



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.01.13.31-NTC

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA PREVISÃO PROBABILÍSTICA DE TEMPO SEVERO

Bruno Zanetti Ribeiro
Guilherme Touchtenhagen Schild
Izabelly Carvalho da Costa

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43BKQF8>>

INPE
São José dos Campos
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.01.13.31-NTC

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA PREVISÃO PROBABILÍSTICA DE TEMPO SEVERO

Bruno Zanetti Ribeiro
Guilherme Touchtenhagen Schild
Izabelly Carvalho da Costa

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43BKQF8>>

INPE
São José dos Campos
2020



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.



Proposta de metodologia para previsão probabilística de tempo severo

Bruno Zanetti Ribeiro, Guilherme Touchenhagen Schild e Izabelly Carvalho da Costa

Agradecimentos: Lais Alves Santos e Ernani de Lima Nascimento

INTRODUÇÃO

Este documento descreve uma metodologia para previsão de tempestades severas baseado em níveis de risco de tempo severo. Esta metodologia se baseia no conceito de que a previsão de tempestades severas e envio de alertas em escala local (de cidades e municípios) só é possível com poucas horas ou minutos de antecedência. Contudo, o preparo da população e dos tomadores de decisões deve ser realizado com maior antecedência, principalmente quando ocorrem eventos de alto impacto social. Uma alternativa utilizada por alguns países é realizar um processo de previsão em que há um gradativo refinamento espacial e temporal conforme o evento se aproxima. Esse processo geralmente tem três etapas: primeiramente se faz uma previsão de escala sinótica/mesoescala que identifica condições favoráveis a ocorrência de tempestades severas (previsão “por ingredientes”) e tenta quantificar a probabilidade de tempo severo em uma determinada região; em segundo lugar, conforme a formação de tempestades severas é iminente, se faz uma previsão de mesoescala em que detalhes sobre a intensidade e tipo das tempestades é determinado; e, por fim, a emissão de alertas de curtíssimo prazo ocorre conforme a tempestade se desloca em direção a uma determinada localidade. A metodologia proposta através deste documento é associada ao primeiro passo desse processo idealizado de previsão de tempestades severas. Os diferentes níveis de risco de tempo severo são baseados em critérios definidos pelo *Storm Prediction Center*, dos Estados Unidos, e servem de base para diversos países (<https://www.spc.noaa.gov/>).



A METODOLOGIA

Primeiramente, é necessário definir uma tempestade severa como qualquer tempestade que produz um ou mais dos seguintes elementos:

- Granizo de diâmetro > 2 cm;
- Rajada de vento > 90 km/h e/ou danos por vento (queda de árvores, destelhamentos, danos estruturais a construções, etc);
- Tornado;

A inclusão de chuva intensa e/ou enxurrada associada a tempestade convectiva poderá ser realizada no futuro, mas exige uma maior discussão da comunidade meteorológica.

A previsão probabilística trata de atribuir probabilidades de tempo severo a uma determinada região. Como a probabilidade de um ponto qualquer registrar tempo severo é climatologicamente baixa, em vez de utilizar um ponto define-se uma área em volta do ponto com raio de influência de 40 km. Portanto, está sendo estimada a probabilidade de um registro de tempo severo ocorrer até 40 km de distância de um ponto dentro da área.

Uma maneira de visualizar essa metodologia é supor quadrados de 80×80 km², com aproximadamente 40 km de raio (Figura 1). Esse quadrado seria o raio de influência aproximado de uma ocorrência de tempo severo. Se ocorre tempo severo em qualquer ponto dentro desse quadrado, o quadrado inteiro é considerado como afetado por tempo severo. Se for traçado um contorno hipotético que abrange aproximadamente 20 desses quadrados de 80×80 km² e houver 1 ocorrência de tempo severo nessa área (Figura 1a), a probabilidade de um quadrado qualquer na área ser o atingido por tempo severo teria sido de 5% (1 quadrado em 20 = 0,05). Nessa mesma área, por exemplo, uma probabilidade de 15% de tempo severo significa que se espera que 3 quadrados sejam atingidos (3 quadrados de 20 = 0,15), e assim por diante. A probabilidade de tempo severo na área é igual ao número de quadrados com registros dividido pelo número de quadrados totais. Portanto, a probabilidade prevista de tempo severo está de certa maneira associada a uma *densidade de registros de tempo severo* em uma área. Quanto maior a densidade de registros, maior a probabilidade de que um ponto qualquer na área seja atingido.

