

TEMPESTADE DE GRANIZO E SUAS REPERCUSSÕES GEOGRÁFICAS NO INTERIOR PAULISTA

<https://doi.org/10.4215/rm2019.e18006>

Maia, D. C. ^{a*} - Fontão, P. A. B. ^b - Souza, L. B. ^c
Christofolletti, A. L. H. ^d - Azevedo, T. S. De ^e

(a) Doutor em Geografia, Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3286-9256>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/5639903221161332>.

(b) Doutor em Geografia, Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7293-2742>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/7615025096908509>.

(c) Doutor em Geografia, Universidade Federal de Tocantins (UFT - Porto Nacional)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7957-088X>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/8310303536103062>.

(d) Doutor em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8961-5332>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/6145995445352330>.

(e) Doutor em Geografia, Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4802-0927>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/0445268569159693>.

Article history:

Received 22 May, 2017
Accepted 03 March, 2019
Published 15 March, 2019

(* CORRESPONDING AUTHOR

Address: Departamento de Geografia - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, CEP: 13506-900, Rio Claro (SP), Brasil. Tel: (+55 19) 3526-9206.

E-mail: diegom@rc.unesp.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo compreender os eventos extremos de chuva de granizo e as repercussões espaciais desse fenômeno na área urbana da cidade de Rio Claro (SP). Usando as imagens de radar, foram examinadas a gênese, a evolução e a dissipação espaço-temporal do fenômeno, e nesse contexto, buscou-se destacar os sistemas atmosféricos atuantes na noite de 1º de junho de 2016. Para analisar os impactos socioeconômicos gerados foram utilizadas informações das ocorrências registradas pela Defesa Civil. A utilização de técnicas geoestatísticas possibilitou verificar a correlação entre as ocorrências registradas pela Defesa Civil, a vulnerabilidade social nas áreas mais atingidas e o tipo de material construtivo utilizado nos telhados das moradias.

Palavras-chave: Granizo; Técnicas Geoestatísticas; Defesa Civil; Vulnerabilidade social.

ABSTRACT / RESUMEN

HAIL RAIN AND ITS GEOGRAPHICAL REPERCUSSIONS IN THE COUNTRYSIDE OF SÃO PAULO (SP) STATE

This article aims to perform an analysis of episodic characteristics of the spatial repercussions of the hail storm that occurred in the autumn of 2016, in the urban area of Rio Claro (SP). Through the radar images were examined the genesis, the evolution and the spatial temporal dissipation of the phenomenon. In this context, it was sought to highlight the atmospheric systems operating in the week of hail precipitation episode, occurred on the night of June 1st 2016. To analyze the socioeconomic impacts generated by hail rain, was used information provided by the Civil Defense. The use of statistical techniques, it was possible to verify the correlation between the occurrences recorded by Civil Defense, the social vulnerability aspect in the most affected areas and the type of cover used in the roofs of the dwellings.

Keywords: Hail; Geostatistical tools; Civil Defense; Social Vulnerability.

TORMENTA DE GRANIZO Y SUS REPERCUSIONES GEOGRÁFICAS EN EL INTERIOR DEL ESTADO DE SÃO PAULO

Este artículo pretende realizar un análisis de carácter episódico del impacto espacial del la lluvia de granizo, que ocurrió en el otoño de 2016, el área urbana de Rio Claro (SP). Por medio de las imágenes de radar se examinaron la génesis, la evolución y la disipación espacial del fenómeno, y en este contexto, se resaltó los sistemas atmosféricos más actuantes en la semana de lo episodio de precipitación de granizo, que ocurrió en la noche del 1 de junio 2016. Para el análisis de los impactos socio-económicos causados por el granizo, se utiliza la información proporcionada por la Defensa Civil y los medios de comunicación impresos. Con el uso de técnicas estadísticas, fue posible verificar la correlación entre las ocurrencias registradas por la Defensa Civil, el aspecto de la vulnerabilidad social en las áreas más afectadas y el tipo de cobertura utilizada en los tejados de las viviendas.

Palabras-clave: Granizo; Técnicas Geoestadísticas; Defensa Civil; Vulnerabilidad social.

INTRODUÇÃO

Os impactos das tempestades de granizo vêm ganhando cada vez mais relevância, em virtude de sua incontestável ameaça às atividades humanas, pois tais incidentes apresentam um caráter repentino e inevitável. Por serem tempestades inerentes ao dinamismo atmosférico tal fenômeno apresenta, habitualmente, maior frequência nas latitudes médias, especificamente na América do Norte, região central da Europa, Índia boreal ('hail belts'), sul da China, sudeste da Austrália e região sul da América do Sul (CUNHA, 2003).

No Brasil, a tempestade de granizo ou "chuva de pedra", como é conhecida popularmente, concentra a maioria das suas ocorrências nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MARTINS et. al., 2017). Todavia, verifica-se, ainda, uma grande variabilidade espacial dos incidentes no território brasileiro e, apesar de menos frequente em relação à Região Sul do país, o Estado de São Paulo apresenta tais episódios associados a tipos de tempo de chuva intensa.

Para Conti (1981), o fenômeno da "granizada" é recorrente no Estado de São Paulo, especificamente em áreas montanhosas e nos altos planaltos, havendo, portanto, uma correlação entre a incidência do granizo e a altitude. Dentre diversos exemplos, o autor demonstra, por meio de análise episódica, o impacto da tempestade de granizo ocorrida na primavera de 1975, em Atibaia (SP), responsável por devastar grande parte das lavouras de pêssego, uva e café.

Segundo Gomes et al. (2010), a ocorrência dessas tempestades no território paulista pode acontecer durante todo o ano e, embora existam alguns registros de tais episódios no inverno, a maior frequência ocorre nos meses de primavera-verão. Tal configuração meteorológica deve-se ao fato de o Estado de São Paulo estar situado numa área de transição climática (MONTEIRO, 1969; 1973), sujeita à atuação de sistemas atmosféricos intra e extratropicais e, conseqüentemente, de intensa atividade frontal ao longo de todo o ano.

De maneira clássica e usual, o granizo é caracterizado como precipitação de grãos de gelo durante uma tempestade (BLAIR e FITE, 1964). A geração do evento em questão advém da presença de nuvens do tipo *cumulonimbus*, que podem chegar até 15 quilômetros de altura. Dentre as condições necessárias para a formação do granizo, é necessária a ocorrência de correntes ascendentes de ar no interior da nuvem, responsáveis por carregar as gotículas de água para serem solidificadas, em grande altitude, no formato de pedras de gelo. Quando o granizo se desfaz, em função do aquecimento realizado pelo atrito com as correntes ascendentes de ar, a precipitação ocorre sob a forma de chuva (líquida). No entanto, quando as tempestades são mais severas e os ventos descendentes são mais intensos, o granizo não se liquefaz, passando a atingir a superfície do solo.

O fenômeno encontra-se geralmente associado a sistemas convectivos de mesoescala derivados de instabilidades tropicais e com duração inferior ao tempo total da precipitação pluviométrica (BARRY e CHORLEY, 2013). Por apresentar área de ocorrência e tempo de duração intermediária entre a escala sinótica e as células individuais de chuva, há uma considerável dificuldade de previsão, mensuração e apuração de seus impactos.

A configuração particular desse fenômeno atmosférico dificulta muito os estudos dessa natureza, já que sua ocorrência, muitas vezes, está restrita a relatos de moradores, jornais locais e bancos de dados relacionados aos órgãos de monitoramento de desastres naturais, como o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), que integra diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil.

As pesquisas referentes ao granizo e sua repercussão estão, em sua maioria, voltadas para os prejuízos causados na zona rural, impactando principalmente a lavoura e a pecuária (CANTOS et. al., 1998; CUNHA et. al., 2001; KLANOVICZ, 2013). Nesse sentido, são raros os artigos que remetem aos danos trazidos pelo granizo em áreas urbanas e, particularmente, relacionando-os à trajetória do sistema convectivo. Dessa maneira, além dos impactos resultantes no sistema agropecuário, tais episódios de tempo severo também podem acarretar grande destruição no ambiente urbano, causando danos consideráveis em telhados e vidros residenciais, quedas de árvores e de fiação elétrica, danos a veículos, entupimento de bueiros e, em casos extremos, até na morte de pessoas e de animais, por ele atingidos.

