



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

CARACTERIZAÇÃO DA FORÇA DESTRUTIVA DE UM TORNADO MÚLTIPLO VÓRTICE EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON E QUATRO PONTES - PR

*CHARACTERIZATION OF THE DESTRUCTIVE STRENGTH OF A MULTIPLE VORTEX TORNADO
IN MARECHAL CÂNDIDO RONDON AND FOUR BRIDGES – PR*

*CARACTERIZACIÓN DE LA FUERZA DESTRUCTIVA DE UN TORNADO VORTEX MÚLTIPLE EN
MARECHAL CÂNDIDO RONDON Y QUATRO PONTES – PR*

(Recebido em 18-03-2021; Aceito em 27-02-2022)

Karin Linete Hornes

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Paraná – Curitiba, Brasil
Professora Titular da Universidade Estadual de Ponta Grossa – Ponta Grossa, Brasil
klhornes@uepg.br

Nayara Almeida Rodrigues Vedovato

Licenciada em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Marechal Cândido
Rondon, Brasil
nayaraar_2012@hotmail.com

Adalberto Ben-Hur Bischof Junior

Pós-graduado em Defesa Civil pela Faculdade UNINA – Ponta Grossa, Brasil
Cabo do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná – Ponta Grossa, Brasil
adalbertobenhur@gmail.com

Eduardo Gomes Pinheiro

Pós-doutor em Gestão Urbana pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Curitiba, Brasil
Oficial Superior do Corpo de Bombeiros no Estado do Paraná e Pesquisador do Centro Universitário de
Estudos e Pesquisas sobre Desastres – Curitiba, Brasil
edugopinheiro@gmail.com

Resumo

O Estado do Paraná pertence ao corredor de tornados do Brasil. Neste sentido, é imprescindível organizar a sociedade para que as cidades possam se tornar mais resilientes quanto à atuação de tais eventos. Esta pesquisa apresenta uma análise dos níveis de destruição deixados pelo evento atmosférico tornádico ocorrido em 19 de novembro de 2015, nas cidades de Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes - PR. O trabalho teve como objetivo principal a catalogação e a espacialização do tipo e do nível de destruição utilizando como parâmetro a escala Fujita melhorada. A coleta dos dados contou com a realização de 402 questionários, que foram tabulados e permitiram a

construção de um mapa de danos, a quantificação e a qualificação de avarias em diferentes construções, bem como a identificação do tipo e da escala de destruição deixada por um tornado do tipo múltiplo vórtice. A motivação do trabalho ocorreu diante da necessidade de compreensão da dinâmica destrutiva de um tornado múltiplo vórtice em diferentes estruturas da cidade, com o intuito de propor alternativas de minimização de impactos a partir de uma análise dos danos materiais. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir com a Defesa Civil e a organização dos municípios no que diz respeito ao planejamento e à organização das cidades para ocorrências de situações de eventos naturais adversos.

Palavras-chave: Tornado; Múltiplo vórtice; Estruturas; Danos.

Abstract

The State of Paraná belongs to the tornado corridor in Brazil. In this sense, it is essential to organize society so that cities can become more resilient to the action of such events. This research presents an analysis of the levels of destruction left by the tornadic atmospheric event that occurred on November 19th, 2015, in the cities of Marechal Cândido Rondon and Quatro Pontes - PR. The main objective of the work was to catalog and spatialize the type and level of destruction using the Fujita scale as a parameter. The data collection included 402 questionnaires, which were tabulated and allowed the construction of a damage map, the quantification and qualification of damage in different constructions, as well as the identification of the type and scale of destruction left by a multiple vortex tornado. The motivation for the work occurred in view of the need to understand the destructive dynamics of a multiple vortex tornado in different structures of the city, in order to propose alternatives for minimizing impacts from an analysis of material damage. It is hoped that this research can contribute to the Civil Defense and the organization of municipalities regarding the planning and organization of cities for occurrences of adverse natural events.

Keywords: Tornado; Multiple vortex; Structures; Damage.

Resumen

El Estado de Paraná pertenece al corredor de tornados en Brasil, en este sentido es fundamental organizar la sociedad para que las ciudades sean más resilientes en la realización de tales eventos. Esta investigación presenta un análisis de los niveles de destrucción que dejó el evento atmosférico tornádico ocurrido el 19 de noviembre de 2015 en las ciudades de Marechal Cândido Rondon y Quatro Pontes - PR. El objetivo principal del trabajo fue catalogar y espacializar el tipo y nivel de destrucción utilizando la escala de Fujita como parámetro. La recolección de datos incluyó la realización de 402 cuestionarios, los cuales fueron tabulados y permitieron la construcción de un mapa de daños, la cuantificación y calificación de fallas en diferentes edificaciones; así como la identificación del tipo y escala de destrucción dejada por un tornado de vórtice múltiple. La motivación del trabajo se dio ante la necesidad de comprender la dinámica destructiva de un tornado de vórtices múltiples en diferentes estructuras de la ciudad con el fin de proponer alternativas de minimización de impactos a partir de un análisis de daños materiales. Se espera que esta investigación pueda contribuir a la defensa civil y la organización de los municipios en lo que respecta a la planificación y organización de las ciudades para situaciones de eventos naturales adversos.

Palabras clave: Tornado; Vórtice múltiple; Estructuras; Dañar.

Introdução

Os tornados podem ocorrer em diversas partes do mundo. Já foram registrados tornados em países como Inglaterra, Canadá, China, França, Alemanha, Holanda, Hungria, Índia, Itália, Japão,

Rússia e, até mesmo, em Bermudas e nas Ilhas Fiji. Porém, eles não estão restritos somente a estes países.

Os mais frequentes e violentos acontecem nos Estados Unidos da América, em uma média de mais de 800 tornados anualmente (INPE, 2015). É por isso que o acontecimento sempre foi associado ao EUA, mais precisamente ao corredor dos tornados.

No entanto, há vários anos existem registros de que este fenômeno atua também no Brasil. A ocorrência dos tornados no Brasil não é registrada por um órgão específico, assim, apenas os tornados que causam grande monta de destruição acabam sendo catalogados por órgãos de meteorologia e pela defesa civil. Os demais ficam apenas nos registros individuais. Além de tudo, o acontecimento ainda é confundido com outras denominações que não estão relacionados ao evento, como vendaval, tormenta ou micro explosão.

O fenômeno especificamente ocorrido nos municípios de Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes, no estado do Paraná, na data de 19 de novembro de 2015, foi confirmado pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). Este evento deixou cerca de 1500 casas avariadas e atingiu 200 empresas além de áreas públicas (Sistema de Defesa Civil). A Copel (Companhia Paranaense de Energia) notificou que aproximadamente 14 mil imóveis ficaram sem energia elétrica.

