

Capítulo 1

Análise dos dados meteorológicos na catástrofe climática de abril a maio de 2024

Amanda Heemann Junges
Henrique Pessoa dos Santos

Introdução

Valores de precipitação pluvial extremamente elevados registrados no Rio Grande do Sul no final de abril e início de maio de 2024 provocaram em diversas regiões a ocorrência de enchentes, inundações e deslizamentos de terra, no que ficou conhecida como a maior catástrofe climática do estado até o momento (Conselho Permanente de Agrometeorologia do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). O evento teve maior impacto sobre a Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, que engloba as bacias hidrográficas dos rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, Alto e Baixo Jacuí, Pardo, Caí, Taquari-Antas, dos Sinos, Gravataí e Lago Guaíba (Base Cartográfica 1:25.000, Rio Grande do Sul, 2018). A catástrofe climática, que causou perdas de vidas (humanas e animais de criação), desalojou e desabrigou pessoas e provocou danos a diversas infraestruturas (habitacional, industrial e de transportes), também impactou negativamente as atividades agropecuárias do estado. Na região da Serra Gaúcha foram perdidas áreas produtivas inteiras ou parciais (lavouras, pomares, pastagens), além de ocorrer erosão da camada agricultável do solo. Apesar desta situação sem precedentes, é fundamental que se busque caracterizar esse evento extremo como forma de auxiliar na proposição de estratégias que visem reduzir os danos que possam ser causados por eventuais eventos futuros similares.

Dentre os objetivos deste capítulo, destacam-se:

- Descrição das condições meteorológicas registradas em dois municípios da região da Serra Gaúcha, Bento Gonçalves e Veranópolis, durante a catástrofe climática de abril a maio de 2024.
- Caracterização da climatologia, variabilidade e tendências da precipitação pluvial.
- Associação com as mudanças climáticas e a importância do estabelecimento de estratégias para redução do risco climático.

Condições meteorológicas registradas em abril e maio de 2024

Para caracterização das condições meteorológicas foram empregados dados diários de precipitação pluvial (chuva) dos meses abril e maio de 2024 registrados pelas estações meteorológicas automáticas de Veranópolis (28°53'17" S e 51°32'32" W, 707 m de altitude) e de Bento Gonçalves (29°09'44"S e 51°31'50"W, 640 m de altitude), municípios localizados na região ecoclimática Planalto Superior — Serra do Nordeste, também conhecida como Serra Gaúcha. A estação meteorológica de Veranópolis está localizada no Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (Cefruti), estação experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (Seapi).

A estação meteorológica de Bento Gonçalves pertence à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e está localizada na Embrapa Uva e Vinho. O clima na região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfb (temperado úmido, sem estação seca definida e com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C). Todos os meses apresentam precipitação pluvial mensal acima de 60 mm, com variação entre 127 e 201 mm (em Veranópolis) e 126 e 181 mm (em Bento Gonçalves) (Junges; Tonietto, 2022). A temperatura média do mês mais quente (janeiro) é 22 °C em ambos os locais, sendo esse o limiar entre os climas Cfb e Cfa (Junges; Tonietto, 2022).

Os dados diários foram empregados na definição de:

- Precipitação pluvial mensal — soma da chuva ocorrida do dia 1° ao dia 30 ou 31.
- Número de dias de chuva — número de dias em que houve registro de chuva ≥ 1 mm.

- Valor máximo diário — maior volume de chuva ocorrido em um dia.
- Distribuição temporal das chuvas por decêndios — soma das chuvas ocorridas nos decêndios 1 (dias 1 a 10), 2 (dias 11 a 20) e 3 (dias 21 a 30 ou 31).
- Intensidade da chuva (mm/h).

Os totais mensais registrados em abril e maio de 2024 foram comparados à normal climatológica padrão (NCP) 1991 a 2020 de Veranópolis e de Bento Gonçalves, disponível em Junges e Tonietto (2022).

