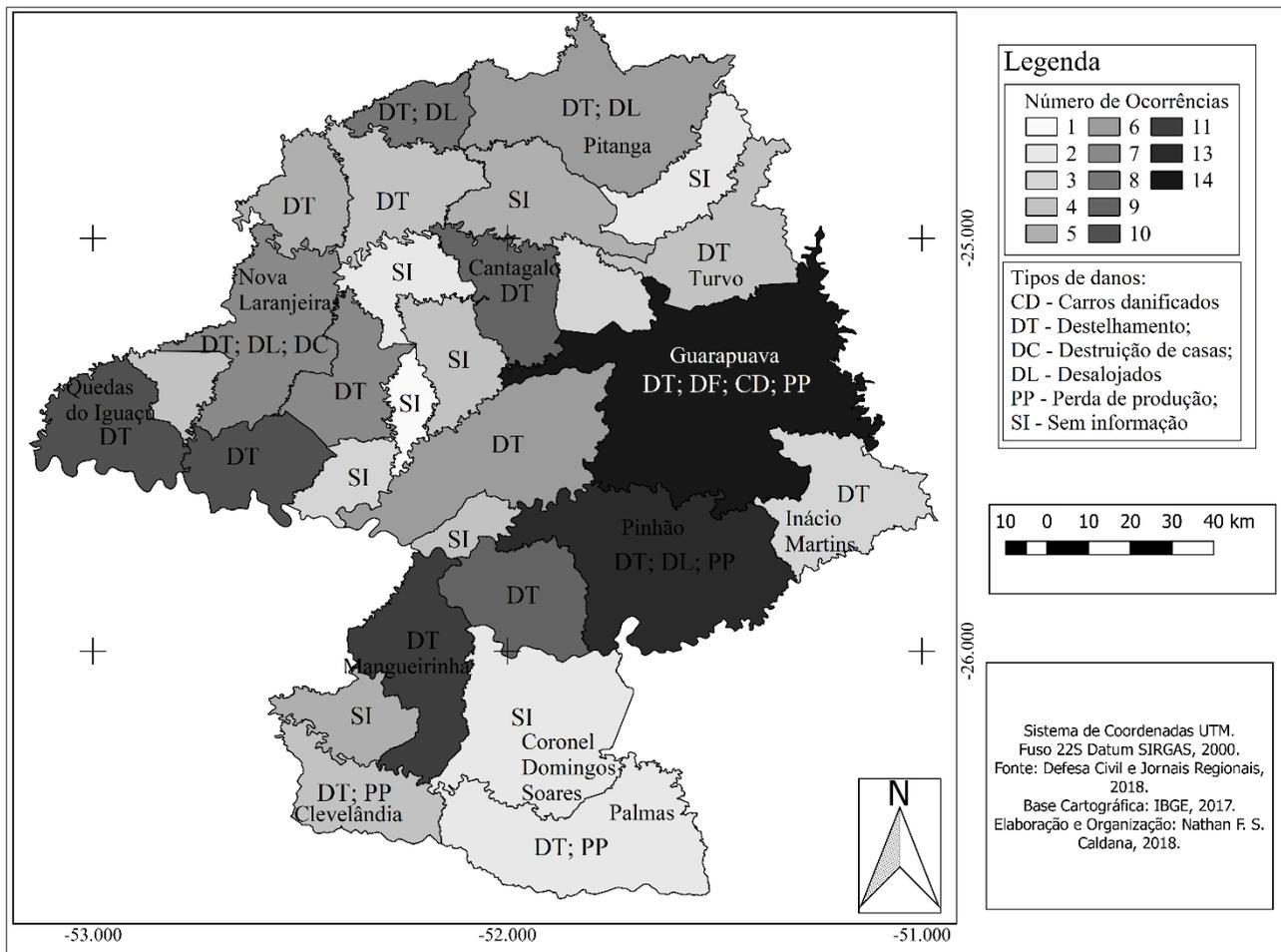


Figura 03 - Ocorrências e danos das precipitações de granizo na MRCSP (2000-2017). **Fonte** – adaptado de Jornais regionais da Mesorregião Centro-Sul Paranaense (2018) e Defesa Civil do Paraná (2018), organizado pelos autores (2018).