A tempestade ocorreu por volta das 16:00 de uma quinta-feira. A tempestade afetou escolas e estabelecimentos comerciais que, no presente momento, estavam repletos de cidadãos. As duas escolas atingidas solicitaram a presença de pesquisadores da instituição (UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná) para auxiliar nas explicações relacionadas ao fenômeno. Pois, como informado pela direção, elas apresentavam estresse psicológico pós-traumático, necessitando de apoio profissional e de informações a respeito do que havia acontecido naquele momento (G1 GLOBO, 2015). Assim foi realizada uma intervenção a pedido da escola, pois as crianças questionavam o motivo da formação do fenômeno e solicitavam instruções do que fazer nestes momentos, pois nunca haviam passado por uma situação como esta. Nestas circunstâncias averigua-se o quão necessário é a sensibilização frente a atuação de tornados no Brasil e, principalmente, no Paraná, tendo em vista que muitos desconhecem o seu funcionamento e as ações que devem ser tomadas antes e durante os momentos extremos destas ocorrências.

A pretensão do trabalho foi o de contribuir com a verificação do funcionamento de um tornado de múltiplo vórtice na superfície. A pesquisa contabilizou de forma quantitativa e qualitativa o aspecto de destruição, correlacionando-o com fatores estruturais, através da verificação da destruição a partir de parâmetros construtivos e dimensionais de equipamentos urbanos, a fim de investigar se a

destruição foi mais intensa devido a problemas de configuração da dimensão da estrutura e material que poderiam potencializar a vulnerabilidades ao fenômeno ou a dissociação desta comparação.

Os resultados da pesquisa permitiram mapear os locais de maior destruição do evento e indicar as estruturas mais vulneráveis, assim como as mais seguras e resistentes ao fenômeno. A presente apuração contribuiu ainda com a defesa civil na organização dos municípios no que diz respeito a instruções para à resiliência das cidades para ocorrências de situações de tempo severo.

Metodologia

Para a realização do laboro, procedeu-se o levantamento bibliográfico a respeito da gênese e do funcionamento dos tornados, utilizando-se de publicações prévias do INPE (2016), NOAA (2017), SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná, 2016), ClimaTempo (2015), Barry e Chorley, (2013), dentre outros. Para a descrição dos tornados, foram retomados autores como Christopherson (2012), Brooks, Carbin e Marsh (2014), Bechtel e Samaras (2009) e, por fim, Cândido (2012), pesquisador responsável por realizar uma dissertação acerca da atuação dos tornados em algumas áreas do Brasil. Para a descrição da atividade de tornados múltiplo vórtices foram utilizados os trabalhos de Nascimento (*et. al*, 2014) que caracterizou o tornado ocorrido em Indaituba (SP), Wurman (*et al*. 2014) que reportou o tornado múltiplo vórtice de El Reno, Fujita (*et al*. 1972) que descreveu a atividade de vórtices de sucção no Japão e por fim Barry e Chorley (2013) que expuseram as dinâmicas envolvidas na atuação de um múltiplo vórtices.

Após o levantamento do referencial teórico, deu-se início às visitas e a realização dos questionários para averiguação do nível de destruição pós-tornádica. As vistorias ocorreram duas semanas após o evento e perduraram cerca 10 dias de atividades alternadas. Elas foram efetuadas junto às pessoas que tiveram danos ou não em suas residências ou locais de trabalho, tanto na área rural quanto urbana (no percurso do tornado). As inquirições dispostas na enquete passaram pelo crivo de uma engenheira para a verificação das terminologias corretas dos materiais e estruturas. Todos os questionários vieram acompanhados do termo de cessão gratuita de direitos de depoimento oral e/ou questionário escrito. A investigação (questionário) totalizou 402 evidências entre equipamentos citadinos, casas, igrejas, indústrias etc. Dentre os sinistros 389 apresentaram danos e 13 estavam sem avarias. Os dados sem agravos, se referem a estruturas residenciais que estavam na área de concentração de destruição no perímetro urbano de Marechal Cândido Rondon, área do percurso da tormenta e não sofreram nenhuma avaria. O representativo percentual da amostragem foi de 23% da área do universo de edificações públicas e privadas catalogadas como afetadas nos relatórios do evento elaborados pela Defesa Civil local.

Como a atividade tornádica evidenciava a atuação de múltiplos vórtices optou-se por realizar o procedimento de análise longitudinal e transversal da área de maior concentração destrutiva. Assim, determinadas ruas, no sentido transversal à passagem, foram selecionadas para verificar as possíveis diferenças de intensidade destrutiva do seu trajeto (perfil horizontal da destruição), em conjunto com a direção preferencial do vento comandante (perfil longitudinal) e área nuclear do percurso da tormenta. Para a classificação do tipo de destruição, a escala Fujita melhorada foi utilizada como norteadora para a construção do questionário (Quadro 1, Quadro 2), a fim de averiguar a força destrutiva em diferentes materiais. No Quadro 2 houve o detalhamento dos tipos de construções e da área total construtiva, assim, foi possível relacionar a constituição do equipamento com o nível de destruição. Os vários tipos de construções utilizam materiais distintos e possuem estruturas e alicerces cujo feito pode deixá-los mais ou menos suscetível ao fenômeno. Apesar de constar no questionário (Quadro 1) os itens avaliados de vegetação e postes foram adquiridos através dos relatórios de danos municipais, dada a dificuldade gerada pela contabilização e georreferenciamento com a aproximação de tantos danos próximos às estruturas avaliadas. Os prejuízos de outros bens como automóveis foram obtidos em reportagens, porque algumas das ocorrências não estavam na área de concentração utilizada para o levantamento de dados. Estas informações foram acrescidas porque o tombamento e destruição de veículos são utilizados para comparação de velocidade do vento na escala Fujita Melhorada.

Quadro 1: Tipo de destruição dos equipamentos urbanos e rurais.

Tipo de destruição	Destruição
Altitude:	
Telhados	1-() parcial 2-() total
Vegetação	1-() árvores totalmente arrancadas 2-() árvores quebradas 3-() vegetação baixa atingida
Postes	1-() quebrados 2-() abalados 3-() não houve
Prejuízos de outros bens	1() carro 2() moto 3() outros.....
Pessoas feridas	Sim () não () quantidade.....

Quadro 2: Tipo de estrutura

Perfil	Características
Tipos de construção	1-() mista 2-() madeira 3-() alvenaria 4-() alvenaria sem coluna 5-() pré moldado de concreto 6-() pré fabricados; (blocos e stul frame) 7-() estrutura metálica 8-() silo
Tipos de residência	1-() térrea 2-() sobrado 3-() prédios acima de 2 andares 4-() barracão
Tamanho da residência	1-() 0 à 50m 2-() 50 à 100m 3-() 100 à 150m 4-() 150 `a 300m 5-() acima de 300 m
Cobertura da residência	1-() telhas de barro 2-() concreto 3-() fibrocimento 4-() zinco 5-() shingle (telhas asfálticas)

De posse dos dados, a tabulação permitiu a análise e a identificação dos diversos tipos de destruição ocorridos a determinadas estruturas e quais as características de residências e de estabelecimentos comerciais e industriais que apresentaram maior vulnerabilidade frente à passagem do tornado.