A precipitação pluvial mensal de abril de 2024 foi de 325 mm em Veranópolis e 409 mm em Bento Gonçalves (Figura 1.1), valores equivalentes a 2,4 vezes (Veranópolis) e 3,1 vezes (Bento Gonçalves) às médias históricas do mês (NCP 1991 a 2020). Considerando que os desvios padrão (DP) de precipitação pluvial em abril correspondem a 64 mm em Veranópolis e 62 mm em Bento Gonçalves (Junges; Tonietto, 2022), os totais mensais registrados em 2024 foram superiores à média + 4DP no caso de Bento Gonçalves e média + 3DP para Veranópolis, configurando os valores como extremos na climatologia. Além disso, considerando a série que define a normal climatológica padrão 1991 a 2020, a maior precipitação pluvial mensal de abril, tanto em Veranópolis quanto em Bento Gonçalves, havia sido registrada em 2016 (respectivamente, 296 e 260 mm).

Em maio de 2024, a precipitação pluvial mensal atingiu 951 mm em Veranópolis e 684 mm em Bento Gonçalves, valores muito superiores às médias históricas (Figura 1.1). Para Veranópolis, o total mensal foi equivalente a 7 vezes a normal climatológica e, no caso de Bento Gonçalves, 5,5 vezes. Considerando-se os desvios-padrão (DP) de 74 mm em Veranópolis e 64 mm em Bento Gonçalves na NCP 1991 a 2020, os totais registrados em 2024 foram superiores à média + 11DP em Veranópolis e média + 8DP em Bento Gonçalves, configurando os valores como muito extremos na climatologia do mês. Até então, os maiores totais mensais de maio haviam sido 313 mm para Bento Gonçalves e 366 mm para Veranópolis, registrados em 2017, e 425 mm para Veranópolis, em maio de 2022. Na série histórica de Veranópolis (1956 a 2024), maio de 2024 configurou-se como o maior valor mensal de precipitação pluvial já registrado, ultrapassando setembro de 2023 (542 mm), que era, até então, o valor máximo do banco de dados.

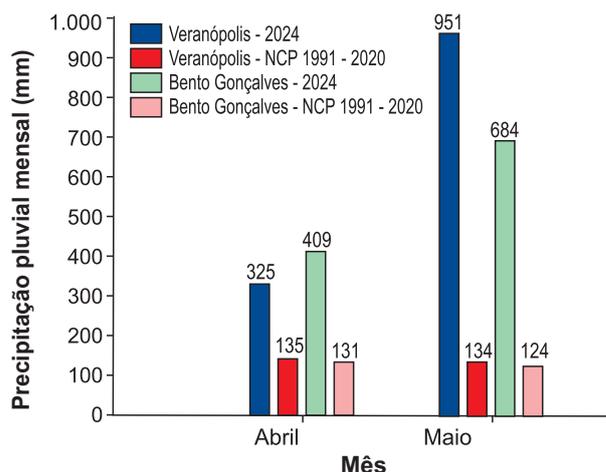


Figura 1.1. Precipitação pluvial mensal de abril e maio de 2024 em Veranópolis e em Bento Gonçalves e médias na normal climatológica padrão (NCP) 1991 a 2020.

Em abril, foram registrados 13 dias de chuva (≥ 1 mm) em Veranópolis e 15 dias em Bento Gonçalves. Destaque para 30/04/2024 quando ocorreram os maiores volumes de chuva em um dia: 149,6 mm em Bento Gonçalves e 72 mm em Veranópolis. Em termos de distribuição temporal, observou-se que a maior parte da precipitação mensal ocorreu no terceiro decêndio, especialmente em Bento Gonçalves (74,5% do total mensal; Veranópolis 54,5%) e que apenas a soma da precipitação pluvial do terceiro decêndio já superou a média histórica de abril (Figura 1.2A).

