



ANÁLISE TÉCNICA PRELIMINAR

RASTROS DE DESTRUIÇÃO GERADOS POR TORNADOS E VENTOS EXTREMOS EM SANTA CATARINA ENTRE 22 E 23 DE JUNHO DE 2025

Equipe Técnica: Guilherme Touchtenhagen Schild^{1,2}, Vitor Goede^{2,3,4}, Lais Santos^{2,5}

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE)

² Plataforma de Registros e Rede Voluntária de Observadores de Tempestades Severas (PREVOTS)

³ Advanced Radar Research Center (ARRC) - The University of Oklahoma

⁴ School of Meteorology (SoM) - The University of Oklahoma

⁵ Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Instituto Mineiro de Gestão das Águas (SIMGE-IGAM)

1. Natureza do documento:

O presente documento técnico preliminar tem por objetivo a caracterização dos rastros de danos associados a tornados e ventos intensos nos municípios de Belmonte, Descanso, Passos Maia, São José do Cerrito e Xavantina, localizados no estado de Santa Catarina. Tais fenômenos ocorreram no contexto de um evento de tempo severo registrado entre a noite do dia 22 e manhã do dia 23 de junho de 2025. A análise baseia-se em documentação fotográfica, videográfica, imagens de satélite ambiental e por meio de assinaturas de tempo severo identificadas nas imagens dos radares meteorológicos.

2. Discussão Meteorológica:

Durante o período analisado, observou-se a presença de um padrão de bloqueio atmosférico do tipo dipolo amplificado sobre o Pacífico Oriental (Figura 1), o qual intensificou um cavado de onda longa na alta troposfera (300 hPa). Essa configuração favoreceu a aceleração do jato de altos níveis sobre o Paraguai, norte da Argentina e a região Sul do Brasil (incluindo Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná).

300 hPa Divergência [$\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$], Vento [kt], HGT [dam]
ERA 5

Valid: 2025-06-22 21:00:00

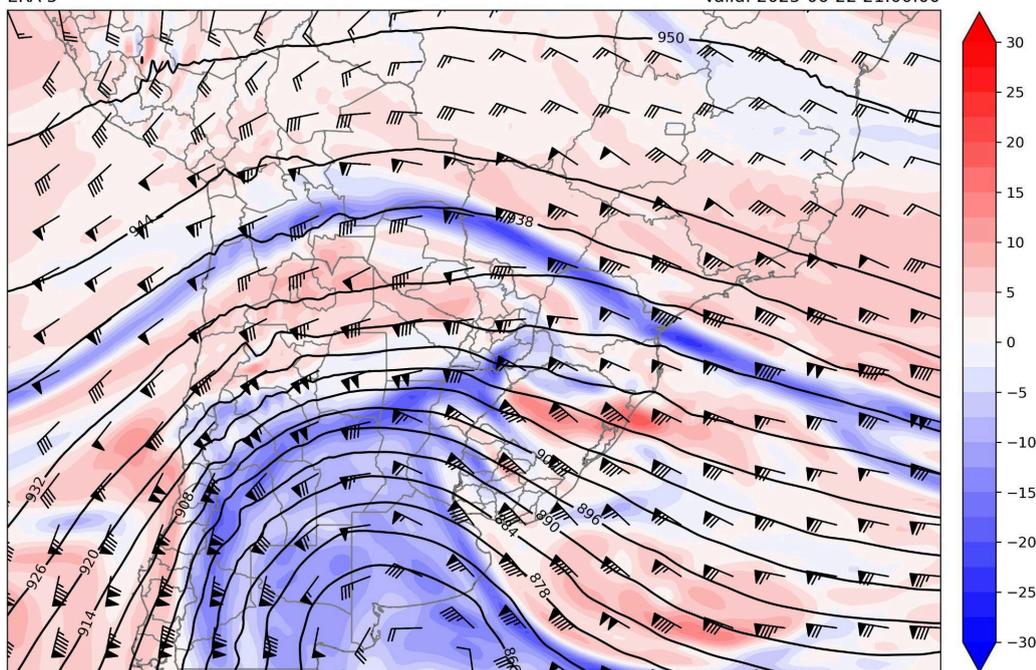


Figura 1 - Altura geopotencial (contornos pretos, em dam), divergência (preenchimento; em 10^{-5} s^{-1}), e direção e velocidade do vento (barbelas, em kt) em 300 hPa para as 21 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

Na média atmosfera (nível de 500hPa), o escoamento esteve intensificado associado a forte baroclinia sobre toda a bacia do Prata, com velocidades de 35 m/s (Figura 2). Embebidas neste escoamento, atuaram perturbações de onda curta que advectaram vorticidade negativa, contribuindo para a ocorrência de intenso levantamento sinótico na região (Figura 2). Em resposta à configuração dos altos e médios níveis, observou-se uma acentuada queda da altura de geopotencial em níveis baixos da atmosfera, com o conseqüente aprofundamento da Baixa do Noroeste da Argentina (BNOA) e a aceleração do Jato de Baixos Níveis (JBN) em 850 hPa, resultando em ventos de quadrante noroeste da ordem de 20 m/s (Figura 3). Além disso, formou-se um cavado invertido em superfície sobre o estado de Santa Catarina (Figura 4), o que promoveu forte convergência de umidade (Figura 5) e intensa advecção quente na saída do JBN. Essa dinâmica favoreceu um processo frontogenético entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com o sistema frontal avançando em direção a Santa Catarina entre a noite de 22 e manhã de 23 de junho.

500 hPa Vorticidade Relativa [$\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$] | Vento [kt] | HGT [dam]
ERA 5

Valid: 2025-06-22 23:00:00

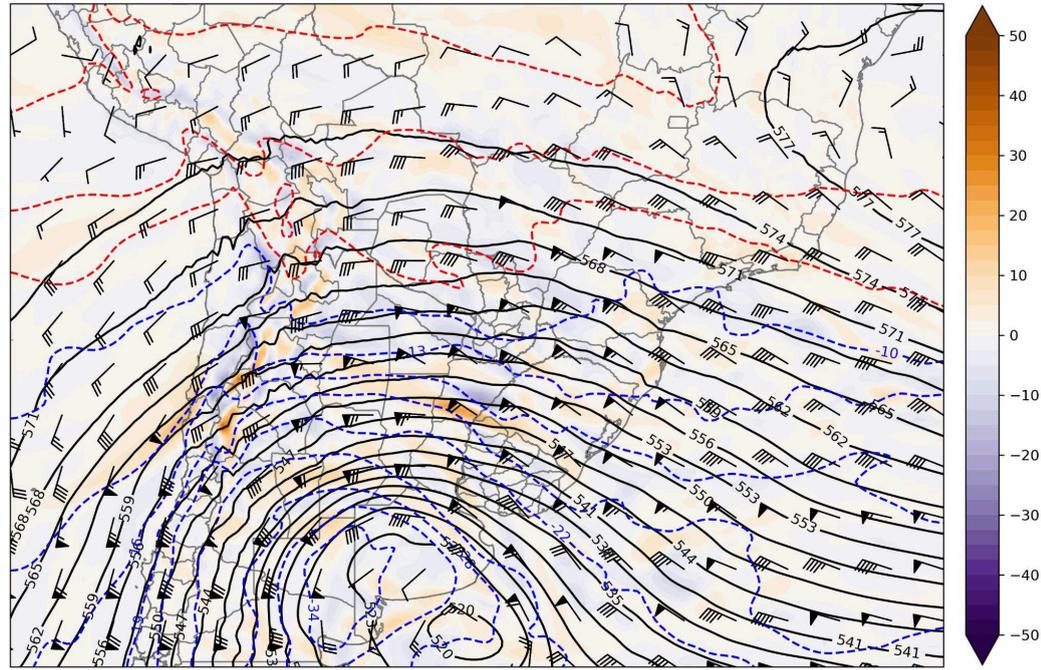


Figura 2 -Altura geopotencial (contornos pretos, em dam), vorticidade relativa (preenchimento; em 10^{-5} s^{-1}), temperatura (contornos tracejados; em °C), e direção e velocidade do vento (barbelas, kt) em 500 hPa para as 23 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

