

A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO EM LONDRINA (PR): ANÁLISE DE DOIS EVENTOS EXTREMOS

Carlos Cassiano Dalto¹

RESUMO:

O presente artigo analisa a variabilidade da precipitação no município de Londrina (PR) a partir do estudo de dois eventos extremos de chuva ocorridos em 20 de junho de 2012 e 12 de janeiro de 2016. Ambos os episódios apresentaram volumes pluviométricos excepcionais, de 200,5 mm e 223,6 mm em 24 horas, respectivamente, resultando em expressivos impactos socioambientais e econômicos. A metodologia adotada baseia-se na análise rítmica, proposta por Monteiro (1971), aliada ao uso de dados meteorológicos do IAPAR e de imagens de satélite do CPTEC/INPE, permitindo a compreensão da dinâmica atmosférica associada a esses eventos. Os resultados evidenciam a atuação de diferentes sistemas atmosféricos, como frentes frias intensas e Complexos Convectivos de Mesoescala, responsáveis pela intensificação das chuvas em curto intervalo de tempo. Os prejuízos registrados ultrapassaram R\$ 95 milhões, afetando infraestrutura urbana e rural, serviços públicos, unidades escolares e áreas ambientais. Conclui-se que os impactos observados refletem não apenas a intensidade dos eventos climáticos, mas também a vulnerabilidade socioespacial do município, ressaltando a necessidade de planejamento territorial e políticas públicas preventivas voltadas à redução de riscos climáticos.

Palavras-chave: Riscos Climáticos; Vulnerabilidade; Ocupação Espacial.

1. INTRODUÇÃO

As sociedades contemporâneas encontram-se progressivamente mais expostas aos riscos climáticos, sobretudo em contextos urbanos nos quais áreas ambientalmente instáveis tendem a se sobrepor a populações socialmente vulneráveis (ALMEIDA, 2010). Nesse sentido, torna-se fundamental compreender as complexidades inerentes ao sistema atmosférico, tanto em sua dinâmica habitual quanto em seus comportamentos excepcionais, articulando essa análise aos processos de ocupação do espaço geográfico e às condições de exposição das populações às diferentes formas de vulnerabilidade socioambiental.

Diante desse cenário, observa-se que o número de desastres naturais (DN) tem aumentado de forma significativa em escala global nas últimas décadas. Tal crescimento está associado a múltiplos fatores, entre os quais se destacam o crescimento acelerado

¹ Mestrando em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) - carlos.cassiano1@uel.br

da população, a ocupação desordenada do território, as mudanças no uso e na cobertura da terra e as intervenções de natureza antrópica sobre os sistemas naturais (MARCELINO, 2008).

Os eventos climáticos extremos caracterizam-se por extrapolarem a variabilidade climática considerada usual, apresentando elevado potencial de causar danos ao meio ambiente, às infraestruturas e às populações humanas. Esses eventos manifestam-se sob diversas formas, como inundações, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e tornados (MARENGO, 2009). Ressalta-se, entretanto, que sua ocorrência, frequência e intensidade estão diretamente relacionadas às especificidades regionais e às características físicas, ambientais e socioeconômicas dos territórios afetados.

Adicionalmente, faz-se necessário estabelecer a distinção conceitual entre eventos climáticos extremos e episódios climáticos extremos. Os eventos correspondem a fenômenos de maior duração temporal, como períodos prolongados de estiagem ou processos persistentes de inundação, resultantes de uma sucessão de estados atmosféricos anômalos. Os episódios, por sua vez, referem-se a manifestações de curta duração, cuja gênese, evolução e dissipação ocorrem em intervalos temporais reduzidos, geralmente ao longo de poucas horas (BORSATO, 2016).

As nuvens formam-se Figura 1 a partir do processo de condensação do vapor d'água presente na atmosfera, dando origem a gotículas microscópicas de água em suspensão. Esse processo ocorre quando o ar úmido se resfria, atingindo o ponto de saturação, condição necessária para a mudança de fase do vapor para o estado líquido.

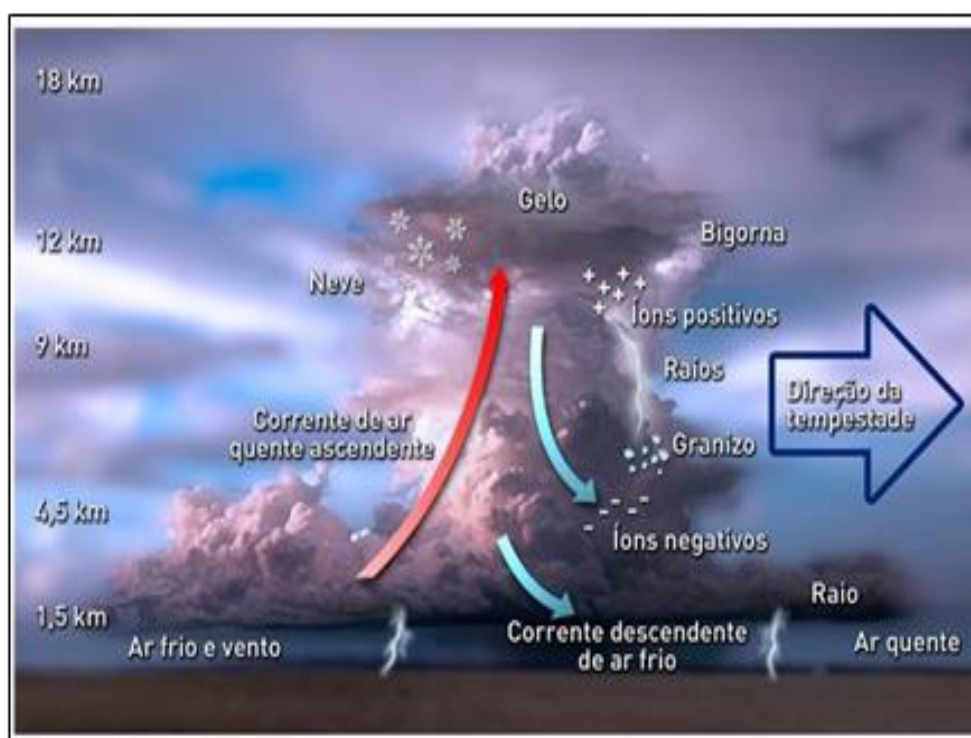
Em altitudes mais elevadas, a diminuição progressiva da temperatura do ar favorece o resfriamento dessas gotículas, que podem alcançar temperaturas inferiores a 0 °C. Nessas condições, ocorre a transformação parcial ou total das gotículas em partículas de gelo, fenômeno fundamental para a dinâmica microfísica das nuvens e para os processos de precipitação.

As nuvens de tempestade distinguem-se das demais tipologias de nuvens por apresentarem grande desenvolvimento vertical, elevada extensão espacial e a coexistência de gotículas de água super-resfriada e cristais de gelo, além de intensas correntes de ar verticais. A formação dessas nuvens depende, de maneira integrada, de três fatores principais: a disponibilidade de umidade atmosférica, o grau de instabilidade vertical da atmosfera — relacionado à variação da temperatura com a altitude — e a

atuação de mecanismos dinâmicos, denominados forçantes, responsáveis por promover a ascensão do ar (ELAT, 2020).

Para a realização desta análise, foram selecionados dois episódios de chuva severa ocorridos em períodos distintos, compreendidos entre 10 e 20 de junho de 2012 e entre 1º e 12 de janeiro de 2016. Embora esses intervalos temporais tenham sido considerados para fins de contextualização e análise das condições atmosféricas antecedentes, os eventos extremos de maior impacto concentraram-se, respectivamente, nos dias 20 de junho de 2012 e 12 de janeiro de 2016. Nessas datas, foram registrados volumes de precipitação acumulada de 200,5 mm e 223,6 mm, caracterizando episódios pluviométricos excepcionais e justificando sua seleção como recorte principal do estudo.

Figura 1 – Desenvolvimento vertical de uma nuvem de tempestade (modelo)



Fonte: (ELAT, 2020)

