

CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA DE UM TORNADO OCORRIDO NO RIO DE JANEIRO

METEOROLOGICAL CHARACTERIZATION OF A TORNADO OCCURRED IN RIO DE JANEIRO

 Lorena Ribeiro Kall ¹
 Monica Carneiro Alves Senna ¹
 Barbara Franz ¹
 Nilton Oliveira Moraes ²

¹ Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil

² Defesa Civil, Niterói, RJ, Brasil

Resumo

Tornados são fenômenos atmosféricos extremos, sendo considerados os mais severos que ocorrem na natureza. O Brasil apresenta elevado risco de ocorrência desse fenômeno, e o setor centro-sul do país ocupa o segundo lugar no ranking mundial de incidência de tornados. Diante disto, este trabalho analisará o tornado ocorrido na região da Baixada Fluminense do Rio de Janeiro no dia 19 de Janeiro de 2011, focando nas características atmosféricas que favoreceram a ocorrência do mesmo. De modo geral, observou-se que no dia 19 de janeiro houve um dos maiores valores de temperatura do ar e velocidade do vento registrados naquele mês. Além disso, parte do Brasil se encontrava sob influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fatores importantes para explicar a instabilidade atmosférica que possibilitou a formação de um tornado. Nas imagens de satélite da região Sudeste foi possível observar um crescimento gradativo de nuvens com o topo muito frio na região de Nova Iguaçu entre 18h e 19:30h. Além disso, os índices de instabilidade atmosférica — Showalter, K, Total-Totals, LIFT e CAPE — apresentaram valores compatíveis com os padrões de referência que indicam potencial para a formação de tempestades severas no dia do evento. Esses parâmetros, associados ao cisalhamento vertical do vento observado, que também se mostrava favorável, reforçaram o cenário propício ao desenvolvimento de convecção severa.

Palavras-chave: Eventos extremos; Baixada Fluminense; Tempestades; Desastres.

Abstract

Tornadoes are extreme atmospheric phenomena and are considered the most severe that occur in nature. Brazil presents a high risk for the occurrence of this phenomenon, and the south-central sector of the country ranks second worldwide in tornado incidence. In this context, this study analyzes the tornado that occurred in the Baixada Fluminense region of Rio de Janeiro on January 19, 2011, focusing on the atmospheric characteristics that favored its development. Overall, it was observed that January 19 recorded some of the highest air temperature and wind speed values of that month. In addition, part of Brazil was under the influence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), an important factor in explaining the atmospheric instability that enabled the formation of a tornado. Satellite imagery of the Southeast region showed a gradual growth of clouds with very cold tops over Nova Iguaçu between 18:00 and 19:30. Moreover, the atmospheric instability indices — Showalter, K, Total-Totals, LIFT, and CAPE — showed values consistent with reference thresholds that indicate potential for the development of severe storms on the day of the event. These parameters, combined with the observed vertical wind shear, which was also favorable, reinforced the environment conducive to severe convection.

Keywords: Extreme events; Baixada Fluminense; Thunderstorms; Disasters.

Recebido em: 20/03/2024 | 16/12/2025

Correspondência para: Monica Carneiro Alves Senna (monicasenna@id.uff.br)



INTRODUÇÃO

Os tornados são identificados como uma violenta coluna de ar giratória, em formato de nuvem funil, que se estende desde a base da nuvem de uma tempestade até tocar finalmente a superfície do solo. O tornado se torna visível devido a poeira e sujeira levantadas do solo e pelo vapor d'água condensado (Fujita, 1981; Menezes, 1998; Brooks et al., 2016; Writzl et al., 2020). Segundo Perry e Reynolds (1993), a maioria dos tornados são de curta duração (apenas alguns minutos) e podem alcançar velocidades exorbitantes de 500 km/h.

A combinação da velocidade dos ventos de um tornado, no entorno de um centro de baixa pressão, desencadeia uma forte sucção (efeito aspirador) que pode causar a explosão de casas (portas, janelas e telhados), e a destruição de praticamente todos os tipos de estruturas existentes na sua rota mortal (Brooks e Doswell, 2001a; Doswell, 2003; Kobiyama et al., 2006; Marcelino et al., 2006). O rastro de destruição de um tornado geralmente pode variar de dezenas de metros a quilômetros de extensão. Devido à grande dificuldade de inserir equipamentos de medição no interior dos tornados, há uma ampla utilização de estimativa da intensidade do fenômeno por meio de medições de radares doppler e de avaliação dos danos em campo. Existem diversas escalas para a classificação de tornados conforme os danos ocasionados, entretanto a mais utilizada é a escala Fujita-Pearson (Fujita, 1973; Brooks e Doswell, 2001b).

Esse fenômeno ocorre em várias partes do mundo, como nos Estados Unidos da América e no Brasil (Brooks et al., 2003; Verbout et al., 2006; Writzl et al., 2020). Na América do Norte, os parâmetros atmosféricos favoráveis ao desenvolvimento de tempo severo podem ser encontrados na região central ao sul do Canadá e a leste das Montanhas Rochosas, região conhecida como “corredor dos tornados” (Candido, 2012). Na América do Sul, por sua vez, as regiões do centro-norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil são as mais afetadas, sendo o noroeste do Paraguai e o sul do Brasil os locais que apresentaram maior número estimado de dias propícios a tempestades severas, condições ótimas para a formação de um tornado (Silva Dias e Grammelsbacher, 1991; Nechet, 2002; Nascimento, 2005; Nunes et al., 2008; Silva Dias, 2011; Nascimento et al., 2014; Hornes e Balicki, 2018; Lara et al., 2019; Pereira-Filho et al., 2019; Iensse e Wollmann, 2020; Writzl et al., 2020).

De acordo com Silva Dias (2011) o setor centro-sul do país apresenta elevado risco de ocorrência de tornados, sendo os estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul os mais afetados. Entretanto, o número de registros poderia ser maior se não houvesse confusão na classificação do fenômeno: muitos tornados foram registrados erroneamente como vendaval, ciclone, furacão ou simplesmente como uma tempestade. Dessas três regiões citadas, o interior de São Paulo é onde o fenômeno é mais recorrente, sobretudo próximo a grandes cidades como Campinas e São José dos Campos que são regiões metropolitanas industrializadas, tendo os riscos de ocorrência superando os 20% ao ano (Wollmann e Iensse, 2019). Todo este corredor que envolve o interior paulista até o litoral do Rio Grande do Sul apresenta o segundo lugar no ranking mundial de incidência de tornados (Candido, 2012).

A urbanização também pode ter um papel fundamental na intensificação das tempestades, pois um elevado grau de urbanização favorece o aumento da temperatura do



ambiente em relação às regiões rurais próximas, tornando mais frequentes as tempestades severas e facilitando a formação de tornados (Goliger e Milford, 1998; Zipser et al., 2006; Toshimoto e Niino, 2016). Segundo Candido (2012), a menor incidência de informações sobre os tornados no Brasil referentes a períodos mais antigos não indica que, necessariamente, esses eventos estejam se tornando mais frequentes atualmente, mas que através do avanço tecnológico é possível obter registros de imagens, como por exemplo, por telefones celulares. Estes equipamentos são portados por grande parte da população brasileira, consistindo em uma eficiente ferramenta para registro de feições atípicas ao cotidiano, como os tornados.

Esse aumento nos registros possibilitou a captura de imagens do tornado ocorrido na Baixada Fluminense no dia 19 de janeiro de 2011. Tal evento despertou curiosidade nos moradores locais, que fizeram registros com seus aparelhos celulares desde o nascimento da nuvem funil até seu desaparecimento, e tornou-se assunto de alguns noticiários de televisão e vídeos compartilhados na internet, devido a atípica nuvem funil formada no município de Nova Iguaçu (Rede Globo de Televisão, 2011). Foram registradas imagens de casas destelhadas, com paredes quebradas e muros completamente destruídos.

Dado o exposto, o objetivo deste trabalho é compreender quais foram as características atmosféricas que favoreceram a ocorrência do tornado registrado no estado do Rio de Janeiro em 19 de janeiro de 2011, tal objetivo se justifica com base na carência de estudos sobre o assunto na região do estado do Rio de Janeiro.