O presente artigo tem como objetivo compreender as repercussões espaciais causadas pela chuva de granizo, correlacionadas à vulnerabilidade social e aos danos causados na área urbana de Rio Claro –

SP, a partir do evento ocorrido no dia 1º de junho de 2016.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Rio Claro (SP) insere-se na porção central do Estado de São Paulo, com uma população estimada de 201.473 habitantes para o ano de 2016, dos quais 97,5% residem na área urbana (IBGE, 2017).

Rio Claro encontra-se na região geomorfológica da depressão periférica paulista (ROSS e MOROZ, 1997) e, assim, não apresenta grandes desníveis topográficos no interior dos limites municipais, com altitudes em torno de 600 metros. Todavia, a superfície em questão está relativamente próxima à região das cuestas basálticas (em torno de 30 km), localizadas a oeste--noroeste do município, cujas altitudes podem chegar aos 1.200 metros.

Para a análise episódica do fenômeno em destaque foram coletados dados da estação meteorológica de Rio Claro, pertencente ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), inserida na área urbana do município e localizada no Campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP). As variáveis coletadas foram temperatura, pressão atmosférica, radiação, vento e precipitação, com intervalos de 10 minutos para todo o dia.

A análise da dinâmica atmosférica foi efetuada pela observação das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e das imagens de satélite meteorológico do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

A compreensão do evento requer a análise das variáveis que antecederam e sucederam o episódio. Considerando esse preceito, os dados analisados compreendem o período de 24 de maio a 02 de julho de 2016.

Esse procedimento foi executado com o intuito de verificar a dinâmica atmosférica atuante e desencadeante da tempestade de granizo, inerente ao ritmo climático em nível regional (ZAVATTINI e BOIN, 2013; MONTEIRO, 2015). Além disso, foram realizadas a observação e a análise da trajetória do sistema convectivo que assolou a cidade de Rio Claro, utilizando-se, nessa etapa, as imagens produzidas no dia 1º de junho de 2016 pelo radar meteorológico do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP de Bauru (IPMET), com escala temporal de 15 minutos, associadas ao mapa altimétrico do Estado de São Paulo, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA - (MIRANDA et al., 2017).

O deslocamento do sistema convectivo, responsável pela tempestade de granizo, foi georreferenciado e sobreposto ao mapa altimétrico em Sistema de Informação Geográfica - SIG, através do aplicativo ArcGis, versão 10.2. Desse procedimento, resultou documento cartográfico que possibilitou estimar a trajetória do sistema atmosférico.

Para a elaboração da análise espacial dos danos provocados pela chuva de granizo, foram utilizadas as ocorrências registradas pela Defesa Civil Municipal. Os danos foram organizados por tipologias e, posteriormente, georreferenciados pelo endereço de ocorrência, por meio de um mapa digital cedido pela Prefeitura Municipal.

As informações contendo as coordenadas *UTM* de cada episódio e a sua respectiva avaria, foram exportadas para o software ArcGis 10.2 com o propósito de espacializar as áreas críticas dos danos. Para isso, utilizou-se o estimador *kernel* de densidade, método não paramétrico que é muito utilizado para verificar o comportamento de padrões de pontos. Assim, foi ajustada uma função bidimensional sobre os danos ocorridos, proporcional à área de ocorrência. Dessa maneira, a função *kernel* (Equação 1) reúne a somatória de todas as amostras dentro de um raio de influência que é estimado pela distância de cada ponto (CARVALHO e CÂMARA, 2004; FOTHERINGHAM *et al.* 2000).

$$\lambda_{\tau}(u) = \sum_{h_j \leq \tau} \frac{3}{\pi \tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2$$

(1)

onde:

 t é o raio de influência.

 h é a distância entre o centro da região de influência e os pontos observados.

Assim, o estimador de densidade *kernel* é calculado a partir da localização μ dos n eventos contidos em um raio de tamanho t em torno de μ e da distância d entre a posição e a i -ésima amostra (CARVALHO e CÂMARA, 2004), conforme a equação 2

$$\lambda_{\tau}(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), d(u_i, u) \leq \tau$$

(2)

onde:

 K é o número de pares experimentais de observações,

 d é a distância entre a posição e a i -ésima amostra.

Para determinar o raio de influência, foi realizada a análise variográfica com o intuito de estimar a correlação espacial da variável estudada, determinando, assim, a zona de influência em torno das amostras (YAMAMOTO e LAMDIM, 2013). O resultado final desse procedimento foi a compilação de quatro mapas coropléticos qualitativos, que evidenciam as diferentes densidades dos tipos de danos (queda de árvore e de fiação, janelas e telhados danificados), identificando as áreas mais afetadas pela chuva de granizo na cidade de Rio Claro - SP.

Em virtude da extensão dos prejuízos devido à grande quantidade de telhados danificados, e com o intuito detalhar os impactos ocorridos, também foi efetuada uma análise espacial das áreas críticas, relacionando a ocorrência de tais danos com a vulnerabilidade social daquele espaço no Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS).

Esse indicador, criado pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), é um índice que apresenta diferentes desempenhos econômicos e sociais dos municípios paulistas. Apoiado na renda, escolaridade e no ciclo de vida familiar, essa variável fundamenta-se na identificação espacial das áreas de vulnerabilidade da população residente, classificando os setores censitários urbanos em seis classes, as quais variam de baixíssima ou nenhuma vulnerabilidade a vulnerabilidade muito alta (SÃO PAULO, 2013).

Os procedimentos adotados nessa fase da pesquisa consistiram, primeiramente, na adoção do plano espacial, com base em informações espaciais, no nível de setores censitários do município de Rio Claro no formato "*shapefile*" do sistema de informações georreferenciadas Estatcart, desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - (BRASIL, 2010). Tal base de informações foi exportada para o ArcGis 10.2, onde foi compilado um banco de dados com as informações das ocorrências dos danos provocados pelo granizo em telhados, registrados pela Defesa Civil e o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS).

Essa análise permitiu estabelecer uma correlação espacial das áreas críticas da ocorrência desse tipo de dano nos setores censitários urbanos de Rio Claro. A partir dos procedimentos encontrados em Fotheringham et al. (2000), foi utilizado o indicador local multivariado de associação espacial (*Multivariate Local Indicator of Spatial Association - LISA*), para determinar quais setores censitários apresentaram as associações espaciais mais significativas dos telhados danificados em relação à vulnerabilidade social (Equação 3).

$$I_{kl}^i = Z_k^i \sum_j W_{ij} Z_l^j$$

(3)

onde:

 I = Índice Local de Moran; Z = Variáveis padronizadas; Σ_j = Somatório entre cada linha i da matriz espacial; W_{ij} = elementos da matriz de proximidade espacial padronizada de primeira ordem W .

Para realizar tal procedimento foi calculado, primeiramente, no *software* R, o indicador I (I-Moran Local). A significância dessa análise foi estipulada por meio da permutação da aleatoriedade do valor das áreas adjacentes até obter-se uma pseudo distribuição (p). Esses parâmetros foram calculados a partir de 999 permutações aleatórias dos valores de I , provenientes da correlação dos eventos estudados (BIVAND, 1998; CRESSIE, 1993). O cálculo do valor- p foi efetuado da seguinte forma:

1- Calcula-se o índice $I(0)$ para os dados observados de danos em telhados de todas as n amostras (262 setores censitários de Rio Claro);

2- Calcula-se o índice $I(1)$, permutando aleatoriamente os valores dos danos em telhados em relação à vulnerabilidade social de todas as 262 amostras;

3- Repetem-se as rotinas anteriores 999 vezes, até calcular o índice $I(1000)$.

A significância estatística I de Moran é ponderada a partir das seguintes hipóteses:

- $H_0: I = 0$ (não existe correção espacial entre as variáveis estudadas);
- $H_1: I > 0$ (existe correlação espacial entre as variáveis estudadas).