850 hPa θ_e [K] | Vento [kt] | HGT [dam]
ERA 5

Valid: 2025-06-22 23:00:00

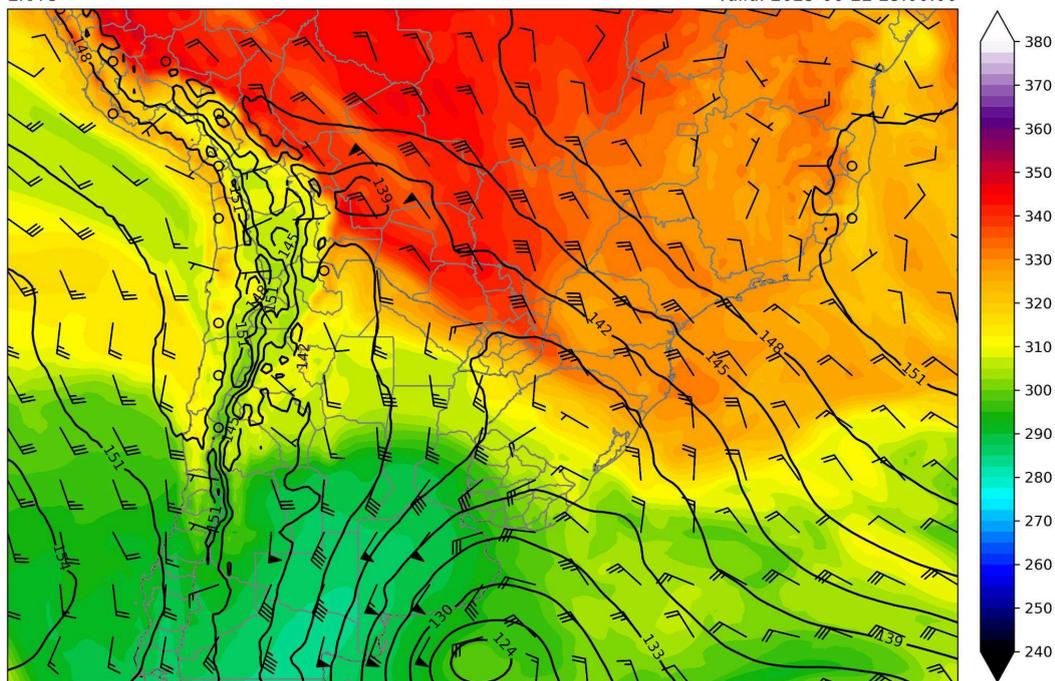


Figura 3 - Temperatura equivalente em 850 hPa (preenchimento; em K), vento em 850 hPa (barbelas; em kt) e altura geopotencial em 850 hPa (contornos; em dam) para as 23 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

Temperatura a 2 m [°C], Vento a 10 m [kt], PNMM [hPa]
ERA 5

Valid: 2025-06-22 21:00:00

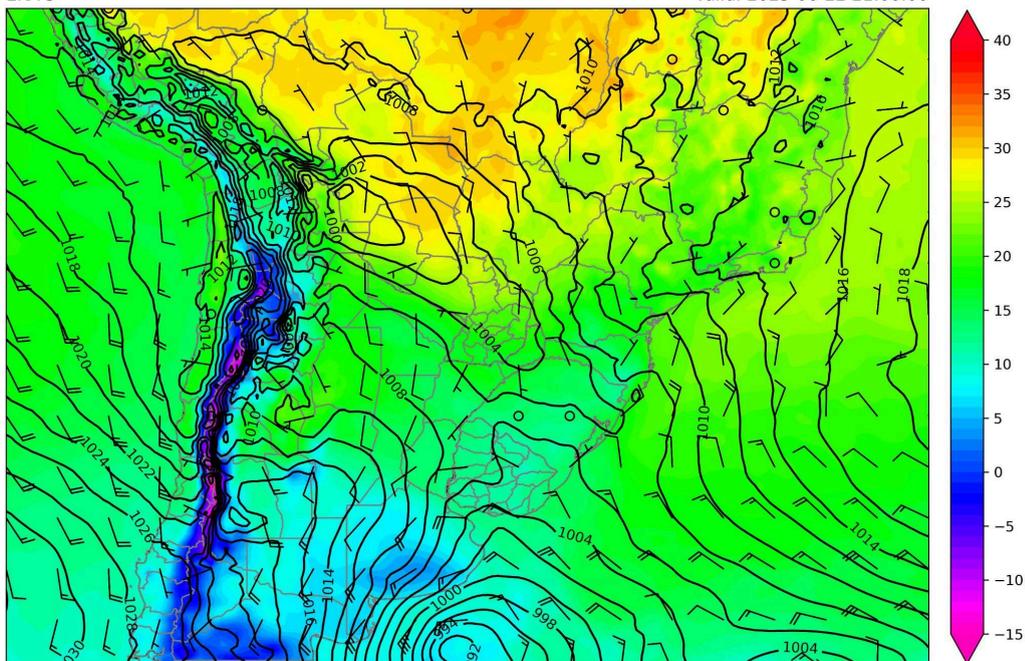


Figura 4 - Pressão ao nível médio do mar (contornos pretos, hPa), temperatura em 2 metros (preenchimento, em °C) e direção e velocidade do vento (barbelas, em kt) em 10 metros para as 21 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

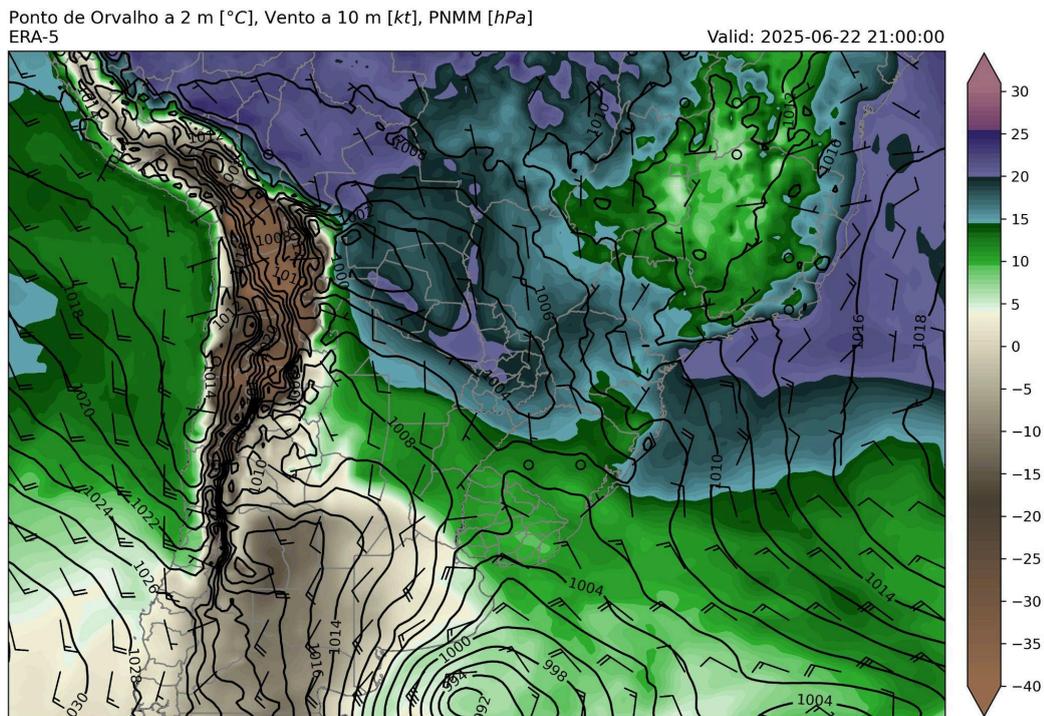


Figura 5 - Pressão ao nível médio do mar (contornos pretos, em hPa), temperatura de ponto de orvalho em 2 metros (preenchimento; em °C) e direção e velocidade do vento (barbelas, em kt) em 10 metros para as 21 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

O padrão sinótico foi acompanhado por um ambiente pré-convectivo clássico de inverno, com acentuado cisalhamento vertical do vento e baixa/moderada instabilidade termodinâmica. Os valores de MUCAPE e MLCAPE ficaram entre 500 e 750 J/Kg (Figura 6), valores de taxa de variação vertical da temperatura (TVVT) próximos de 6,5°C/km (não exibido), e intenso cisalhamento vertical e direcional do vento. Os valores de cisalhamento ao longo da camada profunda (0-6 km) superaram os 30 m/s (Figura 6). Também, foram observados valores de cisalhamento na camada de 0-1 km superiores a 15 m/s, com hodógrafas apresentando forte curvatura nessa camada e resultando em valores de helicidade relativa a tempestade de -200 a -450 m²/s² (Figura 7).