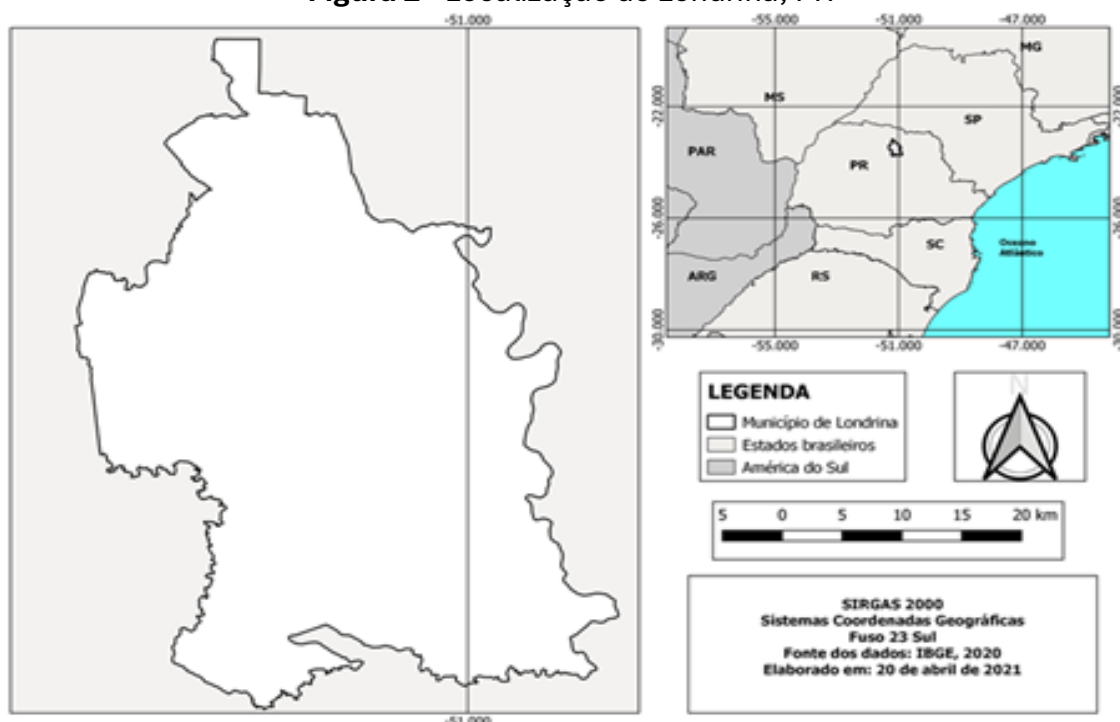
Essas datas foram escolhidas por sua alta intensidade de precipitação, além de causar prejuízos socioeconômicos ao município de Londrina, Paraná (PR). Assim, em 2012 foram identificados os danos e impactos de eventos extremos, grandes alturas de chuva em um período de 24 horas, sendo o maior em 20 de junho de 2012, com 200,5 mm em 24 horas. As maiores taxas de precipitação estão concentradas nos meses

primavera/verão, enquanto as menores ocorrem nos meses de outono/inverno. Isso vale para a frequência de eventos extremos de chuva, as maiores frequências desses eventos ocorrem nos meses de verão, seguidas pelas primaveras, outono e inverno (REBOITA, 2014). Em relação aos episódios de chuvas extremas, o tipo de desastre que ocorreu com mais frequência em Londrina foram os vendavais, seguidos de escoamento, enchentes, deslizamentos de terra e granizo.

Em 2016 foram identificados os danos e impactos de eventos extremos, grandes alturas de precipitação em um período de 24 horas neste município, sendo o maior em 12 de janeiro de 2016, com 223,6 mm em 24 horas. Havia mais do que 50 mil pessoas afetadas e prejuízo estimado pelo município de R\$ 95.123.975,44. Isso demonstra a necessidade de planejamento urbano para criar estruturas que possam suportar os impactos de eventos climáticos extremos, uma vez que os danos então suportados tanto pelos órgãos públicos quanto pela sociedade são muitas vezes maiores do que o investimento para uma melhor infraestrutura urbana (CALDANA; RUDKE, 2019).

O município de Londrina - PR, (Figura 2) está localizado na porção norte do estado do Paraná, com população estimada de 575.377 pessoas até 2020 (IBGE, 2020), das quais 96,1% vivem na área urbana e 96,3% das vias públicas estão arborizadas (IBGE, 2010).

Figura 2 - Localização de Londrina, PR



Fonte: (IBGE, 2020). Elaborado pelo próprio autor, 2021

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada é a análise rítmica, que é uma técnica proposta por (MONTEIRO, 1971) que visa individualizar os tipos de clima atmosférico e, assim, monitorar seus ritmos junto com o monitoramento das medições observadas por uma estação meteorológica. Descrevem o objetivo da análise rítmica como a caracterização do clima atmosférico através da dinâmica de circulação regional (BOSATO; SOUZA FILHO, 2008). Para os autores, a técnica permite a análise espacial e temporal, pois busca avaliar a influência da latitude na dinâmica atmosférica, em um determinado período. A análise rítmica pode ser aplicada a estudos que visam compreender a dinâmica da circulação atmosférica superficial em termos de seus impactos e/ou interações com os aspectos socioambientais estudados (MONTEIRO, 1971).

Para a análise do fenômeno em destaque, foram utilizados dados meteorológicos provenientes do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), obtidos a partir da estação localizada no município de Londrina, Paraná, identificada pelo código 02351003. A referida estação encontra-se situada nas coordenadas geográficas de latitude 23,22° S e longitude 51,10° W, a uma altitude de 585 metros.

De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o município de Londrina apresenta clima do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido. Esse tipo climático distingue-se por temperaturas médias inferiores a 18 °C no mês mais frio (clima mesotérmico) e superiores a 22 °C no mês mais quente, com verões quentes, ocorrência pouco frequente de geadas e ausência de estação seca bem definida.

Além disso, o regime pluviométrico da região apresenta maior concentração das chuvas durante os meses de verão, característica típica desse domínio climático, conforme indicado pelos dados climatológicos disponibilizados pelo IAPAR (2018).

A análise da dinâmica atmosférica foi realizada por meio da observação de imagens de satélite infravermelhos (GOES 16) fornecidas pelo Centro de Estudos Climáticos e Previsão do Tempo – CPTEC/INPE. Dessa forma, foram elaborados gráficos de precipitação de milímetros (mm), temperatura em graus (mínimo, médio e máximo) do período mencionado, o percentual de umidade relativa do ar e o percentual de radiação solar.

Além da análise rítmica, este trabalho tem como objetivo contribuir para o aprofundamento das investigações acerca do aumento da frequência e da intensidade dos eventos climáticos extremos no município de Londrina, Paraná, incentivando a produção e a divulgação de estudos mais detalhados por parte de pesquisadores, docentes universitários e estudantes de graduação e pós-graduação. Tal abordagem justifica-se pelos expressivos impactos socioespaciais desses eventos, que têm provocado significativos transtornos à população local, bem como elevados prejuízos aos órgãos municipais responsáveis pela recuperação das áreas atingidas.

Para alcançar esses objetivos, a pesquisa fundamentou-se, adicionalmente, na adoção de procedimentos metodológicos de natureza bibliográfica e documental, os quais possibilitaram a incorporação de dados estatísticos e documentos oficiais. Essa estratégia metodológica contribuiu para maior consistência e assertividade na análise dos episódios climáticos ocorridos em 10 de junho de 2012 e em 12 de janeiro de 2016 no município de Londrina, ampliando a robustez da interpretação dos resultados obtidos.

3. DESENVOLVIMENTO

A análise desenvolvida neste trabalho caracteriza-se pela utilização de diferentes recursos gráficos, elaborados a partir de dados provenientes das estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), bem como de imagens de satélite disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). A relevância do uso de gráficos reside na capacidade de sintetizar e comunicar informações complexas de forma clara, objetiva e eficiente, favorecendo a interpretação visual dos dados meteorológicos e climatológicos analisados. Nesse sentido, a organização de dados em planilhas e sua posterior representação gráfica contribuem significativamente para a compreensão das informações que se pretende transmitir (MARCONDES, 2020).

Nesse contexto, o Figura 3 referente ao período compreendido entre 10 e 20 de junho de 2012 permite a análise integrada da dinâmica atmosférica atuante sobre o município de Londrina (PR), possibilitando compreender os processos que culminaram na ocorrência do episódio pluviométrico extremo registrado em 20 de junho de 2012,

quando foram contabilizados 200,5 mm de precipitação em 24 horas. Embora o evento extremo esteja concentrado em um único dia, a observação dos dias antecedentes revela-se fundamental para identificar a sucessão dos sistemas atmosféricos, o comportamento das variáveis meteorológicas e as condições prévias de instabilidade que favoreceram a intensificação das chuvas. A análise conjunta contempla os volumes de precipitação, as temperaturas mínima, média e máxima, os percentuais de umidade relativa do ar e de radiação solar, bem como a atuação das massas de ar e sistemas atmosféricos indicados pelas cartas sinóticas do período.

Assim, a interpretação apresentada nesta seção refere-se exclusivamente ao comportamento das variáveis meteorológicas — precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar — analisadas em conjunto com a sucessão das massas de ar e sistemas atmosféricos atuantes. Tal abordagem tem caráter exploratório e interpretativo, voltado à compreensão da dinâmica atmosférica e de seus ritmos, conforme a proposta da análise rítmica. Dessa forma, não se trata ainda de uma interpretação dos dados enquanto resultados analíticos finais, os quais serão posteriormente discutidos à luz dos impactos socioambientais, dos prejuízos registrados e da vulnerabilidade socioespacial do município.

Desta forma na Figura 3, observa-se a variação da radiação solar, cujos valores mais elevados indicam períodos de menor nebulosidade, associados a condições atmosféricas mais estáveis, enquanto as reduções acentuadas refletem aumento da cobertura de nuvens e intensificação da instabilidade atmosférica. Nota-se uma queda significativa da radiação solar nos dias que antecedem e coincidem com o evento extremo, especialmente entre os dias 18 e 19, evidenciando a presença de nebulosidade densa associada à aproximação e atuação da Frente Polar Atlântica (FPA).

O segundo painel apresenta a umidade relativa máxima do ar, que se manteve elevada ao longo de quase todo o período analisado, com valores superiores a 80%. Destaca-se o aumento expressivo da umidade nos dias imediatamente anteriores ao evento extremo, atingindo valores próximos a 100%, condição típica de atmosferas saturadas e favoráveis à ocorrência de precipitações intensas. Esse comportamento reforça o papel da elevada disponibilidade de umidade como fator determinante para a intensificação das chuvas.