Após a tabulação de dados e com a plotagem dos pontos georeferenciados obtidos com o *GPS* (GARMIN-ETREX LEGEND C), foi possível calcular a largura aproximada da atividade da tormenta e seu percurso. As variações de intensidade de destruição foram classificadas com diferentes colorações, e a intensidade de destruição seguiu os parâmetros da escala Fujita Melhorada (CHRISTOPHERSON, 2012). O georreferenciamento permitiu a construção do mapa do percurso e dos níveis de destruição já publicados na revista *RA´ EGA* (HORNES; BALICKI, 2018) e replicados aqui para análise detalhada dos níveis de destruição. Assim, definiu-se a configuração equivalente à força destrutiva (Quadro 3).

Quadro 3: Níveis de destruição

Escala Fujita Melhorada	Nível de destruição	Tipo de dano
EF0	0 (Amarelo)	Sem danos
EF1	1(Verde limão)	Galhos Quebrados
EF1	2(Azul)	Destelhamento parcial; caules quebrados, descascados e postes inclinados
EF2	3 (Roxo)	telhados inteiros, arrancados; árvores arrancadas pela raiz; postes quebrados
EF2	4 (Vermelho)	Carro arrastado por poucos metros; caminhão e ônibus tombado; estruturas totalmente destruídas como: Residências, barracões e silos.

Após a classificação, foi possível construir o mapa com pontos de níveis de destruição, produzidos através dos softwares *Arc Gis*, *Google Map*, *CorelDraw X5* e *Global Mapper 15*.

Ocorrência e gênese dos tornados

Um tornado é definido com uma coluna de ar volvente integrada a uma nuvem convectiva, que toca o solo ou então uma superfície mais elevada. Eles são visíveis como uma nuvem em formato de funil, mas podem ser visualizados como uma coluna de pó ou detritos rotativos, ou não visualizados caso não possuam partículas visíveis disponíveis para serem suspensas. Em alguns casos, eles não são observados ao todo ou são aparentes apenas de um ângulo restrito em decorrência da precipitação (BLUESTEIN, 2013). O funil pode ter a possibilidade de tocar ou não o solo e pode ser constituído de uma única coluna de ar em parafuso ou, ainda, formar tornados de vórtices múltiplos, que giram em torno de um centro comum (CHRISTOPHERSON, 2012, p.224).

Os tornados surgem em áreas continentais (BARRY E CHORLEY, 2013). Eles costumam se desenvolver dentro de sistemas convectivos de Mesoescala, os quais podem originar complexos aleatórios instáveis. De acordo com o INPE (2016), embora tornados possam ocorrer a qualquer hora, eles são mais frequentes entre os horários de 16h e 18h, quando o ar na superfície é mais instável. A primavera e o verão são as estações com maior registro de casos. Uma única nuvem de crescimento

vertical, denominada *cúmulos-nimbos*, é a responsável pela movimentação intensa de fortes fluxos de ar, gerando instabilidade e tempestades (BARRY e CHORLEY, 2013).

O que serve de gatilho desencadeador dessa nuvem é a instabilidade do ar, quando uma massa de ar frio se choca com uma enorme depressão atmosférica. O ar seco e frio é empurrado para baixo, e o ar quente é empurrado para cima, resultando no encontro que começa uma rotação, gerando, por sua vez, uma troca de energia. Ao final, esta instabilidade pode evoluir para a formação de um funil apenas, ou, ainda, de vários funis de menor tamanho. Quando estes funis tocam qualquer estrutura superficial eles podem gerar danos, dependendo do tipo de construção, bem como, da força de rotação. O mesociclone ou nuvem geradora, também pode trazer danos, sem, necessariamente, tocar a superfície, pois a instabilidade de ventos da nuvem é intensa. Mas a velocidade de rotação é menor quando comparada a dos funis, pois como se trata de uma massa maior seu movimento é retardado.

Um dos elementos responsáveis pelo disparo de convecção profunda são os JBN (Jato de Baixos Níveis) que favorecem o deslocamento da umidade proporcionando a desestabilização da atmosfera. O eventual encontro entre Jatos de Baixo e Jatos de Altos Níveis podem desencadear tempo severo, quando estes entram em um ajuste de massa na propagação de rajada de ventos troposféricos superiores (UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, 1979).

A cordilheira dos Andes e as bacias hidrográficas, como a do Paraná, de acordo com Cavalcanti *et al.* (2009), exercem um papel fundamental no ciclo de vida dos CCMs (Complexo Convectivo de Meso Escala). Além disso, a umidade associada aos ventos catabáticos (JBN), que descem a montanha e sofrem ascensão no vale, funcionam como combustível necessário para a convecção e o surgimento dos CCMs. Quando as condições são favoráveis para convecção, ocasionalmente, um número de tempestades individuais cresce em tamanho e organiza-se em um grande sistema de convecção. Estes sistemas CCMs são 1000 vezes maiores do que uma *cúmulu-nimbo* individual atingindo cerca de 100.000 km², podendo cobrir um estado inteiro, atuando por até 12 horas (INPE, 2015), produzindo uma variedade de tormentas atmosféricas, incluindo granizos, ventos fortes, enchentes súbitas e tornados.

As causas da origem de um tornado estão relacionadas a eventos que ocorrem dentro e ao redor de uma tempestade. No interior, os ventos predominantes fazem o ar girar sobre um eixo horizontal, até que, em dado momento, o vento ascendente faz as correntes de ar girarem sobre um eixo vertical, levando-o para cima, assim, o vento ascendente começa a girar junto com a coluna de ar em rotação, podendo, a qualquer momento, formar-se um funil.

Múltiplos Vórtices

As primeiras evidências de tornados múltiplos vórtices foram registradas pela primeira vez por VanTassel a partir da análise de fotografias aéreas (FUJITA, *et al.* 1972). Os tornados de múltiplos vórtices possuem sub vórtices com forte sucção também denominados de tornados satélites ou secundários, eles têm sido postulados como os responsáveis por danos extremos e variabilidade local de dano (BLUESTEIN, 2013). Esses tornados são muito raros e muitos intensos, orbitam o núcleo da circulação maior do tornado (BARRY e CHORLEY 2013) e deixam marcas de danos cicloidalis que são indicativos de vórtices de escala menor girando em torno de um eixo comum (BLUESTEIN, 2013).

Este fenômeno de ocorrência de vários vórtices, muito observado nos EUA, também foi descrito no Brasil em Indaiatuba (SP) no ano de 2005. Nascimento *et al.* (2014) caracterizou a atividade de Indaiatuba do dia 24 de maio de 2005 como sendo uma tempestade de supercélulas que se desenvolveu a frente de uma frente fria, em um ambiente úmido com um jato de baixo nível. A tempestade produziu um tornado que seguiu aproximadamente 15 Km de comprimento de NW-SE (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Os autores utilizam um vídeo da atividade para evidenciar o aparecimento de subvórtices.