METODOLOGIA

Foram analisadas as cartas sinóticas de superfície, de níveis médios (500 hPa), de altos níveis (200 hPa), e as imagens do satélite de órbita geoestacionária GOES-12 referentes ao canal de temperatura realçada, obtidas no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos para o dia do evento (CPTEC, 2011). Os dados meteorológicos das variáveis precipitação total, temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar, velocidade e direção do vento foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia, referentes à estação meteorológica A621 - Rio de Janeiro - Vila Militar, por ser a mais próxima da região do evento, no período de 01/01/2011 até 31/01/2011 (INMET, 2011).

Foram analisadas as sondagens atmosféricas realizadas no Aeroporto Galeão (estação mais próxima ao local do evento) representadas pelo diagrama Skew-T x log-P que apresenta vários índices de instabilidade importantes na descrição da termodinâmica atmosférica do dia 19/01/2011, obtidas na Universidade de Wyoming (2011). Além disto, foi feita uma entrevista com o senhor Jaydimar dos Santos Griffo Soares, morador da Baixada Fluminense e testemunha ocular do evento.

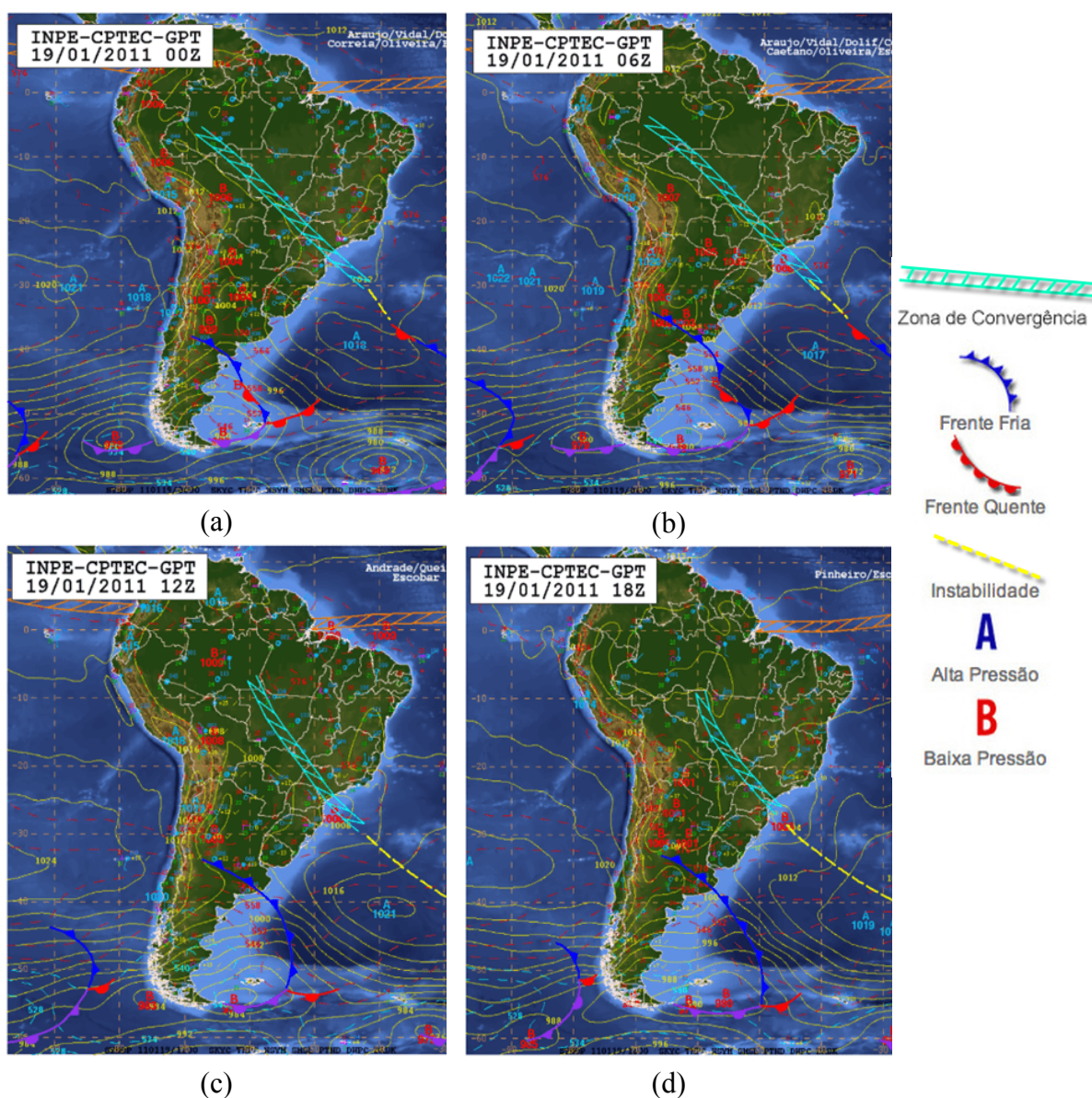


RESULTADOS

Situação sinótica

A Figura 1 ilustra as cartas sinóticas de superfície dos horários 00Z, 06Z, 12Z e 18Z (sendo a letra Z a representação do horário zulu, hora correspondente ao meridiano de Greenwich), para o dia 19 de janeiro de 2011. Nestas cartas observa-se a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) atuando do sudoeste do Amazonas até o sul de São Paulo e leste do Paraná, prolongando-se pelo Atlântico. Nota-se também, que no oceano a ZCAS se conecta a um cavado invertido com pressão de 1012 hPa.

Figura 1 – Carta Sinótica de Superfície das 00Z (a), 06Z (b), 12Z (c) e 18Z (d).



Fonte: CPTEC (2011).

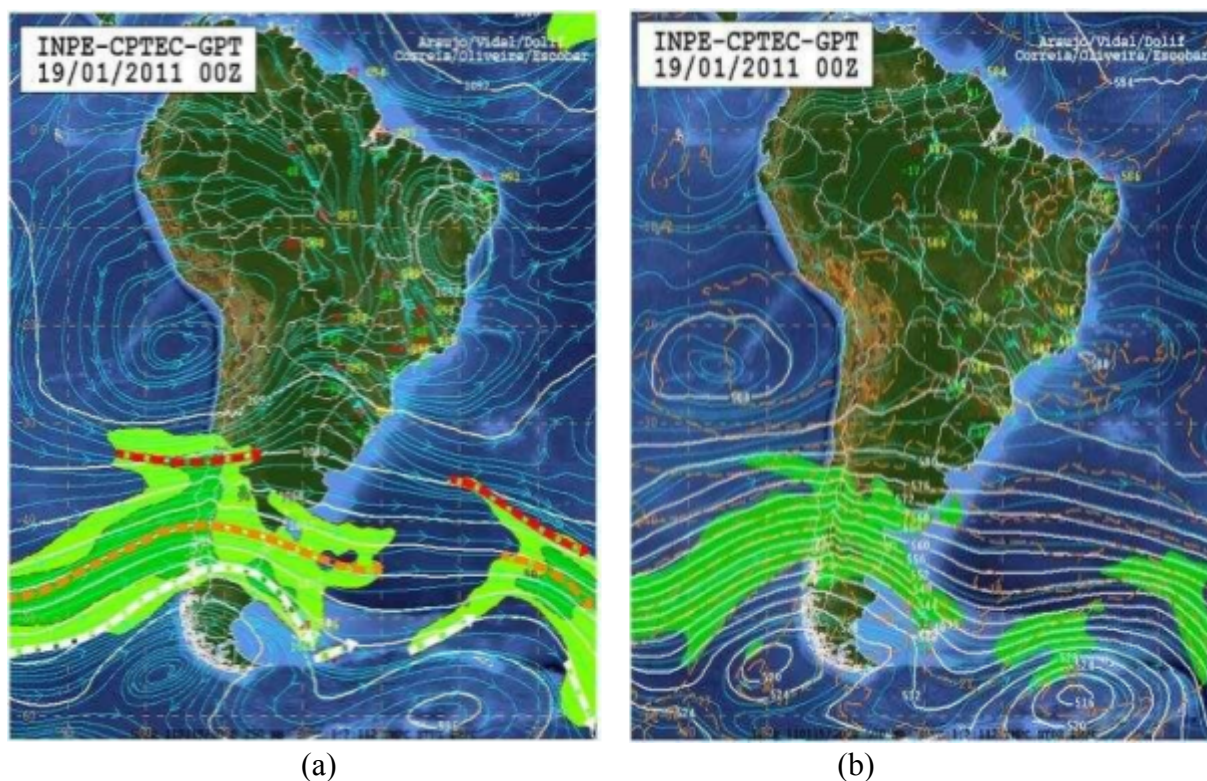


Ao sul deste sistema há uma alta pressão migratória com núcleo de 1018 hPa em 39°S/44°W. Outros sistemas frontais podem ser observados ao sul de 40°S nos oceanos Pacífico e Atlântico (Figura 1b). Além disso, outro sistema se mostrou presente nas imagens, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que oscilou entre 5°N e 10°N sobre o Pacífico e continuou entre 1°N e 3°N sobre o Atlântico (INPE, 2011).

