

CIRCULAR TÉCNICA

7

Campinas, SP
Dezembro, 2022

Frequência de ocorrência de temperaturas extremas em épocas críticas das culturas agrícolas

Daniel de Castro Victoria
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Aryeverton Fortes de Oliveira
Santiago Vianna Cuadra
Alan Massaru Nakai

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Frequência de ocorrência de temperaturas extremas em épocas críticas das culturas agrícolas¹

Resumo

A produção agrícola está sujeita a diferentes adversidades agrometeorológicas. Dentre essas podemos destacar a ocorrência de temperaturas extremas adversas, como máximas muito elevadas, que causam problemas durante a floração, ou mínimas muito baixas, relacionadas à ocorrência de geada. A identificação dos locais e épocas com alta ocorrência de temperaturas adversas é de extrema importância no estabelecimento do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc). Assim, foi desenvolvida metodologia para o mapeamento de áreas e épocas críticas, considerando não só a frequência de ocorrência de adversidades nos 36 decêndios do ano, mas também em períodos mais extensos. A metodologia desenvolvida se mostrou flexível para abarcar o caso de temperaturas acima ou abaixo de limiares críticos, bem como avaliar períodos críticos com um ou mais decêndios de comprimento. Os resultados obtidos mostram que a nova metodologia foi capaz de identificar áreas com elevada frequência de ocorrência de condições adversas que antes não estavam sendo consideradas pelo Zarc.

Introdução

A produção agrícola nacional está sujeita a diversos riscos com elevado potencial de perda, com estimativas apontando prejuízos da ordem de R\$11 bilhões por ano (Arias et al., 2015). Considerando a importância do setor agrí-

¹ Daniel de Castro Victoria, engenheiro-agrônomo, doutor em ciências; José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro, engenheiro-agrônomo, doutor em agrometeorologia; Aryeverton Fortes de Oliveira, economista, doutor em ciências (Economia Aplicada); Santiago Viana Cuadra, meteorologista, doutor em agronomia (Meteorologia Aplicada), pesquisadores da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; Alan Massaru Nakai, cientista da computação, doutor em ciência da computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

cola na economia nacional, responsável por 23% do PIB, 33% dos empregos e 45% das exportações (Arias et al., 2015), uma melhor gestão dos riscos agrícolas é de extrema importância para o País.

Os riscos agrícolas podem ser divididos em diferentes grupos, como risco de produção, de mercado e do ambiente de negócios. Eventos agrometeorológicos adversos se enquadram como um risco de produção, englobando fenômenos como secas, granizos, geadas, incêndios etc. Tais fenômenos podem ser cobertos por contratos de seguro rural, sendo que no Brasil podemos destacar dois programas governamentais: o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Programa de Subvenção ao Prêmio do *Seguro Rural* (PSR). O primeiro garante o pagamento de financiamentos de custeio agrícola no caso de perda de receita devido a eventos climáticos, pragas ou doenças (Banco Central do Brasil, 2022). Já o segundo fornece subsídios para apoiar produtores que queiram contratar seguros privados para proteger sua produção (Ozaki, 2016). Em termos de valores, durante as safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20, o Proagro indenizou em média R\$ 1,1 bilhão por ano, sendo a seca o principal evento causador de perdas, mas com crescimento dos eventos de geada e chuva excessiva (Banco Central do Brasil, 2020). De forma similar, eventos de seca são os que apresentam o maior valor 'em indenizações pagas pelo PSR, totalizando R\$1,2 bilhão entre os anos de 2006 a 2015, seguido de perdas causadas por granizo (R\$876 milhões) e geada (R\$386 milhões) (Ozaki, 2016).

Dentre as ferramentas para gestão do risco agrícola, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) merece destaque. Atuando juntamente ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Zarc teve início em 1995 com o objetivo de regionalizar os sinistros climáticos e permitir o escape dos riscos causados pelo regime de chuva (Santos; Martins, 2016). Com a evolução do Zarc outros riscos passaram a ser incluídos, como a ocorrência de temperaturas extremas. No caso do zoneamento dos citros, por exemplo, considera-se hoje como limitantes temperaturas máximas superiores a 36 °C. Já os limites de temperatura mínima variam de acordo com o ciclo da cultivar, não sendo desejadas mínimas iguais ou inferiores a 2 °C para cultivares superprecoces ou 1 °C para ciclos precoce a muito tardias (Brasil, 2021).