Barry e Chorley (2013, p. 261) descrevem que estes vórtices giram todos em um centro comum durante o deslocamento, disputando energia e espaço entre os vórtices. O centro comum (mesociclone) também rotaciona, mas em velocidade menor a dos subvórtices, os quais podem girar cerca de 160 km/h de velocidade a mais do que o mesociclone gerador (NOAA, 2017). Os subvórtices tendem a realizar *Loop* (giro) com movimento anômalo de rápida mudança dos vórtices podendo mover-se rapidamente ou ficar estacionário, contrair-se ou intensificar-se (WURMAN, *et al.* 2014). Em 31 de maio de 2013, o pesquisador e caçador de tornados Tim Samaras faleceu em decorrência a atividade de um provável subvórtice que arremessou o seu veículo. Wurman em conjunto com outros pesquisadores (2014) conseguiu rastrear a presença de alguns subvórtices em imagens de satélite e verificou a presença de “anéis” de destruição causados pela celeridade de subvórtices.

Ted Fujita reportou a atuação de um Múltiplo vórtice em Omiya no Japão em 7 de julho de 1971 (FUJITA, *et al.* 1972). A atividade ocorreu associada a atuação de um ciclone tropical denominado Lvy que proporcionou o aparecimento de um mesociclone e, a seguir, um tornado ciclônico. Em seu trabalho ele averiguou que o tornado mudou a intensidade desde o início ao seu término deixando no percurso variações de intensidade de destruição. Ele observou que a faixa norte e nordeste apresentava danos de intensidade compatíveis a um F3 e havia a existência de faixas de

vórtices de sucção. No entanto, no lado oeste não houve dano. Assim ele concluiu que o vórtice de sucção ocorreu de forma abrupta. Em um cemitério Fujita (*et al.* 1972) averiguou que várias fundações das lápides mais altas foram derrubadas, em meio a uma grande maioria intacta. Uma plantação de batata-doce, foi o que permitiu a identificação mais precisa da atividade do vórtice secundário, a partir do mapeamento da direção dos ramos estendidos na direção do vento mais forte. No caso do seu estudo o diâmetro da ocorrência dos vórtices de sucção apresentavam cerca de 1 a 2 metros. Estas observações permitiram à Fujita (*et al.* 1972) encontrar características importantes relacionadas aos vórtices de sucção. A grande maioria dos tornados são identificados como de sucção única. No entanto, quando o diâmetro do núcleo de um tornado aumenta de tamanho ele é frequentemente caracterizado por uma série de marcas elípticas ou cicloidais que correspondem ao campo de sucção ao redor do grande núcleo pois não pode mais manter a estabilidade, dividindo-se em vários pontos onde a intensidade da sucção concentra-se localmente. Assim, uma ampla faixa de danos de um dos pequenos núcleos de vórtice pode ser considerada axialmente simétrica agindo como um centro de sucção rotativa. Os efeitos da sucção se concentram ao redor de vários pontos distribuídos em torno de um grande núcleo do tornado, cada ponto deve estar em um estado de rotação secundária para manter a intensidade de sucção durante sua viagem ao redor do núcleo (FUJITA, *et al.* 1972).

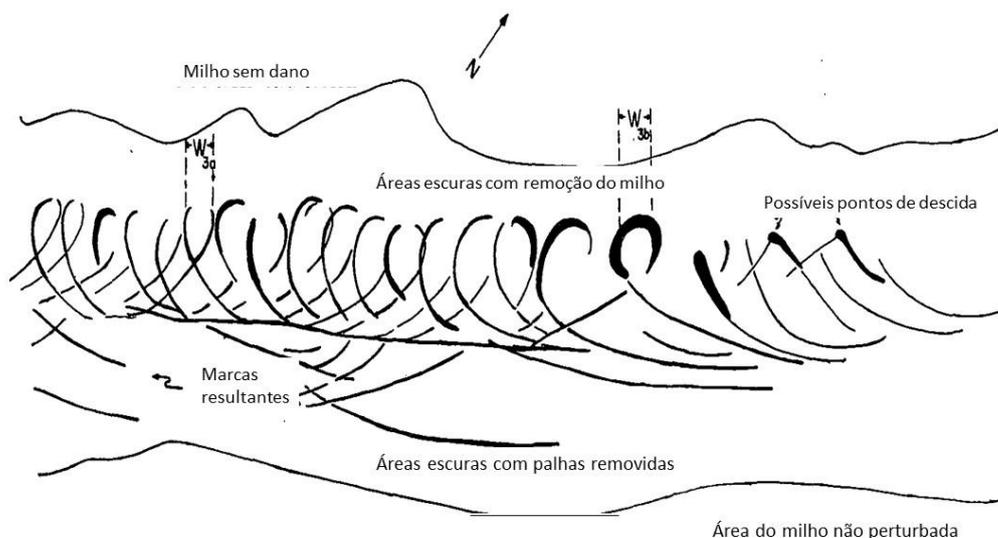
Agee (*et al.* 1977) após analisar atuação de um tornado múltiplo vórtice em de Lafayette Indiana em 20 de março de 1976, identificou padrões de detritos cicloidais produzidos por estes vórtices de sucção (Figura 1). Sua análise foi realizada a partir de fotografias aéreas em quatro estudos de casos. Um dos casos reportados se refere ao campo de detritos presentes em uma plantação de milho (Figura 1). Na plantação houve a possibilidade da identificação do início de depósitos de detritos cicloidais pronunciados com marcas de deriva (sulcos) da qual o autor utiliza o termo *drift*. Estes sulcos são causados pelas bordas principais e arrastadas da entrada e saída dos vórtices de sucção variando de tamanho em superfície. Os autores observaram alguns detritos dispostos de forma cicloidal e em poucas disposições indicavam um provável *lopping* (giro) total do subvórtice. O autor afirma que os múltiplos vórtices se formam na borda principal do sistema do tornado e movem-se por aceleração na parte traseira do mesociclone e os novos vórtices de sucção repetem a mesma dinâmica.

Estes vórtices de sucção passam por aceleração e intensificação e em seguida continuam na parte de trás da borda principal passando para a borda principal sofrendo desaceleração enfraquecendo e se dissipando. Essas características puderam redimensionar às estimativas de

velocidade tangencial dos métodos de mudança de giro e largura do giro representam valores médios e máximos, respectivamente. Os autores evidenciaram variações nos valores médios da velocidade tangencial de um vórtice de sucção de acordo com as estimativas de mudança de giro. As variações ocorreram de 26,4 a 44 m s⁻¹ e valores máximos de acordo com estimativas de largura de *loop* variou de 44,0 a 61,6 m s⁻¹ à medida que o tornado crescia para seu estágio mais intenso. Os levantamentos aéreos e terrestres da pista de danos também mostraram que o padrão de detritos cicloidais correspondia a uma região de danos de velocidade do vento F3 e F4. A pesquisa demonstrou evidências de uma variação da força inicial da atividade tornádica. A velocidade inicial e os danos foram menores em seu início, quando houve sua intensificação ocorreu o aumento da velocidade e da destruição e ao término, a velocidade volta a diminuir.

Os subvórtices surgem em grupos de 2 a 5, sendo raros os que possuem um número de vórtices entre 6 ou 7. Estes subvórtices, geralmente, duram menos de um minuto cada (BARRY; CHORLEY, 2013). Acredita-se que a maioria dos relatos de vários tornados de uma só vez, fenômeno conhecido por família de tornados, deve-se à ação de tornados de múltiplo vórtices. No entanto, em raras ocasiões, tornados independentes podem sim se formar perto um do outro, como tornados satélites (NOAA, 2017).