Após a análise das quatro cartas sinóticas de superfície (Figura 1) fica clara a proximidade da ZCAS da região de estudo. Esse sistema carrega um nível alto de umidade proveniente da Amazônia que em seguida é distribuída para as regiões centrais, sul e sudeste do Brasil (INPE, 2011; Nielsen et al., 2019). Tal oferta de umidade em superfície durante o dia do evento tornádico pode interagir com os movimentos ascendentes em superfície, dando suporte termodinâmico para a formação de tempestades severas (Menezes, 1998).

Na carta sinótica de altitude (250 hPa), nota-se a presença da Alta da Bolívia (AB) a oeste da América do Sul sobre o Pacífico (20°S/75°W) e também a presença de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) com centro por volta de 12°S/42°W sobre a região nordeste do estado da Bahia. A sul do VCAN, pode-se observar uma região anticiclônica entre a Região Sudeste e o Atlântico (Figura 2a).

Figura 2 – Carta Sinótica em 250 hPa (a) e 500 hPa (b).



Fonte: CPTEC (2011).



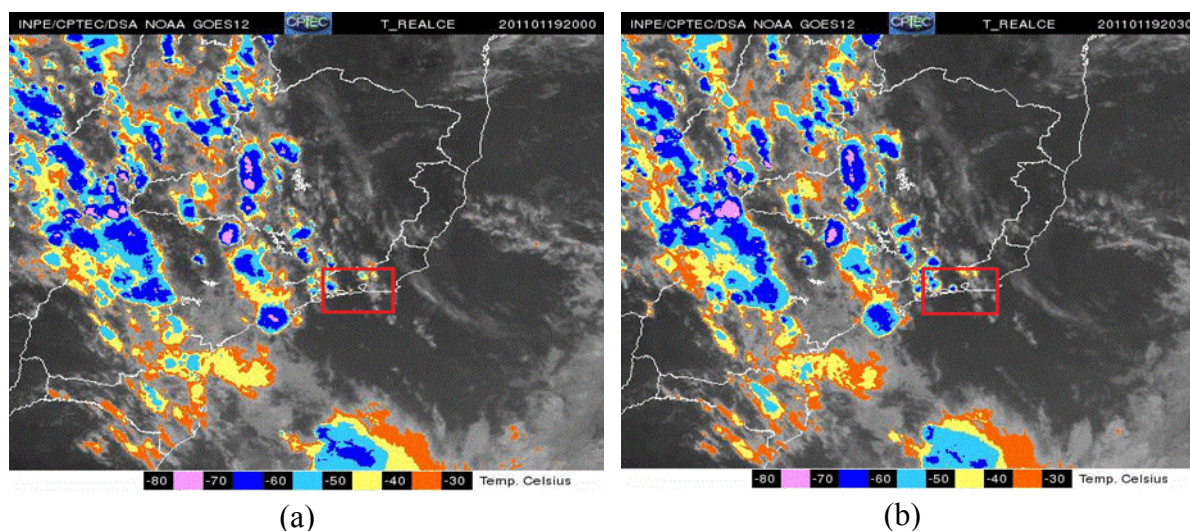
Na carta sinótica do nível médio de 500 hPa (Figura 2b), percebe-se o aprofundamento do vórtice ciclônico sobre a Bahia, e ao sul deste sistema existe um anticiclone centrado sobre Minas Gerais, atuando também no Rio de Janeiro (INPE, 2011).

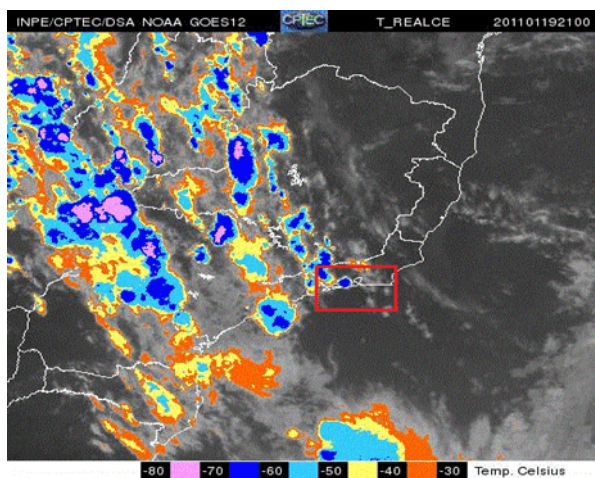
Imagens de Satélite

As imagens de satélite obtidas do CPTEC também estão com os horários referentes à hora zulu, portanto, sabendo que no mês de janeiro de 2011 o Rio de Janeiro encontrava-se em horário de verão, isso significa que a hora local é - 2 horas zulu. Além disso, nas imagens do satélite GOES-12 no canal T Realçada as cores mais frias (tons de azul e rosa) indicam temperaturas mais baixas e, portanto, nuvens mais profundas. As cores mais quentes (tons de amarelo e laranja), temperaturas mais altas, ou seja, nuvens menos profundas.

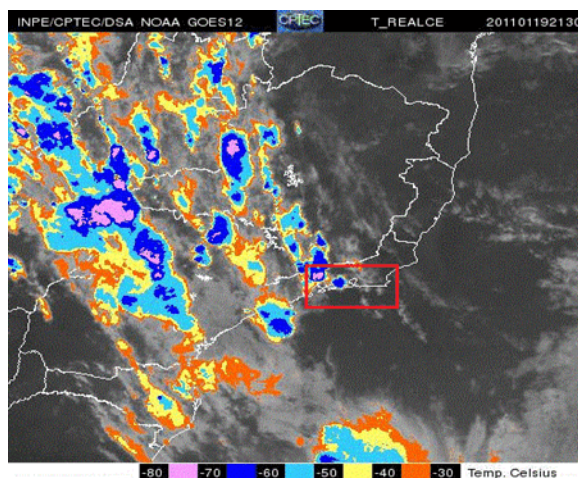
A Figura 3 apresenta as imagens de satélite do dia 19/01/2011 no período entre 20Z e 23:30Z. A Figura 4 ilustra o mesmo, mas para o período do dia 20/01/2011 das 00Z até 03:30Z. Em ambas as Figuras, o retângulo vermelho indica a área ao redor do local onde ocorreu a formação do tornado, que deve ser analisada com maior detalhe. Na Figura 3a nota-se que havia pouca nebulosidade sobre a região de Nova Iguaçu. Logo após, na Figura 3b pode-se observar que um círculo de nebulosidade profunda (cor azul escuro) se formou próximo ao mar, na Zona Sudoeste do estado do Rio de Janeiro. Com o passar do tempo, esse círculo se intensificou e aumentou a sua área de atuação, seguindo em direção ao continente (Figura 3c).

Figura 3 – Imagens setorizadas do satélite GOES - 12, fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), calibradas no canal T Realçada, para o dia 19/01/2011 às (a) 20:00Z, (b) 20:30Z, (c) 21:00Z, (d) 21:30Z, (e) 22:00Z, (f) 22:30Z, (g) 23:00Z, (h) 23:30Z.