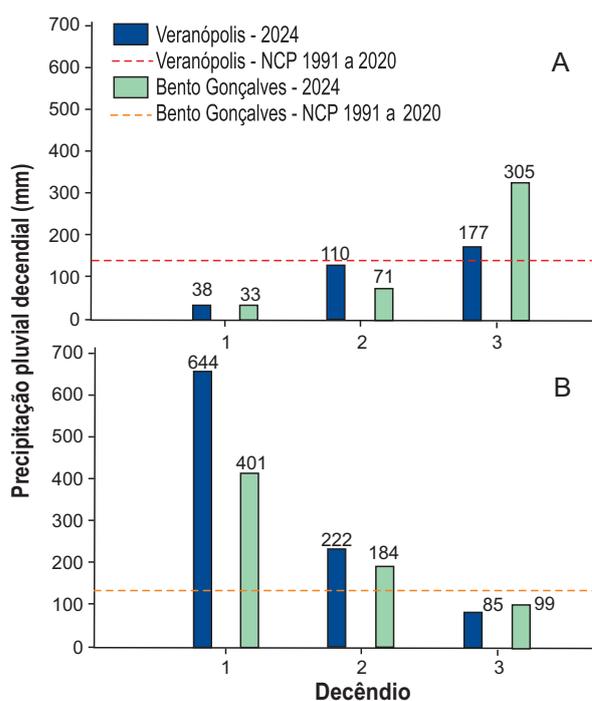


Figura 1.2. Precipitação pluvial decenal de abril (A) e maio (B) de 2024 de Veranópolis e Bento Gonçalves e médias mensais na normal climatológica padrão (NCP) 1991–2020.

Em maio, chuvas (≥ 1 mm) foram registradas em quase dois terços dos dias do mês (19 dias, tanto em Veranópolis quanto em Bento Gonçalves). Destacaram-se pelos elevados valores de precipitação pluvial ocorrida em um único dia, registrados em 01/05/2024 (260 mm em Veranópolis e 178 mm em Bento Gonçalves) e 02/05/2024 (152 mm em Veranópolis e 125 mm em Bento Gonçalves). É importante considerar que, em cada um destes dias, choveu mais do que a média histórica do mês. Para Veranópolis, o registro de 260 mm em 1º/maio se configurou como um valor recorde, sendo o maior volume de chuva ocorrido em um único dia desde o início da coleta de dados em 1956. Até então, o maior volume registrado havia sido 188,4 mm, em 19/07/2001.

Em termos de distribuição temporal, observou-se que todos os decêndios registraram valores relativamente elevados de chuva (variando de 85 a 644 mm), com totais que ultrapassaram inclusive a média histórica do mês (1º e 2º decêndios) ou ficaram muito próximos deste valor (3º) (Figura 1.2B). O maior total ocorreu no primeiro decêndio, quando foram registrados 644 mm em Veranópolis (equivalente a 67,7% do total mensal) e 401 mm em Bento Gonçalves (58,6%).

Veranópolis e Bento Gonçalves registraram em abril e, especialmente, em maio de 2024, valores extremamente elevados de precipitação pluvial, com totais mensais que ultrapassaram várias vezes a média histórica. A soma das precipitações pluviais mensais de abril e maio de 2024 totalizaram 1.276 mm em Veranópolis e 1.093 mm em Bento Gonçalves, o que equivalem, respectivamente, a 69 e 62% da média anual.

Analisando-se a distribuição temporal das chuvas, destaca-se especialmente o período compreendido pelos dias 26/04/2024 a 05/05/2024 (10 dias), considerado o mais crítico na catástrofe climática em função da sequência de dias de chuva (todos os dias registraram chuva), dos valores diários expressivos e do total ocorrido neste período (728 mm em Veranópolis e 654 mm em Bento Gonçalves) (Figura 1.3).

Uma série de eventos meteorológicos, ocorridos desde o final de abril ao início de maio, contribuíram para que fossem registrados elevados volumes de precipitação pluvial em poucos dias, especialmente na faixa centro-norte do estado (Conselho Permanente de Agrometeorologia do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). Na última semana de abril e

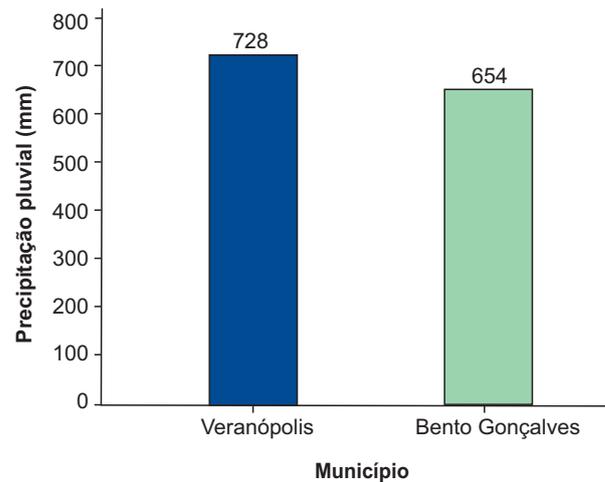


Figura 1.3. Soma da precipitação pluvial ocorrida em Veranópolis e em Bento Gonçalves entre 26 de abril e 5 de maio de 2024.