Figura 1: Análise de detritos cicloidais com larguras de alças identificadas. A figura também apresenta os possíveis pontos de descida e deriva



Fonte: Agee et al. 1977 adaptado por Hornes (2021)

Caracterização da destruição

O tornado registrado no município de Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes ocorreu na primavera, no horário mais comum sugerido pela literatura, isto é, no período da tarde, próximo às 16h05. Apesar da pouca duração do evento, ele trouxe muitos prejuízos, financeiros e emocionais, aos habitantes das localidades. As áreas afetadas foram a linha rural de Curvado e os seguintes bairros urbanos: Boa vista, Vila Gaúcha, Centro, Ana Paula, São Lucas e Jardim Marechal. A dissipação do tornado se deu no parque industrial III, já na cidade vizinha de Quatro Pontes (Figura 2, canto inferior direito SW).

Seu início adveio nas proximidades de uma granja, em uma área de cultivo de soja (Figura 2, canto superior esquerdo NW), concordando com as discussões do NOAA (2020) que apontam as áreas agrícolas férteis com maior frequência de atuações. Esta questão pode estar atrelada às diferenças de temperatura entre a atmosfera e o solo, no entanto, são necessários mais estudos para tal afirmação. No local, nenhuma árvore foi arrancada pela raiz, apenas alguns eucaliptos foram quebrados. As plantações de soja e de milho, respectivamente, não sofreram nenhuma avaria. Isto possibilita inferir que o tornado tocou somente estruturas mais altas, como telhados, silos, barracões, postes e árvores, não atuando com intensidade próximo a 2,0 metros do solo.

Durante o seu percurso de 16 km, com 15 minutos de duração, aproximadamente, foi possível evidenciar que o tornado apresentou diferentes níveis de destruição, não podendo lhe conferir uma única escala concordando com as descrições de Fujita (et al. 1972) e Agee (et al. 1977). Pelos cálculos realizados por Hornes e Balicki (2018, p.43), "o deslocamento do centro do tornado no chão foi de 64,08 km/h de noroeste para sudeste, com diâmetro máximo de circulação de 50 a 100 metros no início de seu toque e de 750 metros no perímetro urbano de Marechal". Sua área destrutiva variou de tamanho desde a sua incoação até o remate. O grande diâmetro pode ter sido o elemento de desestabilização para a criação dos múltiplos vórtices de sucção como descrito por Fujita (et al. 1972). Ficou evidente que os danos maiores se concentraram no perímetro urbano, dada a densidade demográfica ser superior a da área rural. Outro fator que pode estar relacionado seria as diferenças de altitudes existentes entre a área rural (350 metros aproximadamente) do município e o perímetro urbano (400 a 450 metros aproximadamente) o que facilitou à nuvem arrimar-se sobre a cidade e provocar mais danos.

O tornado ocorrido em Marechal e Quatro Pontes foi do tipo de múltiplo vórtices. A confirmação pode ser realizada em campo e em conjunto com os vídeos disponibilizados pelo autor no link <https://www.youtube.com/watch?v=Bt1mUqnbxdU> (GUERREIRO, 2015). A base do mesociclone fica a cerca de 45 metros de altura da superfície, medida inferida a partir da comparação da estrutura predial

presente no percurso. Na filmagem é possível evidenciar a atuação de vários subvórtices rotacionando um núcleo e a superfície de forma anelar, a parte “traseira” da nuvem tende a concentrar as maiores atividades dos vórtices de sucção, comparada à parte frontal. Em alguns momentos os vórtices ficam mais intensos, estabilizam, contraem-se e até rotacionam, concordando com as descrições de Wurman. (*et al.* 2014) depois se desfazem. Na filmagem no frame de 40 segundos é crível visualizar até 5 subvórtices tocando o solo. Após a plotagem dos dados de destruição, foi possível evidenciar a presença de pontos com maior nível de destruição o que provavelmente corresponderiam aos anéis cicloidais das atividades dos vórtices de sucção na superfície descritos por Agee (*et al.* 1977) e que na presente pesquisa foram denominados de arcos de destruição. No entanto seria pertinente a comparação com fotografias aéreas do local destruído, o que não foi possível obter para o presente trabalho.

Na plotagem dos pontos de dados é possível observar uma maior concentração de níveis maiores de destruição na direção Sul (cores vermelha e roxa). Isto pode estar relacionado à velocidade de rotação (V) do tornado que se soma a velocidade de transição (T) do tornado (lado Sul) uma vez que o vento comandante do evento está disposto no quadrante de NW para SE; E diante da atuação dos vórtices de sucção estes têm a seu favor a velocidade de rotação do tornado, no entanto enfrentarão os ventos comandantes sendo assim possuem as velocidades de transição diminuída. A equação a seguir expressa a situação os subvórtices que acompanham o vento concordante seriam representados por $V+T$, os subvórtices que se deslocam de forma discordante seguindo a direção SW-NE seriam representados por $V-T$.

Figura 2: Níveis de destruição do percurso do Tornado em Marechal Cândido Rondon



Fonte: Autores

Os arcos de destruição provocam situações como as descritas na figura 3, nas quais é possível verificar residências com grandes avarias ao lado de residências sem danos (Figura 3).

Figura 3: Avarias no centro e outras casas ao redor sem danos



Fonte: Portal Rondon, 2015.

As figuras 2 e 3 permitem identificar os pontos e o arco dos subvórtices (pressão menor e rotação mais acelerada), onde a destruição estaria elencada como nível quatro de categoria, definido no quadro 3, correspondendo a atuação de um EF2. Na imagem (Figura 3) fica evidente o campo de detritos do telhado da igreja em disposição cicloidal.

O SIMEPAR (2016) classificou o tornado de MCR como sendo da categoria EF1. Entretanto, a análise dos níveis de estragos, acoplados com as condições das estruturas, demonstra que a atividade chegou à escala destrutiva EF2. A ferocidade dos ventos tombou um caminhão, dois ônibus (Figura 4), e um carro, arrancou árvores pelas raízes (Figura 5) e destruiu silos (Figura 7), casas (Figura 6), barracões, empresas (Figura 7), supermercados, escolas, granjas, ginásios, dentre outros espaços. Durante a aplicação do questionário foi possível evidenciar que ao menos três pessoas necessitaram de atendimento médico por ferimentos, uma delas ficou em situação grave e foi encaminhada para internamento, não houve mortes registradas. A prefeitura informou que ao menos 20 pessoas passaram pela unidade de saúde 24 horas (AGÊNCIA BRASIL, 2015). Destaca-se que um entrevistado relatou sua experiência particular aquém do questionário, seu pai havia falecido de depressão dias depois ao ocorrido por não suportar tamanha destruição de sua propriedade.

Figura 4: ônibus tombado



Fonte: Correio do ar (19/11/2015).

Figura 5: Árvore arrancada pela raiz



Fonte: Martins V. (19/11/2015). Acervo particular

Figura 6: Casa mista destruída



Fonte: Desconhecida (19/11/2015).