No Zarc, o risco relacionado às temperaturas extremas deve ser avaliado considerando todos os decêndios de um determinado período crítico de cada

cultura. Ou seja, caso uma cultura apresente um período em que é mais suscetível a temperaturas elevadas (ex.: época de floração), são avaliadas as frequências de ocorrência nesses decêndios específicos, variando de acordo com a data de semeadura e comprimento do ciclo. No entanto, até 2018, o cálculo da ocorrência de temperaturas adversas era realizado decêndio a decêndio, sem considerar períodos críticos mais longos. Assim, visando aprimorar as estimativas de risco, foi desenvolvida uma metodologia para contabilizar a frequência de ocorrência de temperaturas extremas considerando diferentes comprimentos de período crítico.

Material e Métodos

Dados meteorológicos: Duas bases de dados meteorológicos foram utilizadas. A primeira foi empregada no mapeamento das áreas com riscos de ocorrência de temperaturas extremas. Essa etapa foi realizada a partir dos dados de temperaturas máxima e mínima da base BR-DWGD Brazilian Daily Weather Gridded Data (Xavier et al., 2022). A base contém dados diários, de janeiro de 1961 a julho de 2020, para todo o território nacional, interpolados com $0,1^\circ$ (aproximadamente 10 km) de resolução espacial, com adição de efeito altimétrico. Neste trabalho foram utilizados os dados de 1980 a 2020.

A segunda base foi utilizada para verificar o procedimento computacional aplicado à primeira e assim avaliar os resultados alcançados. Foram obtidos dados horários de 187 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), para os estados RS, SC, PR, MS, SP e MG com pelo menos 10 anos de medições. Para cada estação foi calculada a temperatura mínima absoluta mensal (i.e. menor temperatura mínima ocorrida no mês), e tabulado o número de anos para os quais aquela estação apresentou temperatura mínima igual ou inferior a 2°C (valor crítico utilizado nos testes) nos meses de junho e outubro, ao longo de toda a série de dados. A frequência de ocorrência foi calculada pela razão entre o número de anos com temperatura mínima igual ou menor que o limiar e 4o número de anos na série de dados. Apesar de existir grande possibilidade de não haver independência entre as duas bases, a forma de cálculo da frequência de ocorrência entre elas é distinta. O procedimento aplicado aos dados da base BR-DWGD parte da temperatura mínima diária interpolada (Xavier et

al., 2022) para calcular a frequência de ocorrência decendial e, em seguida, calcular a frequência em períodos acumulados. Já o procedimento aplicado aos dados das estações, parte do dado horário de temperatura mínima do ar para estimar a frequência mensal. Assim, essa comparação teve como finalidade identificar se o procedimento que avalia a frequência decendial para, em seguida, obter a frequência mensal (períodos agregados) gera resultados compatíveis ao procedimento que estima diretamente a frequência mensal a partir dos dados horários.

Estimativa da frequência de ocorrência de temperatura extrema no período crítico: Resumidamente, esta etapa foi dividida em duas partes. Inicialmente se define uma temperatura limite (no caso foi efetuado teste com 2 °C) e se calcula a frequência de ocorrência de temperaturas acima ou abaixo desse limite em cada decêndio do ano, isoladamente. Em seguida é calculada a frequência de ocorrência em períodos mais longos, considerando fases críticas com duração de 1 a 72 decêndios. A seguir são apresentados maiores detalhes sobre cada uma das etapas. O procedimento em duas etapas, com o cálculo da frequência decendial para posterior agregação, tem a vantagem de permitir diferentes combinações de início e comprimento de fase crítica.

Frequência de ocorrência para decêndios isolados: Definida a temperatura crítica, identifica-se ao longo de toda a série de dados diários, a ocorrência de temperaturas superiores ou inferiores ao limiar. No caso da avaliação do risco de temperatura igual ou inferior a 2 °C, todos os mapas diários da base BR-DWGC são analisados e convertidos em máscaras binárias, indicando os locais com baixas temperaturas em cada dia. Na sequência, os dados diários são agregados nos 36 decêndios de cada ano, de 1980 a 2020, indicando a ocorrência ou não de pelo menos um dia com temperaturas adversas em cada período. Por fim, para cada um dos 36 decêndios, é contabilizado o número de vezes que foram observadas temperaturas adversas ao longo de toda a série (1980 a 2020), por exemplo, para o decêndio 16 (1 a 10 de junho) é contada quantas vezes esse apresentou temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C ao longo dos últimos 40 anos.