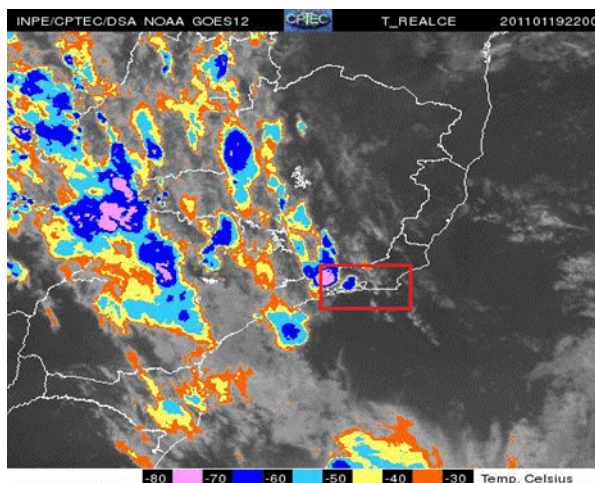




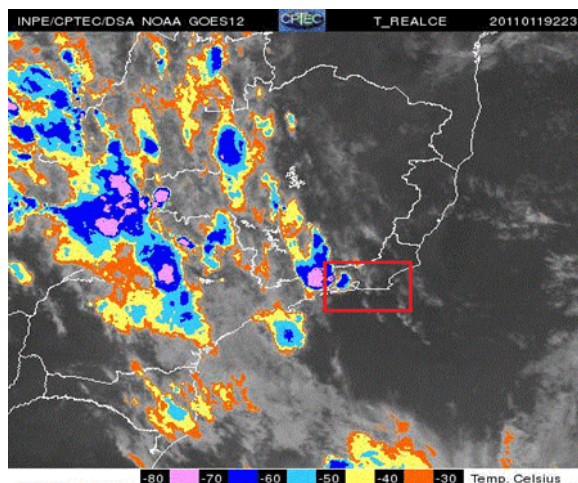
(c)



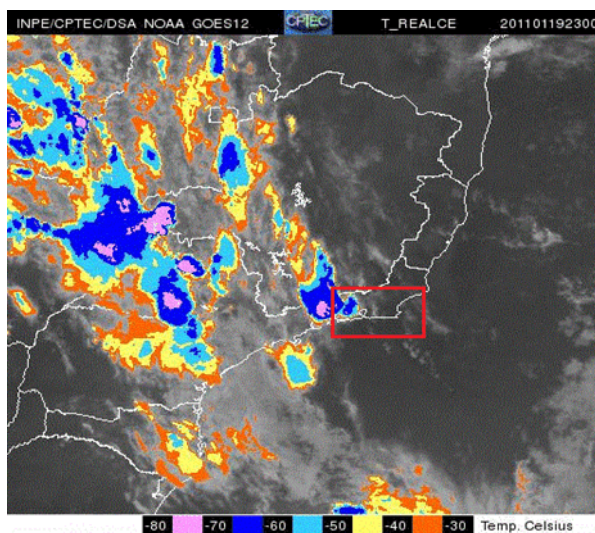
(d)



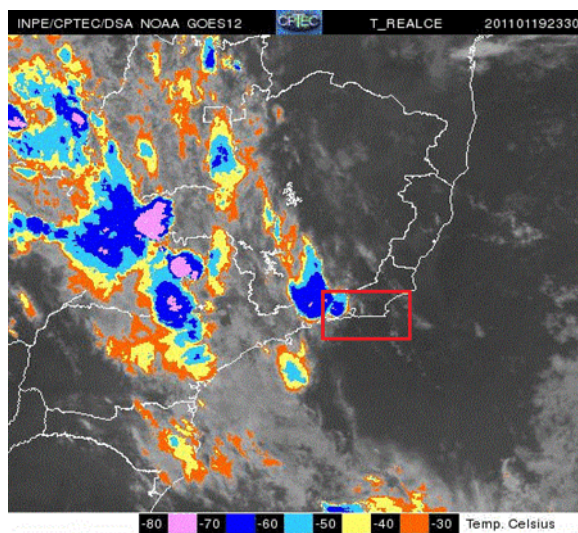
(e)



(f)



(g)



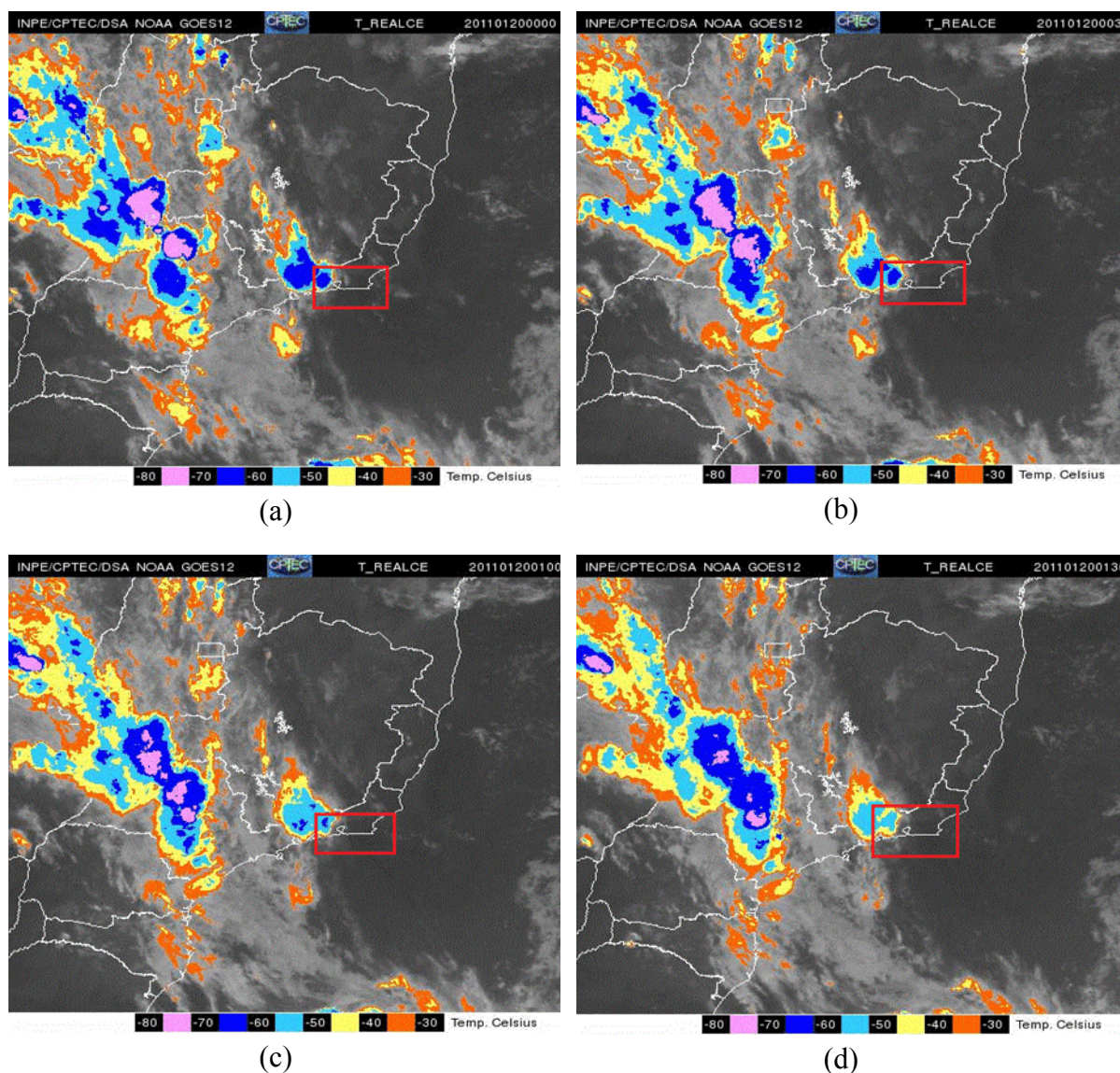
(h)