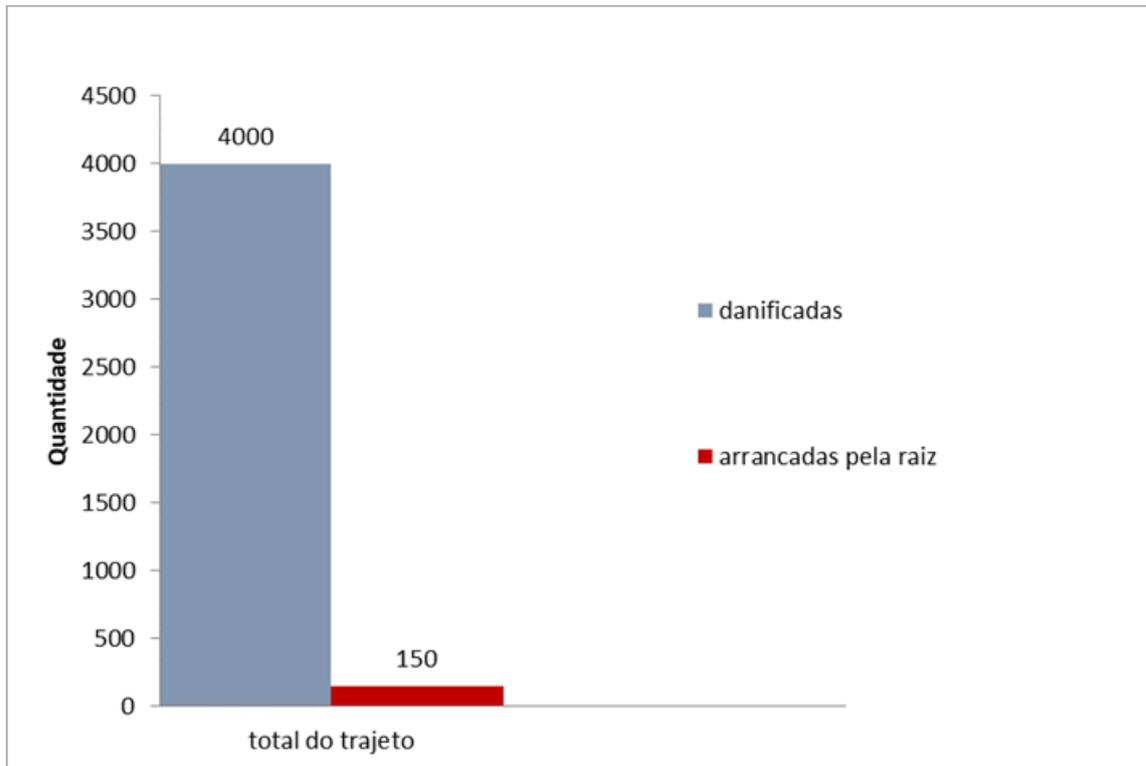
Figura 7: Empresa



Fonte: Portal Rondon (19/11/2015).

A vegetação também foi danificada (Figura 8) galhos e troncos foram retorcidos e arrancados, aproximadamente 150 árvores sofreram avarias em diferentes locais do percurso (CATVE, 2015).

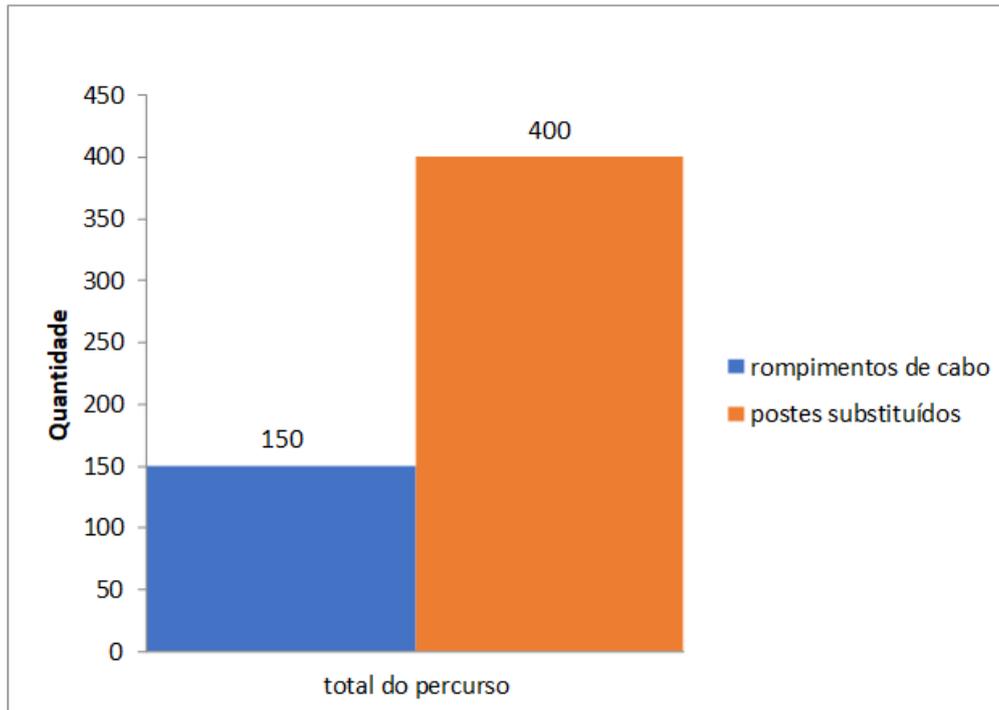
Figura 8: Vegetação com avarias



Fonte: Prefeitura municipal de Marechal Cândido Rondon-PR (2015).

Os dados equivalentes aos postes de iluminação (Figura 9) do percurso foram levantados pela defesa civil em parceria com a BPfron (Batalhão de Fronteira) de acordo com a PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON (2015) 400 postes necessitaram de substituição pois suas estruturas ficaram comprometidas (Figuras 10 e 11).

Figura 9: Avarias em Postes de iluminação



Fonte: Prefeitura municipal de Marechal Cândido Rondon (2015).

Ocorreram cerca de 150 rompimentos de cabos de energia (Figura 11), alguns locais do município ficaram vários dias sem energia elétrica (CATVE, 2015), 14.000 unidades consumidoras ficaram sem energia.

Figura 10: Postes e cabos abaulados



Figura 11: Postes quebrados



Na pesquisa, foram descritas 339 construções de alvenaria, 29 mistas (tijolos e madeira), 18 pré-moldados, 12 estruturas metálicas (barracões), 2 pré-fabricados (barracões), 2 silos (metálicos). Das 339 construções de alvenaria pesquisadas, 2,7% tiveram destruição total. Quanto às 29 construções mistas, 10% tiveram destruição total e 3% do total verificado no percurso não tiveram danos.