Pelas fontes de jornais alguns municípios, como Guarapuava e Palmas, registraram perda na produção agrícola causadas por ocorrências de granizo. O fenômeno afetou principalmente o pequeno produtor, com perda na produção de maçã, batata inglesa, soja e milho. Como a Defesa Civil não presta serviços de reparos para a agricultura, não há estimativa precisa de danos e prejuízos para a região, apenas as notícias em jornais. Alguns estudos apontam medidas tomadas na região Sul do Estado do Paraná e Oeste e Serrana de Santa Catarina para evitar as perdas na agricultura por ocorrências de granizo. A medida mais comum para evitar o impacto direto do granizo nas culturas é a tela antigranizo. No entanto, o uso contínuo pode trazer prejuízos no desenvolvimento de algumas espécies por interceptar a irradiância solar (CUNHA et al., 2001; KUROSAKI et al., 2007; MOTA et al., 2008; AMARANTE et al., 2009).

O número de pessoas que sofreram algum tipo de dano vinculado a ocorrência de precipitação de granizo (Figura 04) foi de 395.057. O município com mais registros foi novamente Guarapuava, com 170.741 pessoas afetadas, quase a metade da população total atingida na região e quase a

população total do município (180.344 habitantes). Em média, 6.780 pessoas sofrem algum tipo de impacto com precipitação de granizo neste município anualmente.