Frequência de ocorrência para decêndios sequenciais: A depender da cultura agrícola e do tipo de evento adverso, o período crítico pode variar de um ou poucos decêndios (ex.: efeito da temperatura máxima no período de floração) até o ciclo completo da cultura (ex.: temperaturas muito baixas – geada – em

banana). Dessa forma, é preciso calcular a frequência de ocorrência de períodos críticos iniciando em cada um dos 36 decêndios do ano, com comprimento de 1 a 72 decêndios. Como complicador, deve ser considerado que o evento adverso pode ocorrer a qualquer momento do período acumulado ou seja, ao longo de 3 decêndios, podemos ter temperaturas adversas no 1º, 2º ou 3º, bem como das combinações de decêndios 1 + 2, 1 + 3, 2 + 3 e 1 + 2 + 3. O número possível de combinações para um período é dado por 2^n , onde n é o número de decêndios. Considerando que é desejável avaliar períodos críticos que variam de 1 a 72 decêndios, temos que o número de combinações a serem avaliadas se tornaria muito elevado. Como alternativa podemos considerar apenas a combinação onde nenhum decêndio apresenta a ocorrência do evento adverso, avaliando assim a frequência de escape.

A probabilidade de ocorrência de dois eventos *independentes* é dada pelo produto da probabilidade da ocorrência de cada um isoladamente, i.e., $p(A \cap B) = p(A) \cdot p(B)$. Intuitivamente sabemos que eventos meteorológicos apresentam dependência temporal, principalmente em curtos períodos de tempo (dias quentes têm mais chance de ocorrerem após dias quentes). No entanto, com o intuito de simplificar a estimativa e o processamento, optou-se nesse momento por realizar a avaliação desconsiderando a dependência temporal. Espera-se sanar essa limitação do método em trabalhos futuros.

A Tabela 1 exemplifica o processamento efetuado para um período crítico com 3 decêndios, onde cada um apresenta a probabilidade de ocorrência de evento adverso de $p(\text{dec}_1) = 0,2$; $p(\text{dec}_2) = 0,15$ e $p(\text{dec}_3) = 0,25$. O total de combinações possíveis é de $2^3 = 8$, considerando a ocorrência da adversidade (células vermelhas já preenchidas com os valores de $p(\text{dec}_n)$) ou não (células verdes, preenchidas com valores $1-p(\text{dec}_n)$). Já a probabilidade de ocorrência de cada uma das combinações é dada pelo produto das probabilidades de cada decêndio. Para a 1ª combinação, temos a ocorrência da adversidade apenas no primeiro decêndio. Dessa forma a probabilidade no período é dada por $p(\text{dec}_1) \cdot (1-p(\text{dec}_2)) \cdot (1-p(\text{dec}_3))$, ou seja, $0,2 \cdot 0,85 \cdot 0,75 = 0,13$. A 8ª combinação representa a não ocorrência em todos os decêndios, ou seja, a probabilidade de escape. Assim, podemos calcular a probabilidade da ocorrência do evento adverso ao menos em um decêndio do período como $1 - p(\text{escape})$.

Tabela 1. Exemplo das possíveis combinações de ocorrência de evento adverso em um período de 3 decêndios e da probabilidade de ocorrência.

Prob. no decêndio	Decêndio 1	Decêndio 2	Decêndio 3	Prob. no período
	0,2	0,15	0,25	
Comb. 1	0,2	0,85	0,75	0,13
Comb. 2	0,8	0,15	0,75	0,09
Comb. 3	0,8	0,85	0,25	0,17
Comb. 4	0,2	0,15	0,75	0,02
Comb. 5	0,2	0,85	0,25	0,04
Comb. 6	0,8	0,15	0,25	0,03
Comb. 7	0,2	0,15	0,25	0,01
Comb. 8	0,8	0,85	0,75	0,51
(1 – escape) 0,49				

Células vermelhas indicam a ocorrência de evento adverso.

Assim, a frequência de ocorrência de um evento adverso no período crítico é

$$p(\text{período crítico}_{ij}) = 1 - \left(\prod_{n=i}^j p(\text{escape decêndio}_n) \right)$$

dada pela equação 1.

onde: $p(\text{período crítico}_{ij})$ é a frequência de ocorrência do evento adverso ao longo de todo o período crítico com início no decêndio i e término em j e $p(\text{escape decêndio}_n)$ é a frequência da não ocorrência do evento adverso no decêndio n .