Quadro 4: Construções e níveis de destruição

Nível de Destruição	Alvenaria	Mista	Pré-moldados	Estrutura metálica	Pré-fabricados	Silos Metálicos
Parcial	322	17	18	0	2	0
Completo	09	07	0	12	0	2
Sem danos	8	5	0	0	0	0
Total	339	29	18	12	2	2

Destaca-se que as colunas de concreto pré-moldado de concreto não sofreram avarias (Figura 12), somente suas coberturas e vigas metálicas, as quais são constituídas de folhas de zinco ou fibrocimento de grandes dimensões, é que sofreram grandes avarias, ficando totalmente retorcidas e danificadas.

Com relação ao telhado (Quadro 2), destaca-se que apenas cinco (5) construções, ou 1,5% das construções com telha de cerâmica (granja e residências), sofreram destruição total. As estruturas cobertas com telhas de Zinco tiveram danos totais do telhado. Em relação à telha de fibrocimento, 22% das residências apresentaram danos integrais no telhado. No que se refere às Telhas *shingle*, apenas duas casas foram qualificadas, sendo que ambas apresentaram destruição parcial.

Quadro 5: Destruições nas coberturas

Nível de destruição	Telhas de cerâmica	Telhas de zinco	Telhas de fibrocimento	Telhas de <i>shingle</i>
Parcial	275	0	68	2
Completo	05	20	19	0
Sem danos	8	0	5	0
Total destruído	288	20	92	2

A pesquisa permitiu verificar a relação entre o tamanho das construções e a destruição ocorrida. As 18 construções acima de 300 metros quadrados visitadas durante a realização dos questionários, tiveram danos consideráveis (quadro 3) nos telhados, tendo suas estruturas danificadas, sendo necessária quase que a substituição completa. Destaca-se a empresa Metal Rondon (Figura 12) e as quadras poliesportivas das escolas atingidas (Figura 13), as quais tiveram os telhados totalmente removidos. Além disso, na empresa as paredes sofreram danos severos, enquanto que nas escolas o dano foi integral.

Conforme a diminuição da área construída, verificou-se que houve a minimização de estragos (Quadro 3). Assim, para as construções de 50m² a 100 m², em sua maioria residências, 20% tiveram destruição total e 80% destruição parcial. Para as construções de 100m² a 150 m², o resultado foi 19% de dano total e 81% parcial, enquanto que para as construções de 150m² a 300 m², o resultado foi de 70% de avaria total e 30% parcial. Um total de 3% não teve danos, destacando-se que 8 das ocorrências eram casas térreas de até 100 metros.

Figura 12: Manutenção da Estrutura de Pré-Moldados



Fonte: Portal Rondon (19/11/2015).

Figura 13: Cobertura da Quadra de esportes destruída



Fonte: Marechal News (19/11/2015).

Quadro 6: Tamanho das estruturas

Nível de destruição	50-100m ²	100-150m ²	150-300m ²	Acima de 300m ²
Parcial	338	13	03	0
Completa	07	03	07	18
Sem danos	8	5	0	0
Total destruído	353	21	10	18

Com relação aos tipos de residências, verificou-se que das 345 estruturas térreas, 326 tiveram danos parciais 73% e 27% (7 residências) avarias totais (Quadro 4). Apenas 3% das residências térreas não tiveram danos. Das 12 construções de sobrado visitadas, todas apresentaram apenas destruição parcial e uma não apresentou danos.

Quadro 7: Tipos de estruturas

Nível de destruição	Residências térrea	Sobrado
Parcial	326	12
Completa	7	0
Sem danos	12	1
Total destruído	345	13

Considerações finais

Após a conclusão do levantamento de dados em campo, ficou comprovado que o tornado que atingiu Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes foi do tipo múltiplo vórtice. Os dados catalogados permitiram a identificação pontos de destruição intensa correspondente a atuação dos vórtices de sucção, que proporcionaram diferentes níveis de danos em espaços próximos. O tamanho de seu raio e a escala de destruição variaram do início ao término de seu trajeto, não podendo lhe conferir uma única categoria.

Os vórtices de sucção giraram em torno de um núcleo principal, com maior concentração de atuação desses na parte “traseira da nuvem”, os mesmos vórtices rotacionaram rapidamente, em alguns casos estacionaram brevemente, contraíram e intensificaram. Na plotagem dos dados identificou-se linhas com danos semelhantes em forma de arco, uma evidência de destruição com detritos dispostos de forma cicloidal o que são indicativos da presença da atuação dos múltiplos vórtices.

As maiores construções em área foram as mais colapsadas, sendo mais suscetíveis à destruição, provavelmente, o fato está relacionado à altura e ao maior contato aerodinâmico do telhado dessas edificações com o fenômeno. Quanto à utilização de diferentes materiais para a construção do telhado, verificou-se que o Zinco foi o material que mais sofreu avarias, seguido pelas telhas de fibrocimento. Esses materiais foram projetados pelo tornado ampliando o espectro de destruição afetando estruturas circunvizinhas e a fiação elétrica.

No campo do desenvolvimento de medidas que contribuam com a resiliência das cidades a esses fenômenos, sugere-se aos arquitetos, engenheiros, e habitantes que, ao construírem suas casas e demais tipos de edificações; considerem a possibilidade de construção de cômodos e estruturas mais seguros para situações adversas, os quais possam servir como células de sobrevivência. Para que possam utilizar como abrigo nesses casos. Granjas, estábulos, chiqueiros e indústrias que possuem amplas construções são facilmente danificados, portanto, projetar estes locais com estruturas mais adequadas a suportar a força do vento, pode ser a diferença entre a manutenção da vida de pessoas e animais.

Quanto à distribuição de energia elétrica, as redes, poderiam ser subterrâneas como alternativa para a minimização dos impactos e a perda econômica gerada pela danificação dos postes e cabos. A manutenção e escolha adequada das espécies de árvores para o perímetro urbano também é uma opção que amenizariam os impactos, pois a queda de grandes árvores acabou contribuindo com o agravamento da situação, principalmente aquelas próximas a vias públicas que aparentemente tiveram suas raízes pouco preservadas, tornando-as vulneráveis.

Para o enfrentamento dos danos pessoais e econômicos, sugere-se a sensibilização, a preparação e o planejamento da população frente a tempestades severas; com adoção de medidas como planos de comunicação de risco e formas de propagação de avisos meteorológicos enviados pelos órgãos de Defesa Civil. O Brasil e o Paraná possuem atuação de tornados e vendavais e a população deve ser informada dos riscos e das formas de proteção, para poder sobreviver frente a eventos adversos dessa magnitude. Faz-se necessário reconhecer os riscos aos quais a sociedade está exposta buscando agregar resiliência, conhecimento e, principalmente, planejamento urbano. De forma geral, ficou latente que os cidadãos de Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes desconheciam totalmente o fenômeno e as ações de preparação. Estas evidências foram constatadas informalmente, durante a realização dos questionários e na visita às escolas onde alguém das perguntas dos questionários os entrevistados partilhavam suas experiências. As pessoas nos questionavam a respeito da gênese do evento, pois não compreendiam a sua formação, relataram segurar as portas de alguns empreendimentos por solicitação de superiores e até mesmo de suas residências, acreditando realizar a melhor alternativa para proteção. Outras se dirigiram até o tornado com seus veículos, e algumas filmaram o evento se expondo aos riscos.