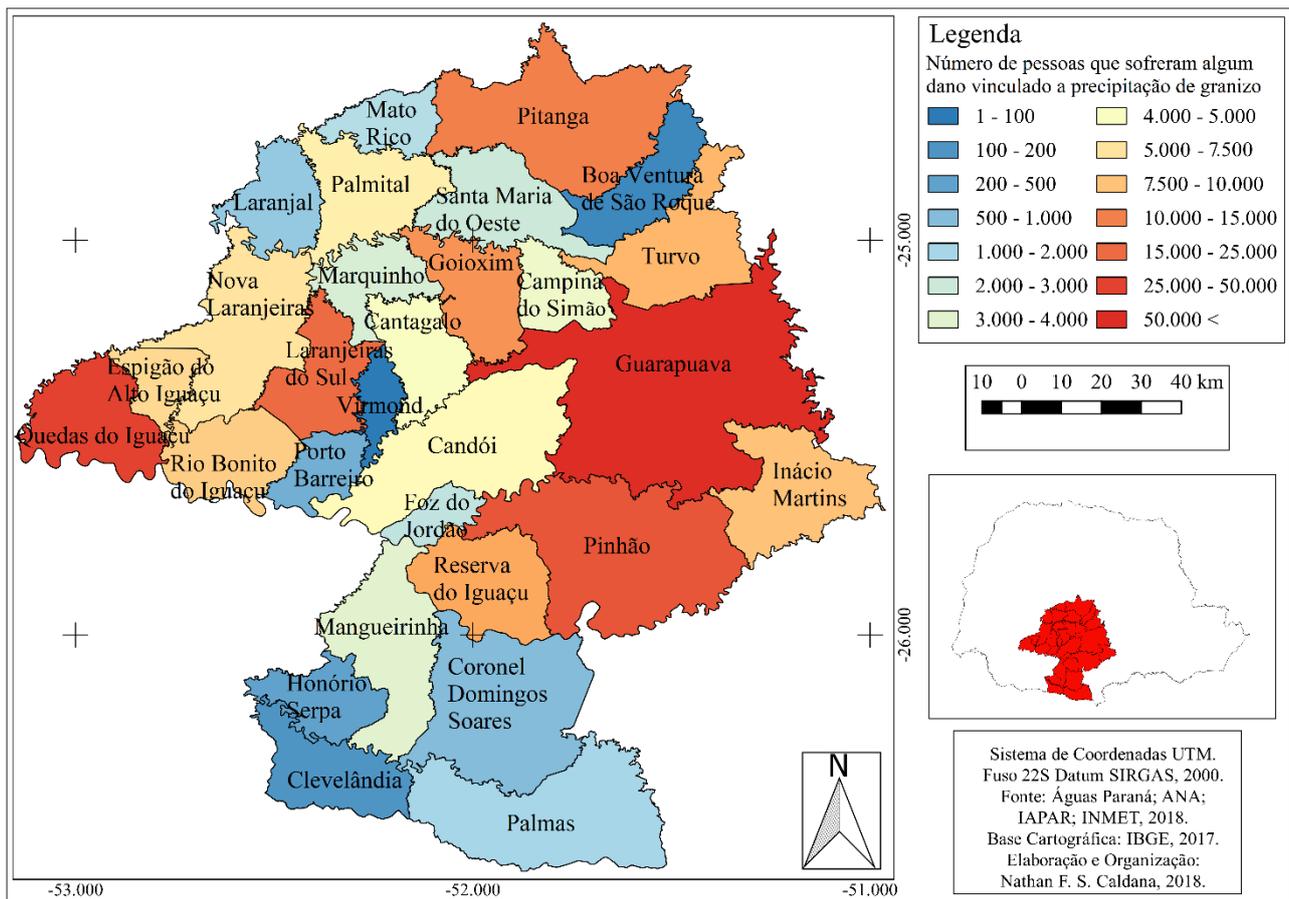


Figura 04 - Quantidade de pessoas que sofreram algum dano vinculados a ocorrências de precipitações de granizo na MRCSP (2000-2017). **Fonte** - adaptado de Defesa Civil do Paraná (2018), organizado pelos autores (2018).

Em seguida, acompanhando o número de ocorrências, aparece o município de Quedas do Iguaçu, com valores bem inferiores ao de Guaruapuava e totalizando 43.323 pessoas afetadas. O fato alarmante é que sua população deste município é de 33.543 habitantes (IBGE, 2018), demonstrando que eventos de granizo certamente atingiram mais de uma vez a mesma pessoa.

Este mesmo fato ocorreu nos municípios de Pinhão, onde houve 39.481 pessoas afetadas (30.208 habitantes), Goioxim - 11.519 pessoas afetadas (7.504 habitantes), Reserva do Iguaçu - 11.073 pessoas afetadas (7.307 habitantes), Espigão Alto do Iguaçu - 7.730 pessoas afetadas (4.677 habitantes), Campina do Simão - 4.401 pessoas afetadas (4.076 habitantes). Dessa forma, observa-se a vulnerabilidade socioambiental da região para este tipo de fenômeno, em que, a mesma pessoa certamente foi atingida mais de uma vez, com danos recorrentes vinculados ao granizo.

Alguns eventos de granizo podem ser tão desastrosos que os municípios decretam Situação de Emergência ou de Calamidade Pública (Figura 05), evidenciando o reconhecimento legal de uma situação anormal provocada por desastres 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; seus danos demandam reparos mais complexos, sendo apenas superados com o auxílio governamental e órgãos externos (CASTRO, 1998; CALDANA et al., 2018).