no início de maio, a configuração atmosférica sobre a América do Sul apresentava um intenso anticiclone migratório atuando no Oceano Atlântico Sul. Esse sistema de alta pressão contribuiu para o fluxo de ar quente e úmido para o continente. No decorrer dos dias, a alta pressão se intensificou e, nessa configuração, os sistemas meteorológicos que avançavam de sul em direção ao norte da América do Sul permaneceram estacionários sobre o Rio Grande do Sul. Além disso, o corredor que transportava umidade da Região Amazônica contornava o bloqueio, resultando na concentração dessa umidade sobre o estado, o que favoreceu ainda mais a formação de instabilidades e as consequentes precipitações intensas. Também não pode ser descartado o efeito do fenômeno *El Niño*, que, mesmo em fase final, ainda estava ativo no período, favorecendo uma atmosfera mais quente, o que potencializa estes eventos climáticos extremos.

No Rio Grande do Sul, diversos trabalhos têm demonstrado que precipitações pluviais acima da média estão associadas a eventos *El Niño* (situação contrária, no caso de *La Niña*), especialmente na primavera e no início do verão (trimestre de outubro, novembro e dezembro do ano de início do fenômeno) e em um período secundário, no final do outono até o início do inverno do ano seguinte (“repique”) (Berlato; Fontana, 2003; Matzenauer et al., 2017).

Os dados de intensidade de chuva indicaram que, considerando o período de 26/04/2024 a 05/05/2024, os valores máximos ocorreram no dia 01/05/2024, quando foram registrados 37,2 mm/h (no final da manhã) e no dia 02/05/2024 quando ocorreram, em sequência, 36 e 36,4 mm/h (durante a ma-

drugada) (Figura 1.4). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), intensidades de chuvas inferiores a 2,5 mm/h são classificadas como leves; entre 2,5 e 10 mm/h são classificadas como moderadas; entre 10,1 e 50 mm/h são fortes; e, no caso de ocorrência de intensidades acima de 50mm/h, considera-se a chuva como violenta (World Meteorological Organization, 2024). Dessa maneira, as maiores intensidades de chuva ocorridas no período da catástrofe climática enquadraram-se na categoria de chuvas fortes.

Nos últimos dias de abril (26 a 30), embora as

maiores intensidades de chuva tenham ocorrido nos dias 27/04/2024 (25,8 mm/h) e 29/04/2024. (23 mm/h), e possam, ambas, ser classificadas como fortes, foi no dia 30/04/2024. que houve o maior número de ocorrências (horas) com intensidade de chuva maiores ou iguais a 10 mm/h (quatro, variando entre 12,4 mm/h e 17,4 mm/h, ou seja, todas de intensidade forte) (Figura 1.4A). Nos primeiros 5 dias de maio destacaram-se, além dos valores máximos, o número de ocorrências (horas) com chuvas de intensidade forte (maiores ou iguais a 10 mm): dez no dia 01/05/2024, três no dia 02, duas no dia 04 e duas no dia 05 (Figura 1.4B).