No terceiro painel, são representadas as temperaturas mínima, média e máxima, evidenciando variações moderadas ao longo do período, compatíveis com a estação do outono. Observa-se uma redução das temperaturas mínimas e médias nos dias associados à atuação de sistemas frontais, especialmente entre os dias 18 e 20, refletindo a entrada de ar mais frio e úmido. A relativa estabilidade térmica durante o evento extremo indica que a precipitação intensa esteve mais associada à dinâmica atmosférica e à convergência de umidade do que a extremos térmicos.

O painel inferior apresenta os volumes diários de precipitação, destacando-se o acumulado excepcional de aproximadamente 200,5 mm registrado no dia 20 de junho de 2012. Esse valor contrasta fortemente com os baixos volumes observados nos dias anteriores, caracterizando o evento como um episódio pluviométrico extremo concentrado em curto intervalo de tempo. A ocorrência desse volume elevado está diretamente relacionada à atuação da Frente Polar Atlântica, conforme indicado na classificação das massas de ar ao longo do eixo temporal da figura.

De forma integrada, a figura evidencia a sucessão e interação entre diferentes massas de ar — Massa Polar Atlântica (mPa), Massa Tropical Continental (mTc), Massa Equatorial Continental (mEc), Massa Tropical Atlântica (mTa) e sistemas de instabilidade (IT) — culminando na atuação da Frente Polar Atlântica. Essa dinâmica atmosférica explica a rápida intensificação da instabilidade, a elevação da umidade, a redução da radiação solar e, conseqüentemente, a ocorrência de precipitação extrema, reforçando a importância da análise rítmica para a compreensão dos eventos climáticos severos no contexto regional.

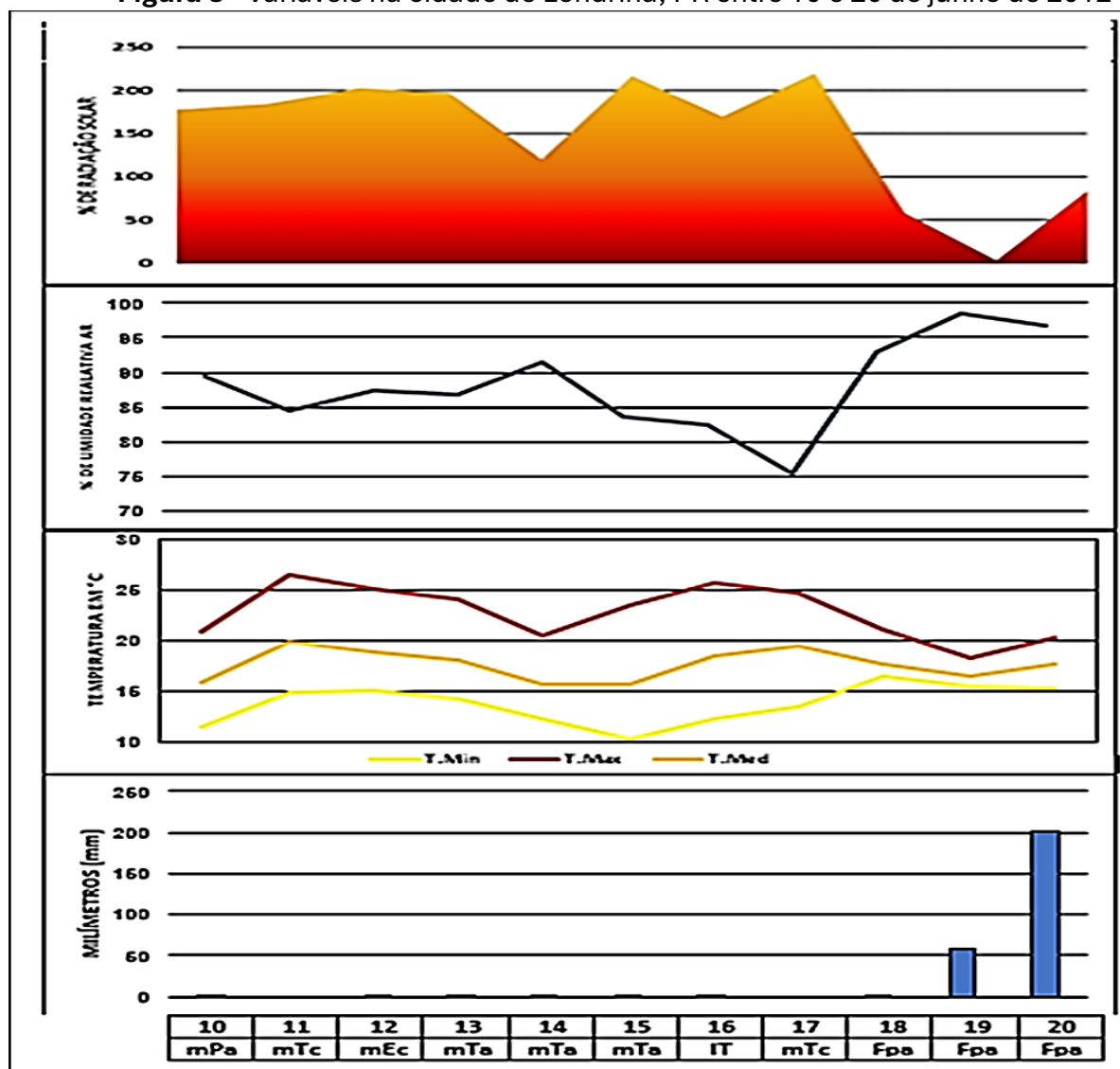
Sabendo disso, a interpretação dos dados da Figura 3 deve considerar, inicialmente, o contexto sazonal no qual o episódio está inserido. O evento ocorreu durante o outono, estação que, no norte do Paraná, caracteriza-se pela transição entre as condições típicas do verão e do inverno, marcada pela redução gradual das temperaturas, diminuição do fotoperíodo, queda progressiva da umidade relativa do ar, maior frequência de nevoeiros matinais, possibilidade de ocorrência de geadas e tendência à redução dos volumes de precipitação (SIMEPAR, 2020). Nesse sentido, a ocorrência de um evento pluviométrico de grande magnitude nesse período reforça seu caráter excepcional e evidencia a importância da análise rítmica para a compreensão da variabilidade atmosférica regional.

No dia 10 de junho de 2012, observou-se a atuação da Massa Polar Atlântica (mPa), caracterizada por ar frio e úmido, com origem nas porções do Atlântico Sul próximas à Patagônia. Nesse dia, foram registrados 2,5 mm de precipitação, temperatura média de 15,9 °C e umidade relativa média de 89,4%, indicando condições atmosféricas estáveis a levemente instáveis. A combinação entre elevada umidade e baixos valores de radiação solar sugere céu predominantemente nublado, com ocorrência de garoas leves, padrão compatível com a atuação dessa massa de ar durante o outono.

No dia 11 de junho, verificou-se uma alteração nas condições atmosféricas associada ao deslocamento da Massa Tropical Continental (mTc), originária da Depressão do Chaco. Essa mudança refletiu-se na elevação da temperatura média para 19,8 °C, na redução da umidade relativa para 84,4% e no aumento da radiação solar, indicando diminuição da nebulosidade e maior estabilidade atmosférica. A atuação dessa massa de ar mais quente e relativamente seca favoreceu maior aquecimento diurno e condições de tempo mais estável em relação ao dia anterior.

Em 12 de junho, registrou-se uma nova alteração nas condições do tempo atmosférico em Londrina, associada à atuação da Massa Equatorial Continental (mEc). Essa massa de ar, caracterizada por apresentar elevadas temperaturas e alto teor de umidade, tem sua gênese vinculada a áreas de baixa pressão da região amazônica, exercendo influência significativa sobre a dinâmica atmosférica do centro-sul do Brasil. Sua presença sobre o município favoreceu a intensificação dos processos convectivos, refletindo-se em maior instabilidade atmosférica ao longo do dia.

Nesse contexto, a temperatura média do ar manteve-se relativamente elevada (18,9 °C), enquanto a umidade relativa apresentou incremento expressivo (87,5%), criando condições favoráveis à formação de nebulosidade e à ocorrência de precipitação leve, com registro de 2,2 mm. A redução dos valores de radiação solar observada no período indica aumento da cobertura de nuvens, evidenciando menor incidência de insolação direta e reforçando o caráter instável da atmosfera sob a atuação da mEc, ainda que sem a ocorrência de volumes pluviométricos significativos.

Figura 3 - Variáveis na cidade de Londrina, PR entre 10 e 20 de junho de 2012

Fonte: IAPAR (2012), CPTEC / INPE (2012). Adaptado pelo autor, 2021

Nos dias subsequentes, 13, 14 e 15 de junho, verificou-se a atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), caracterizada por ar quente e úmido, com origem no oceano Atlântico, nas proximidades do Trópico de Capricórnio. Trata-se de uma massa de ar com forte influência sobre a faixa litorânea do Brasil, mas que, em determinadas condições sinóticas, pode avançar para áreas do interior do país, atingindo regiões como o município de Londrina.

Durante esse período, os volumes de precipitação foram pouco expressivos, totalizando 0,2 mm ao longo dos três dias analisados. As temperaturas médias registradas foram de 18,0 °C em 13 de junho, 15,7 °C em 14 de junho e 15,6 °C em 15 de junho. Destaca-se que, no dia 14 de junho, foi registrada temperatura mínima

relativamente baixa, de 10,2 °C, evidenciando a influência de ar mais frio em níveis inferiores da atmosfera. A umidade relativa do ar manteve-se elevada ao longo do período, com valores de 91,5% em 13 de junho e 83,7% em 15 de junho, indicando elevada disponibilidade de umidade atmosférica.