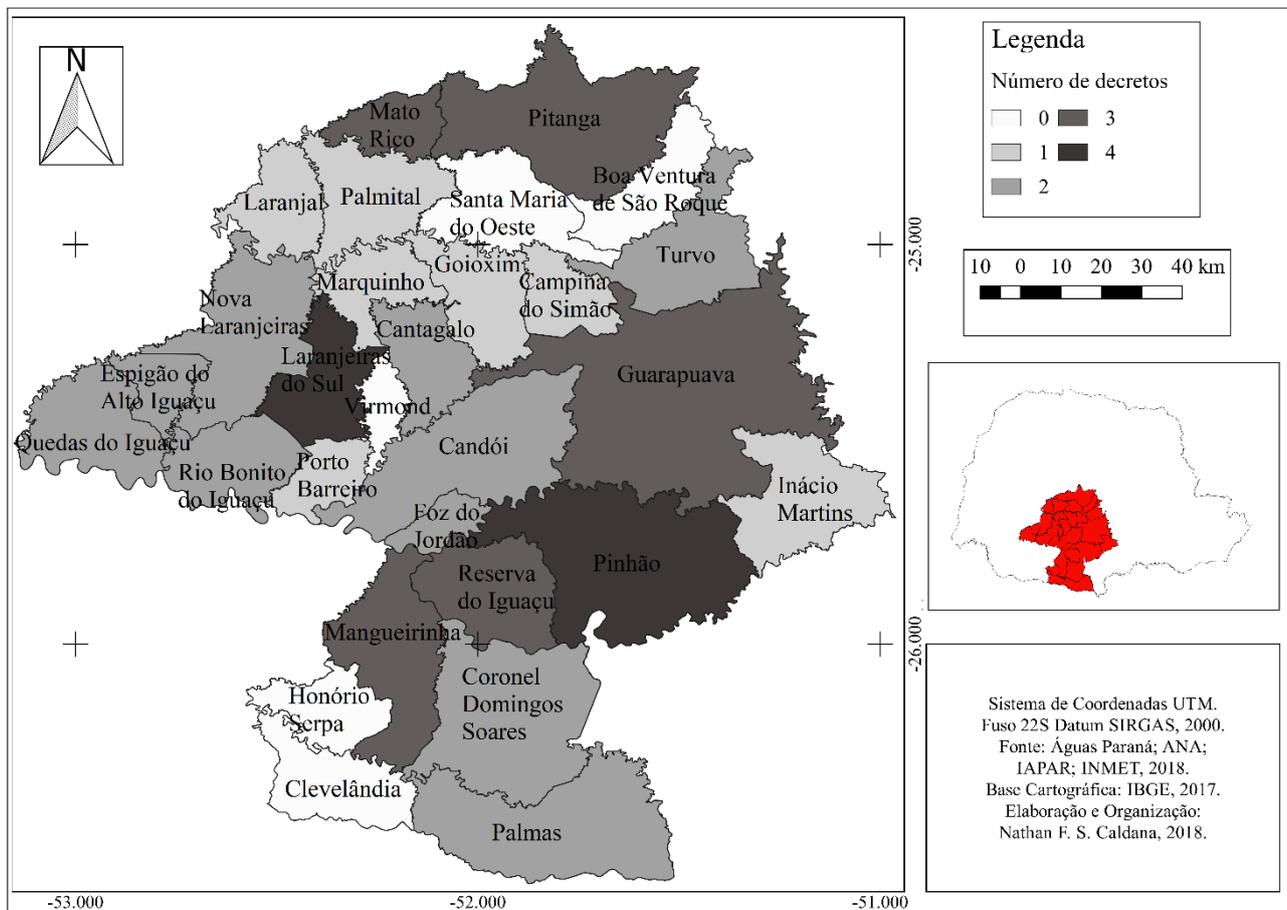


Figura 05 - Decretos de Situação de Emergência ou Calamidade Pública por ocorrências de granizo na Mesorregião Centro-sul Paranaense (2000-2017). **Fonte:** adaptado de Defesa Civil do Paraná (2018), organizado pelos autores (2018).

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 Pinhão e Laranjeiras do Sul. Este último, não havia sido destacado em nenhuma das análises anteriores, estando a 840m de altitude e com população de 32.379 habitantes (IBGE, 2018). Além destes, ainda se destacam Guarapuava, Reserva do Iguaçu, Mangueirinha, Pitanga e Mato Rico, com três decretos cada.

Para identificar a variabilidade e a intensidade das precipitações de granizo, utilizou-se dados das estações agrometeorológicas do IAPAR com relatos de ocorrência (Tabela 01). A análise dos dados foi realizada considerando o tempo de funcionamento das estações (Figura 06).