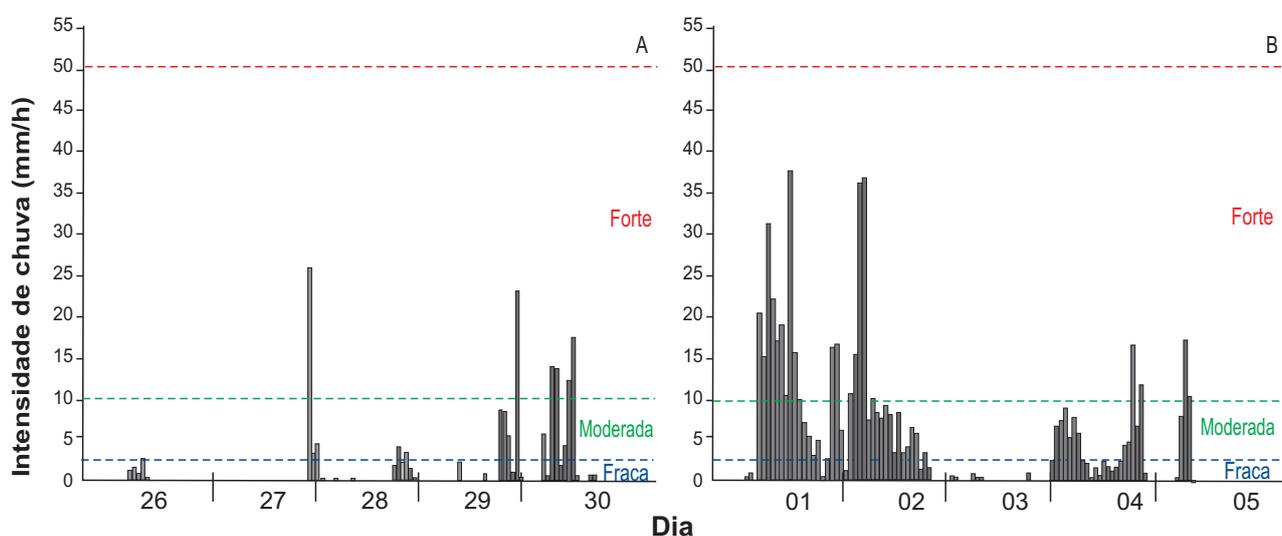


Figura 1.4. Intensidade das chuvas (mm/h) ocorridas em Veranópolis nos dias 26 de abril a 5 de maio de 2024: (A) em Abril; (B) em Maio.

Descrição dos sistemas que atuaram no estado no final de abril a início de maio

No sábado (27/04/2024), havia ar quente sobre boa parte do estado, influenciado pela massa de ar quente e seca (onda de calor) que predominava sobre o Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, enquanto que, na metade sul do estado, a frente fria já avançava. Tal frente fria provocou chuva forte, com registro de ocorrência de dois tornados, um em São Martinho da Serra e outro em Tupanciretã. Ou seja, a condição atmosférica já estava bastante instável e ao longo do domingo (28/04/2024) a frente fria avançou mais sobre o Rio Grande do Sul.

Na segunda-feira (29/04/2024), uma configuração de baixa pressão se formou no oeste gaúcho, devido à divergência de escoamento em níveis atmosféricos mais altos. Essas chuvas se concentraram principalmente ao norte do estado, na divisa

com Santa Catarina e na Fronteira Oeste.

Na terça-feira (30/04/2024), o sistema se intensificou, resultando em tempestades generalizadas com volumes acima de 100 mm em 24 horas em diversos pontos do Rio Grande do Sul. As regiões dos Vales, Serra, Metropolitana, Depressão Central e Planalto Médio passaram a registrar totais mais expressivos, como em Bento Gonçalves (149,2 mm), Rio Pardo (146,6 mm) e Canela (144,6 mm).

Na quarta-feira (01/05/2024), a condição meteorológica do dia anterior persistiu, mantendo as instabilidades e propiciando a ocorrência de novas tempestades, o que elevou ainda mais os totais acumulados de precipitação. No município de Santa Maria foram registrados 213,6 mm em 24 horas, enquanto em Veranópolis registraram-se 260 mm no mesmo período.

Na quinta-feira (02/05/2024), a condição meteorológica que atuava a oeste do estado, transportando

umidade da região amazônica para o Rio Grande do Sul, somada ao sistema frontal sobre o oceano, resultou em altos volumes de chuva em todo estado. Os setores norte e nordeste foram os mais afetados. Nessas regiões foram registrados volumes superiores a 100 mm, sendo que em Soledade foram registrados 249,4 mm. Em Ibirubá e Caxias do Sul, os valores foram superiores a 190 mm.

Na sexta-feira (03/05/2024), o sistema frontal ainda atuava sobre o norte e nordeste do estado e os maiores volumes de chuva foram registrados nas cidades de Frederico Westphalen e Erechim (127,4 e 128,6 mm, respectivamente).

No sábado (04/05/2024), mesmo após a passagem do sistema frontal, instabilidades permaneceram sobre o estado devido ao cavado situado a oeste, associado à baixa pressão do Chaco. O cavado é uma área de baixa pressão “alongada”, na qual os ventos são no sentido horário mas não completam 360° (como em um centro de baixa pressão tradicional). Ao persistir sobre uma determinada região, o cavado pode causar chuva e nebulosidade frequentes. E foi justamente esse sistema que manteve as chuvas nas faixas norte e nordeste do estado, com os volumes mais elevados sendo registrados na região do Alto Uruguai, nos municípios de Palmeiras das Missões (86,6 mm) e Lagoa Vermelha (85 mm).