Quando os todos os valores das permutações são igualmente prováveis, presume-se que não há correlação espacial entre as variáveis e aceita-se a hipótese nula (H_0), pois as variáveis são aleatórias, independentes e homogeneamente distribuídas. Estaticamente, essa constatação é observada quando o valor- p é maior do que o valor do índice observado $I(0)$.

A partir daí, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa (H_1) de que o conjunto de dados possui correlação espacial e, conseqüentemente, esses se apresentam distribuídos de forma agregada, quando o valor- p for menor do que $I(0)$ (ANSELIN, 1995).

O produto final dessa etapa originou um mapa coroplético qualitativo, onde puderam ser identificadas as áreas críticas da ocorrência de danos em telhados, provocadas pela queda de granizo, em relação à vulnerabilidade social. Para suplementar essa análise, o banco de dados dos danos ocorridos foi sobreposto a uma imagem de satélite (*quickbird*) de alta resolução, com a finalidade de identificar e quantificar o impacto da chuva de granizo, nos tipos de materiais utilizados nos telhados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise climática e meteorológica da chuva de granizo

Inicialmente, é necessário descrever quais tipos de tempo precederam o dia do evento (1º de junho de 2016). No dia 24 de maio, após a passagem de um sistema frontal, passou a atuar sobre a região de Rio Claro o anticiclone migratório polar, que resultou em uma massa de ar com características polares (temperaturas baixas e tipos de tempo estáveis). Esse sistema predominou por alguns dias com temperaturas baixas e tipos de tempo estáveis, chegando a sofrer certa perturbação atmosférica no dia 28, pela passagem de outra frente fria pelo oceano.

No dia 29 de maio, a massa de ar, já tropicalizada, que atuava sobre a região, passou a sofrer forte influência de instabilidades tropicais procedentes do interior do continente, dando sequência às correntes perturbadoras e fortes chuvas provenientes de oeste e noroeste, entre os dias 30 e 31 de maio, totalizando 41 mm em 24 horas. Ressalta-se que tais instabilidades foram intensificadas por um sistema de baixa pressão (frente em oclusão) no Oceano Atlântico, com a atuação de um cavado próximo ao litoral de São Paulo.

Os dados coletados permitiram a confecção de gráficos de análise diária (Figura 1), evidenciando

em nível horário as variações rítmicas dos elementos climáticos para o dia 1º de junho de 2016. Nesse mesmo gráfico é possível visualizar duas cartas sinóticas e imagens de satélite meteorológico, nos quais destacam as temperaturas presentes no Estado de São Paulo.

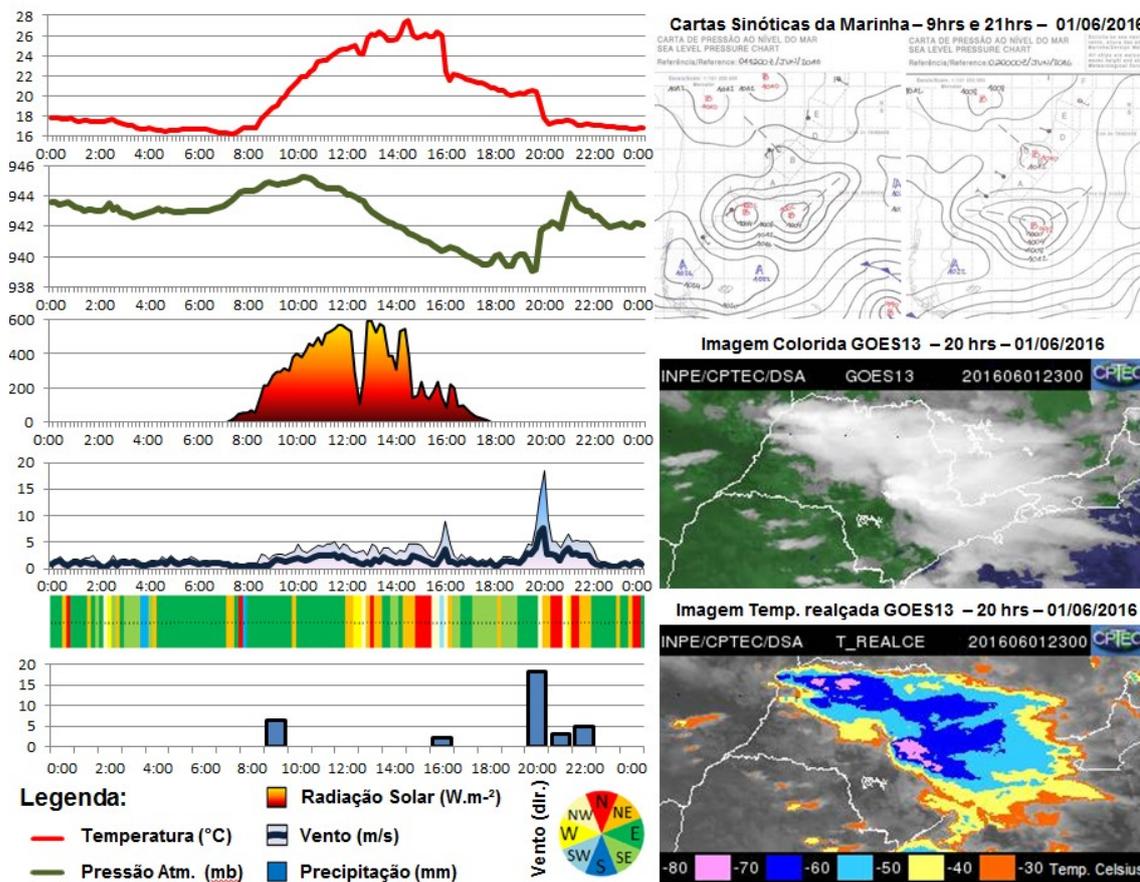


Figura 1: Gráfico da variabilidade atmosférica para o dia 1º de junho de 2016

Na Figura 1 é possível observar um sistema frontal em oclusão (vórtice ciclônico) no litoral atlântico, que está influenciando o interior do Estado de São Paulo, por meio de uma linha de instabilidade. Esse sistema deu sequência a uma queda expressiva da pressão atmosférica próxima ao litoral (carta sinótica das 21 horas), período em que se dá a entrada de correntes perturbadoras de noroeste, por meio do cavado, em direção ao município de Rio Claro.

Tal configuração sinótica resultou no panorama retratado nas imagens de satélite meteorológico, onde é possível verificar com maior detalhe às 20 horas. A imagem realçada apresenta menores temperaturas no topo da nuvem, exatamente sobre Rio Claro, cuja coloração rosada é indicativa de tempestade e de maior desenvolvimento vertical das nuvens.

Em escala horária, é possível verificar temperaturas amenas e certa estabilidade ao longo da madrugada, ocasionando uma chuva pontual no período da manhã, devido à influência do tempo úmido. No período da tarde ocorreu uma chuva convectiva de curta duração, às 16 horas, resultando em uma sensível queda na temperatura. Entretanto, o período mais discrepante no dia foi entre as 19 e as 22 horas, pois apresentou grande variabilidade nos elementos climáticos, devido à tempestade com precipitação de granizo.

Durante o período da queda do granizo, foram registrados ventos superiores a 66 km/h. Com a entrada do sistema convectivo vindo de noroeste, houve uma queda brusca na temperatura e na pressão atmosférica, que voltou a subir, posteriormente. Às 22 horas, após a passagem do sistema convectivo, o tempo atmosférico tornou-se estável novamente.

Pelas imagens dos radares meteorológicos do IPMET (localizados nas cidades paulistas de Bauru

e Presidente Prudente) do dia 1º de junho de 2016, é possível acompanhar o desenvolvimento da tempestade de granizo que assolou a região de Rio Claro (Figura 2). A sequência temporal das imagens realizadas ao longo do dia mostrou o deslocamento dos sistemas convectivos (manchas avermelhadas e púrpuras) sobre o território paulista, resultando em precipitações que foram classificadas como muito fortes e/ou extremas (Figura 2), podendo ser vinculadas à precipitação do granizo. Ao analisar a Figura 2, é previsto chuva de até 100 milímetros no percurso do sistema atmosférico.