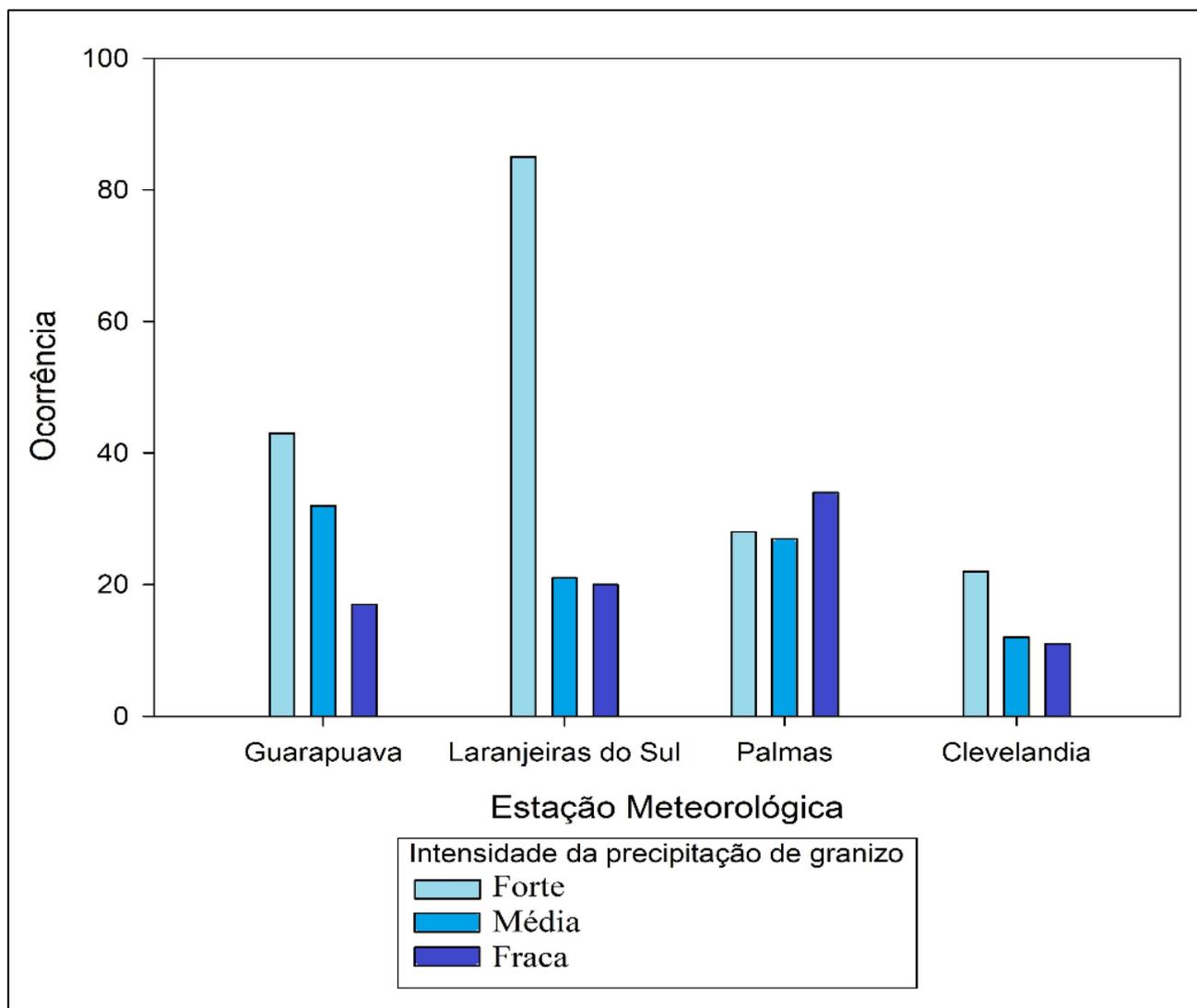


Figura 06 - Ocorrência de granizo por intensidade na MRCSP (1986-2017)
Fonte dos dados - IAPAR (2018), organizado pelos autores (2018).

A estação meteorológica com maior número de eventos foi Laranjeiras do Sul (126), uma média de 5,4 eventos ao ano. No entanto, apenas 17 eventos foram caracterizados como sendo de forte intensidade, enquanto eventos de fraca intensidade (85) e média intensidade (24) somam 109 eventos. Neste município, destaca-se o fator relevo que pode contribuir para o elevado número de ocorrências - a área do município inicia nas margens do Rio Iguaçu a 400m de altitude e a área urbana, que está a uma curta distância, situa-se a 840m.

Em seguida, aparece a estação de Guarapuava, onde identificou-se 92 precipitações de granizo em 32 anos de análise, com uma média de 2,8 eventos ao ano. Os municípios de Laranjeiras do Sul e Guarapuava estão localizados na porção central da bacia, demonstrando similaridade com a área de maior precipitação pluviométrica (Figura 02) e com o relevo (Figura 01).

Para o município de Palmas, observou-se 89 ocorrências, com média de 2,7 ao ano. Neste município estão localizadas as maiores altitudes da região, e desta forma, o desnível próximo ao Rio

Iguaçu interfere mais na formação de granizo do que a altitude em si. Em Clevelândia observou-se os menores números de precipitações de granizo, com 45 observações, média de 1,4 ao ano, sendo 11 eventos de forte intensidade.

Quanto à ocorrência mensal das precipitações de granizo (Figura 07), agrupando as quatro estações meteorológicas disponíveis identificou-se a maior concentração de eventos nos meses da primavera, com 145 ocorrências, destes 55 no mês de outubro e 53 em setembro.