Todo o procedimento descrito foi implementado na linguagem de programação R (The R Foundation, 2017) de forma a gerar produtos compatíveis com o *workflow* de processamento do Zarc. O código desenvolvido está disponível no endereço <https://www.gitlab.cnptia.embrapa.br/zoneamento/geada>.

Resultados e Discussão

O procedimento desenvolvido possibilita avaliar a frequência de ocorrência de temperaturas acima ou abaixo de qualquer limiar, fornecendo grande flexibilidade na análise dos dados. A título de ilustração, é apresentada a frequência de ocorrência de temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C para junho e outubro (Figura 1), meses com maior ou menor incidência de dias frios, respectivamente.

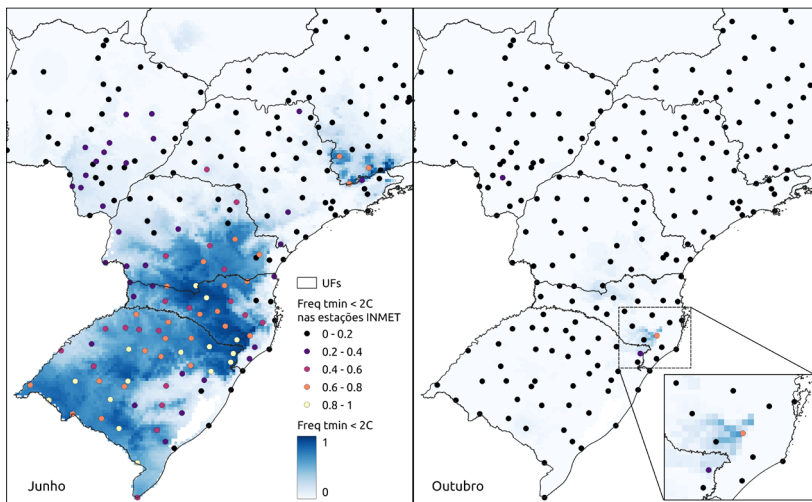


Figura 1. Frequência de ocorrência de temperatura mínima diária igual ou inferior a 2 °C para as estações automáticas do INMET e calculada pela metodologia desenvolvida para os meses de junho e outubro. os meses de junho e outubro.

A comparação com as 187 estações automáticas do INMET mostrou que o procedimento computacional empregado nos dados diários interpolados (base BR-DWGD), com a etapa intermediária que avalia a frequência decenal, resultou em estimativas de frequência mensal semelhantes quando calculadas a partir dos dados horários (Figura 2). Apesar de não haver independência entre as duas bases, o fato de procedimentos distintos de estimativa de frequência atingirem resultados semelhantes, aumenta a confiança na forma de cálculo aplicada.

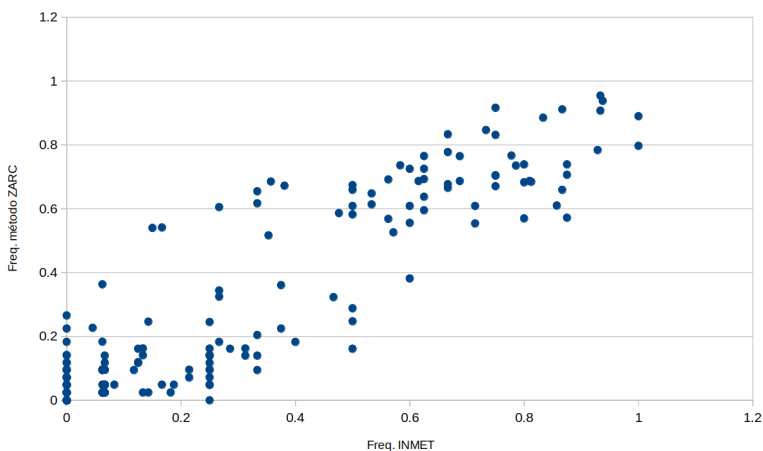


Figura 2. Frequência de ocorrência de temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C no mês de junho para as estações automáticas do INMET vs. calculada pelo método aqui descrito (método ZARC) utilizando a base de Xavier et al. (2022).