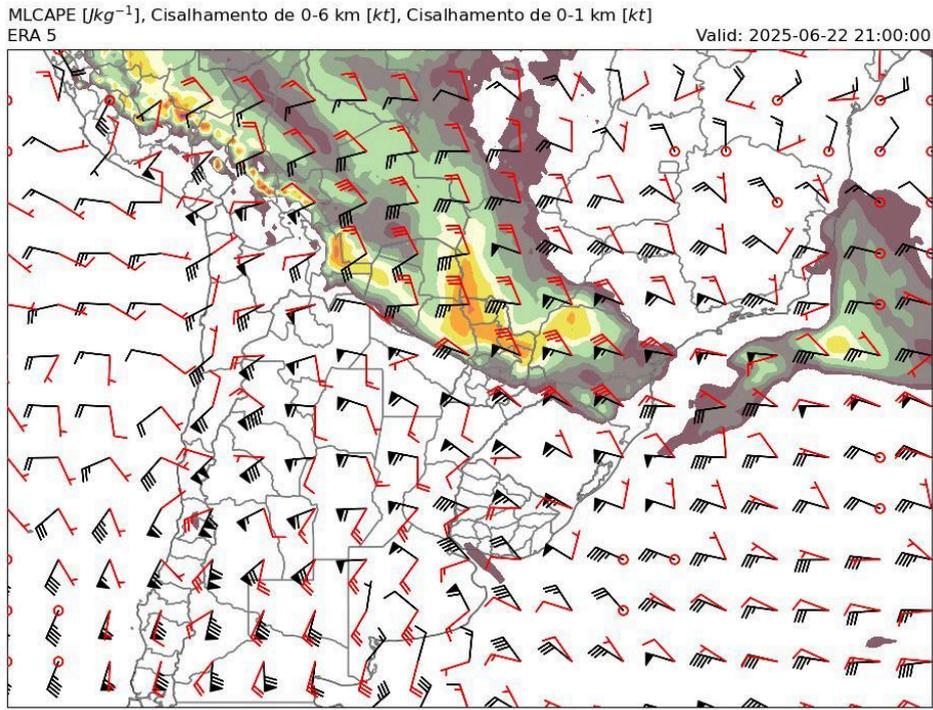


Figura 6 - MLCAPE (preenchimento em J/kg) e cisalhamento vertical do vento na camada 0 - 1 km (barbela, em kt) para as 21 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

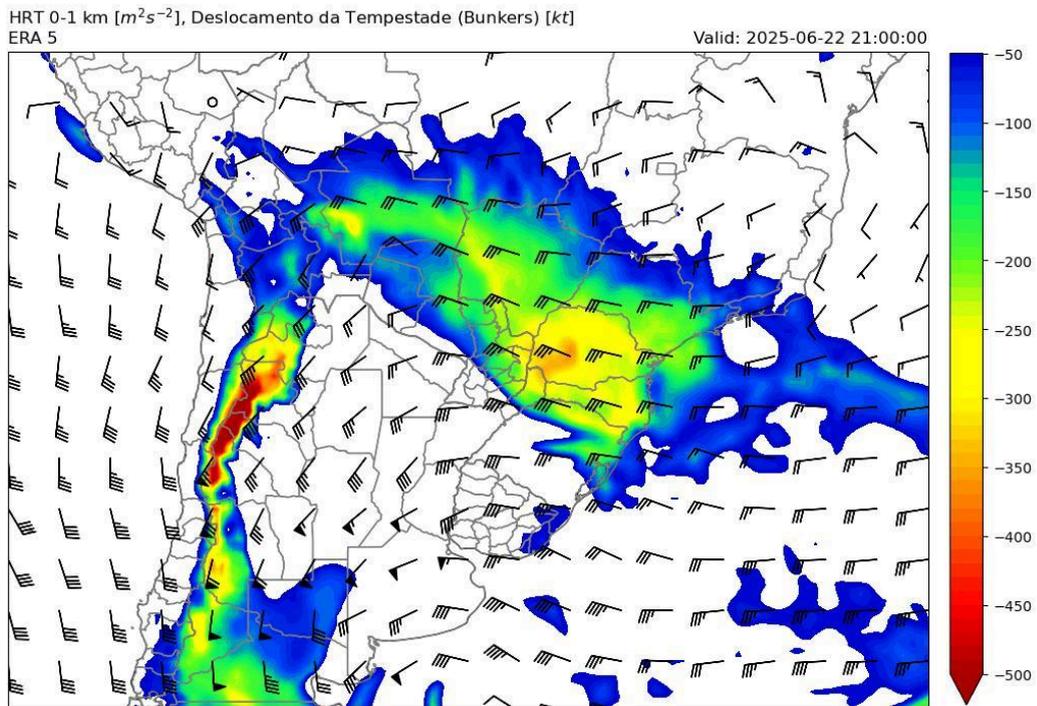




Figura 7 - Helicidade Relativa a tempestade em 0 - 1 km (preenchimento em m^2/s^2) e deslocamento de tempestade bunkers)[kt] para as 21 UTC de 22/06/2025. Fonte: reanálise ERA5.

O ambiente descrito foi propício à formação de supercélulas discretas no setor pré-frontal, especialmente entre a província de Misiones (Argentina) e o extremo oeste de Santa Catarina. Essas tempestades apresentaram assinaturas de severidade tanto em imagens de satélite (como *overshooting tops* [OT] {*topos penetrantes*}, *above-anvil cirrus plume* [AACP] e padrão *U-Shape*) quanto nos dados de radar, nos quais foram observadas assinaturas típicas como eco tipo gancho, arco de Z_{DR} , pé de K_{DP} , regiões polarimétricas de granizo, e dipolos de velocidade radial com significativo cisalhamento azimutal indicando rotação associada a mesociclones em baixos níveis que podem gerar eventuais tornados. Com a evolução do evento, as supercélulas passaram por processos de fusão (*mergers*) até produzirem um QLCS que avançou a partir do norte do Rio Grande do Sul entre o final da noite do dia 22 e o início da madrugada do dia 23. Este sistema evoluiu com supercélulas embebidas e segmentos em forma de arco (*bow echoes*), resultando em tornados e ventos lineares intensos.

3. Rastros de danos por Tornado e ventos locais lineares na região das cidades de: Belmonte/Descanso; Abelardo Luz/Passos Maia; São José do Cerrito e Xavantina em Santa Catarina

3.1. Xavantina

A Figura 8 apresenta um quadro com as variáveis polarimétricas do radar meteorológico de Chapecó. Na imagem de Z_H das 0224 UTC, observam-se valores entre 45 e 55 dBZ em uma estrutura linear. Embebido neste sistema linear, identifica-se uma região com rotação ciclônica, evidenciada por uma área de significativo cisalhamento azimutal na V_R com valores próximos de 25 (-15) m/s, caracterizando a presença de um vórtice tornado associado a uma supercélula embebida no sistema convectivo. Coincidindo com esta região de forte cisalhamento azimutal, o Z_{DR} predominantemente negativo em conjunto com ρ_{HV} muito inferior a 0.90, sugere a suspensão de material particulado (detritos) pelo tornado, o que caracteriza uma Assinatura Tornádica de Destroços (ATD). Tal assinatura resulta da orientação aleatória das partículas, ressonância de



espalhamento, homogeneidade entre as propriedades dielétricas do material suspenso, e no seu formato, comumente observados em alvos não meteorológicos.