Ainda pelas imagens do radar meteorológico, é possível verificar, às 12:30 horas, a formação de um sistema convectivo sobre o município de Brasilândia, localizado a leste do Estado de Mato Grosso do Sul, cuja trajetória se direciona para o território paulista. Na imagem das 14:30 horas já é possível notar uma segunda célula convectiva formando-se próxima a Fernandópolis (SP), cuja trajetória segue provocando forte tempestade em direção sudeste. Os sistemas convectivos unem-se ao sul do município de Catanduva (SP), às 17 horas, período em que se observa intensa tempestade (colorações avermelhadas ao centro) e, então, passam a mover-se novamente rumo leste. Na imagem das 18:00 horas, o sistema convectivo perde intensidade (ausência da cor vermelha) e altera a sua trajetória, passando a deslocar-se a partir desse momento em direção ao sudeste.

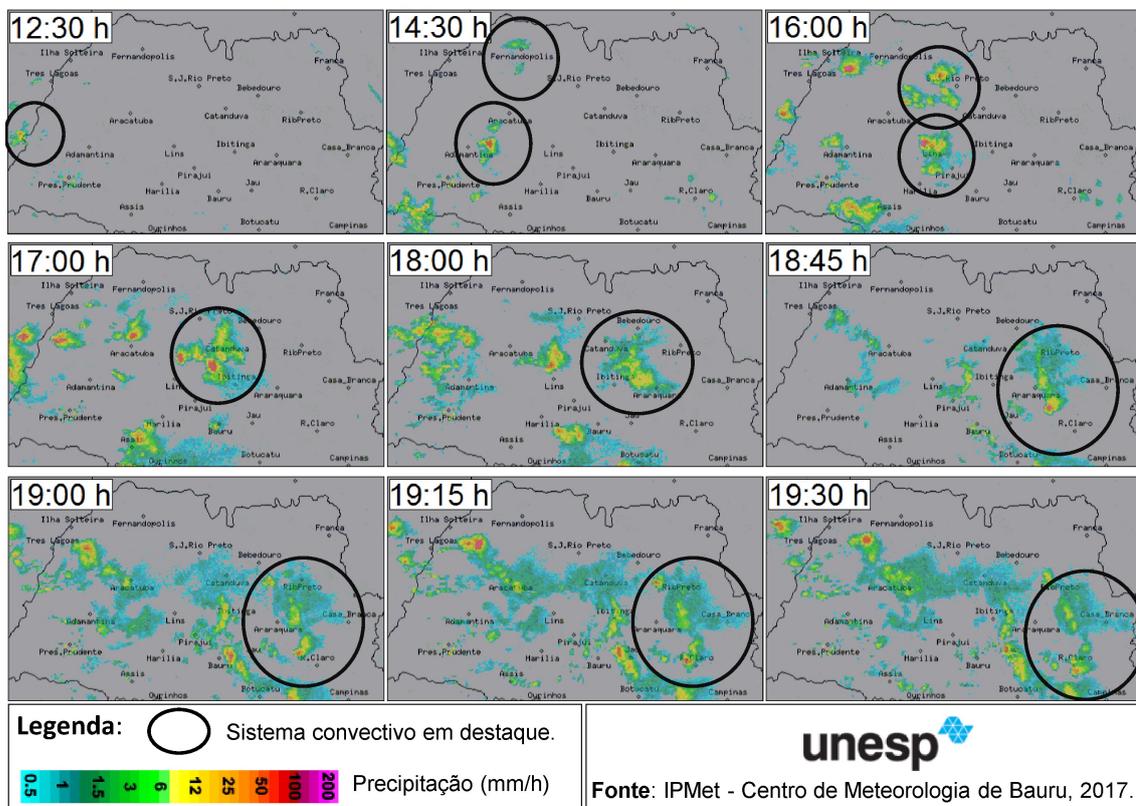


Figura 2: Sequência de imagens de radar meteorológico para o dia 1º de junho de 2016

Das 18:45 horas em diante, já é possível notar, ao sul do sistema convectivo, uma coloração vermelho-escura, evidenciando que a tempestade voltou a intensificar-se até chegar na área urbana de Rio Claro (SP) às 19:15 horas, aproximadamente, permanecendo sobre a cidade por mais de quinze minutos. Depois de cruzar o município de Rio Claro, na direção sudeste, e causar diversos impactos, o sistema perdeu intensidade ao entrar no município de Limeira (SP), dissipando-se aos poucos em direção leste.

Pelas das imagens de radar foi possível estimar o percurso (Figura 3) do sistema convectivo responsável pela tempestade de granizo.

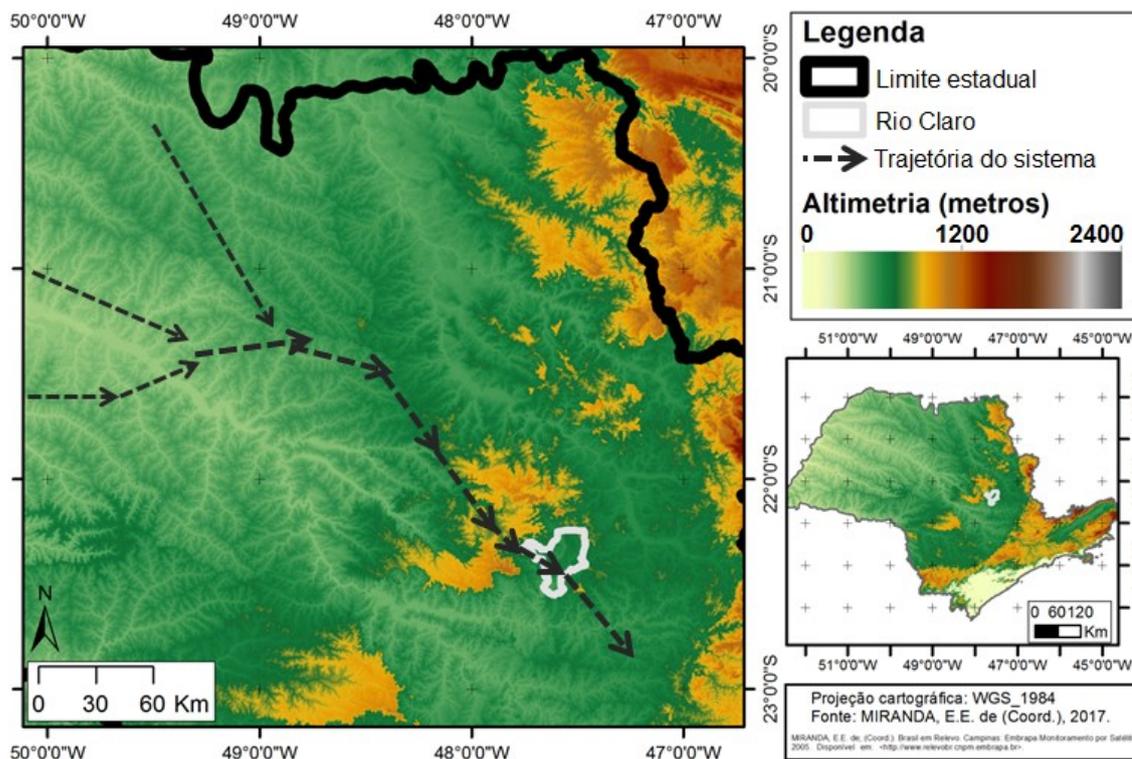


Figura 3: Trajetória do sistema convectivo no território paulista no o dia 1º de junho de 2016

A partir da análise conjunta das Figuras 3 e 4, foi possível reforçar a hipótese de que o sistema convectivo ganhou intensidade ao passar pela região de altimetria mais elevada, localizada a noroeste do município de Rio Claro (SP), sob o domínio da região de *cuestas* basálticas. As características geomorfológicas do relevo apresentam vertentes mais íngremes e/ou paredões rochosos contrapondo-se com vertentes mais suaves no reverso de *cuesta* (ROSS e MOROZ, 1997).