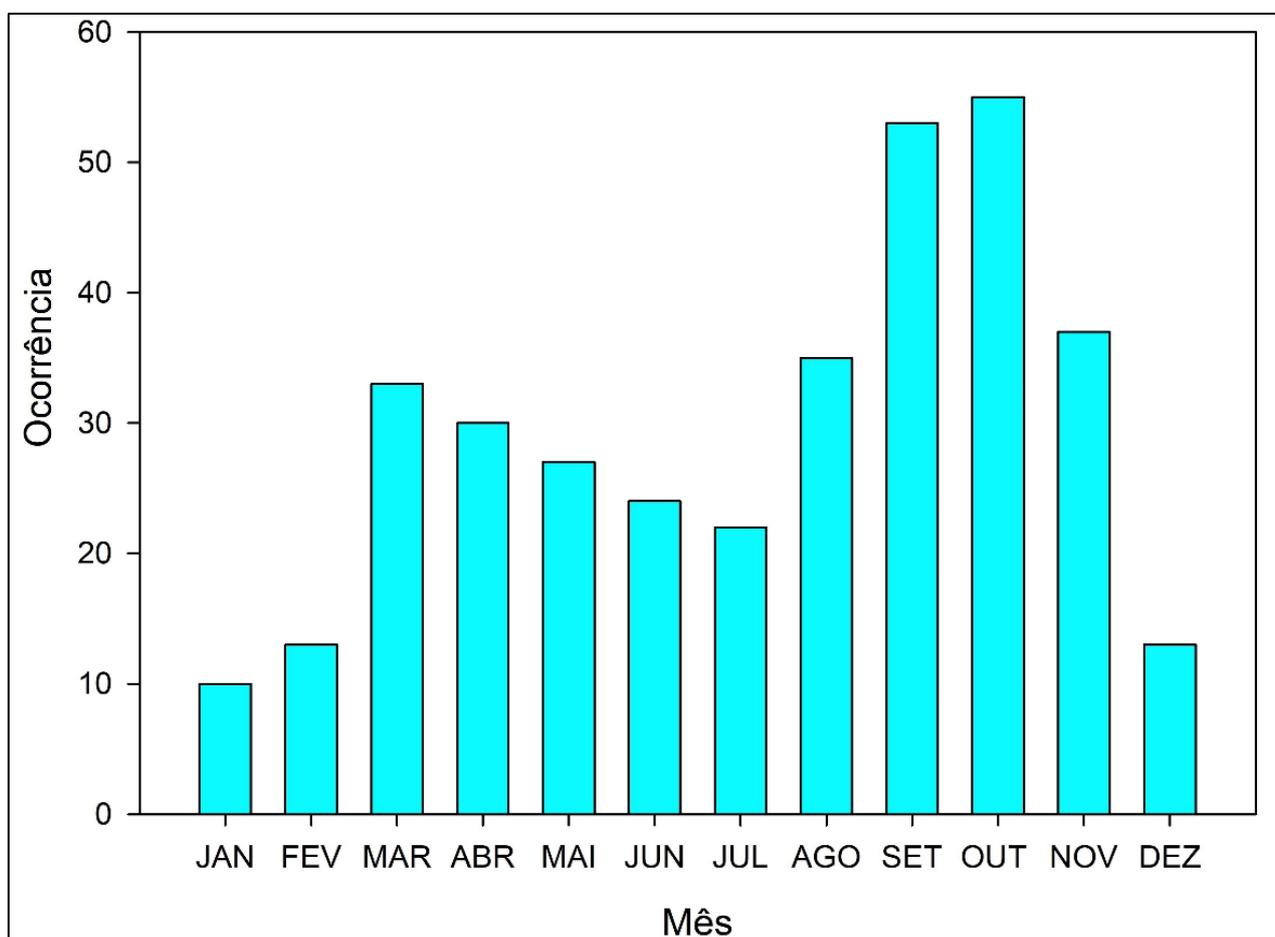


Figura 07 - Ocorrência mensal de precipitações de granizo na MRCSP (1986-2017)

Fonte: IAPAR (2018), organizado pelos autores (2018).

Em seguida, apresentam-se os meses de outono, com 90 granizadas, principalmente no mês de março, com 33 ocorrências. Logo após situam-se os meses de inverno com 81 ocorrências, principalmente entre os meses de maio e junho. Os meses de verão apresentaram o menor número de ocorrências de granizo; em janeiro foram observadas apenas 10 ocorrências.

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 08).