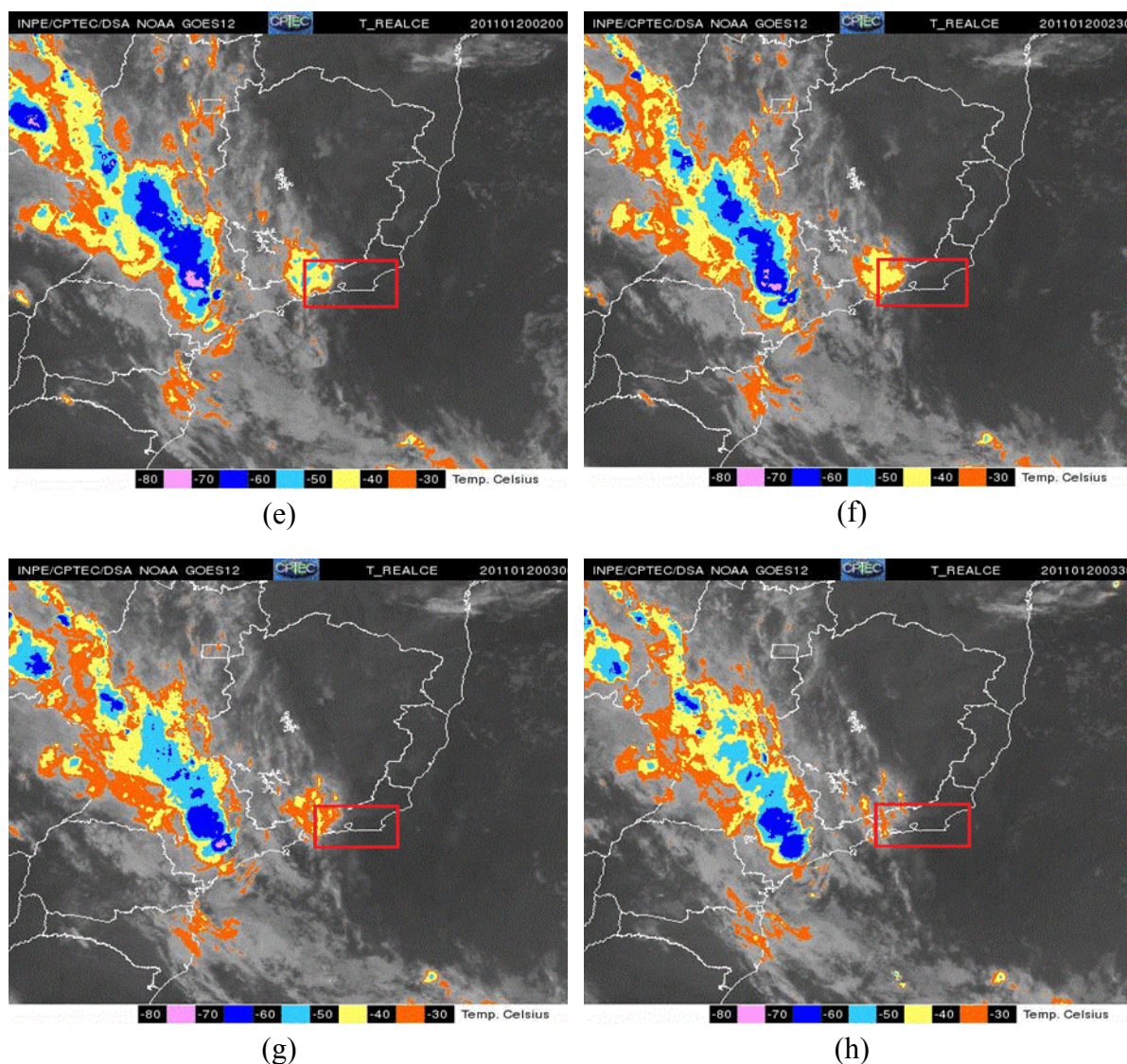
Fonte: CPTEC (2011).



A partir da Figura 3c observa-se que a nebulosidade profunda ficou estacionada nessa região do estado, sendo provável que o tornado tenha ocorrido entre o período das 18h e 19:30h (20Z e 21:30Z) como mostra as Figuras 3a até 3d. Após esse período, as nuvens densas começaram a se espalhar para outras regiões a oeste e a perder intensidade por volta das 01Z do dia 20 (Figura 4c). Com isso, a temperatura do topo da nuvem foi gradualmente se aquecendo (tons de amarelo e laranja) e a nuvem foi se dissipando até que não existisse nebulosidade profunda sobre o município de Nova Iguaçu (Figura 4h).

Figura 4 – Imagens setorizadas do satélite GOES - 12, fornecidas pelo INPE, calibradas no canal T Realçada, para o dia 20/01/2011 às (a) 00:00Z, (b) 00:30Z, (c) 01:00Z, (d) 01:30Z, (e) 02:00Z, (f) 02:30Z, (g) 03:00Z, (h) 03:30Z.



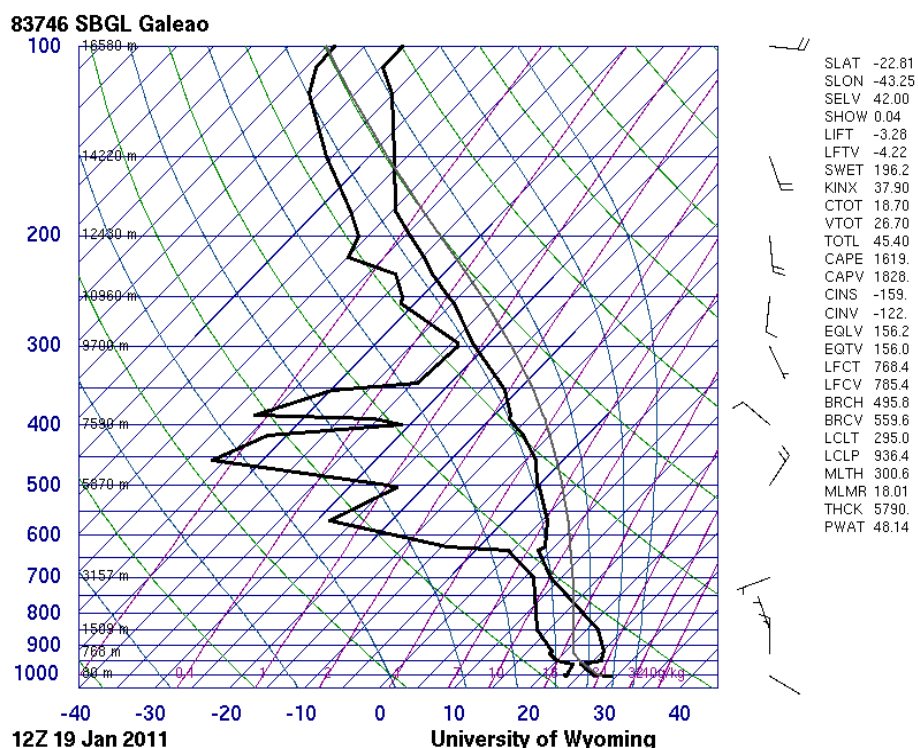


Fonte: CPTEC (2011).