Essa configuração fisiográfica, ainda que com gradientes topográficos em torno de 600 metros, parece ter induzido o sistema atmosférico a ascender e adentrar abruptamente pelo reverso das *cuestas*, contribuindo para a precipitação mais intensa nos municípios de Itirapina (SP), Brotas (SP) e Ipeúna (SP), localizados no setor oeste-noroeste em relação ao município de Rio Claro (SP). Em sua trajetória, os diferentes pontos em que o sistema atmosférico perde ou ganha intensidade mostram, portanto, que o processo de convecção se relaciona com o relevo, potencializando a instabilidade, a formação de granizo e o impacto do episódio pluvial.

Associada aos fatores já citados, a velocidade do sistema convectivo no trajeto também foi algo relevante, pois esse parâmetro dificultou a previsão do fenômeno. Em virtude da situação, a imprevisibilidade desse evento extremo potencializou os estragos já referidos.

Análise espacial dos danos provocados pela chuva de granizo

Segundo o relatório das ocorrências, da Defesa Civil, 93,7% dos 126 chamados de danos residenciais e/ou urbanos foram motivados por destelhamento, sendo que os bairros mais atingidos foram Boa Vista, Santa Maria, Parque Universitário e Novo Wenzel (Figura 4).

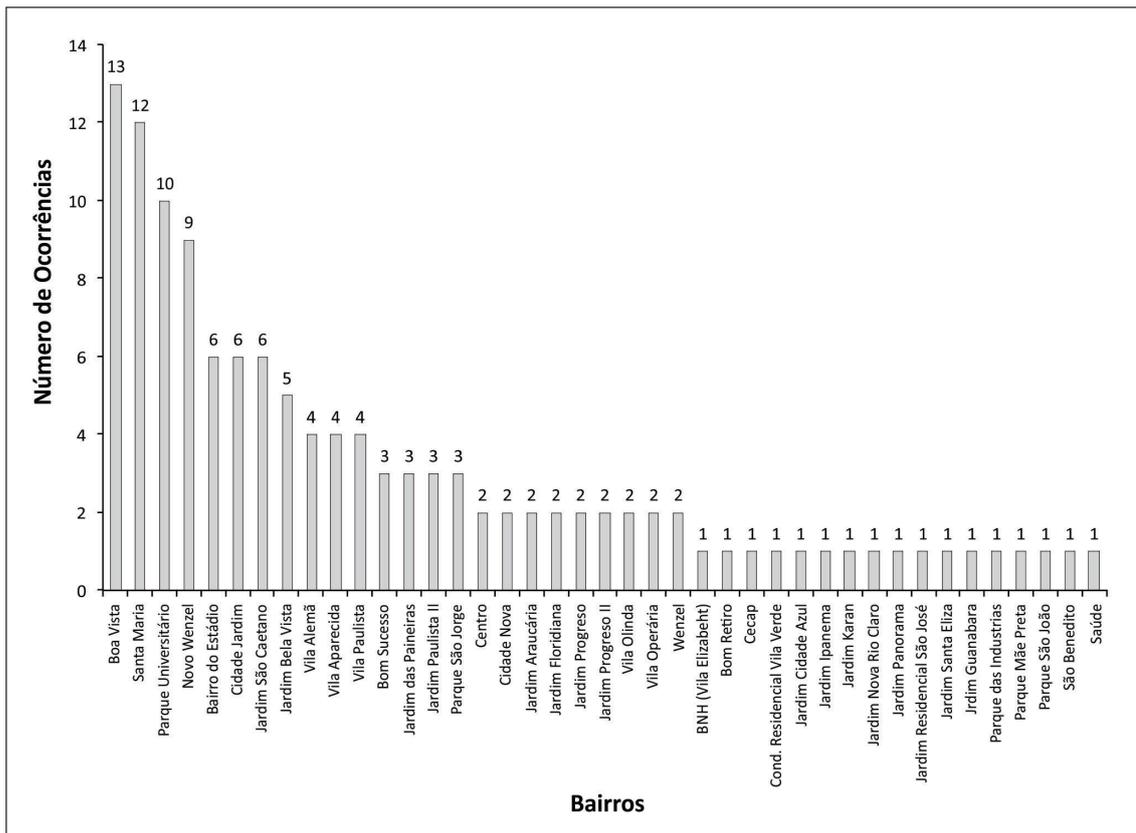


Figura 4: Número de danos provocados pela chuva de granizo nos Bairros de Rio Claro (SP)

A análise espacial dos danos causados pela chuva de granizo pode ser ilustrada pelo estudo variográfico (Figura 5). Esta técnica geoestatística demonstra a variabilidade espacial dos estragos, ou seja, foi possível detectar que a direção predominante dos eventos foi de noroeste para sudeste (NO-SE). O comportamento espacial da variável estudada permitiu que o ajuste do semivariograma experimental fosse efetuado com mais precisão. O modelo de conformação encontrado foi o Gauseano com um alcance de 233 metros. Essas informações permitiram dimensionar a área de influência, verificando, assim, que a estrutura de autocorrelação espacial dos estragos provocados pela chuva de granizo é de 233 metros.

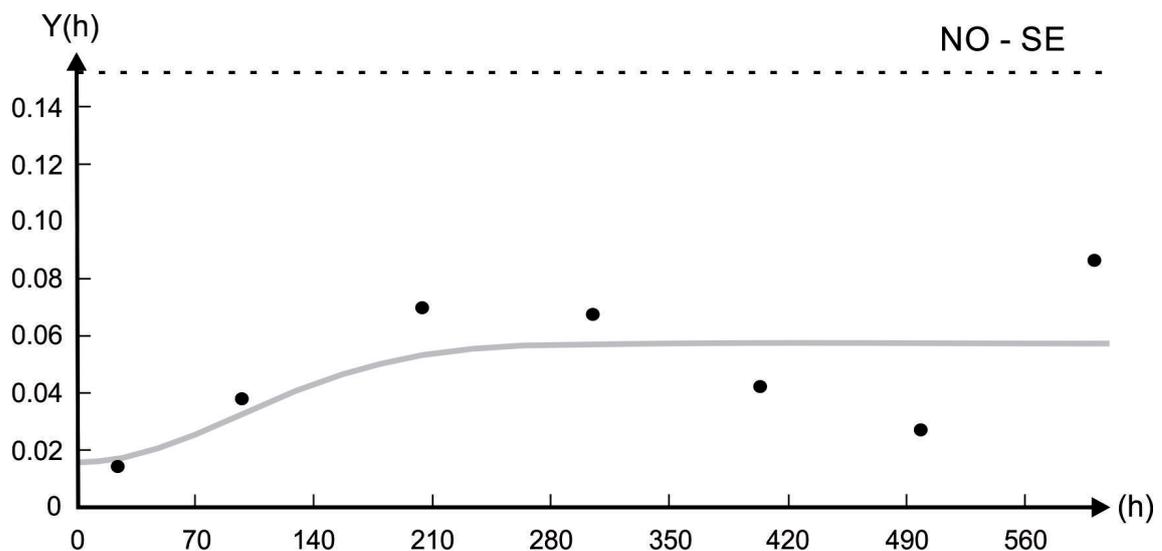


Figura 5: Semivariograma Gaussiano Ajustado

A partir dessas informações, foi estipulado o raio de influência do estimador *kernel* e confeccionados os mapas de densidades dos estragos provocados pelo granizo. Na Figura 6, é possível identificar que as áreas com maior densidade de estragos provocados pela chuva de granizo encontram-se distribuídas no eixo noroeste-sudeste da área urbana rio-clarense.