Além da detecção pelo radar, observou-se a presença de danos na vegetação por imagens de satélite ambiental e por registros obtidos em sobrevoo com drone realizado pela Defesa Civil de Santa Catarina (Figura 9). A partir das coordenadas dos danos, foi construído um polígono aproximado das áreas afetadas, o qual, sobreposto às imagens de radar, coincide com a região de forte cisalhamento e assinaturas de detritos em Z_{DR} e ρ_{HV} (Figure 8). A Figura 10 apresenta todos os pontos em que danos foram identificados não apenas na forma de danos tornados, mas também de ventos lineares que acompanharam a tempestade.

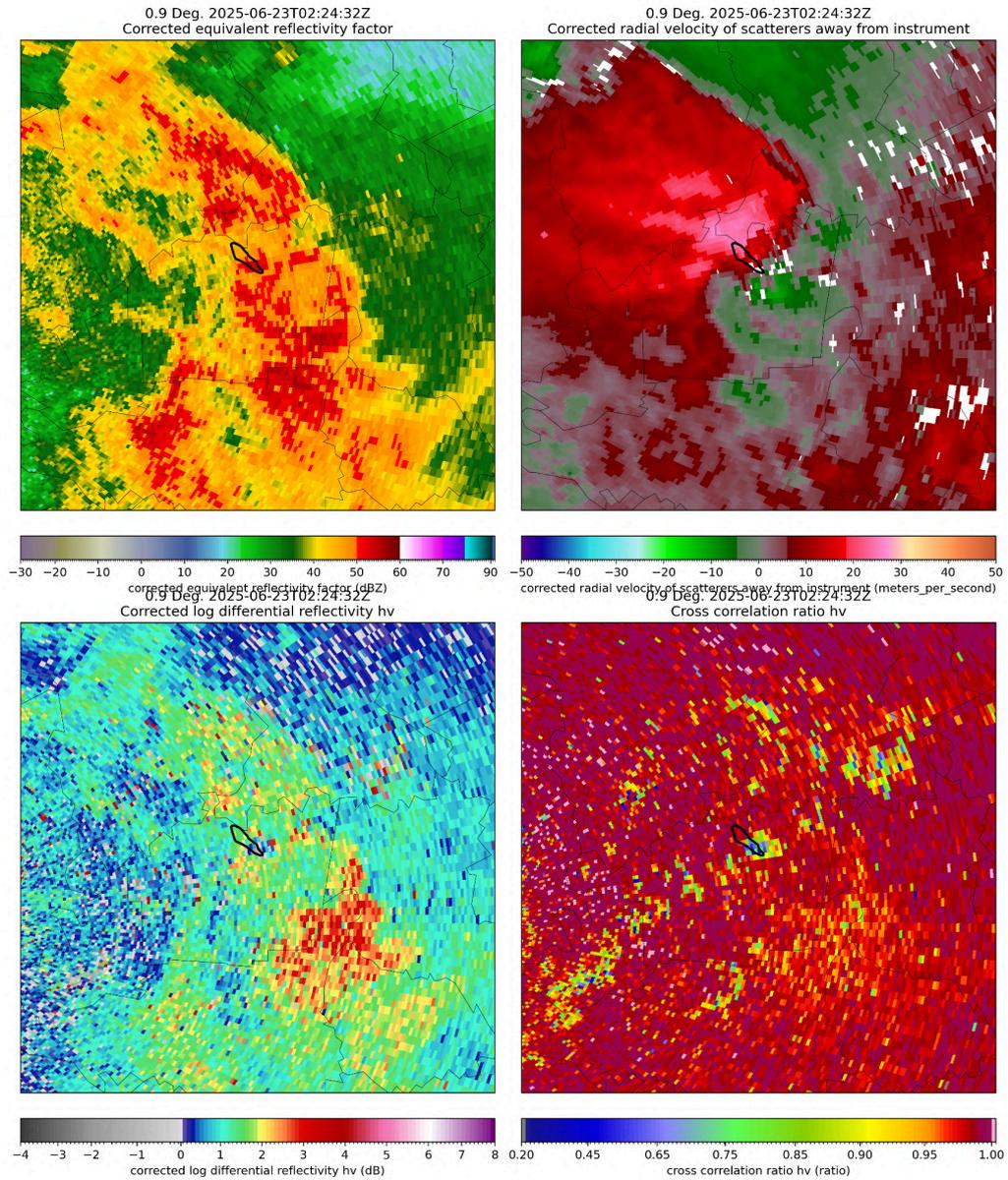


Figura 8 - Quadro com imagens do radar de Chapecó com as variáveis polarimétricas para a varredura iniciada as 0224:32 UTC do dia 23 de junho de 2025 na elevação de 0,9°: Z_H (quadrante superior esquerdo), V_R (quadrante superior direito), Z_{DR} (quadrante inferior esquerdo), e Q_{HV} (quadrante inferior direito). O polígono em preto indicando a área de danos por vento observada por satélite ambiental e imagens de drone no local.



Figura 9: Danos convergentes em mata de eucalipto e vegetação nativa na zona rural de Xavantina. Foto: Cortesia Defesa Civil do Estado de Santa Catarina.

Relatos Preliminares de Tempo Severo

Período: 02h20 UTC às 02h25 UTC do dia 23/06/2025

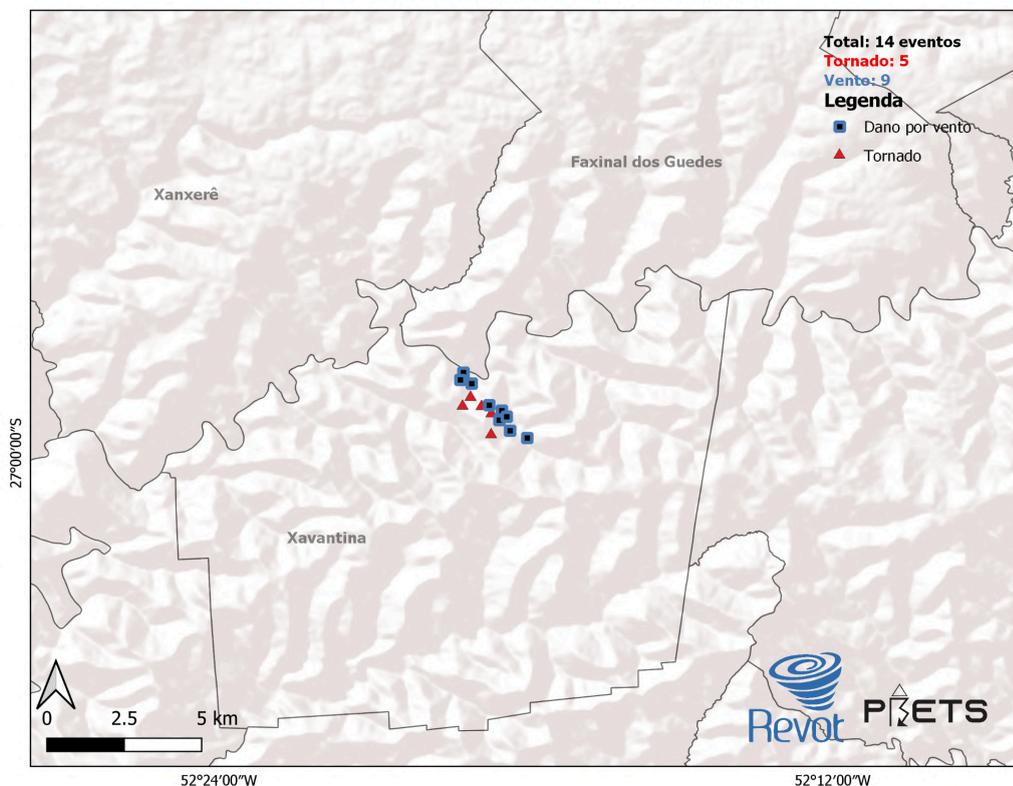


Figura 11 - Registros de tempo severo na cidade de Xavantina - SC.