Com base nessa área hipotética que tem 20 quadrados de 80 x 80 km², definem-se alguns limiares para utilização na estimativa da probabilidade de tempo severo: 5% (1 de 20 quadrados com registro de tempo severo; Figura 1a), 15% (3 de 20; Figura 1b), 30% (6 de 20; Figura 1c), 45% (9 de 20; Figura 1d).

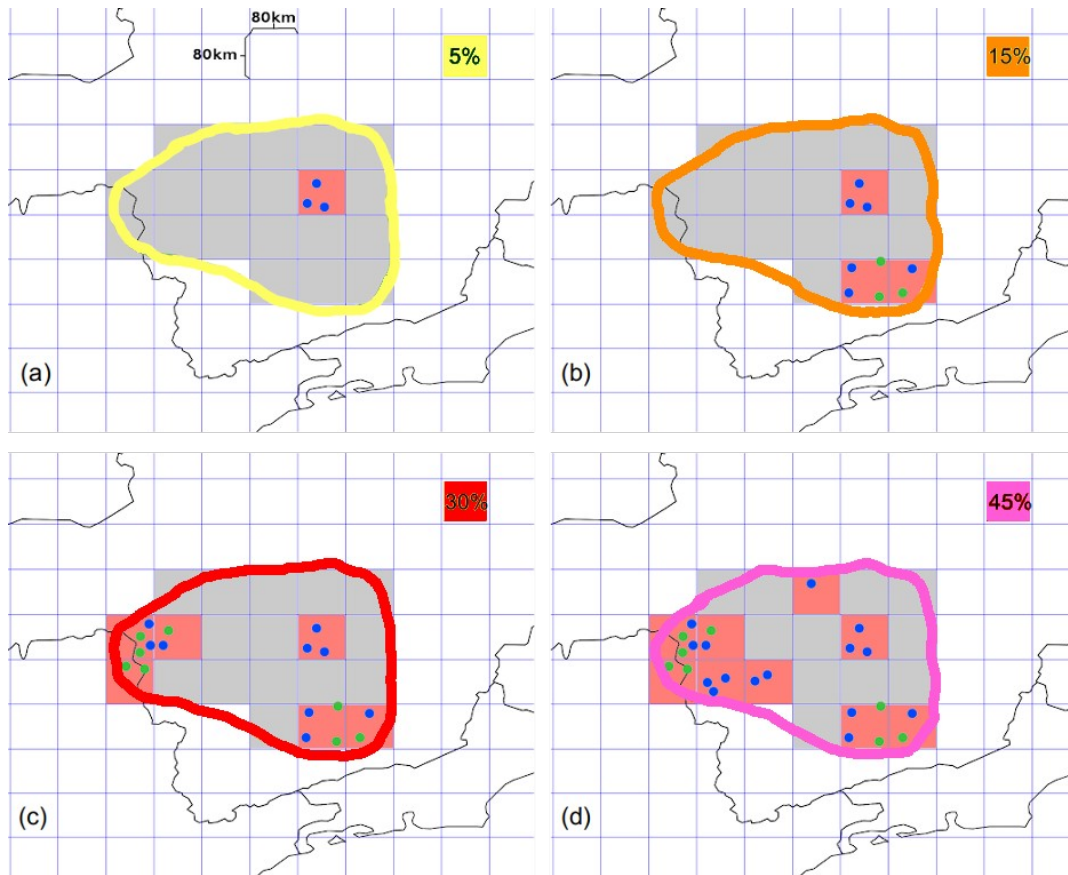


Figura 1 - Níveis de risco de tempo severo considerando a área hipotética. Os quadrados em cinza são os considerados como dentro da área do contorno colorido. Os pontos verde e azul são ocorrências de tempo severo, e qualquer quadrado que teve uma ou mais ocorrências está em vermelho.

Como os eventos de tempo severo têm probabilidades distintas, decidiu-se por definir riscos “gerais” baseados nas probabilidades de cada tipo de evento (Tabela 1). O risco geral de uma determinada área é sempre o risco mais alto entre os tipos. Por exemplo, se for prevista probabilidade de 30% de granizo (Nível 3), 15% (Nível 2) de vento e 5% de tornado (Nível 2), o nível geral que prevalece é o 3, liderado pelo maior risco de granizo.