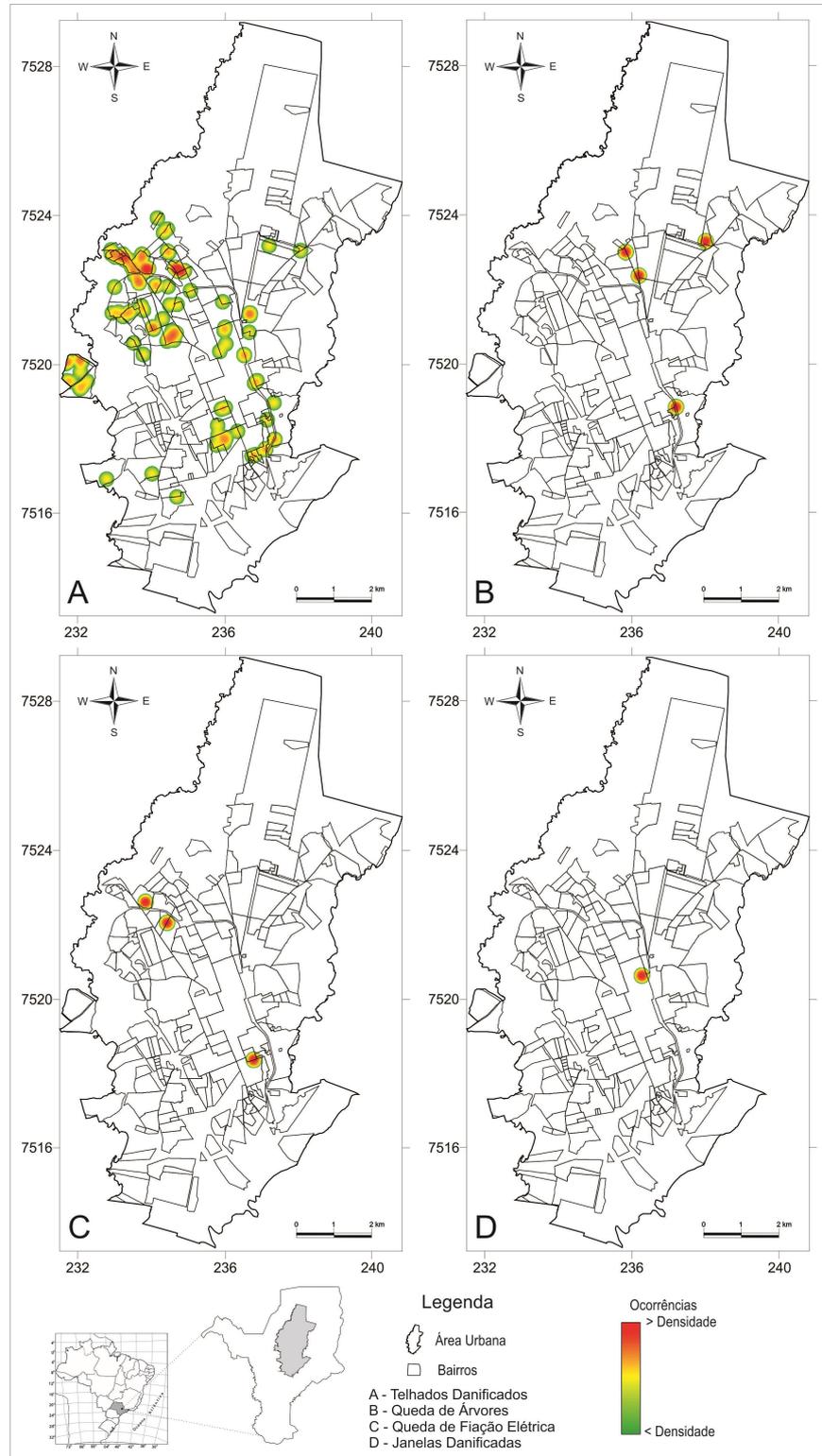


Figura 6: Cartogramas dos estragos provocados pela chuva de granizo em Rio Claro (SP). A - Telhados Danificados; B - Queda de Árvores; C - Queda de Fiação Elétrica e D - Vidros Quebrados.

Analisando-se a Figura 6, fica evidente uma maior concentração de registros nos bairros localizados no setor noroeste da cidade. Tal espacialização corresponde à entrada do sistema convectivo provindo pelo setor noroeste e perdendo intensidade ao longo da trajetória em direção a sudeste de Rio Claro.

De maneira geral, a espacialização das ocorrências evidencia que os danos em telhados (Figura 6A) foi o tipo de estrago mais evidente causado pela intempérie em questão, pois a densidade das ocorrências foi maior na porção nordeste da cidade.

Correlação espacial dos danos em telhados e a vulnerabilidade social

A provável circunstância para o padrão espacial e temporal do grande número de impactos está ancorado nas condições socioeconômicas das famílias residentes na área urbana, já que o padrão construtivo pode se apresentar mais vulnerável ao fenômeno atmosférico estudado (BEREZUK, 2009). Tendo isso em vista, a configuração espacial das ocorrências de destelhamento e da vulnerabilidade social da cidade de Rio Claro (SP) pode ser observada nas figuras 8 A e B, respectivamente.

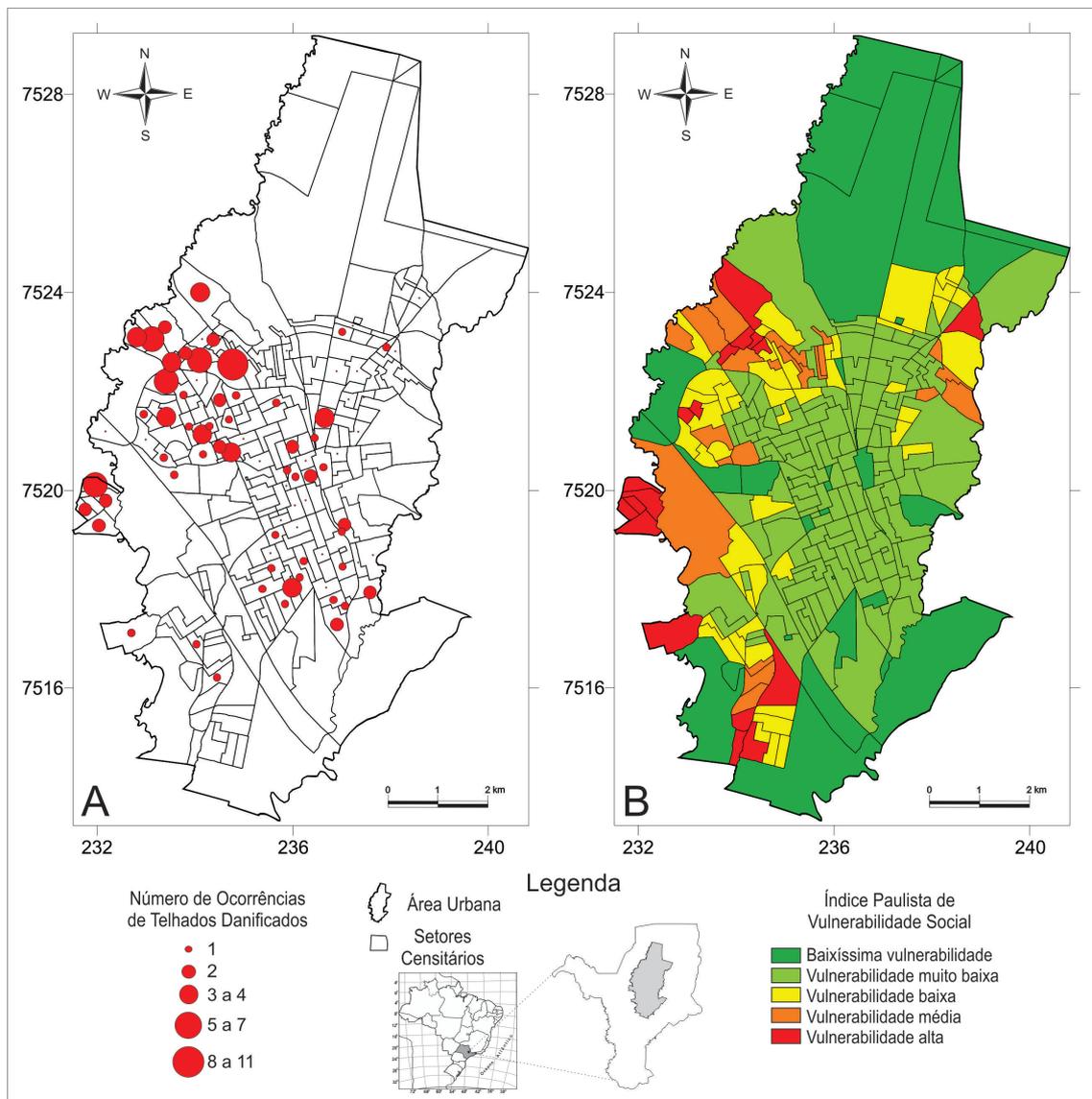


Figura 7: Número de Danos em Telhados (A) e Índice de Vulnerabilidade Social (B) dos Setores Censitários da Cidade de Rio Claro (SP).