3.2. Passos Maia

Uma supercélula embebida em um sistema quase-linear (QLCS) atingiu a região de Passos Maia entre 0350 UTC e 0355 UTC (Figura 12). No campo de Z_H , pode-se observar a natureza mista desta tempestade devido a ausência de uma estrutura discreta. Uma área de rotação ciclônica e cisalhamento azimutal é novamente identificada na V_R , apesar da ausência de alguns pixels devido a erros de unfolding e o filtro implementado no processador do radar. Novamente, observou-se queda nos valores de ZDR em alguns pixels, apesar da alta quantidade de precipitação associada à circulação. Ainda assim, mantiveram-se valores positivos de ρ_{HV} em seu entorno. Contudo, a sensibilidade do ρ_{HV} a misturas de partículas distintas destaca a presença da ATD mesmo em meio à intensa precipitação. Complementando a evidência no radar, foram identificados danos convergentes na vegetação com largura máxima de aproximadamente 800 metros e extensão linear de 14,5 km. O sobrevoo com drone revelou danos

moderados a severos (Figura 13), como: florestas de Pinus com árvores decepadas na base, postes de concreto e grandes araucárias quebradas ao meio e arremessadas a alguns metros de distância, além de galpões completamente destruídos. Esses danos são compatíveis com um tornado de categoria EF-2 na Escala Fujita Melhorada. A partir das coordenadas geográficas dos danos, foi construído um polígono (contorno em preto na Figura 12), que coincide com as assinaturas de radar destacadas acima.

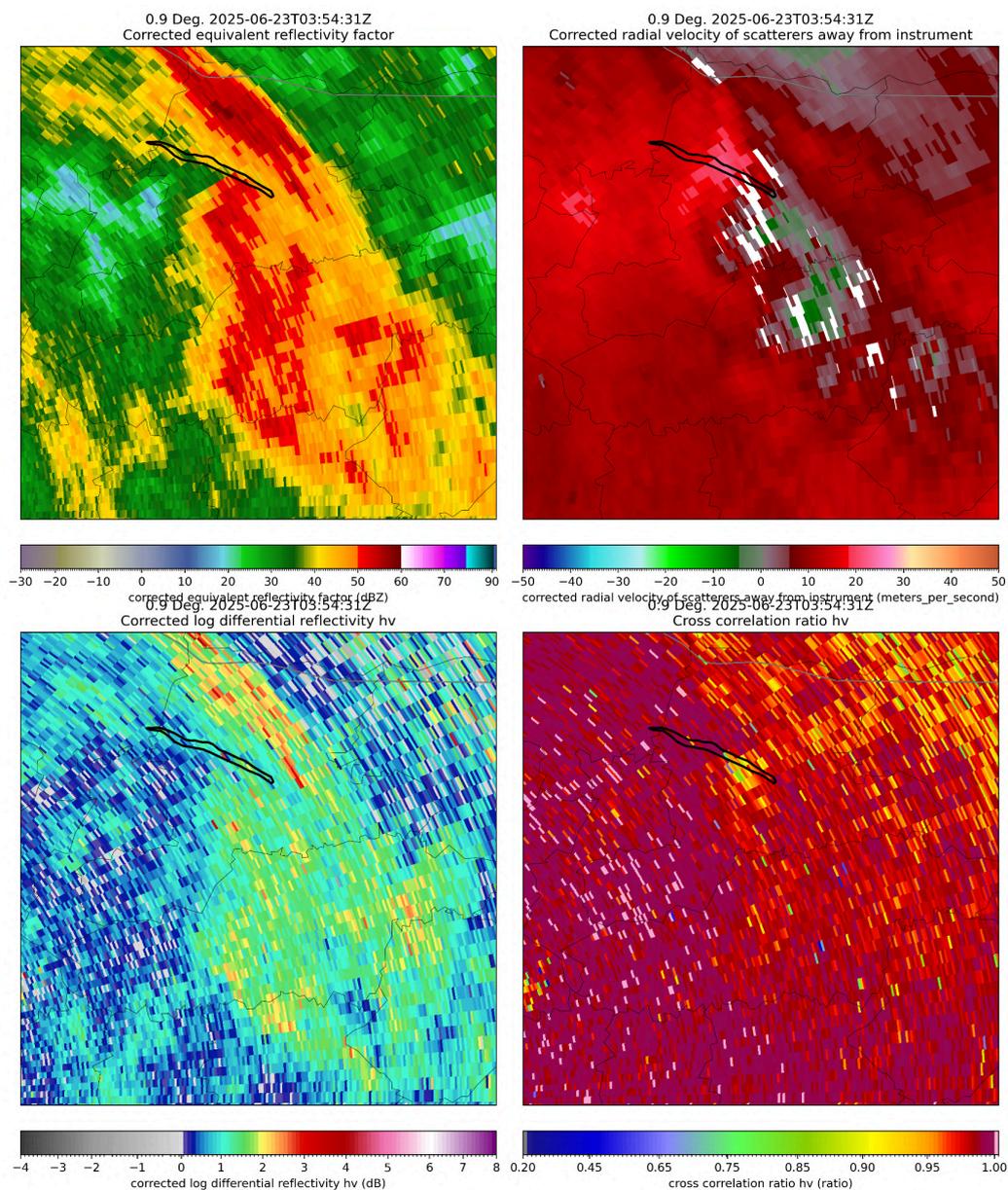


Figura 12 - Similar a Figura 8 mas para o volume iniciado 0354:31 UTC.



Figura 13 - Imagens dos danos na área rural da cidade de Passos Maia, SC. Fotos: Cortesia da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina.