Tabela 1 – Limiares de probabilidade de ocorrência de tempo severo de acordo com o tipo e o nível de risco geral associado.

Tipo de evento	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Granizo/vento	5%	15%	30%	45%
Tornado	2%	5%	10%	15%

As probabilidades também podem ser categorizadas conforme Tabela 2 de uma maneira simplificada e de mais fácil entendimento.

Tabela 2 – Descrição simplificada dos níveis de risco de tempo severo. A última linha indica a raridade do nível de risco *de uma maneira geral*, uma vez que em algumas regiões do país tempestades severas são mais frequentes que em outras.

Tempestades não-severas	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Tempestades esperadas, mas sem tempo severo associado	Tempestades severas isoladas e/ou pouco organizadas	Algumas tempestades severas organizadas	Muitas tempestades severas organizadas, algumas significativas	Muitas tempestades severas com alto potencial destrutivo
Muito comum	Comum	Relativamente comum	Incomum	Raro

É importante ressaltar que as probabilidades de tempo severo associadas aos diferentes riscos *devem servir apenas como uma base para as previsões*. Alguns fatores como a intensidade das tempestades previstas devem ser levados em consideração para, por exemplo, aumentar o nível de risco em uma determinada área em relação ao nível de risco que seria utilizado apenas considerando a cobertura espacial do evento. Em uma situação em que a quantidade de



tempestades esperada é pequena (uma ou duas tempestades isoladas) mas em que o ambiente favorece tempestades com alto potencial de severidade (capazes de causar granizo maior que 4 cm, vento acima de 120 km/h e/ou um tornado), o meteorologista pode utilizar um nível mais alto para realçar esse risco elevado. Essa subjetividade em algumas situações é necessária dado que não existe uma maneira totalmente objetiva de lidar com a previsão de tempestades severas de maneira efetiva.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Abaixo são mostrados quatro exemplos de níveis de risco que seriam atribuídos a alguns eventos já ocorridos. Estes exemplos de níveis de risco seriam uma “previsão perfeita” para os respectivos eventos, ou seja, a melhor previsão possível de ser emitida por um meteorologista com base na metodologia proposta e sabendo o que ocorreria no dia. Deve-se levar em consideração que os registros de tempo severo são baseados em relatos na mídia e redes sociais, portanto podem ter ocorrido tempestades severas em locais em que não há registros.

O caso de 30/05/2019 (Figura 2a) foi caracterizado por um ambiente com alto CAPE e cisalhamento no setor quente no PR, e uma frente estacionária entre PR e SC. Durante a manhã, supercélulas elevadas se desenvolveram no leste do PR e causaram granizo grande nos arredores da região metropolitana de Curitiba, atingindo posteriormente o Vale do Ribeira, no sul de SP. Varias supercélulas se desenvolveram no oeste de SC e no PR durante a tarde, uma das quais causou um ou mais tornados no centro do PR. Esse exemplo mostra o que seria um Nível 3 com boa cobertura de registros de tempo severo, incluindo alguns significativos como granizo grande e vento de mais de 100 km/h. As áreas de Níveis 2 e 1 estão associadas a menor cobertura de tempo severo.

O evento de 10/06/2020 (Figura 2b) teve como destaque os registros de tornado em Descanso e Belmonte, SC. Esses tornados foram intensos e causaram destruição significativa nas cidades. Além disso, há mais cinco localidades em SC e sul do PR com suspeita de tornados com base nos danos e assinaturas de radar. Portanto, apesar de não haver uma grande densidade de registros na área de Nível 3, o ambiente era favorável a supercélulas com alto potencial

destrutivo e potencial de tornados intensos. Portanto, o Nível 3 nessa área seria mais adequado que o Nível 2, pois apesar de terem ocorrido poucas tempestades elas foram muito severas. Conforme Tabela 1, a probabilidade de tornados nesse dia possivelmente foi superior a 10%, o que estaria associado ao Nível 3.