Na Figura 7B, o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) apresenta um padrão espacial distinto na região central em relação à periferia, pois nas áreas afastadas do centro, exceto nos setores censitários localizados a leste e a sudeste da cidade, onde a vulnerabilidade social da população varia de média para alta.

Esses locais são caracterizados por apresentar os níveis mais baixos de renda, nos quais os moradores sobrevivem com ganhos mensais que variam de 1 a 3 salários mínimos, somado às precárias condições de saneamento e infraestrutura urbana. Dentre essas áreas da periferia da cidade, destacam-se os bairros do Bom Sucesso, Novo Wenzel, Jardim Novo, Jardim Nova Rio Claro, Jardim Progresso, Jardim Santa Maria e Jardim Guanabara.

Nas áreas central e leste da cidade, nota-se que a vulnerabilidade social é baixa e/ou muito baixa. Essas áreas são caracterizadas por possuírem bairros bem estruturados como a Zona Central, os bairros Santana, Alto do Santana, Cidade Jardim, Vila Bela Vista, Vila Operária, Vila Alemã, Vila Paulista e os bairros onde se encontram os condomínios residenciais de alto padrão, com renda familiar variando entre 7 e 10 salários mínimos.

A correlação espacial efetuada através da aplicação do Índice Local Multivariado de Moran (Figura 8) evidencia o aspecto de correlação entre a extensividade dos danos ocorridos com o percurso percorrido pela tempestade de granizo.

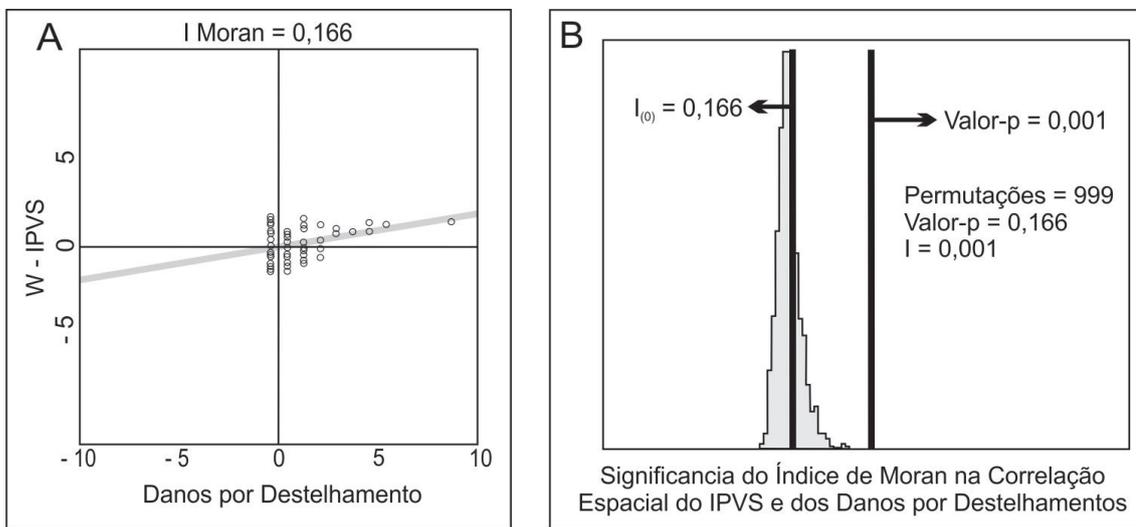


Figura 8: Correlação Espacial dos danos por destelhamento com o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social.

O gráfico bidimensional (Figura 8A) aponta uma correlação positiva direta entre as ocorrências de destelhamento e o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS), em que o Índice Local Multivariado de Moran apresenta o valor de 0,166. No histograma (Figura 8B), verifica-se que o valor-p é de 0,001. A partir dos resultados apresentados, rejeita-se a hipótese nula de ausência de correlação multivariada entre as variáveis estudadas, aceitando-se a hipótese alternativa, assumindo que há correlação espacial entre os danos aos telhados provocados pela chuva de granizo e o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS).

Na Figura 9, pode-se observar a relação das ocorrências de destelhamento com o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS). Nessa ilustração, as regiões em vermelho são as áreas mais vulneráveis, inseridas no setor nordeste e oeste da área urbana.

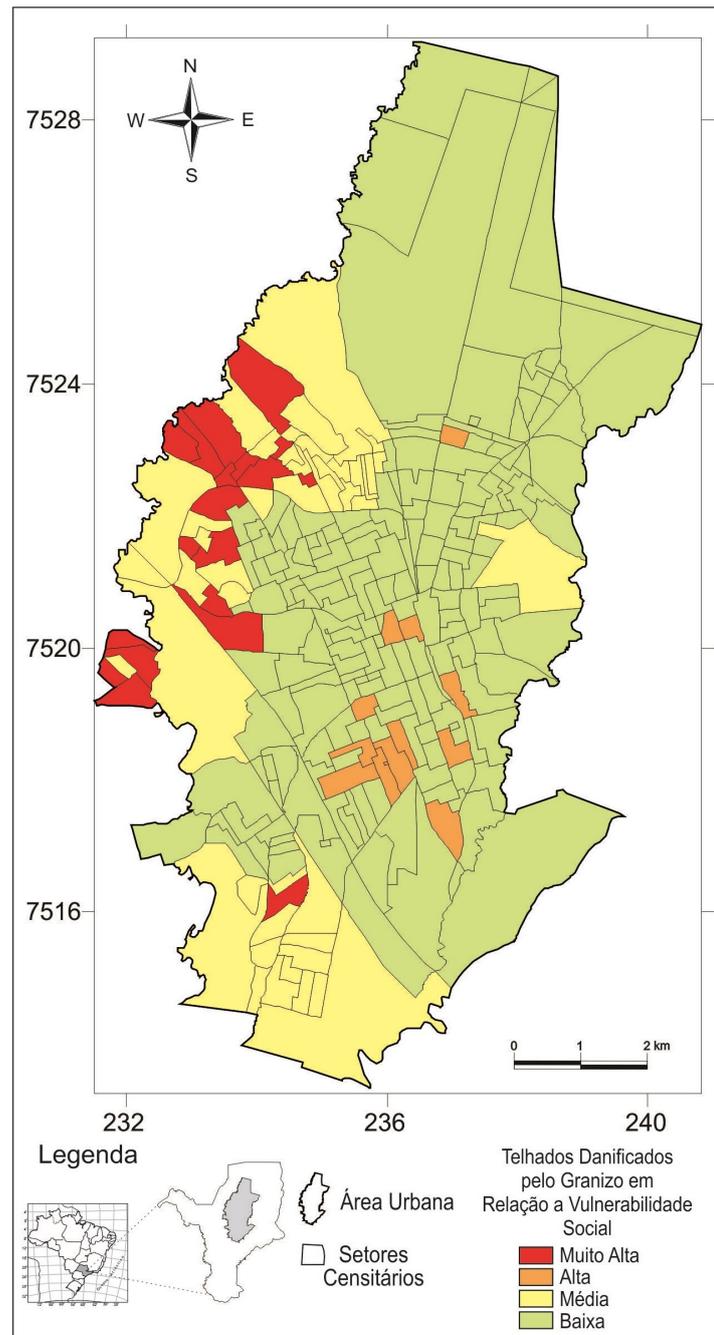


Figura 9: Relação entre os Danos de Destelhamento com o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social na Área Urbana de Rio Claro (SP)

Os resultados corroboram o estudo realizado por Berezuk (2009) em Maringá (PR), onde a maior frequência dos danos registrados ocorreu na periferia da cidade, onde as residências são preferencialmente cobertas por telhados de fibrocimento (Figura 10), de baixo custo, em virtude da condição de renda dessa população