Sondagens Atmosféricas

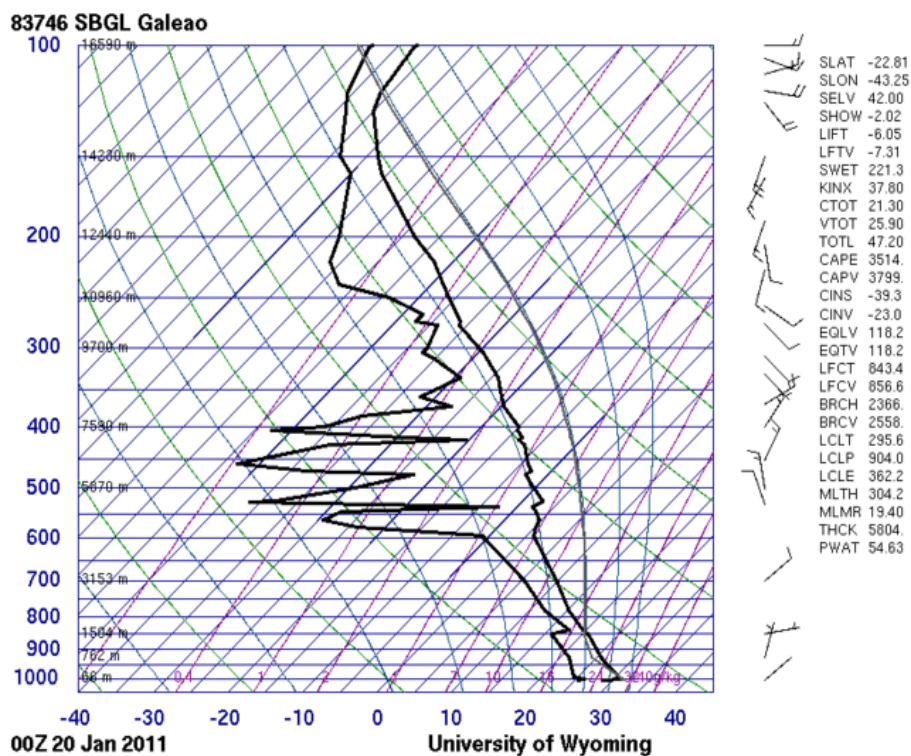
As sondagens atmosféricas utilizadas nesse estudo referem-se aos dias 19/01/2011 às 12Z e 20/01/2011 às 00Z, ilustradas respectivamente nas Figuras 5 e 6. Essas observações meteorológicas da atmosfera superior apresentam indicativos da probabilidade de ocorrência de uma tempestade severa através da análise de índices de instabilidade, sendo os mais relevantes: o Índice de Showalter (SHOW), o Índice K (KINX), o Índice de Total-Totals (TOTL), o Índice LIFT (LIFT) e a Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE). Dias (2008) descreve a importância de cada um desses índices, sendo os índices SHOW, KINX, TOTL e LIFT uma medida do potencial de instabilidade baseado na variação vertical de temperatura, e o CAPE uma medida da energia potencial disponível para a convecção.

Figura 5 – Sondagens da atmosfera do Galeão (SBGL) no dia 19/01/2011 às 12Z.



Fonte: Universidade de Wyoming (2011).

Figura 6 – Sondagens da atmosfera do Galeão (SBGL) no dia 20/01/2011 às 00Z.



Fonte: Universidade de Wyoming (2011).



A Tabela 1 mostra os valores de referência para os índices de instabilidade KINX, TOTL, CAPE e SHOW obtidos no estudo de Dias (2008) e do índice LIFT obtido de Nascimento (2005) que demonstram uma instabilidade muito forte da atmosfera e, portanto, uma maior possibilidade de formação de tempestades severas para a região no entorno do Aeroporto do Galeão, além dos valores desses índices obtidos nas sondagens dos dias 19 e 20/01/2011.

Tabela 1 – Valores dos índices que demonstram uma instabilidade muito forte na atmosfera e os valores encontrados nesse estudo.

Índices	Valores de Referência para alta instabilidade atmosférica	Valores obtidos na sondagem do dia 19/01/2011 às 12Z	Valores obtidos na sondagem do dia 20/01/2011 às 00Z
KINX	≥ 35	37,9	37,8
TOTL	≥ 44	45,4	47,2
CAPE	≥ 1000	1619	3514
SHOW	≤ -1	0,04	-2,02
LIFT	≤ -4	-3,28	-6,05

Os valores dos índices KINX, TOTL e CAPE foram respectivamente, 37,9, 45,4 e 1616 para o dia 19, e 37,8, 47,2 e 3514 para o dia 20. Todos os índices supracitados apresentaram valores superiores aos valores de referência para uma alta instabilidade atmosférica em ambos os dias. Os índices SHOW e LIFT apresentaram valores inferiores aos valores de referência apenas às 00Z do dia 20/01/2011, atingindo -2,02 e -6,05, respectivamente, indicando uma alta instabilidade na atmosfera neste dia. Entretanto, seus valores às 12Z do dia 19/01 já estavam bem próximos desses valores de referência, chegando a 0,04 e -3,28, respectivamente.

Além disso, o perfil vertical do vento medido nas sondagens atmosféricas (Figuras 5 e 6) evidencia a presença de um cisalhamento vertical. Nas camadas próximas à superfície até o nível de 500 hPa, observam-se ventos de menor intensidade, com velocidades de até 15 nós e predominância de direção de quadrante norte. A partir desse nível, os ventos intensificam-se, atingindo cerca de 20 nós e mudando gradualmente para o quadrante sul entre 500 e 100 hPa. O cisalhamento do vento entre 0 e 6 km de altura varia de 15 a 20 nós, condição amplamente favorável à ocorrência de convecção severa com a presença de tornados (Thompson et al., 2003).

Variáveis Meteorológicas

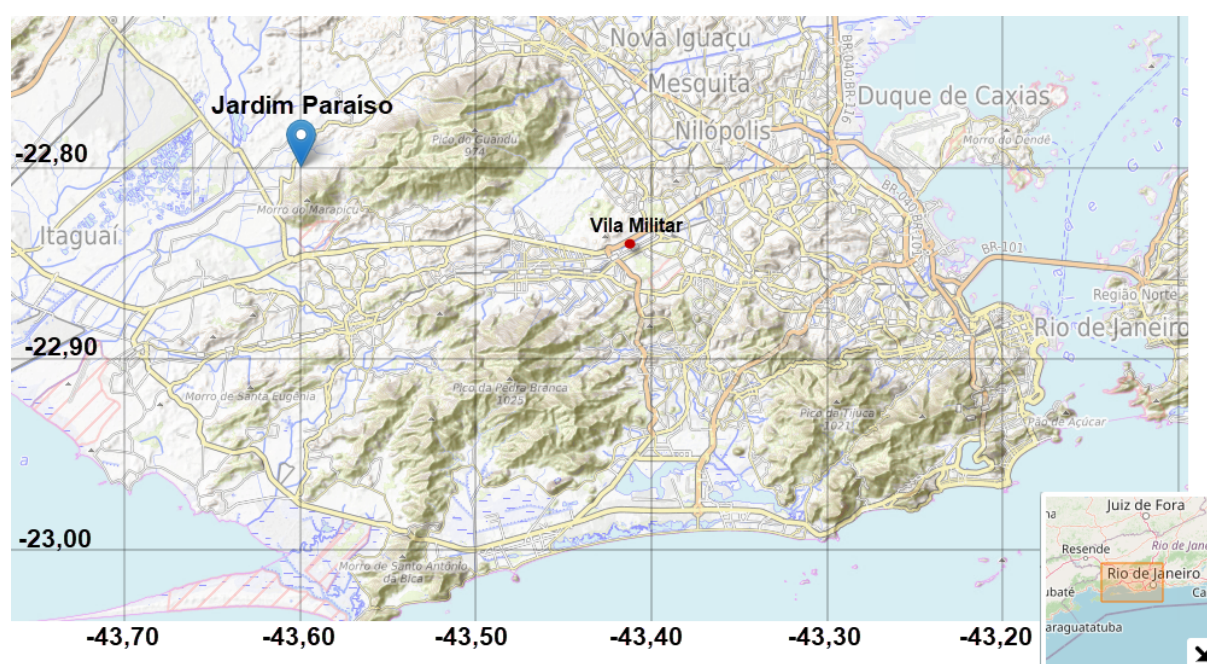
Como a região de Nova Iguaçu não possui estações meteorológicas disponíveis por fontes oficiais, os registros utilizados neste trabalho foram obtidos para a estação mais



próxima ao evento, o que significa que os reais dados no local podem ter sido um pouco distintos dos coletados da estação A621 (Vila Militar). A Figura 7 ilustra o local da ocorrência do tornado (Jardim Paraíso) e da Vila Militar.