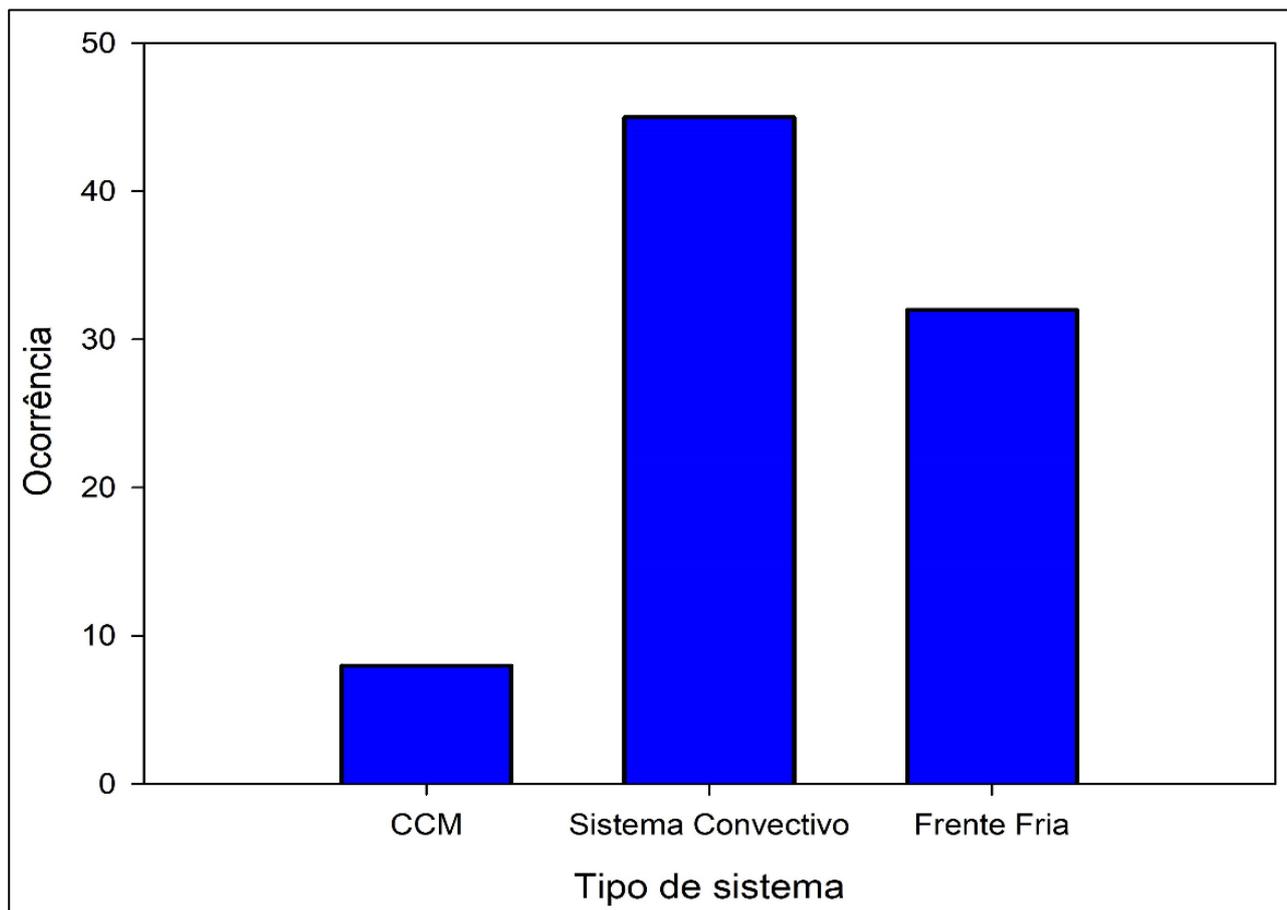


Figura 08 - Sistema meteorológico atuante na formação de precipitações de granizo na MRCSP (2000-2017)

Fonte dos dados - SIMEPAR, INPE e CPTEC (2018), org: autores (2018)

Dos 85 eventos associados à formação de granizo na região, oito ocorrências foram caracterizadas como CCM. Este sistema é identificado em imagens de satélite pelo seu formato aproximadamente circular e por 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 cumulonimbus 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; TREFAULT et al., 2018; CALDANA et al., 2018). Neste tipo de formação foram identificadas oito ocorrências na região (Figura 08).