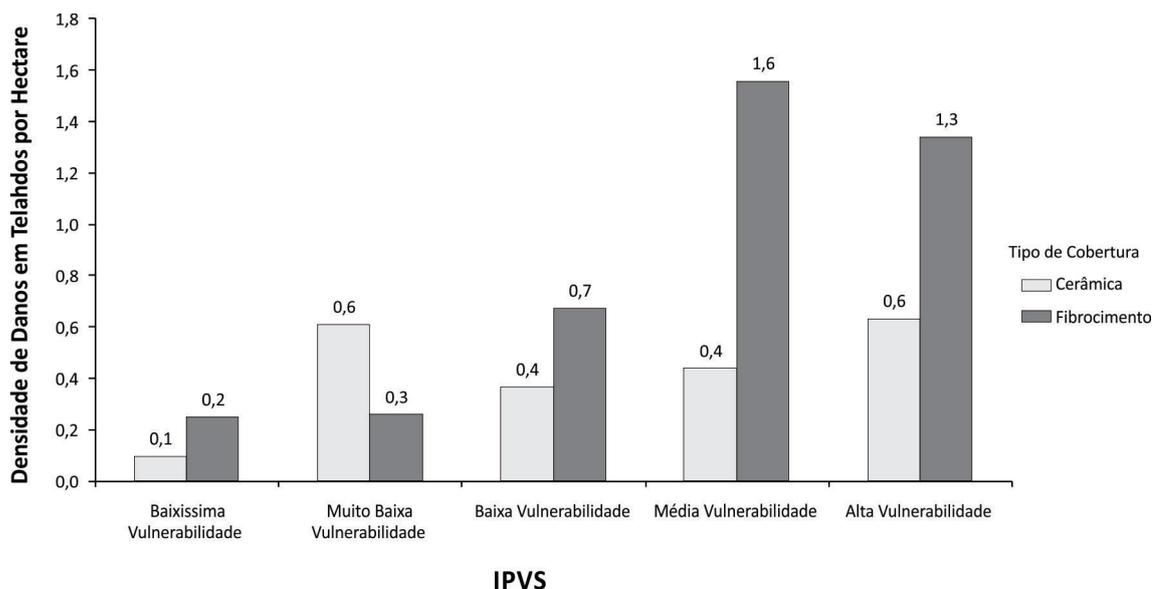


Figura 10: Densidade de Danos em Telhados por Hectare (ha) em relação ao Índice Paulista de Vulnerabilidade Social na Área Urbana de Rio Claro (SP)

Ainda em relação aos impactos do episódio destacado neste estudo e conforme dados fornecidos pela Defesa Civil de Rio Claro, estima-se que aproximadamente 10% da frota de veículos do município de Rio Claro (BRASIL, 2016), foram atingidos pelo granizo. Além dos impactos previamente descritos, outra grande repercussão gerada pelo granizo foi o elevado número de escolas atingidas severamente nas suas coberturas, totalizando 23 unidades delas, três das quais teriam que cessar suas atividades se a chuva persistisse, segundo Diretor da Defesa Civil, pois as telhas não poderiam ser repostas naquelas condições.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos foi possível identificar as repercussões de uma situação sinótica favorável ao desenvolvimento convectivo, especificamente ao desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala propícios à ocorrência de precipitação de granizo. No caso examinado, foram extensas e graves as consequências para a população residente no município de Rio Claro (SP). Por tratar-se de uma situação sem precedentes nos registros climatológicos locais, configurou-se como um evento extremo, para o qual a cidade não estava preparada.

A análise espacial, baseada nas ocorrências registradas pela Defesa Civil Municipal, no Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) e na tipologia dos telhados danificados mostrou a importância da vulnerabilidade social em relação aos impactos ocorridos. Contudo, cabe destacar que a magnitude dos danos sofridos pelos moradores de Rio Claro teve proporções elevadas devido a um sinergismo entre a trajetória do evento, o seu tempo de duração e a localização das áreas atingidas. Embora o sistema atmosférico em questão tenha permanecido atuando no município por 15 minutos, não haveria a possibilidade de mensurar quais seriam os seus impactos, se o mesmo sistema tivesse atingido a área urbana rio-clarense através de outra trajetória e/ou tivesse mantido a sua energia de atuação por um período de tempo maior.

Dessa forma, fica evidente que eventos atmosféricos de tal natureza são difíceis de prever e de mensurar. Assim, é de extrema importância que os órgãos responsáveis pela prevenção de acidentes ambientais passem a considerar mais seriamente a possibilidade futura de episódios desse tipo para executar com maior eficiência, as medidas mitigadoras necessárias, relacionadas a desastres naturais ligados a tempos severos.

REFERÊNCIAS

- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **The Geographical Analysis**. Ohio. v. 27, n. 2. p. 93 – 115. 1995.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Bookman: tradução Ronaldo Cataldo Costa, 9ª ed., Porto Alegre-RS, 2013.
- 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, 2009.
- BIVAND, R. **A review of spatial statistical techniques for location studies**. Norwegian School of Economics and Business Administration. 1998. Disponível em: . Acesso em: 20 abr. 2017.
- BLAIR, T. A.; FITE, R. **Meteorologia**. Escola Politécnica: tradução de Farid Cezar Chede, Rio de Janeiro, 1964.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2016. Disponível em: . Acesso em: 10 nov. 2017
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. **Censo Demográfico 2010**. Brasília, IBGE. Disponível em: . Acesso em: 15 jan. 20177.
- CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G. Análise de eventos pontuais. In: Druck, S. et al. (Ed) **Análise Espacial de Dados Geográficos**, Planaltina: EMABRAPA, 2004. 209p.
- "CHUVA DE PEDRA" CAUSA MEDO E LEVA A DESTRUIÇÃO. **Jornal Cidade (a)**. Rio Claro (SP), p.1, 02 jun. 2016.
- COMO SE FORMA O GRANIZO. **Zero hora**. Porto Alegre (RS), p.9, 15/07/2016. CONSUMIDOR É PREJUDICADO E COMÉRCIO FATURA. **Jornal Cidade (d)**. Rio Claro (SP), p.A6, 03 jun. 2016.
- CONTI, J. B. A ocorrência do granizo no estado de São Paulo. **Coleção Climatologia**, n°9, IGEOG/USP, 1981, 23p.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 897p.
- CUNHA, G. R. da; SCHEEREN, P. L.; SILVA, M. S. **Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.
- CUNHA, G. R. da. **Meteorologia: fatos & mitos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003.
- ESTRAGOS, MEDO E DESTRUIÇÃO EM TEMPORAL. **Jornal Cidade (c)**. Rio Claro (SP), p.A7, 02 jun. 2016.
- FRAGOSO, M. A utilização das imagens de radar meteorológico em climatologia. **Finisterra**, XXXI, n°61, p.29-42, 1996.
- FOTHERINGHAM, A. S. et al. **Quantitative geography**. Londres: Sage. 2000. 270p.
- KLANOVICZ, J. Chuvas de granizo e desastre nos pomares de maçã catarinenses: produzindo uma agricultura de risco. **Revista Esboços**, Florianópolis, v. 20, n. 30, p. 67-89, dez. 2013.
- LAR BETHEL E EMAÚS PEDEM AJUDA EM RC. **Jornal Cidade (b)**, p.1, 03 jul. 2016.
- MARTINS, J. A.; BRAND, V. S.; CAPUCIM, M. N.; FELIX, R. R.; MARTINS, L. D.; FREITAS, E. D.; GONÇALVES, F. L. T.; HALLAK, R.; DIAS, M. S. A. F.; CECIL, D. J. Climatology of destructive hailstorms in Brazil. **Atmospheric Research**, n. 184, p. 126-138, 2017.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: . Acesso em: 8 abr. 2017
- MONTEIRO, C. A. F: **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil** (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). São Paulo: USP/IG, 1969.p?
- MONTEIRO, C. A. F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico

sob a forma de atlas. São Paulo: USP/IG, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. (Org.) **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil.** Campinas, SP: Editora Alínea, 2015.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** USP/IPT/FAPESP, 1997.

SÃO PAULO, FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) - 2010.** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2013. Disponível em: . Acesso em: 01 abr. 2017.

YAMAMOTO, J. K.; LAMDIM, P. M. B. **Geostatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

ZAVATTINI, J. A; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa.** Campinas-SP: Editora Alínea, 2013. 145 p.