Os baixos valores de radiação solar observados entre os dias 14 e 15 de junho indicam a predominância de elevada nebulosidade, condição compatível com a atuação da mTa. Em 16 de junho, registrou-se a atuação de uma instabilidade atmosférica (TI) sobre Londrina, caracterizada pelo aumento da nebulosidade e pela reorganização das condições do tempo. Nesse dia, a umidade relativa do ar atingiu 82,2%, a temperatura média foi de 18,4 °C e ocorreu uma precipitação pouco significativa, de 0,1 mm. Os elevados valores de radiação solar registrados no período, associados à presença de nuvens, indicam um quadro de instabilidade atmosférica com alternância entre períodos de maior e menor cobertura de nuvens.

No dia 17 de junho, observou-se o retorno da atuação da Massa Tropical Continental (mTc), caracterizada por apresentar condições atmosféricas mais secas e quentes, com origem associada à Depressão do Chaco, região do Paraguai próxima ao Pantanal. Em decorrência dessa atuação, registrou-se elevação da temperatura média para 19,4 °C, ausência de precipitação e redução da umidade relativa do ar para 75,4%, valor inferior ao observado nos dias anteriores. A radiação solar apresentou o maior valor médio entre os dez dias analisados, atingindo 220%, o que indica baixa nebulosidade e predomínio de céu aberto. Essas condições favoreceram o aquecimento diurno mais intenso, com temperaturas máximas alcançando 24,6 °C no período da tarde.

Nos dias 18, 19 e 20 de junho, novas alterações significativas nas condições atmosféricas foram registradas em Londrina, associadas à atuação da Frente Polar Atlântica (FPA). Essa frente caracteriza-se por apresentar ar relativamente frio e úmido, sendo responsável pela intensificação dos processos de instabilidade atmosférica. Durante esse período, observaram-se volumes expressivos de precipitação, com registros de 0,1 mm no dia 18, 59,8 mm no dia 19 e 200,5 mm no dia 20 de junho, este último configurando o evento pluviométrico extremo analisado.

A umidade relativa do ar manteve-se elevada ao longo da atuação da frente, com valores de 93,0% em 18 de junho, 98,4% em 19 de junho e 96,6% em 20 de junho. As temperaturas médias apresentaram redução em relação ao dia anterior, com registros de

17,7 °C no dia 18, 16,5 °C no dia 19 e 17,6 °C no dia 20. Os baixos valores de radiação solar observados, especialmente no dia 19 (3%), refletem a elevada nebulosidade associada à frente fria, enquanto os valores de 58% em 18 de junho e 84% em 20 de junho indicam variações no grau de cobertura de nuvens. O conjunto dessas variáveis evidencia a atuação de uma frente fria bem desenvolvida sobre Londrina, responsável pela ocorrência de chuvas intensas, elevada umidade atmosférica, redução da radiação solar e relativa estabilidade térmica.

A análise integrada dessas variáveis evidencia a sucessão e interação entre diferentes massas de ar — Massa Polar Atlântica (mPa), Massa Tropical Continental (mTc), Massa Equatorial Continental (mEc), Massa Tropical Atlântica (mTa) e sistemas de instabilidade — culminando na atuação de uma Frente Polar Atlântica bem desenvolvida, responsável pela rápida intensificação da instabilidade atmosférica. A elevação da umidade, a redução acentuada da radiação solar e a convergência de sistemas atmosféricos explicam a ocorrência de precipitação extrema em curto intervalo de tempo, reforçando a relevância da análise rítmica como ferramenta fundamental para a compreensão dos eventos climáticos severos e de seus impactos no contexto regional de Londrina.

No período analisado referente ao ano de 2016 Figura 4, o município de Londrina, Paraná, encontrava-se sob condições atmosféricas típicas da estação do verão. No contexto climático do estado do Paraná, o verão corresponde ao período mais chuvoso do ano, sendo os volumes elevados de precipitação acumulada resultado direto da atuação de sistemas atmosféricos de mesoescala, tais como tempestades isoladas, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos. Esses sistemas estão associados ao maior aquecimento diurno e à elevada disponibilidade de umidade na atmosfera, fatores que favorecem a intensificação dos processos convectivos.

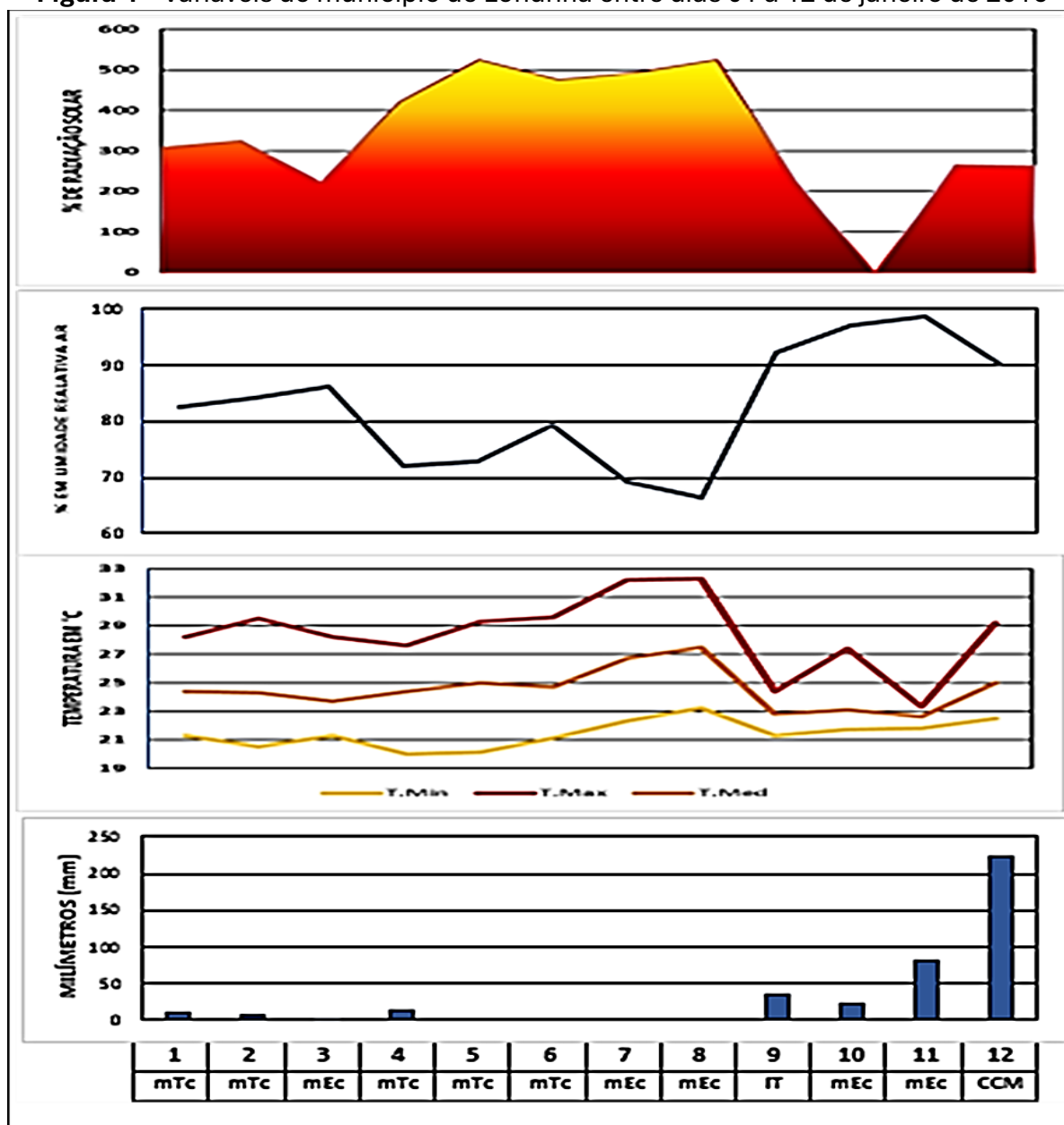
As precipitações geradas por esses sistemas caracterizam-se, em geral, por elevada intensidade, curta duração e forte irregularidade espacial, frequentemente acompanhadas por alta incidência de descargas elétricas, rajadas intensas de vento e, em alguns casos, ocorrência de granizo. Tais eventos atingem diferentes regiões do estado, afetando de forma significativa o espaço urbano e rural, especialmente em áreas mais vulneráveis.

Do ponto de vista térmico, o verão apresenta os maiores valores médios de temperatura ao longo do ano no estado do Paraná, com destaque para as regiões Oeste,

Sudoeste, Norte e Litoral, onde os valores tendem a ser mais elevados em função da maior incidência de radiação solar e da atuação frequente de massas de ar quentes. Essa estação é caracterizada por dias mais longos e maior insolação, fatores que favorecem a intensificação do aquecimento diurno e a ocorrência de períodos consecutivos com temperaturas elevadas, condição recorrente durante os meses de verão (SIMEPAR, 2020/2021).

Além disso, as elevadas temperaturas típicas do verão, associadas à alta disponibilidade de umidade na atmosfera, contribuem para o aumento da instabilidade atmosférica e para a intensificação dos processos convectivos. Esse conjunto de condições favorece a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, como os cumulonimbus, frequentemente responsáveis por precipitações intensas e concentradas em curto intervalo de tempo. Assim, o regime térmico do verão desempenha papel fundamental na dinâmica das chuvas convectivas no Paraná, influenciando diretamente a frequência e a intensidade dos eventos pluviométricos, especialmente em áreas urbanas e rurais mais suscetíveis aos impactos hidrometeorológicos.