Relatos Preliminares de Tempo Severo

Período: 03h45 UTC às 03h55 UTC do dia 23/06/2025

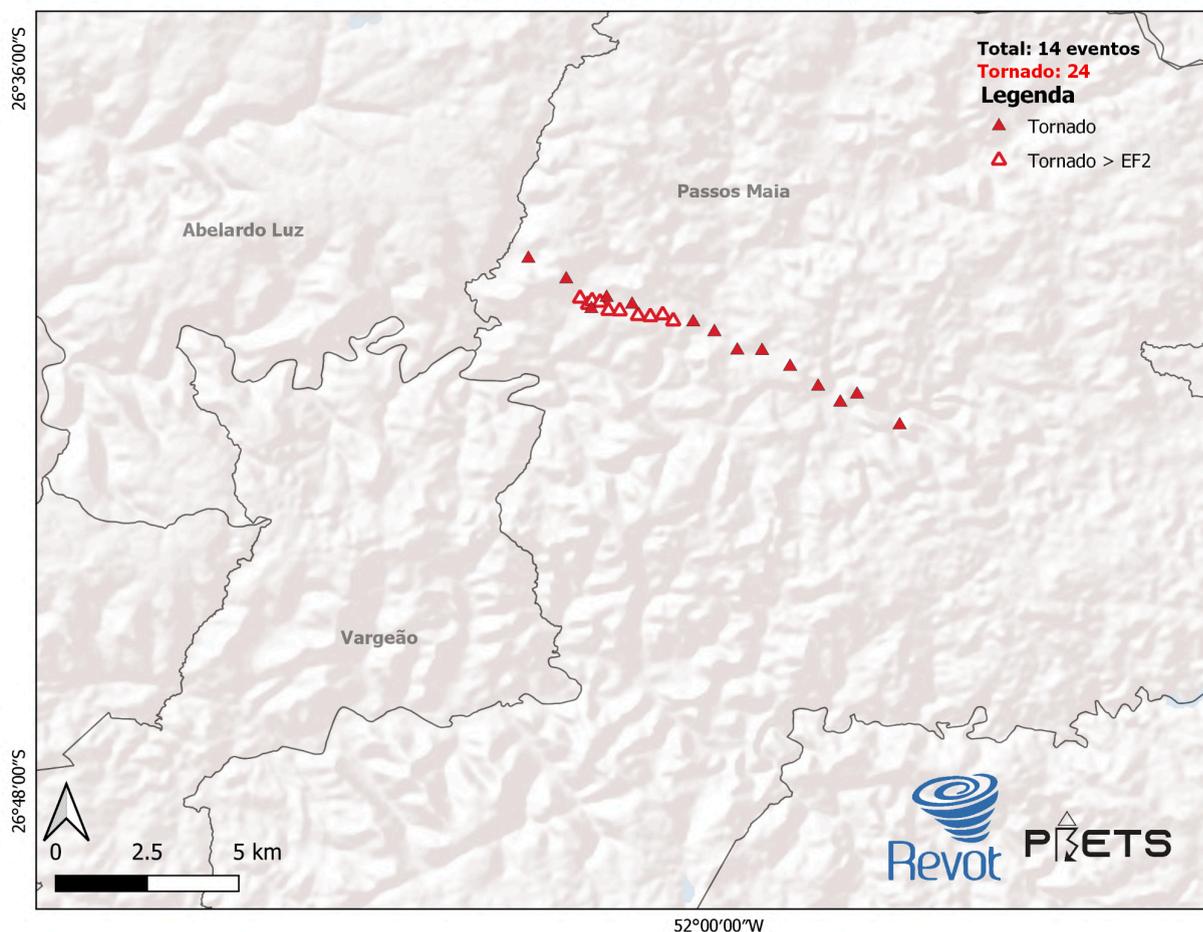


Figura 14 - Rastro com os registros de tempo severo na cidade de Passos Maia/SC.

3.2. São José do Cerrito - Lages:

A Figura 14 mostra a QLCS deslocando-se entre as cidades de Lages e São José do Cerrito entre às 0245 UTC e 0315 UTC. Observa-se um segmento de arco clássico, identificado no campo de Z_H . Na retaguarda do arco, a V_R revela um intenso jato descendente com valores próximos a -25 m/s, associado a uma área de baixa refletividade (~ 30 dBZ), indicando uma corrente descendente intensa (downdraft). Ao sul do segmento de arco, identifica-se uma região de cisalhamento azimutal de V_R , evidenciando a presença de uma circulação ciclônica compatível com um mesovórtice. As variáveis Z_{DR} e Q_{HV} indicam chuva



intensa tanto na região do mesovórtice quanto na banda convectiva associada ao arco. Contudo, a elevação do feixe em relação à superfície provavelmente dificultou a observação da ATD, já que os detritos não puderam ser elevados a alturas altas o suficientes para serem mostradas pelo feixe do radar em sua elevação mais baixa.

Os polígonos em preto, sobrepostos às imagens, representam as áreas de danos identificadas na zona rural do município, relacionados a ventos intensos e, possivelmente, tornados (Figura 15). Os danos na vegetação coincidem espacialmente com a região do mesovórtice. As imagens de satélite ambiental indicam a presença de, ao menos, dois rastros com características de danos convergentes, sugerindo a ocorrência de tornados naquela região. O primeiro rastro possui aproximadamente 7 km de extensão, com danos mistos — convergentes e divergentes. O segundo apresenta danos exclusivamente convergentes, com extensão de 1,5 km e largura estimada em 150 metros. Outros três rastros adicionais foram identificados na região; no entanto, apresentam características típicas de ventos lineares. Como não houve sobrevoo com drone na área, não é possível confirmar a ocorrência de tornados nesses três últimos rastros, e também, não é possível classificar a intensidade do tornado nos rastros convergentes.

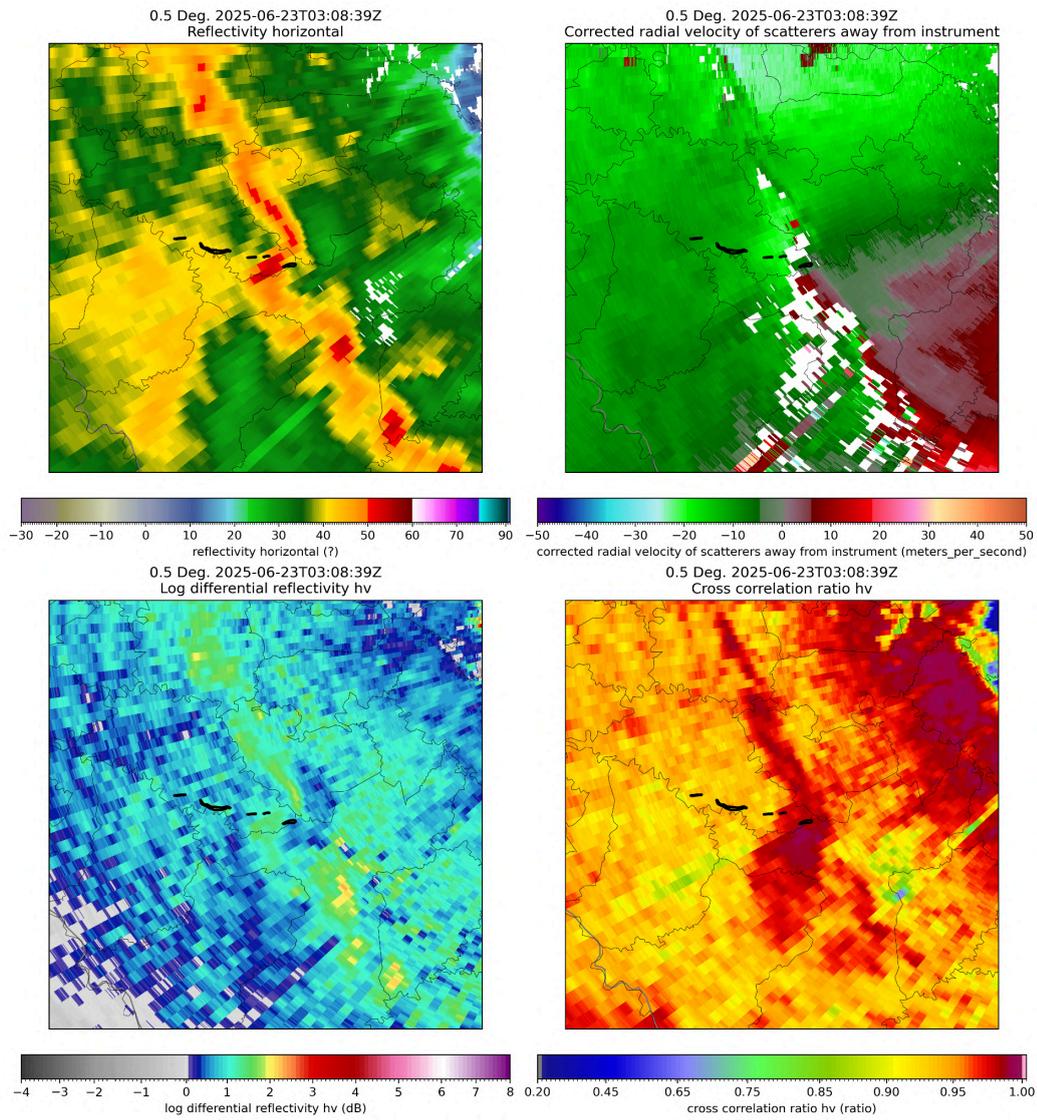


Figura 14 - Similar a Figura 8 mas para o volume iniciado pelo radar de Lontras as 03:08:39 UTC do dia 03 de Junho de 2025.