Quanto ao sistema convectivo, 45 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 a formação de Cumulonimbus (HOLLEMAN, 2001; MIDDLETON; MCWATERS, 2002; SCAGLIONI; SARAIVA, 2004; KUNZ et al., 2009; DAFIS et al., 2017; TREFAULT et al., 2018; CALDANA et al., 2018).

Para as frentes frias, identificou-se 32 ocorrências de granizo na região (Figura 08). 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 cumulonimbus e acarretar na formação de granizo. Essas têm atuação, principalmente, no outono, inverno e início da primavera e são responsáveis pelas elevadas alturas pluviométricas na região, uma das mais chuvosas do Estado. A Massa de Ar Polar tem trajetória favorecida pela calha do Rio Paraná e posteriormente Rio Iguaçu, tendo grande impacto na chuva da região. 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).

A transformação de um evento natural em um desastre natural com implicações para a vida humana surge junto com o sistema humano, 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 condição de reagir a eventos naturais. 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 cinco eventos ao ano em partes na MRCSP. 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 os 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 a utilização de materiais resistentes a 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; ONOFRE JUNIOR, 2016; BEREZUK, 2017; METZ et al., 2017; SANCHEZ et al., 2017).

Para agricultura não existem valores atuais do efeito de granizo nas lavouras no Paraná. A proteção no campo pode ser proporcionada 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, frequência e tipos de danos causados no campo para buscar medidas aplicáveis à cada região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificou-se que os eventos de granizo na MRCSP são pontuais e têm grande variabilidade devido a latitude, longitude, variabilidade pluviométrica, e principalmente, o relevo e a altitude, uma vez que, locais com grande discrepância na altitude em curta distância, principalmente nas vertentes norte e sul do Rio Iguaçu, foram os mais atingidos por esse tipo de fenômeno. Ao todo, 352 ocorrências de granizo foram identificadas com o agrupamento de dados das quatro estações agrometeorológicas do IAPAR, com destaque para Laranjeiras do Sul, com média de 5,4 eventos ao ano.

Quanto ao número de pessoas afetadas por ocorrência de precipitação de Granizo, 395.057 pessoas sofreram algum tipo de dano a estes eventos, o dano mais comum é o destelhamento. O município com o maior número de registros foi Guarapuava, com 170.741 pessoas afetadas, quase a metade da população total atingida na região e quase a população total do município. Em média, 6.780 pessoas sofrem algum tipo de impacto com precipitação de granizo neste município anualmente. Vários municípios demonstraram situação crítica, apresentando número maior de pessoas afetadas que a própria população do município, indicando que o fenômeno pode trazer danos recorrentes a uma mesma pessoa. Ao todo, 37 decretos de situação de emergência ou calamidade pública foram identificados na região - mais de dois decretos por ano relacionados a queda de granizo. Os municípios com maior número de decretos foram Pinhão e Laranjeiras do Sul, com quatro cada.

A metodologia e as fontes de dados se mostraram satisfatórias para a aplicabilidade do estudo, uma vez que, este tipo de fenômeno é pontual, e como mencionado, de difícil detecção. O uso das cartas sinóticas e imagens de radares demonstraram que eventos atmosféricos de sistemas convectivos e frentes frias são mais propícios a formação de granizo na região.

Por fim, de forma geral os resultados demonstraram alta frequência de precipitações de granizo em toda região. 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 homoganeamente, as pessoas que o habitam não são afetadas 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.

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. Ocorrência, Frequência e Impactos de Precipitações Granizo na Região Metropolitana De Curitiba. **Caminhos de Geografia (UFU. Online)**, 2019. No Prelo.

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.

- _____. **Manual de desastres: Desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003.
- 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.
- 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, 2018.
- 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 pêra 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.
- 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.
- LYONS, W. A. **The handy weather answer book**. Detroit: Visible Ink, p. 397, 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.
- MENDONÇA, F. et al. 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.
- 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**, doi: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.

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. 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

TREFALT, 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**. 2008. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 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.

WIRÉHN, L. Nordic agriculture under climate change: A systematic review of challenges, opportunities and adaptation strategies for crop production. **Land Use Policy**, v. 77, p. 63-74, 2018.

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.

Trabalho enviado em 10/12/2018

Trabalho aceito em 07/02/2019