Figura 4 – Variáveis do município de Londrina entre dias 01 a 12 de janeiro de 2016



Fonte: IAPAR (2012), CPTEC / INPE (2012). Adaptado pelo autor, 2021

Assim, observa-se que nos dias 1 e 2 de janeiro de 2016 há uma (mTc), cuja característica é uma massa mais quente e úmida, originária da Depressão do Chaco, região paraguaia próxima ao Pantanal, (as características dessa massa podem mudar quando se origina no inverno ou verão, tornando-se mais seca ou úmida). Assim, no dia 01, houve precipitação de 9,1 mm, com uma temperatura média de 24,4 °C, com radiação solar de 310% e umidade relativa de 82,1%. No dia 02, houve precipitação de 5,6 mm, com temperatura média de 24,3 °C, radiação solar de 326% e umidade relativa de 84,1%.

No dia 3 houve o advento da Massa Equatorial Continental com características de ar úmido e quente, cuja característica é de área de baixas pressões em uma região Equatorial e úmida (floresta amazônica). Assim, observa-se que a temperatura média é de 23,7%, mas a umidade relativa do ar foi maior que a do dia seguinte com 86%, uma precipitação de 0,7 mm e a radiação solar de 225%, o que caracteriza um tempo com muitas nuvens e chuvas leves na cidade.

Nos dias 4, 5 e 6 retornou-se com as características da (mTc) que estava presente nos dias 1 e 2. Assim, verifica-se que a precipitação ocorreu novamente no dia 4 com 12,2 mm, no entanto, nos dias 05 e 06 não houve registro de precipitação. As temperaturas médias foram de 24,4 °C no dia 4, 25 °C no dia 5 e 24,7 °C no dia 6. A umidade do ar foi de 72,2% no dia 4, 72,8% no dia 5 e 79,2% no dia 6. Já a radiação solar ficou em 421% em 5 de junho, 525% em 6 de junho e 476% em. Nesse período houve uma massa de ar mais estacionária sobre a região, deixando as temperaturas e a umidade mais estáveis.

No período subsequente, nos dias 7 e 8 de janeiro, observou-se o retorno da atuação da Massa Equatorial Continental (mEc), a mesma massa de ar identificada no dia 3 de janeiro. Apesar da presença dessa massa de ar caracterizada por elevados teores de umidade, não foram registrados volumes de precipitação na estação meteorológica durante esses dois dias. Destaca-se, contudo, a expressiva elevação das temperaturas, com médias de 26,7 °C em 7 de janeiro e 27,5 °C em 8 de janeiro, bem como as elevadas temperaturas máximas registradas no município, que atingiram 32,2 °C no dia 7 e 32,3 °C no dia 8.

Essas condições térmicas evidenciam a atuação da mEc sobre Londrina, uma vez que essa massa de ar apresenta características de ar quente e úmido, frequentemente associadas à intensificação do aquecimento diurno e à circulação de ventos predominantes de norte. Ademais, a presença dessa massa de ar pode atuar como condição pré-frontal, antecedendo a aproximação de sistemas frontais. A umidade relativa média do ar manteve-se moderada, com valores de 69,3% em 7 de janeiro e 66,2% em 8 de janeiro, refletindo a combinação entre elevado aquecimento e disponibilidade de umidade.

No dia 9 de janeiro, constatou-se o retorno das instabilidades atmosféricas (TI), responsáveis pela ocorrência de precipitação expressiva, com volume acumulado de

36,2 mm. Esse episódio esteve associado a uma redução acentuada da temperatura média do ar, que atingiu 22,8 °C, concomitantemente à elevação da umidade relativa, com valor médio de 92,3%. A intensificação da nebulosidade, característica das condições de instabilidade, contribuiu para a diminuição da insolação efetiva ao longo do dia, embora os registros de radiação solar indiquem variações temporais decorrentes da alternância entre períodos de maior e menor cobertura de nuvens. O conjunto dessas variáveis meteorológicas caracteriza um quadro típico de tempo instável, marcado por chuvas, elevada umidade atmosférica e redução das temperaturas no município de Londrina.

Nos dias 10 e 11 de janeiro de 2016, observou-se o retorno da atuação da Massa Equatorial Continental (mEc), cuja presença já havia sido registrada nos dias 3, 7 e 8 do mesmo mês. Durante esse período, foram observados volumes significativos de precipitação, com acumulados de 23,6 mm no dia 10 e 81,0 mm no dia 11. A umidade relativa do ar manteve-se elevada, alcançando 97,3% no dia 10 e 98,9% no dia 11, refletindo a alta disponibilidade de umidade associada à mEc. As temperaturas médias apresentaram leve redução em relação aos dias anteriores, com valores de 22,8 °C e 23,1 °C, indicando menor amplitude térmica diária. A elevada cobertura de nuvens e a ocorrência de precipitações frequentes contribuíram para a relativa estabilidade térmica, em contraste com os dias 6 a 8 de janeiro, quando a menor instabilidade atmosférica e a maior incidência de radiação solar favoreceram o aumento das temperaturas. Ressalta-se que os dados de radiação solar não se encontram disponíveis para o dia 10 de janeiro, enquanto no dia 11 foi registrado valor de 267%, evidenciando variações na cobertura de nuvens ao longo do período.

E 12 de janeiro de 2016, houve a presença dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), cujas características estão associadas a chuvas torrenciais, rajadas violentas de vento, granizo, raios, e eventualmente, tornados. caracterizam-se por serem um conjunto de nuvens convectivas, que têm uma forma circular e um crescimento vertical em um intervalo de tempo entre 6 e 12 horas, frequentemente associadas a eventos intensos de precipitação (USP, 2020). Assim, observa-se que a precipitação ocorrida em 12 de janeiro foi de 223,6 mm, com umidade relativa de 90,3%, a radiação solar de 264% e a temperatura média de 25 °C.

A análise dos períodos compreendidos entre 10 e 20 de junho de 2012 e entre 1º e 12 de janeiro de 2016 evidencia o caráter dinâmico dos fenômenos atmosféricos, marcado pela atuação simultânea de diferentes fatores climáticos e pela ocorrência de rápidas mudanças nas condições do tempo, muitas vezes em intervalos de poucas horas. Ao longo desses períodos, alternaram-se momentos de estabilidade e instabilidade atmosférica, com a ocorrência de episódios secos e chuvosos, refletindo a complexidade dos sistemas atmosféricos atuantes sobre o município de Londrina.

Destacam-se, entretanto, os elevados volumes de precipitação registrados em dois dias específicos: 20 de junho de 2012, com acumulado de 200,5 mm, e 12 de janeiro de 2016, com 223,6 mm. Tais valores configuram eventos pluviométricos extremos, responsáveis por significativos transtornos socioespaciais e danos materiais no município. Esses episódios apresentam elevado grau de complexidade para fins de previsão meteorológica, uma vez que, em muitos casos, estão associados a instabilidades atmosféricas de rápida formação e caráter localizado, capazes de desencadear precipitações intensas em curto intervalo de tempo.

3.1 – REVISÃO DE 12 DE JANEIRO DE 2016, ÀS 16 HORAS

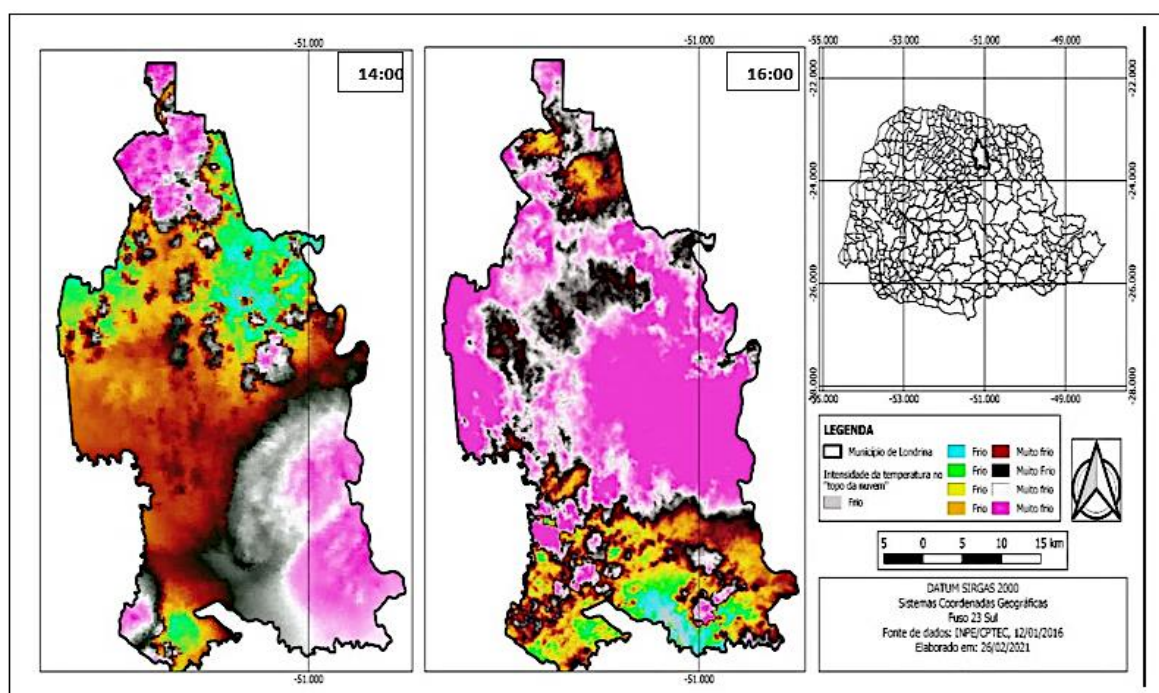
Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) caracterizam-se como sistemas organizados de nuvens convectivas, geralmente de formato aproximadamente circular, com expressivo desenvolvimento vertical e ciclo de vida que pode variar entre 6 e 12 horas. Esses sistemas estão frequentemente associados à ocorrência de eventos de precipitação intensa, descargas elétricas, rajadas de vento e, em alguns casos, granizo, configurando-se como importantes mecanismos geradores de eventos extremos (MADDOX, 1980). De acordo com Moraes e Aquino (2018), os CCM exercem impactos significativos sobre diversos setores econômicos e sociais, afetando, entre outros, a agricultura, a aviação e o espaço urbano, além de estarem associados à ocorrência de enchentes e deslizamentos de terra.