Relatos Preliminares de Tempo Severo

Período: 02h45 UTC às 03h15 UTC do dia 23/06/2025

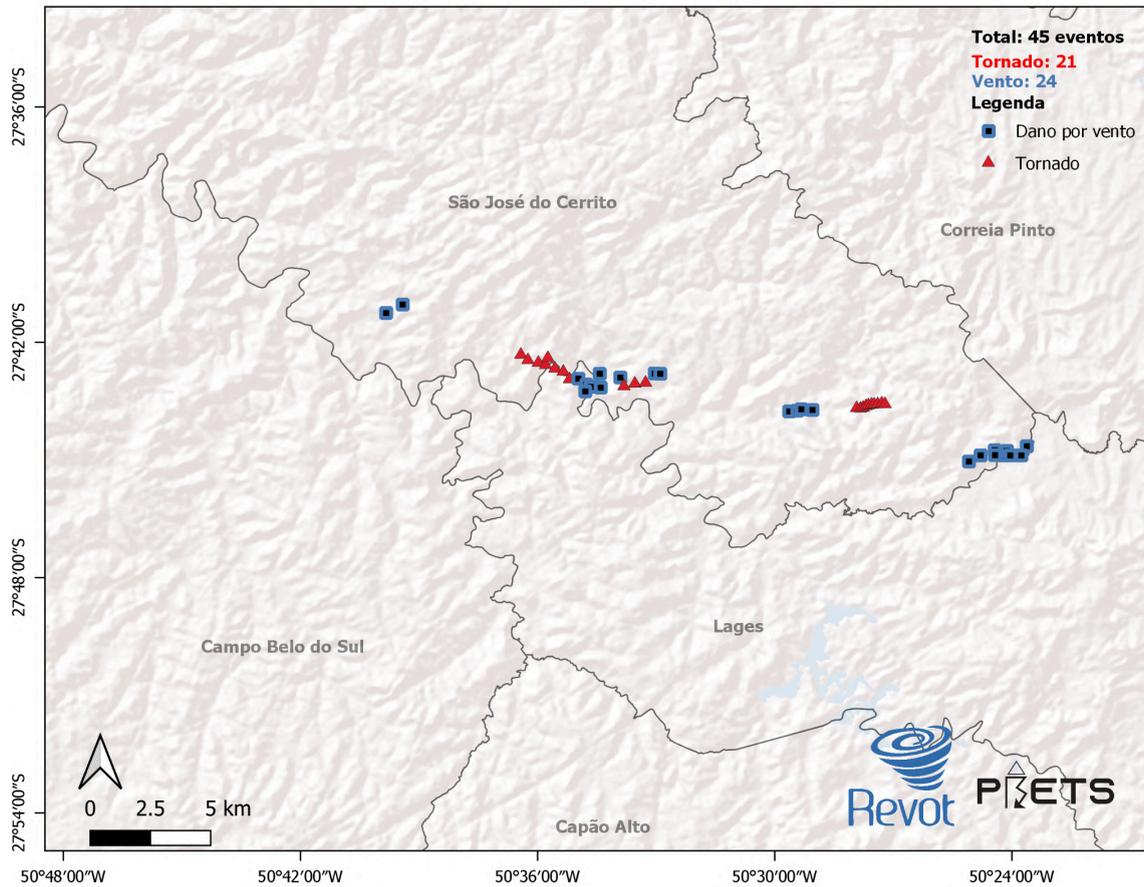


Figura 15 - Rastros de registros de tempo severo nas cidades de São José do Cerrito e Lages em Santa Catarina

3.3. Belmonte / Descanso

Diferentemente das demais localidades analisadas, a região de Belmonte e Descanso, no extremo oeste de Santa Catarina, foi atingida por uma supercélula discreta (Figura 16). A tempestade ocorreu no início do evento de tempo severo, no ambiente pré-frontal, com convecção desenvolvendo-se dentro da massa de ar quente. A imagem de refletividade revela assinaturas com eco em gancho (*hook echo*) em Z_H , e uma área de cisalhamento azimutal em V_R com valores de até 35 m/s (-5 m/s) em sua extremidade. Também é possível observar um arco de Z_{DR} associado a separação de tamanhos de gotas de chuva pelos intensos ventos relativos na baixa troposfera, com valores superando os 4 dB (tais valores são exacerbados na banda C).

A análise dos danos, com base em imagens de satélite ambiental e em sobrevoo com drone, revela predominância de danos divergentes na vegetação (Figura 17), com forte componente de vento de norte, compatíveis com a ocorrência de um pulso da corrente descendente no flanco traseiro nos volumes posteriores (não exibido). Entretanto, em pontos específicos nas zonas rurais de Belmonte e Descanso, foram identificados danos pontuais com evidência de convergência na vegetação, sugerindo a ocorrência intermitente de tornados (Figura 18). Esses casos estão sumarizados na Figura 19.

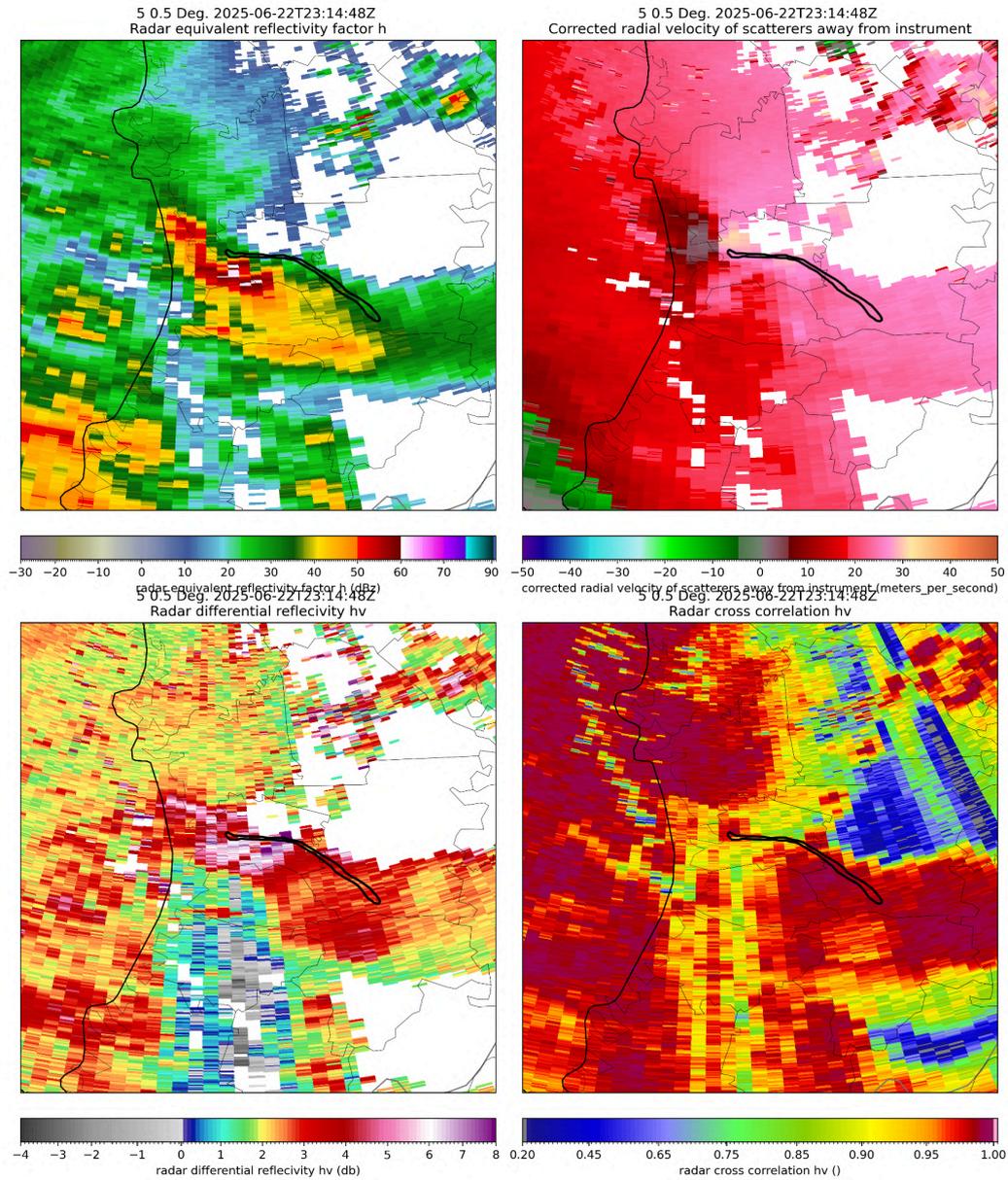


Figura 16 - Similar a Figura 8, mas para volume iniciado pelo radar de Bernardo de Irigoyen as 2313:48 UTC do dia 22 de junho de 2025



Figura 17 - Danos divergentes em mata de eucaliptos com árvores derrubadas pela raiz e algumas quebradas no meio na ZR de Descanso/SC: Foto: Cortesia Defesa Civil do Estado de SC.