Pela formulação anterior do Zarc (antes de 2018), uma área era considerada de alto risco caso ao menos em um dos decêndios do período analisado apresentasse risco elevado. Avaliando para o mês de junho, a área com pelo menos 20% de frequência de ocorrência de temperatura igual ou inferior a 2 °C no decêndio 16 foi de, aproximadamente, 270 mil km²; 292 mil km² no decêndio 17 e 360 mil km² no decêndio 18. A união desses mapas de risco nos 3 decêndios de junho resulta em uma área de aproximadamente 369 mil km². Por outro lado, ao considerar os 3 decêndios, a área com pelo menos 20% de frequência de ocorrência de temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C no mês de julho foi de aproximadamente 493 mil km², uma diferença de 124 mil km² (Figura 3). Dentre as novas áreas identificadas podemos destacar aumento da área mapeada no sul de MG, incluindo os municípios no entorno de Poços de Caldas, Caconde, Pouso Alegre, Itajubá, entre outros. Também é perceptível a maior área identificada como de risco no PR, no entorno do município de Campo Mourão, Cascavel até Foz do Iguaçu e oeste do RS, nos municípios de São Borja e Sto. Antônio das Missões. Todos esses municípios não foram identificados como apresentando risco de temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 2 °C quando os decêndios de junho foram analisados de forma isolada.

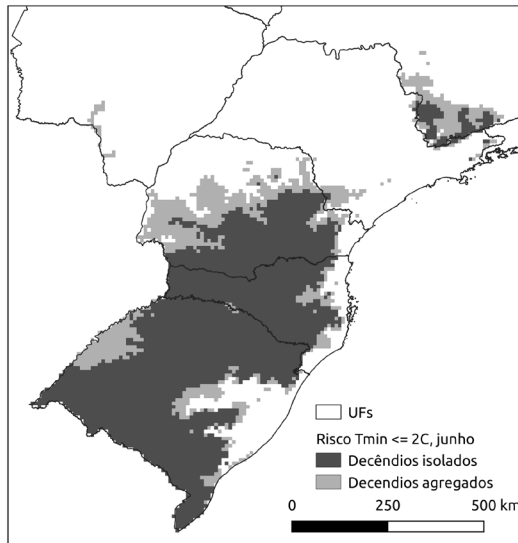


Figura 3. Área com pelo menos 20% de frequência de ocorrência de temperatura mínima igual ou inferior a 2 °C no mês de junho (3 decêndios) considerando a metodologia original do Zarc (decêndios isolados) e a atualizada (decêndios agregados).

A diferença é ainda maior quando avaliamos períodos de agregação mais longos. No caso da cultura do milho, por exemplo, todo do ciclo da cultura, com exceção do último decêndio, é considerado crítico. Assim foi avaliado o risco de temperaturas baixas para um período de 10 decêndios, com início em setembro (decêndio 25), buscando quantificar o efeito da mudança da metodologia na avaliação de risco para o milho, plantado nessa época (Figura 4). A área com frequência de pelo menos 20%, quando considerado os decêndios isolados, equivale a aproximadamente 110 mil km². Já ao considerar os decêndios agregados, a área com frequência de pelo menos 20% equivale a aproximadamente 229 mil km², portanto a nova forma de avaliar os riscos de temperaturas extremas foi capaz de identificar uma área adicional de 119 mil km² com risco climático mais elevado, melhorando as avaliações realizadas pelo Zarc.

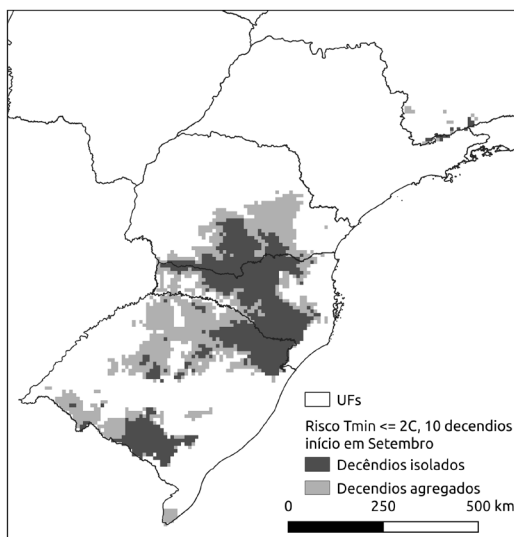


Figura 4. Área com pelo menos 20% de frequência de ocorrência de temperatura mínima igual ou inferior a 2 °C em 10 decêndios com início em setembro, considerando a metodologia original do Zarc (decêndios isolados) e a atualizada (decêndios agregados).