Nesse contexto, destaca-se o episódio ocorrido em 12 de janeiro, quando foi registrado um volume expressivo de precipitação acumulada de 223,6 mm no município de Londrina. A atuação de um Complexo Convectivo de Mesoescala nesse evento é evidenciada pelas imagens de satélite GOES, disponibilizadas pelo Centro de Previsão

de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), apresentadas nas Figuras 5 e 6. Essas imagens permitem identificar a organização, a evolução e a intensidade do sistema convectivo responsável pelo evento extremo analisado.

A Figura 5 evidencia o momento de formação e/ou ingresso do CCM sobre o município, com a tempestade avançando inicialmente pela porção sudoeste de Londrina por volta das 14h, indicada pelas tonalidades mais intensas (rosa). Ao longo da tarde, o sistema convectivo intensificou-se e expandiu-se espacialmente, avançando sobre as regiões leste, central, oeste e norte do município. Na imagem das 16h, observa-se a presença de áreas com coloração mais escura, o que indica topos de nuvens mais frios e elevados, característica típica de nuvens do tipo cumulonimbus (Cb). Tal configuração evidencia forte instabilidade atmosférica, compatível com a ocorrência de chuvas intensas e concentradas, responsáveis pelos elevados volumes pluviométricos registrados nesse episódio

Figura 5 - Imagem de satélite do município de Londrina, PR, no dia 12 de janeiro de 2016



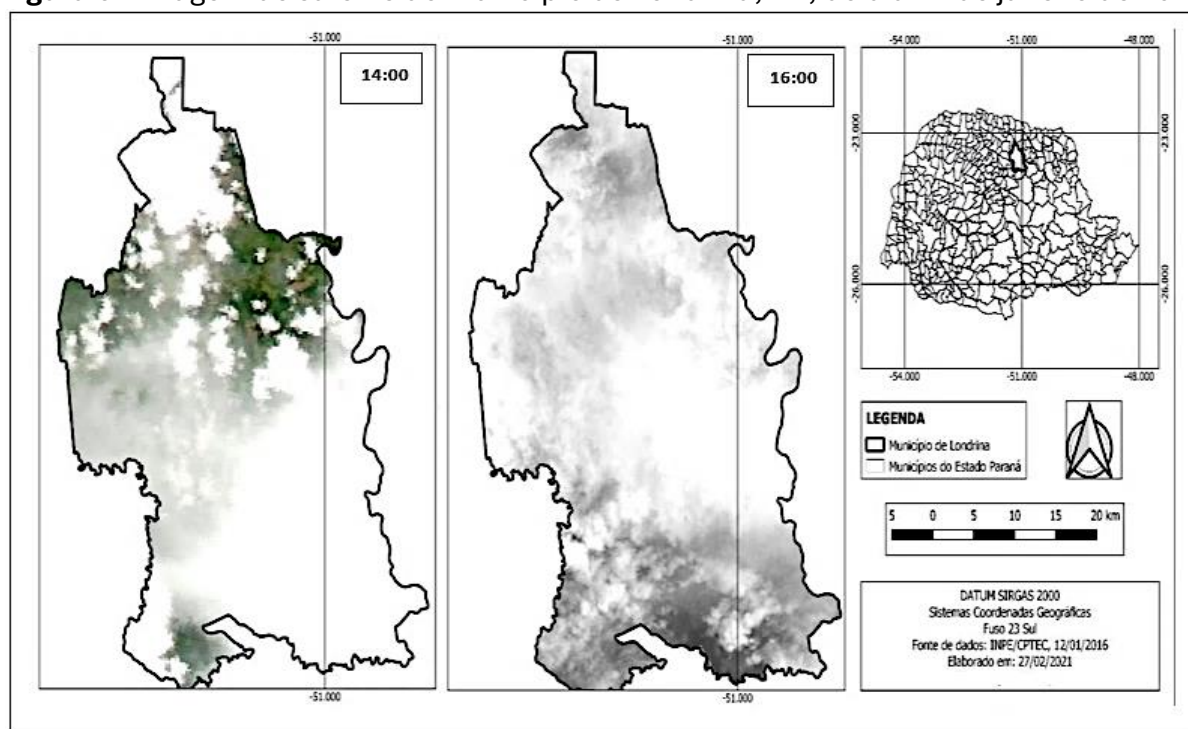
Fonte: CPTEC/INPE, 2020. Adaptado pelo autor 2021

Na Figura 6 são apresentadas as imagens de satélite do CPTEC/INPE referentes ao dia 12 de janeiro de 2016, às 16 horas, nas quais é possível observar a distribuição espacial das nuvens e suas respectivas áreas de atuação. As tonalidades mais claras,

representadas pela coloração branca intensa, indicam nuvens mais espessas e com elevado desenvolvimento vertical, condição que está diretamente associada a um maior potencial para a ocorrência de precipitações volumosas. Dessa forma, quanto mais intensa a coloração branca observada nas imagens, maior tende a ser a capacidade do sistema atmosférico em gerar chuvas intensas em curto intervalo de tempo.

Esse padrão é característico de nuvens do tipo cumulonimbus (Cb), reconhecidas por sua elevada instabilidade e forte atividade convectiva. Tais nuvens estão associadas à ocorrência de precipitação intensa, forte turbulência atmosférica ao longo de seu deslocamento, rajadas de vento, descargas elétricas e, em determinadas situações, queda de granizo. A identificação desse tipo de nebulosidade nas imagens de satélite reforça o caráter extremo do evento analisado, bem como a complexidade e a rapidez de organização desses sistemas, que frequentemente resultam em impactos significativos no meio urbano, como alagamentos e danos à infraestrutura.

Figura 6 - Imagem de satélite do município de Londrina, PR, do dia 12 de janeiro de 2016



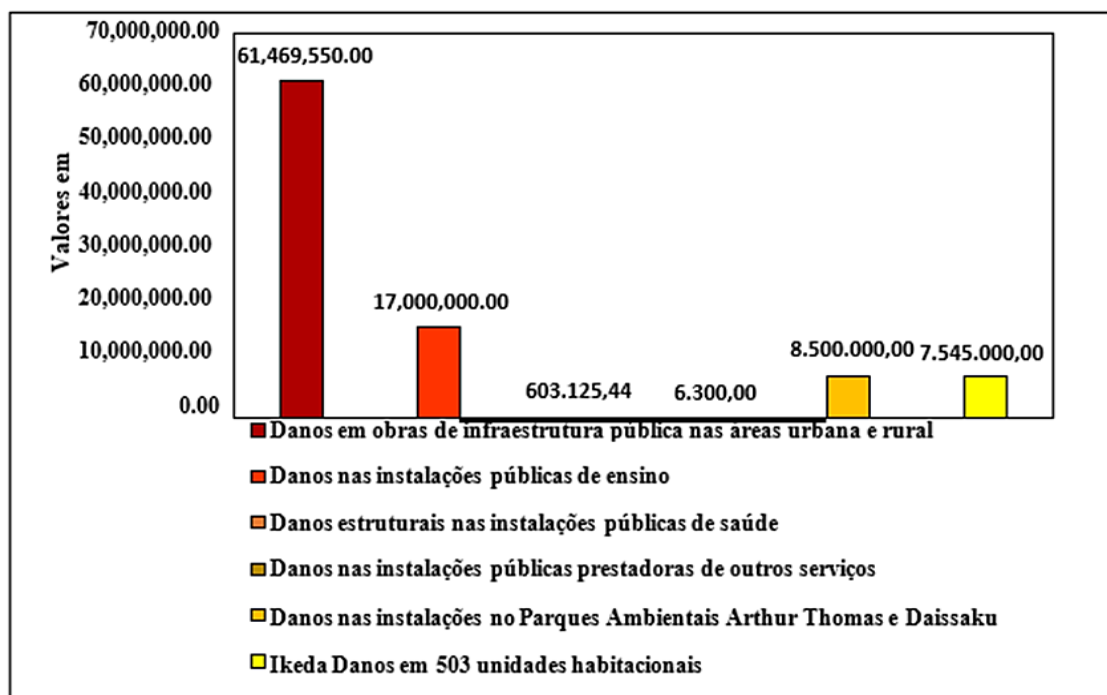
Fonte: CPTEC/INPE, 2020. Adaptado pelo autor 2021

De acordo com o relatório do Sistema Nacional de Defesa e Proteção Civil (SINPDEC), sob o protocolo nº PR-F-4113700-12200-20160111, os danos decorrentes do evento de precipitação ocorrido em Londrina, PR, foram estimados em R\$

95.123.975,44. Esse montante expressivo evidencia a magnitude do impacto do episódio pluviométrico, indicando que grande parte do território urbano foi atingida por perdas significativas, conforme ilustrado no Gráfico 1.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição dos danos econômicos decorrentes do evento extremo de precipitação ocorrido em Londrina, no mês de janeiro de 2016, evidenciando a expressiva concentração de prejuízos em determinados setores da infraestrutura urbana e dos serviços públicos. Observa-se que os maiores danos foram registrados nas obras de infraestrutura pública nas áreas urbana e rural, totalizando R\$ 61.469.550,00, o que corresponde à maior parcela do montante total estimado. Esse dado revela a elevada vulnerabilidade do sistema urbano frente a eventos pluviométricos intensos, especialmente no que se refere à drenagem, pavimentação, pontes e demais estruturas essenciais ao funcionamento da cidade.