Figura 18 - Foto no primeiro quadrante à esquerda, imagem de floresta nativa com danos convergentes. Árvores derrubadas pela raiz, outras decepadas pelo meio e intensa desramificação da vegetação. Ao lado, quadrante direito, imagem da cidade de Belmonte-SC, mostrando leve convergência de danos com árvores Eucalipto decepadas e arremessada em sentido oposto aos eucaliptos que foram arrancados pela raiz. A vegetação rasteira assim como a vegetação na lavoura apresenta também padrão convergente. Foto: Cortesia Defesa Civil de SC.

Relatos Preliminares de Tempo Severo

Período: 23h15 UTC às 23h30 UTC do dia 22/06/2025

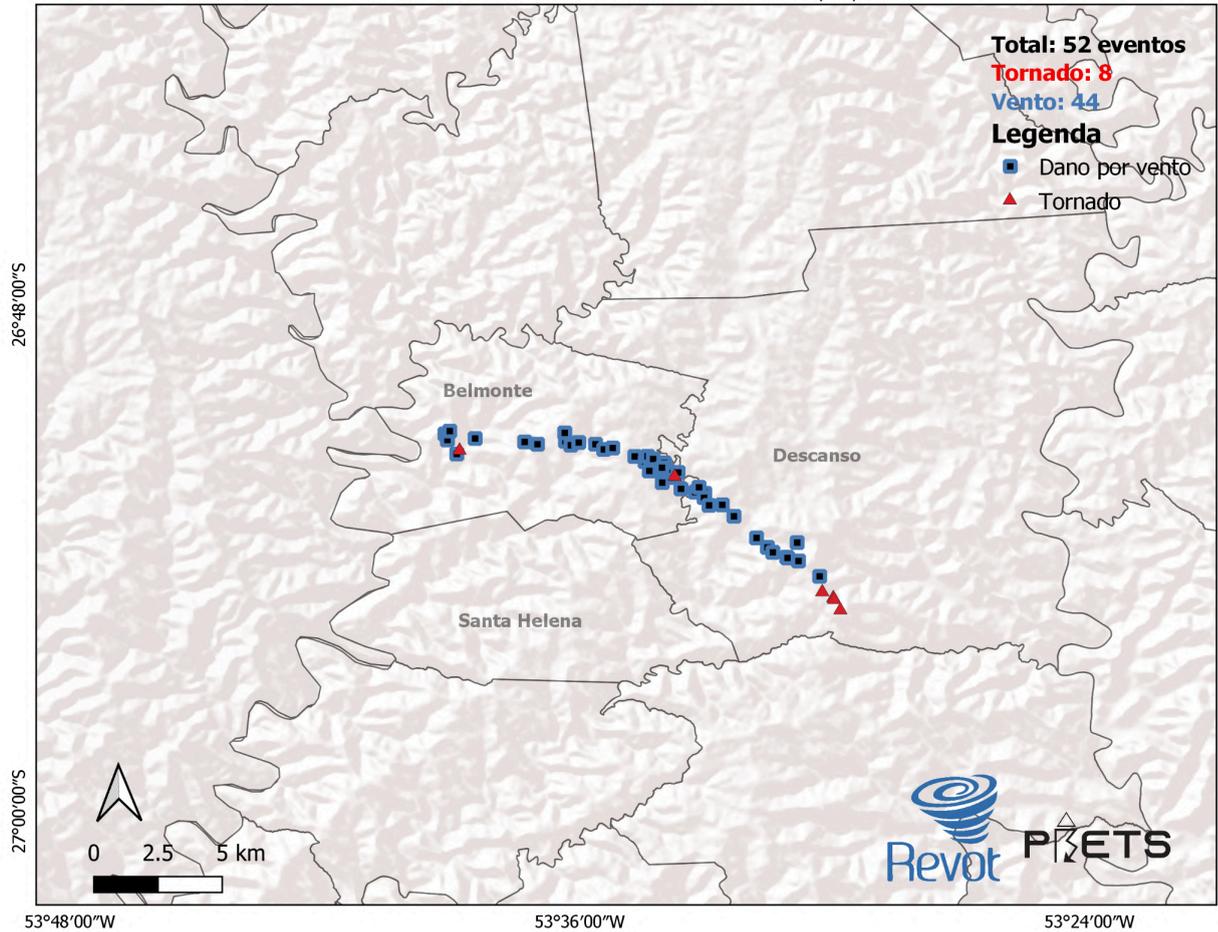


Figura 19: Rastro de registros em Belmonte e Descanso, Santa Catarina.

4. Conclusão

A análise preliminar indica a ocorrência simultânea de danos causados por tornados e por ventos lineares intensos nos municípios de Belmonte, Descanso, Xavantina, Passos Maia, Lages e São José do Cerrito no estado de Santa Catarina.

Entre Belmonte e Descanso, o rastro de danos apresenta aproximadamente 19 km de extensão, com predominância de sinais de ventos lineares e danos divergentes associados à pulsos de correntes descendentes da retaguarda da supercélula. Os danos observados incluem matas nativas e plantações de eucalipto com árvores arrancadas pela raiz ou decepadas ao meio, além de destelhamentos parciais em edificações residenciais. No entanto, em dois pontos específicos, foram identificados danos convergentes. Em Belmonte, verificaram-se árvores derrubadas em direções opostas e decepadas ao meio, indicando circulação tornádica (Figura 18). Em Linha Itajubá, no município de Descanso, foram observados danos significativos em mata nativa, com grande número de árvores decepadas e derrubadas em um padrão convergente, também com características compatíveis com tornado.

As cidades de Xavantina e Passos Maia foram atingidas por supercélulas embebidas em um Sistema Convectivo de Mesoescala Quasi-Linear (QLCS), ambas associadas à ocorrência de tornados. Em Xavantina, o evento tornádico foi breve, e ainda há incertezas quanto à extensão completa dos danos observados via satélite. Em Passos Maia, na zona rural, ocorreu um tornado de maior intensidade. A análise preliminar de danos aponta para uma classificação EF-2 na Escala Fujita Melhorada. Foram registrados danos moderados, como florestas de Pinus totalmente decepadas na base, matas nativas intensamente desfolhadas, galpões destruídos, animais mortos, além de grandes araucárias e postes de concreto fraturados ao meio e arremessados a vários metros (Figura 13).

Em São José do Cerrito e Lages, um segmento em arco produziu ventos lineares intensos associados a um jato de retaguarda, e também, tornados devido a formação de um mesovórtice. Além disso, as imagens de satélite ambiental revelaram dois rastros com características convergentes, compatíveis com tornados. Não foi possível determinar exatamente o tamanho dos rastros por tornado, nem a intensidade devido a falta de imagens dos locais afetados.



Agradecemos:

À Defesa Civil do Estado de Santa Catarina que através do Gerente de Monitoramento e Alerta, Frederico Rudorff, que prontamente disponibilizou as imagens e vídeos dos sobrevoos com drones nas áreas afetadas.

A todos os colaboradores da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina que realizaram os voos com drones nas áreas solicitadas e sem as imagens feitas, as análises não poderiam ser realizadas.

Ao CPTEC - INPE, através da Dra. Izabelly Carvalho da Costa que também ajudou prontamente no processo dos sobrevoos de drone nas áreas afetadas.