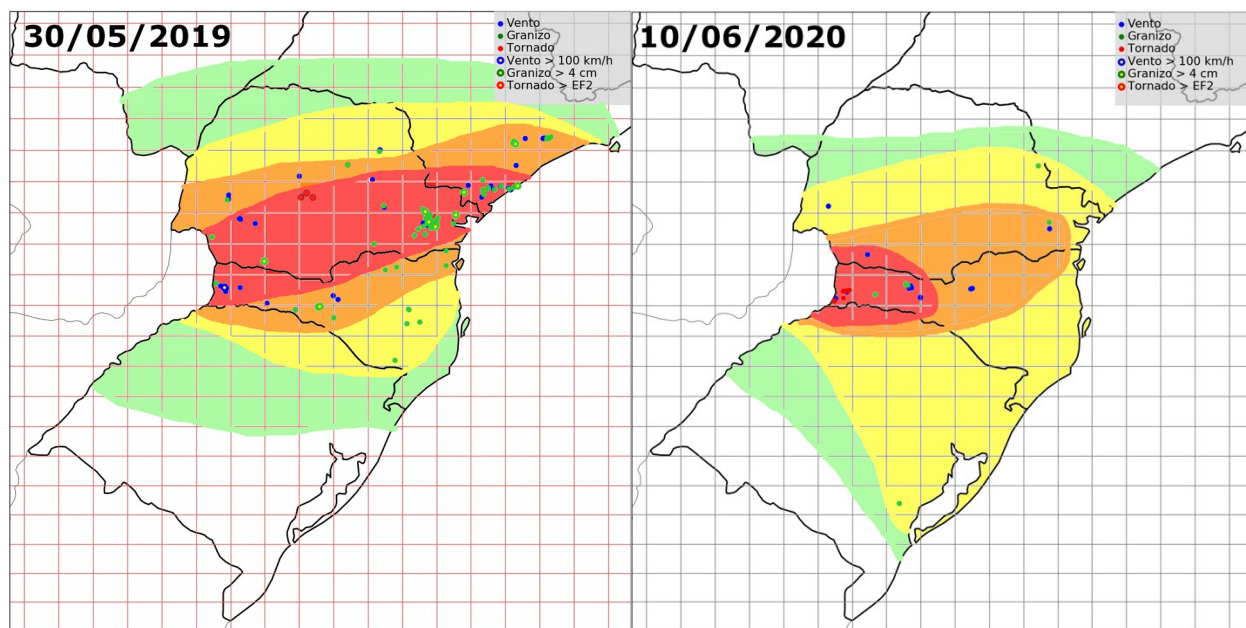


Figura 2 - Registros de tempo severo ocorridos entre 1200 UTC do dia e 1200 UTC do dia seguinte para os eventos de 30/05/2019 (esquerda) e 10/06/2020 (direita). Os níveis de risco aproximados que deveriam ter sido previstos para esses eventos considerando o que ocorreu e utilizando a metodologia proposta estão sombreados conforme cores da Tabela 1.

Na tarde do dia 15/09/2018 (Figura 3a), algumas supercélulas se formaram no leste de SP e avançaram até o sul de MG, causando granizo de tamanho médio e danos por vento. O número de tempestades não foi muito alto, e as tempestades não tinham um alto potencial de tempo severo (não houve granizo maior que 4 cm e/ou rajadas de vento significativas). Havia intenso cisalhamento do vento mas pouca instabilidade. Portanto, o Nível 2 seria suficiente neste dia dado que a densidade de registros não foi muito alta e não foram danos muito significativos.

No dia 30/06/2020 (Figura 3b), uma intensa linha de instabilidade se formou no norte do RS e oeste de SC e se moveu rapidamente até o litoral de SC e PR, causando ampla destruição por

vento. Em alguns locais, é possível que tornados associados a mesovórtices ao longo da linha tenham sido os responsáveis pela destruição. Algumas supercélulas também se formaram no centro-oeste do PR, onde houve granizo de mais de 5 cm. O ambiente era caracterizado por cisalhamento do vento muito alto associado a um padrão sinótico dinâmico e uma ciclogênese explosiva que ocorria no leste de SC. Este evento é um caso claro do que seria o Nível 4, que é um nível reservado para eventos raros e de alto poder destrutivo. Houve rajadas de vento severas e significativas (> 100 km/h) em muitos locais dentro da área mais atingida, com poucos municípios poupados de danos por vento. As supercélulas no centro-oeste do PR também estiveram associadas a alta densidade de registros de tempo severo, porém menor que na área de Nível 4.