Em segundo lugar, destacam-se os danos nas instalações públicas de ensino, que somaram R\$ 17.000.000,00, indicando impactos significativos sobre equipamentos educacionais e, conseqüentemente, sobre a dinâmica escolar e o atendimento à população. Também merecem atenção os prejuízos registrados nos parques ambientais Arthur Thomas e Daisakku Ikeda, estimados em R\$ 8.500.000,00, evidenciando que áreas de preservação e lazer urbano não estão isentas dos efeitos de eventos climáticos extremos. Ademais, os danos em 503 unidades habitacionais, avaliados em R\$ 7.545.000,00, reforçam o caráter social do desastre, afetando diretamente a população residente em áreas mais suscetíveis. Embora os valores associados às instalações públicas de saúde (R\$ 603.125,44) e aos serviços públicos diversos (R\$ 6.300,00) sejam relativamente menores, sua ocorrência aponta para a abrangência territorial e setorial do evento, confirmando que os impactos ultrapassaram danos pontuais e configuraram um episódio de grande relevância socioambiental para o município.

Gráfico 1 - Danos causados pelas chuvas em Londrina, PR por áreas econômicas

Fonte: (SINPDEC), 2016. Adaptado pelo autor, 2021

No mesmo documento, o evento foi classificado, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), como do tipo 12200, correspondente a inundação. A caracterização do desastre aponta para impactos expressivos de ordem humana, material e ambiental. Registraram-se 5 pessoas desalojadas e 60 desabrigadas, além de 1.810 indivíduos diretamente afetados por danos estruturais em suas residências. No setor educacional, aproximadamente 32.441 estudantes tiveram as atividades escolares suspensas por tempo indeterminado em razão dos comprometimentos estruturais nas unidades de ensino. No âmbito da saúde, cerca de 2.800 pessoas foram prejudicadas pelo adiamento de aproximadamente 4.000 exames em Unidades Básicas de Saúde, motivado por danos físicos nas instalações e interrupção no abastecimento de água.

Os prejuízos também se estenderam de forma significativa aos serviços públicos e à mobilidade urbana e rural. Aproximadamente 15.601 pessoas enfrentaram dificuldades de deslocamento entre distritos e áreas rurais em função de interdições viárias e colapso de pontes. Adicionalmente, cerca de 370 mil habitantes foram impactados pela interrupção no fornecimento de água, enquanto aproximadamente 45 mil pessoas sofreram com a suspensão temporária do serviço de energia elétrica,

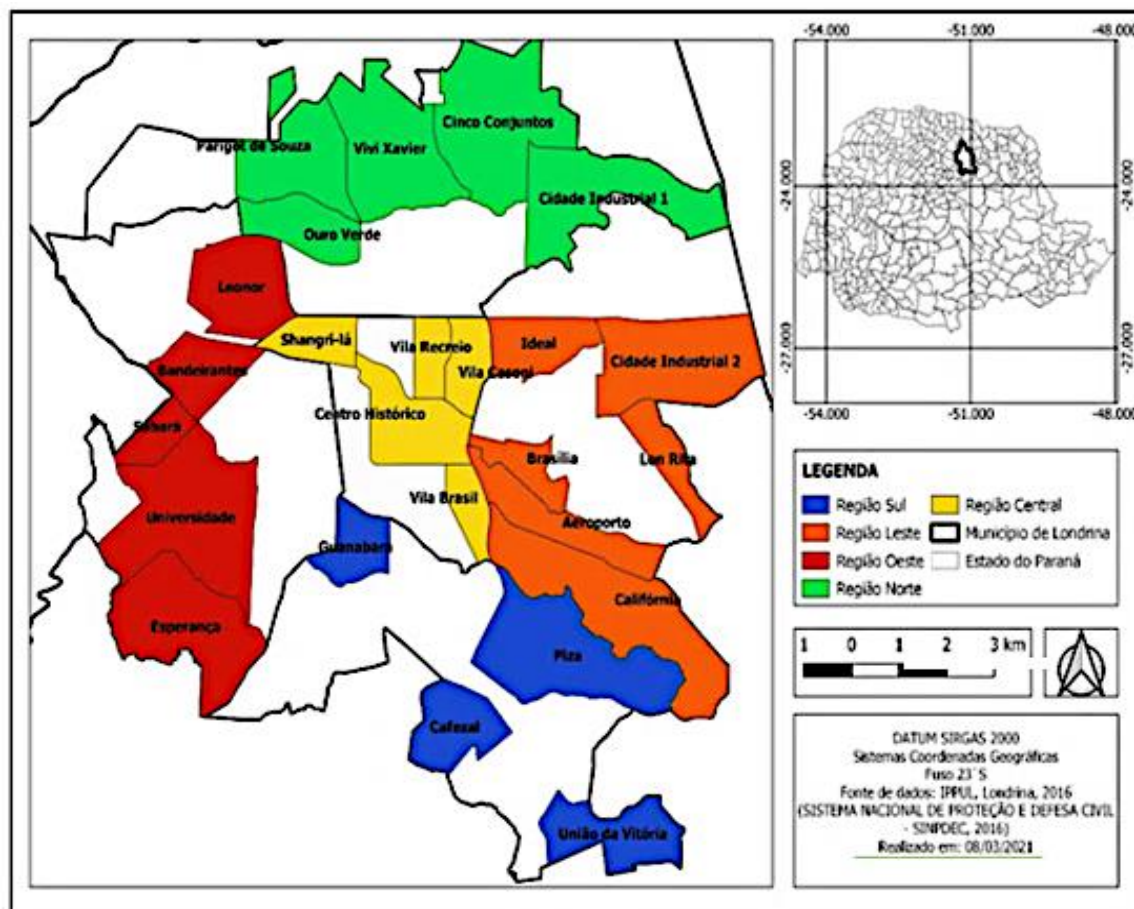
evidenciando a fragilidade das redes de abastecimento frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Quanto aos danos materiais, diversas unidades públicas e privadas tiveram suas estruturas comprometidas. No setor da saúde, foram afetadas 21 Unidades Básicas de Saúde, duas Unidades de Pronto Atendimento (Sabará e Centro-Oeste), além do SAMU, da Maternidade Policlínica e do serviço de DST/AIDS. No campo educacional, 49 escolas municipais e 9 Centros Municipais de Educação Infantil apresentaram danos estruturais, sendo que duas unidades tiveram interdição total. Outros equipamentos públicos também foram impactados, como duas capelas mortuárias, que precisaram ser fechadas, e um cemitério, que sofreu danos estruturais.

As áreas de uso comunitário, representadas pelos parques Arthur Thomas e Daisakku Ikeda, registraram prejuízos relevantes, incluindo danos às estruturas físicas, equipamentos turísticos, postos de vigilância e a destruição de barragem. No âmbito habitacional, contabilizaram-se 503 residências com comprometimentos estruturais. As obras de infraestrutura pública também foram severamente afetadas, com cerca de 30 intervenções urbanas atingidas, das quais 10 foram destruídas e 20 danificadas, envolvendo pontes, galerias de águas pluviais, vias e sistemas de pavimentação. Nas áreas rurais, os danos abrangeram aproximadamente 400 km de estradas e 34 pontes, sendo 10 totalmente destruídas e 24 parcialmente danificadas, comprometendo significativamente a conectividade territorial do município.

A análise espacial apresentada na Figura 7 evidencia que os impactos mais severos das chuvas intensas ocorridas em 12 de janeiro de 2016 concentraram-se, sobretudo, em áreas localizadas nas porções oeste, norte e em setores da zona rural do município de Londrina. Os bairros de Espírito Santo, Guaravera e Lerroville destacam-se como os mais afetados, o que pode ser associado tanto à posição geográfica dessas áreas quanto às suas características físicas e de ocupação do solo. Trata-se de setores que apresentam maior proximidade com cursos d'água, relevo mais suscetível a processos de escoamento superficial concentrado e, em alguns casos, infraestrutura urbana menos resiliente frente a eventos pluviométricos extremos.

Figura 7 - Bairros mais afetados pelas chuvas em Londrina, PR, no dia 12 de janeiro de 2016



Fonte: (SINPDEC), 2016. Adaptado pelo autor, 2021

Na zona rural, a concentração de danos em localidades como Guaravera, Paiquerê, São Luiz, Lerroville, Espírito Santo, Guairacá, Irerê e Maravilha indica a elevada vulnerabilidade dessas áreas frente a episódios de precipitação intensa. Nessas regiões, os prejuízos observados em residências, estradas vicinais, pontes e áreas de produção agrícola refletem não apenas o volume excepcional de chuva, mas também a fragilidade da infraestrutura rural, frequentemente composta por vias não pavimentadas, pontilhões e sistemas de drenagem pouco dimensionados para eventos extremos. Além disso, a dependência econômica da atividade agrícola potencializa os impactos socioeconômicos, uma vez que perdas nas lavouras comprometem diretamente a renda local.