Algumas pesquisas sugerem que o relevo pode estar associado tanto ao aumento quanto à redução da intensidade de tornados. Bertoni (2013) observou que a maioria desses eventos ocorre em regiões de planalto, embora a topografia também possa gerar efeitos orográficos capazes de modificar as características das precipitações. Nesse caso não temos o traçado do tornado ocorrido em Nova Iguaçu, impossibilitando uma análise mais detalhada.

Figura 7 – Mapa da localização da ocorrência do tornado (Jardim Paraíso – Nova Iguaçu). O ponto vermelho indica a localização da estação meteorológica da Vila Militar.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme apresentado na Tabela 2, o dia 19 de janeiro apresentou a maior temperatura do ar registrada durante todo o mês de janeiro de 2011, com um horário de pico próximo a hora do evento tornádico. A umidade relativa do ar do dia 19 também foi uma das maiores registradas neste mês com uma taxa elevada de 92% pela manhã. Observa-se também que a pressão atmosférica no dia do evento atingiu uma mínima de 1001 hPa, essa baixa pressão atmosférica pode ser associada com a formação de muitas nuvens, com chuva e eventualmente com tempo severo, possibilitando assim a formação de um ambiente propício à formação de tornados (Ynoue et al., 2017). Ademais, nota-se um nível alto de radiação solar no período da tarde seguido de nenhuma precipitação, e a velocidade do vento foi a maior registrada no mês de janeiro, chegando a 8m/s.



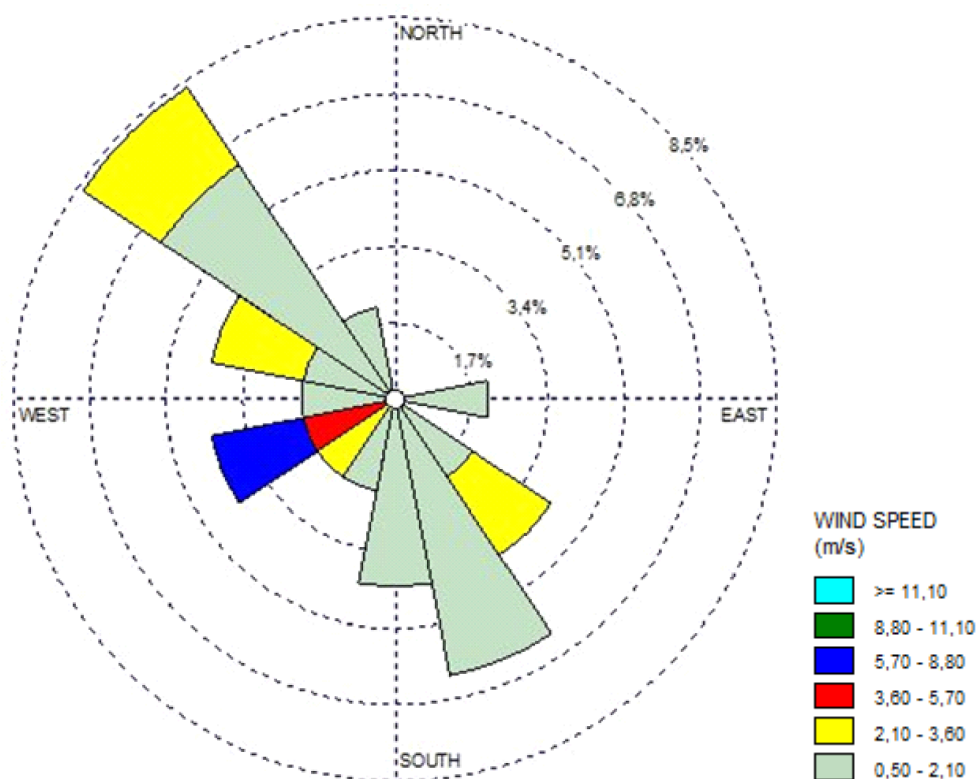
Tabela 2 – Comparação entre os dados coletados da estação A621 - Rio de Janeiro - Vila Militar, no mês de janeiro de 2011 e no dia 19 de janeiro de 2011.

	Mês de Janeiro de 2011 (máximas/ mínimas)	Dia 19/01/2011 (máximas/mínimas)
Temperatura	37°C (dia 19 às 16h) / 22°C (dia 1 e dia 8 às 6h)	37°C (às 16h) / 23° (às 07h)
Umidade	92% (dias 3,4, 18,19 e 21 às 06h) / 30% (dias 9,28 e 29 às 14h)	92% (às 07h) / 37% (às 16h)
Pressão	1012 hPa (dia 24 às 10h) / 1000 hPa (dia 10 às 16h)	1007 hPa (às 01 h) / 1001 hPa (às 19h)
Radiação	3887 kJm ² (dia 9 às 14h) / aproximadamente -3 kJm ² (todo dia entre 22 h e 06 h)	3848 kJm ² (às 15h) / 0 kJm ² antes das 07h e depois das 21h
Precipitação	65 mm (dia 18 às 16h) / 0mm (dias 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31)	0 mm o dia todo
Direção do vento	343° (dia 5 às 00h) / 9° (dia 29 às 04h)	342° (às 15h) / 10° (às 12h)
Velocidade do vento	8m/s (dia 19 às 22h) / 0m/s (todos os dias de madrugada)	8m/s (às 23h) / 0 m/s (entre 04h e 12h)

Fonte: INMET (2011).

Conforme observa-se na rosa dos ventos mostrada na Figura 8, a direção do vento mais frequente no dia do evento (com cerca de 8,5% de predominância) foi a NW. Já as maiores velocidades do vento ocorreram na direção WSW variando de 5,70 a 8,80 m/s.

Figura 8 – Rosa dos ventos da Estação Vila Militar no dia 19 de janeiro de 2011.



Entrevista com uma Testemunha Ocular

O tornado ocorrido na Baixada Fluminense foi noticiado por alguns canais de televisão, e também foi registrado por algumas testemunhas oculares de moradores locais (Figura 9). Os locais mais atingidos foram Jardim Paraíso, Jardim Guandu, Lagoinha e Parque São José, que ficaram sem luz por mais de 20 horas (Portal G1, 2011). Para este trabalho, foi feita uma breve entrevista pela internet com o senhor Jaydimar dos Santos Griffó Soares, que foi uma das testemunhas oculares que compartilhou um vídeo na internet registrando o momento da dissipação do evento (Soares, 2011).

Em sua entrevista, Soares relatou que possivelmente o tornado teria ocorrido nas proximidades da Rua da Saudade e da Rua Dália, localizadas próximas a Igreja Batista Pentecostal no bairro de Jardim Guandu na cidade de Nova Iguaçu. Segundo o morador, no dia do evento não houve precipitação no local e o possível tornado surgiu por volta das 17 horas (horário de Brasília) do dia 19/01/2011. O fenômeno causou muitos estragos na região, porém sem nenhum registro de vítimas fatais, apenas com ferimentos leves ou moderados.



Figura 9 – Tornado registrado na Baixada Fluminense no dia 19/01/2011.



Fonte: Portal G1 (2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise sinótica do dia do evento tornádico destacou que o Brasil estava sob influência, principalmente, da ZCAS que se estendia desde o Norte do país até o Sul, prolongando-se pelo Atlântico conectada a um cavado invertido. No entanto, o Estado do Rio de Janeiro aparentemente sofreu algum outro distúrbio em escala menor que a sinótica, provavelmente induzido por efeitos locais.

Foram verificadas as imagens de satélite da região Sudeste na qual observou-se um crescimento gradativo de nuvens com o topo muito frio, e, portanto, com grande desenvolvimento vertical, na região de Nova Iguaçu no dia do evento do tornado. Foram analisadas também, as sondagens atmosféricas realizadas no aeroporto Galeão do dia 19 de janeiro de 2011 que mostraram os índices de instabilidade atmosférica com valores representativos de uma atmosfera instável e susceptível a tempestades severas. Esses parâmetros, somados ao cisalhamento vertical do vento observado, reforçaram o ambiente propício ao desenvolvimento de convecção profunda.