A nova metodologia aqui descrita é hoje utilizada em diversos zoneamentos, como o Trigo, Citros, Banana, Feijão, Milho dentre outros, seja para avaliar o risco de ocorrência de temperaturas muito elevadas ou muito baixas. Alguns dos mapas atualmente utilizados no Zarc estão disponíveis no repositório IPAgredados da Embrapa, e podem ser disponibilizados sob demanda.

Conclusões

A frequência de ocorrência de temperaturas extremas, máximas ou mínimas, é um dos fatores de risco utilizados no processo de confecção do Zarc. Esta avaliação é realizada considerando a frequência de ocorrência de condições adversas em cada um dos 36 decêndios do ano. No caso de períodos críticos mais longos (i.e. um mês), faz-se necessário combinar os mapas frequenciais decendiais.

No passado, a combinação era realizada pela união dos riscos de cada decêndio do período crítico, sem levar em conta a dependência entre eles. Para sanar esse problema foi desenvolvida nova metodologia que leva em consideração todos os decêndios dentro de um período crítico.

Apesar de a metodologia anterior identificar grande parte das áreas com elevado risco, ao não considerar a combinação entre os decêndios, a área total mapeada mostrou-se subestimada, quando comparada aos resultados que consideram a frequência para todo o período acumulado. Uma limitação da nova metodologia está no fato de que, apesar de considerar a combinação entre os decêndios, a frequência calculada para cada um assume total independência das demais, o que para grande parte dos fenômenos meteorológicos, não pode ser considerado como uma premissa válida. Isto deve ser melhor avaliado em trabalhos futuros.

O procedimento aqui descrito está em produção no Zarc desde o ano de 2018, sendo aplicado nas mais diversas culturas agrícolas e resultando em melhores avaliações de risco de temperaturas extremas.

Referências

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. (coord.). **Revisão rápida e integrada da gestão de riscos agropecuários no Brasil**: caminhos para uma visão integrada. Brasília, DF: Banco Mundial, 2015. 76 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1044224>. Acesso em: 14 dez. 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **PROAGRO – programa de garantia da atividade agropecuária**: resumo de instruções para o beneficiário. 2022. 14 p. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/proagro_docs/resumo_instrucoes_Proagro.pdf. Acesso em: 14 dez. 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Programa de Garantia da Atividade Agropecuária**: PROAGRO: relatório circunstanciado 2017 a 2020. [2020]. 91 p. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/proagro_docs/relatorios_proagro/Relat%C3%B3rio%20Circunstanciado%202017_2020_VFinal.pdf. Acesso em: 14 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 46, de 14 de abril de 2021. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o cultivo dos citros em regiões de clima ameno no Estado de São Paulo. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 70, p. 234, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-46-de-14-de-abril-de-2021-314292393>. Acesso em: 15 dez. 2022.

OZAKI, V. A. (coord.). **Seguro rural**: programa de subvenção ao prêmio do seguro rural PSR: protegendo o produtor rural: relatório das indenizações pagas entre 2006 a 2015. [Brasília, DF]: Mapa, [2016]. 63 p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/documentos-seguro-rural/RelatriodeSinistralidade_PSR_2006_2015.pdf. Acesso em: 14 dez. 2022.

THE R FOUNDATION. **The R project for statistical computing**. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SANTOS, W. G. dos; MARTINS, J. I. F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 73–94, jul./ago./set. 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1136438>. Acesso em: 15 dez. 2022.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, 2022. DOI: [10.1002/joc.7731](https://doi.org/10.1002/joc.7731).

Embrapa Agricultura Digital
Av. André Tosello, nº 209
Campus da Unicamp, Barão
Geraldo - Campinas, SP
CEP: 13083-886
Fone: +55 (19) 3211-5700

www.embrapa.br/agricultura-digital
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente

Carla Geovana do Nascimento Macário

Secretário-Executivo

Maria Fernanda Moura

Membros

Adriana Farah Gonzalez, Alexandre de

Castro, Carla Cristiane Osawa, Debora

Pignatari Drucker, Ivan Mazoni, João

Camargo Neto, João Francisco Gonçalves

Antunes, Magda Cruciol

Revisão de texto

Adriana Farah Gonzalez

Normalização bibliográfica

Carla Cristiane Osawa

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Magda Cruciol

Foto da capa

Fernando Wagner Malavazi

CGPE 017921