De modo geral, a distribuição espacial dos danos representada na Figura 7 reforça a importância de considerar a variabilidade intraurbana e rural na análise de eventos hidrometeorológicos extremos. A concentração dos impactos em áreas específicas do

município sugere a necessidade de políticas públicas voltadas ao planejamento territorial, à ampliação e manutenção da infraestrutura de drenagem e à adoção de medidas preventivas, especialmente em regiões historicamente mais vulneráveis. Esses resultados também evidenciam a relevância do mapeamento de áreas de risco como instrumento fundamental para a gestão de desastres e para a redução dos danos associados a eventos climáticos extremos em Londrina.

4. CONCLUSÃO

A análise da variabilidade da precipitação no município de Londrina (PR), a partir dos episódios extremos ocorridos em 20 de junho de 2012 e 12 de janeiro de 2016, permitiu evidenciar que tais eventos constituem manifestações expressivas da dinâmica atmosférica regional, cuja intensidade e rapidez de ocorrência potencializam impactos socioambientais de grande magnitude. Os volumes pluviométricos excepcionais registrados em curto intervalo de tempo configuram-se como episódios extremos que extrapolam a variabilidade climática habitual, revelando a complexidade dos sistemas atmosféricos atuantes e sua capacidade de gerar desastres quando associados a contextos territoriais vulneráveis.

Os resultados obtidos por meio da análise rítmica, associada ao uso de dados meteorológicos e imagens de satélite, demonstram que a gênese desses eventos esteve vinculada à atuação de sistemas atmosféricos distintos, como frentes frias intensas e Complexos Convectivos de Mesoescala. Essa diversidade de mecanismos evidencia que os episódios extremos de precipitação em Londrina não seguem um padrão único, mas resultam da interação entre fatores dinâmicos, termodinâmicos e sinóticos, reforçando a importância de abordagens metodológicas integradas para a compreensão da climatologia regional e de seus efeitos sobre o espaço geográfico.

Entretanto, a magnitude dos impactos observados não pode ser atribuída exclusivamente à intensidade dos fenômenos climáticos. Os elevados prejuízos econômicos, a interrupção de serviços essenciais, os danos à infraestrutura urbana e rural e o expressivo número de pessoas afetadas revelam um quadro de elevada vulnerabilidade socioespacial. Assim, os eventos analisados expõem fragilidades estruturais relacionadas à ocupação desordenada do território, à insuficiência dos

sistemas de drenagem, à precariedade da infraestrutura rural e à limitada incorporação do conhecimento climatológico no planejamento urbano e ambiental do município.

Nesse sentido, o estudo reforça a necessidade de superação de abordagens reativas na gestão de riscos climáticos, apontando para a urgência de políticas públicas preventivas e integradas, fundamentadas em diagnósticos climatológicos consistentes e em mapeamentos detalhados de áreas de risco. A incorporação sistemática de análises atmosféricas e socioespaciais ao planejamento territorial constitui um elemento central para a redução dos danos associados a eventos extremos, especialmente em um contexto de intensificação da variabilidade climática e de expansão urbana contínua.

Por fim, esta pesquisa busca contribuir não apenas para a compreensão dos episódios extremos ocorridos em Londrina, mas também para incentivar o desenvolvimento de estudos mais amplos e robustos sobre a temática dos riscos climáticos em escala local e regional. Recomenda-se a ampliação das investigações por meio de séries históricas mais longas, análises comparativas com outros municípios, integração de modelagens hidrológicas e aprofundamento das dimensões sociais da vulnerabilidade. Dessa forma, espera-se que este trabalho sirva como subsídio teórico-metodológico para novas pesquisas e para a formulação de estratégias eficazes de adaptação e mitigação frente aos eventos climáticos extremos no contexto urbano e rural brasileiro.

5. REFERENCIAS

ALMEIDA, L. Q. de. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará.** V, 1, p. 56-59, 1999.

BORSATO, V. A.; SOUZA-FILHO, E. E. **O ritmo climático e episódios pluviométricos no ano de 1980 na vertente ocidental da Bacia do Alto Rio Paraná, Brasil.** Geografia (Londrina), v. 17, p. 83-109, 2008.

BORSATO, V. A. **A dinâmica climática do Brasil e as massas de ares.** 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2016. v. 1, p. 182.

CALDANA, N. F. S.; RUDKE, A. P. Eventos extremos e variabilidade pluviométrica em Londrina-PR: estudo de caso das chuvas de 11 de janeiro de 2016. **Eventos Extremos e Variabilidade Pluviométrica em Londrina-PR**, v. 12, n. 2, p. 9-27, jun. 2019.

ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica, USP. **Conceitos meteorológicos**. 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/conceitos.meteorologicos.php#:~:text=O%20processo%20de%20forma%C3%A7%C3%A3o%20das,empurrar%20o%20ar%20para%20cima>. Acesso em: 20 mar. 2021.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Dados diários de Londrina: precipitação e temperatura, 2018**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2612>. Acesso em: 20 mar. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades – Dados, 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>. Acesso em: 20 mar. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades – Dados, 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Boletim da Sociedade Meteorológica Americana**, v. 61, n. 11, p. 1374-1387, 1980.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnias**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008. INPE-15208-PUD/193, v. 3, p. 47.

MARCONDES, J. S. **Gráfico: o que é, e para que serve?** 2020. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/grafico-o-que-e-objetivo-caracteristica-e-tipos/#:~:text=A%20import%C3%A2ncia%20dos%20gr%C3%A1ficos%20est%C3%A1,informa%C3%A7%C3%A3o%20que%20se%20deseja%20passar>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MARENGO, J. A.; **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. FBDS, v.1, p.14-23, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: IGEOG/USP, v.7, p.75, 1971.

MORAES, F. D. S.; AQUINO, F. E. Desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala: estudo de caso do evento que ocorreu entre 22 e 23 de abril de 2011. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, p. 111-134, 2018.

REBOITA, M. S. **Elementos da variabilidade climática no extremo sul do Brasil, no período de 1990 a 2001**. Rio Grande: FURG, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, v. 3, p. 34-39, 2004.

SIMEPAR. **Boletim climático - verão de 2020/2021**. 2021. Disponível em: http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim_climatologico. Acesso em: 21 mar. 2021.

SIMEPAR. **Boletim climático para o outono 2020**. 2020. Disponível em: http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim_climatologico. Acesso em: 21 mar. 2021.

USP. **Complexos convectivos de mesoescala: ciclo de vida de um CCM**, gênese. Master IAG, USP, 2020. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/mcc_cli.html. Acesso em: 21 mar. 2021.

PRECIPITATION VARIABILITY IN LONDRINA, PARANÁ: AN ANALYSIS OF TWO EXTREME EVENTS

ABSTRACT

This article analyzes precipitation variability in the municipality of Londrina, Paraná, through two extreme rainfall events that occurred on June 20, 2012, and January 12, 2016. The events recorded exceptional 24-hour rainfall totals of 200.5 mm and 223.6 mm, respectively, causing significant socio-environmental and economic impacts. The methodology combines the rhythmic analysis proposed by Monteiro (1971) with meteorological data from IAPAR and satellite imagery from CPTEC/INPE, allowing the atmospheric dynamics associated with the events to be examined. The results demonstrate the influence of different atmospheric systems, including intense cold fronts and Mesoscale Convective Complexes, which intensified rainfall over short periods. Recorded losses exceeded BRL 95 million and affected urban and rural infrastructure, public services, schools, and environmental areas. The study concludes that the impacts reflect not only the intensity of the climatic events, but also the municipality's socio-spatial vulnerability, highlighting the need for territorial planning and preventive public policies aimed at reducing climate risks.

Keywords: Climate risks; Vulnerability; Spatial occupation.

LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LONDRINA, PARANÁ: ANÁLISIS DE DOS EVENTOS EXTREMOS

RESUMEN

El presente artículo analiza la variabilidad de la precipitación en el municipio de Londrina, Paraná, a partir del estudio de dos eventos extremos de lluvia ocurridos el 20 de junio de 2012 y el 12 de enero de 2016. Ambos episodios registraron volúmenes pluviométricos excepcionales de 200,5 mm y 223,6 mm en 24 horas, respectivamente, y provocaron importantes impactos socioambientales y económicos. La metodología combina el análisis rítmico propuesto por Monteiro (1971) con datos meteorológicos del IAPAR e imágenes satelitales del CPTEC/INPE, lo que permite comprender la dinámica atmosférica asociada a estos eventos. Los resultados evidencian la actuación de diferentes sistemas atmosféricos, como frentes fríos intensos y Complejos Convectivos de Mesoescala, responsables de intensificar las lluvias en cortos intervalos. Las pérdidas registradas superaron los 95 millones de reales y afectaron infraestructuras urbanas y rurales, servicios públicos, centros escolares y áreas ambientales. Se concluye que los impactos observados reflejan no solo la intensidad de los eventos climáticos, sino también la vulnerabilidad socioespacial del municipio, lo que subraya la necesidad de planificación territorial y políticas públicas preventivas orientadas a la reducción de los riesgos climáticos.

Palabras clave: Riesgos climáticos; Vulnerabilidad; Ocupación espacial.

Recebido em: 23/01/2022

Aceito em: 12/01/2026