A pesquisa limitou-se a uma área de 23% do total afetado, tendo em vista a grande extensão de danos, bem como não avalia as possibilidades de associações das estruturas das edificações e as correlações com as dinâmicas dos ventos, como, por exemplo, a angulação dos telhados. Assim sugere-se a realização de mais pesquisas que tragam luz a estes questionamentos, bem como correlacionar fotografias aéreas e imagens de satélites de alta resolução para analisar a atuação cicloidal dos vórtices de sucção em todo o percurso.

Convém pontuar que a partir da percepção que essa análise retrógrada de um evento desastroso ocorrido, trazendo a caracterização dos tipos de edificações mais vulneráveis ao tornado, torna-se possível estender o conhecimento aplicando-o como parametrização de mapeamentos que levem em conta todas as edificações dos municípios, classificando-as de forma hierarquizada a partir de uma relação do menor para o maior risco de colapso diante de vendavais e tornados.

Referências

- AGEE, M., SNOW, J. T.; NICKERSON, F. S.; CLARE, P. R.; CHURCH, C. R. SHAAL L. A. Na observational Study of the West Lafayette, Indiana, Tornado of 20 March 1976. *Monthly Weather Review*, 105(7), 893-907, 1977. Retrieved Sep 10, 2021, Disponível em: < https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/105/7/1520-0493_1977_105_0893_aosotw_2_0_co_2.xml> Acesso em 10 set. 2021.
- AGENCIA BRASIL. Tornado atinge Marechal Cândido Rondon a Oeste do Paraná. Brasília 20 nov. 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-11/tornado-atinge-marechal-candido-rondon-no-parana> Acesso em: 12 dez. 2015.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. *Atmosfera Tempo e Clima*, 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BECHTEL; SAMARAS. *Tornado Hunter. Getting Inside the Most Violent Storms on Earth*. Editora. National Geographic, 2009.
- BLUESTEIN, H. B. *Severe convective storms and tornadoes: observations and dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 2013. p. 307.
- BROOKS, H. E.; CARBIN, G. W.; MARSH, P. T. Increased variability of tornado occurrence in the United States. *Science*, v. 346, n. 6207, p. 349-352, 17 out. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/346/6207/349.full?ijkey=V4IFAtBPQBdw6&keytype=ref&siteid=sci>>. Acesso em: 12 dez. 2015.
- CÂNDIDO, D. H. *Tornados e trombas-d'água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos*. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências; Campinas, SP.: [s.n.], 2012.
- CAMPANHA PARA PREVENÇÃO CONTRA TEMPESTADES SEVERAS. Recuperado de: <<https://www.opresente.com.br/marechal-candido-rondon/campanha-para-prevencao-contra-tempestades-severas-inicia-hoje-marechal/>> O Presente, 2018. Acesso em: 17 de mar. 2021.
- CATVE. Imagens feitas com drones mostram estragos em Marechal Cândido Rondon. Cascavel 25 de Jan. 2015. Disponível em: <https://catve.com/noticia/6/134297/imagens-feitas-com-drone-mostram-estragos-em-marechal-candido-rondon> Acesso em: 17 de mar. 2021.
- CAVALCANTI, F.A. IRACEMA *et al.* *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo. Oficina de textos, 2009.
- CLIMATEMPO. Diferença entre tornado e micro explosão. In: *Portal Climatedpo*, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.climatedpo.com.br/noticia/2016/05/16/qual-a-diferenca-entre-tornado-downburst-e-micro-explosao--2441>>. Acesso em: 18 dez. 2015.
- CHRISTOPHERSON, Robert W. *Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física*, Tradução: Francisco Eliseu Aquino. (et al.). 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- FUJITA, T. Theodore, WATANABE, Kazuo; TSUCHIYA, kioishi, SHIMADA, Moriya. Typhoon-Associated Tornadoes in Japan and New Evidence of Suction Vortices in a Tornado near Tokyo. *Reprinted from the Journal of the Meteorological Society of Japan*. Vo 50, N ° 5, outubro 28, 1972. Disponível em: <<https://swco-ir.tdl.org/handle/10605/262128>>. Acesso em 09 de set. 2021.
- G1 GLOBO. Psicólogas atendem crianças após tornado em Marechal C. Rondon. Cascavel 25 nov. 2015. Disponível em: < <https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2015/11/psicologas-atendem-criancas-apos-tornado-em-marechal-c-rondon.html>> Acesso em 09 de set. 2021.
- GUERREIRO, R. Marechal Rondon, tornado atinge a cidade e causa grande destruição. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Bt1mUqnbxdU>>. Acesso em: 30 de ago. 2021.
- HORNES, K.L. BALICKI, M. Análise do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. *Revista Ra'e Ga*, 44, 36-54, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/47761>> Acesso em 09 de set. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Tornados. In: *Portal CPTEC*, Glossários, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#18>>. Acesso em: 4 ago. 2015.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Glossários. In: *Portal CPTEC*, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>>. Acesso em: 16 mar. 2016.
- NASCIMENTO E. D. L.; HELD H.; GOMES A. M. A Multiple-Vortex Tornado in Southeastern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 142, n. 9, p. 3017-3037, 2014. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/MWR-D-13-00319.1>>. Acesso em: 11 jul. 2016.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Tornadoes. In: *Physical Sciences Laboratory*, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/programs/infrasound/FAQ.html>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S Tornado Climatology. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events/us-tornado-climatology>>. Acesso em: 17 mar. 2020.
- PORTAL RONDON (20/11/2015). *Tornado causa destruição em Marechal Cândido Rondon*. Disponível em: <<https://www.radiopiratuba.com.br/noticias/noticia/id:1914;tornado->>> Acesso em: 10 set. 2021.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CANDIDO RONDON. Disponível em: <<http://www.mcr.pr.gov.br/noticias/3861>> Acesso em: 19 jun. 2016.
- RODRIGUES, N.A. (2017). *Caracterização da atuação do Tornado ocorrido em 19 de Novembro De 2015 Em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes – PR*. 80 f. Monografia graduação em licenciatura em Geografia. Universidade do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.
- SIMEPAR. Análise climática para o período de 16 a 31 de julho de 2015 para o Estado do Paraná. In: *Portal SIMEPAR*, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- SISTEMA INTEGRADO DA DEFESA CIVIL- ESTADO DO PARANÁ. Histórico de ocorrência, da atividade tornádica de Marechal Cândido Rondon. Novembro, 2015.
- UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective systems. *Journals Ametsoc. Mon. Wea. Rev.*, v. 107, p. 682-703, 1979. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/107/6/1520-0493_1979_107_0682_tcoval_2_0_co_2.xml> Acesso em: 10 de set. 2021.
- WURMAN, J., KOSIBA, K., ROBINSON, P., & MARSHALL, T. (2014). The Role of Multiple-Vortex Tornado Structure in Causing Storm Researcher Fatalities, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95 (1), 31-45, 2014. Disponível em <<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/1/bams-d-13-00221.1.xml>> Acesso em 30 de agosto de 2021.