Os resultados obtidos por este estudo foram consistentes e coerentes com a teoria física para formação de tornados, que envolvem a combinação de aspectos termodinâmicos, como oferta de umidade e instabilidade geradas em parte pela ZCAS; de mecanismos



forçantes como convecções locais; e de aspectos dinâmicos como o cisalhamento vertical do vento, imprescindível para a formação de tornados (Church et al., 199; Menezes, 1998).

No entanto, devido ao pouco conhecimento sobre esse tipo de evento na região, a devida atenção e infraestrutura não foi dada ao local de impacto do tornado, o que poderia ocasionar vítimas fatais caso o evento se repita futuramente. Para uma melhor caracterização deste tipo de evento é necessário o investimento em ferramentas como a modelagem numérica, radares meteorológicos e estudos mais avançados na área de formação de tempestades severas no estado do Rio de Janeiro, visto que o Brasil está no ranking dos países mais atingidos com esse tipo de fenômeno natural. O conhecimento na área de tempestades severas é de grande valor para a preservação da vida, sendo assim, o presente artigo propõe a continuidade de estudos como esse e a elaboração de mais pesquisas voltadas para o acompanhamento das condicionantes meteorológicas de tempo severos.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, B. G. L. Estudos de caso de tornados, uso e ocupação do solo, topografia e análise meteorológica destes eventos atmosféricos no Sul e 70 Sudeste do Brasil. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) Programa de Pós graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), USP, São Paulo, 2013.
- BROOKS, H.; DOSWELL, C. A. Normalized damage from major tornadoes in the United States: 1890–1999. *Wea. Forecasting*, v. 16, p. 168–176. 2001a.
- BROOKS, H.; DOSWELL, C. A. Some aspects of the international climatology of tornadoes by damage classification. *Atmos. Res.*, v. 56, p. 191–201. 2001b.
- BROOKS, H. E.; LEE, J. W.; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. *Atmos. Res.*, v. 67–68, p. 73–94, doi:10.1016/S0169-8095(03)00045-0. 2003.
- BROOKS, H. E.; CARBIN, G. W.; MARSH, P. T. Increased variability of tornado occurrence in the United States. *Climate Change*, v. 346, p. 349–352. 2016.
- CANDIDO, D. H. Tornados e trombas-d'água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos. 2012. 259 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/901142>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- CHURCH, C. et al. The tornado: its structure, dynamics, prediction, and hazards. Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, v. 79, 1993.
- CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Banco de dados de imagens. 2011. Disponível em: <<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes/formulario.logic>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- DIAS, V. S. Análise dos índices de instabilidade para previsão de formações convectivas severas para a região do aeródromo do Galeão, Aeroporto Tom Jobim, 2008. 47 f. Relatório de Pesquisa. Especialização em Meteorologia Aeronáutica. ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/old/uploads/2015/03/inst_form_conect_sbgl.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- DOSWELL, C. A. Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: lessons learned and implications for Europe. *Atmos. Research*, v.67-68, p.135-152, 2003.
- FUJITA, T. T. Tornadoes around the world. *Weatherwise*, v. 26, p. 56-62, 1973.
- FUJITA, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, v. 38, p. 1511-1534. 1981.



- GOLIGER, A. M.; MILFORD, R. V. A review of worldwide occurrence of tornadoes. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, v. 74, p. 111–121, 1998.
- HORNES, K. L.; BALICKI, M. Caracterização do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 44, p. 36-54, 2018.
- IENSSE, A. C.; WOLLMANN, C. A. Análise de um episódio de nuvem funil em Santa Maria/RS no dia 4 de março de 2016. *Boletim de Geografia*, v. 37, n. 3, p. 160-170, 2020.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados de estações automáticas – Vila Militar (A621) - GRÁFICOS. 2011. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A621>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Boletim Técnico, 19 jan. 2011. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>>. Acesso em: 21 mar. 2020.
- KOBIYAMA, M. et al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 122 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- LARA, K. S. et al. Condições atmosféricas de grande escala associadas a três eventos de tornados ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 4, p. 1310-1326, 2019.
- MARCELINO, E. O.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de Desastres Naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia - Revista on line*, v.7, n.19, p. 130-149, 2006.
- MENEZES, W. F. Tempestades severas: Um modelo para latitudes subtropicais. 1998. 174 f. Tese de Doutorado do Departamento de Ciências Atmosféricas – Instituto Astronômico e Geofísico – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 1, p.121-140, 2005.
- NASCIMENTO, E. L.; HELD, G.; GOMES, A. M. A Multiple-Vortex Tornado in Southeastern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 142, n. 9, p. 3017-3037, 2014.
- NECHET, D. Ocorrência de tornados no Brasil. *Bol. Soc. Bras. Meteor.*, v. 26, p. 29-39, 2002.
- NIELSEN, D.M.; BELÉM, A.L.; MARTON, E. et al. Dynamics-based regression models for the South Atlantic Convergence Zone. *Clim Dyn.*, v. 52, p. 5527–5553, 2019.
- NUNES, L. H.; CANDIDO, D. H. Condicionantes físicos e impactos dos tornados do final de março de 2006 no interior paulista. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 12, n. 2, p. 99-124, 2008.
- PEREIRA FILHO, A. J.; VEMADO, F.; KARAM, H. A. Evidence of Tornadoes and Microbursts in São Paulo State, Brazil: A Synoptic and Mesoscale Analysis. *Pure Appl. Geophys.* V. 176, p. 5079–5106, 2019.
- PERRY, A.; REYNOLDS, D. Tornadoes: The Most Violent of All Atmospheric Phenomena. *Geography*, v. 78, n. 2, p. 174-178, 1993.
- PORTAL G1. Meteorologistas dizem que nuvem no Rio seria tornado de baixa intensidade. 19 jan. 2011. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/meteorologistas-dizem-que-nuvem-no-rio-seria-tornado-de-baixa-intensidade.html>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- REDE GLOBO DE TELEVISÃO. Tornado assusta moradores da Baixada Fluminense (RJ).wmv. Rio de Janeiro: Rede Globo de Televisões, 2011. (2 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fmobzVRHdp0>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- SILVA DIAS, M. A. F. An increase in the number of tornado reports in Brazil. *Wea. Climate Soc.*, v. 3, p. 209–217, 2011.
- SILVA DIAS, M. A. F.; GRAMMELSBACHER, E. A. A possível ocorrência de um tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. *Rev. Bras. Meteorologia*, v. 6, p. 513-522, 1991.



SOARES, J. S. G. Tornado em Jardim Paraíso - Nova Iguaçu - RJ - Brasil. Youtube, 19 jan. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=8yPLq1QWMJ0>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

THOMPSON, R. L.; EDWARDS, R.; HART, J. A.; ELMORE, K. L.; MARKOWSKI, P. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. *Weather and Forecasting*, v. 18, n. 6, p. 1243–1261, 2003.

TOCHIMOTO, E.; NINO, H. Structural and environmental characteristics of extratropical cyclones that cause tornado outbreaks in the warm sector: A composite study. *Monthly Weather Review*, v. 144, p. 945–969, 2016.

UNIVERSIDADE DE WYOMING. 83746 SBGL Galeão. Estados Unidos, 2011. Gráfico. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=samer&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2011&MONTH=01&FROM=1912&TO=2000&STNM=83746>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

VERBOUT, S. M.; BROOKS, H. E.; LESLIE, L. M.; SCHULTZ, D. M. Evolution of the U.S. tornado database: 1954–2003. *Wea. Forecasting*, v. 21, p. 86–93, 2006.

WOLLMANN, C. A.; IENSSE, A. C. A gênese climática dos tornados nos estados da região sul do Brasil e São Paulo. *Geo UERJ*, v. 34, p. e40941, 2019.

WRITZL, L.; WOLLMANN, C.; IENSSE, A.; SILVA, A. Genesis and probability of tornado occurrence in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência e Natura*, v. 42, p. e18, 2020.

YNOUE, R. Y. et al. *Meteorologia noções básicas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 179 p.

ZIPSER, E. J.; CECIL, D. J.; LIU, C.; NESBITT, S. W.; YORTY, D. P. Where are the most intense thunderstorms on Earth? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 87, p. 1057–1071, 2006.