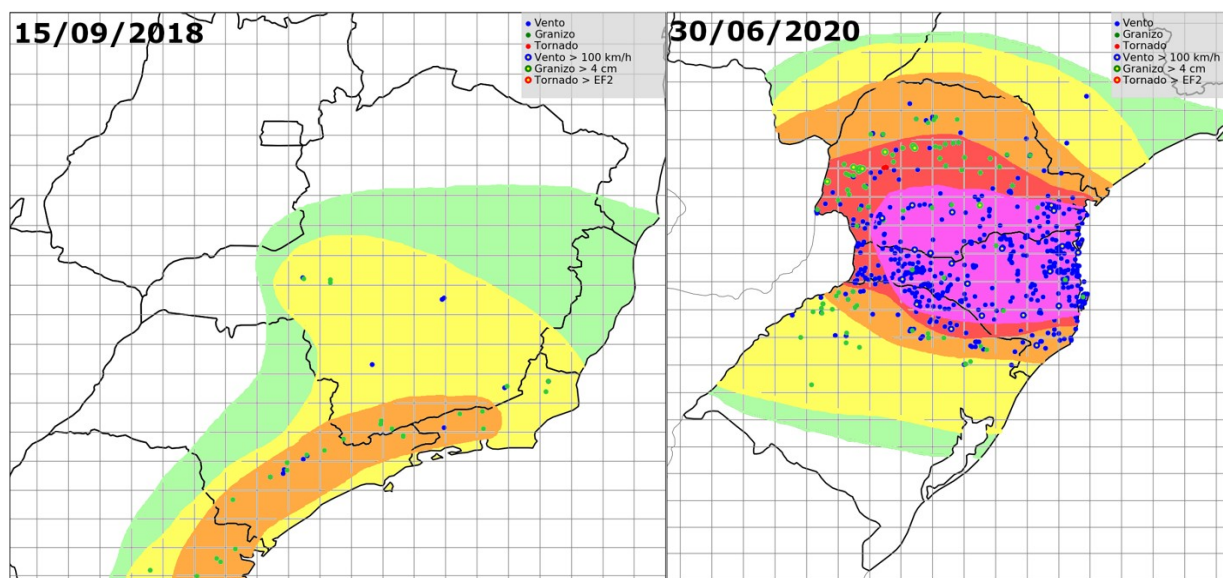


Figura 3 - Registros de tempo severo ocorridos entre 1200 UTC do dia e 1200 UTC do dia seguinte para os eventos de 15/09/2018 (esquerda) e 30/06/2020 (direita). Os níveis de risco aproximados que deveriam ter sido previstos para esses eventos considerando o que ocorreu e utilizando a metodologia proposta estão sombreados conforme cores da Tabela 1.



COMENTÁRIOS FINAIS

Este documento descreve uma proposta de metodologia para a previsão de tempestades severas em escala de ~6 horas a alguns dias antes da ocorrência do evento. A metodologia explora critérios objetivos associados à distribuição espacial dos registros de tempo severo ocorridos, mas admite que alguma subjetividade deve existir no contexto de previsão dado que o risco real associado a um evento de tempo severo não pode ser mensurado facilmente. Contudo, apesar de haver uma certa subjetividade na interpretação dos diferentes níveis de risco em determinadas situações, a previsão feita por um meteorologista deve ser baseada em critérios técnicos utilizando os conceitos da previsão por ingredientes. Assim, diferentes meteorologistas com conhecimento na área de previsão de tempo severo devem ser capazes de realizar previsões semelhantes para o mesmo evento, pois se baseiam nos mesmos critérios técnicos.

A metodologia proposta aqui não tem o objetivo de ser uma versão final, mas sim o começo da discussão desse tipo de estratégia no Brasil. Com o uso por diferentes meteorologistas, melhorias na metodologia devem ser discutidas, entre as quais se destaca a inclusão de enxurradas/alagamentos associados exclusivamente a tempestades convectivas.

Esclarecimento

Este documento foi elaborado com o único objetivo de propor uma metodologia preliminar para lidar com a previsão de tempestades severas.

Esta metodologia pode ser utilizada por qualquer um que tiver interesse sob condições da seguinte referência: "Proposta de metodologia para previsão probabilística de tempo severo", em que os nomes dos autores estão listados abaixo no tópico “contatos”.

Contatos

Bruno Zanetti Ribeiro – brunoZR@gmail.com

Guilherme Touchtenhagen Schild – schildguilherme@gmail.com

Izabelly Carvalho da Costa – izabelly@gmail.com