No domingo (05/05/2024), o cavado permaneceu atuando durante a madrugada e manhã, ocasionando chuvas isoladas em pontos do norte e nordeste do Rio Grande do Sul. O principal acumulado foi em Serafina Corrêa (82,8 mm). Ao longo do dia, as instabilidades deslocaram-se em direção ao Oceano Atlântico, cessando as chuvas em todo o estado até o final do domingo.

Na segunda-feira (06/05/2024), a massa de ar quente e seco presente no centro do Brasil avançou para o Rio Grande do Sul deixando o tempo seco em quase todas as regiões.

Climatologia, variabilidade, tendências e mudanças climáticas

A compreensão acerca da magnitude dos valores de precipitação pluvial ocorridos em abril e maio de 2024 na Serra Gaúcha só é possível quando se faz uma análise da climatologia das chuvas na região. Define-se climatologia como a integração (ou generalização) das condições de tempo baseada em médias obtidas a partir de um conjunto de dados

com, no mínimo, 30 anos de observações. Médias de temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar e vento, dentre outras variáveis, quando obtidas a partir de um conjunto de dados sequenciais de 30 anos, são denominadas normais climatológicas. Quando definidas a partir de séries fixas de 30 anos, são denominadas normais climatológicas padrão e, para esse fim, a Organização Meteorológica Mundial estabeleceu as séries 1931–1960, 1961–1990 e, mais recentemente, 1991–2020. Devido à dinâmica das variáveis meteorológicas, o emprego de normais climatológicas busca, justamente, estabelecer referências, pois as médias representam o valor predominante da variável meteorológica no local considerado. Da mesma maneira, a definição das normais climatológicas facilita a identificação de anomalias ou de eventos extremos.

Na normal climatológica padrão 1991–2020, a precipitação pluvial mensal de Veranópolis e Bento Gonçalves variou entre os valores mínimos de 124 mm (em maio, em Bento Gonçalves) e 127 mm (em agosto, em Veranópolis) e os máximos de 181 mm (em outubro, em Veranópolis) e 201 mm (em outubro, em Bento Gonçalves) (Junges; Tonietto, 2022). Ou seja, a variação de 120 a 200 mm de chuva, aproximadamente, caracteriza climaticamente a região em termos de precipitação pluvial mensal. Sabe-se, no entanto, que a precipitação pluvial apresenta elevada variabilidade interanual. Os coeficientes de variação da precipitação pluvial mensal em Veranópolis e em Bento Gonçalves situam-se entre 40 e 73% (Junges; Tonietto, 2022), o que indica haver uma elevada variação dos dados em torno da média histórica. Dados estacionais também apresentam elevada variabilidade interanual (coeficientes de variação entre 25 e 43%, menores no inverno e maiores na primavera e no outono).

Ainda no contexto da análise da variabilidade da precipitação pluvial, alguns meses se destacam pelos valores extremos que, em geral, são aqueles que ultrapassam os limites definidos pela média ± 1 desvio-padrão (embora seja importante destacar que alguns autores consideram extremos apenas os valores acima/abaixo da média ± 2 desvios-padrão). Mesmo assim, valores acima de média ± 1 desvio-padrão exigem atenção, tendo em vista os desafios que impõem às atividades agrícolas. Nesse sentido, como já apresentado, os meses de abril e maio de 2024 se destacaram pelos valores extremamente elevados de precipitação pluvial, situação sem precedentes nas séries históricas analisadas.

Da mesma maneira, as chuvas ocorridas em abril e maio de 2024 fizeram com que o outono (março, abril e maio) ficasse caracterizado como o período do ano com maior valor acumulado ao longo da série 1961–2023 de Veranópolis e de Bento Gonçalves (Figura 1.5C). Cabe destacar que, embora o verão 2023/2024 (dezembro/2023 a fevereiro/2024) tenha

apresentado precipitação pluvial estacional no intervalo definido por média +1 desvio-padrão (Figura 1.5B), a primavera de 2023 (setembro, outubro e novembro) já havia se configurado como a primavera mais chuvosa da série de dados em função dos totais estacionais de 1.415 mm (Veranópolis) e 985 mm (Bento Gonçalves) (Figura 1.5A).

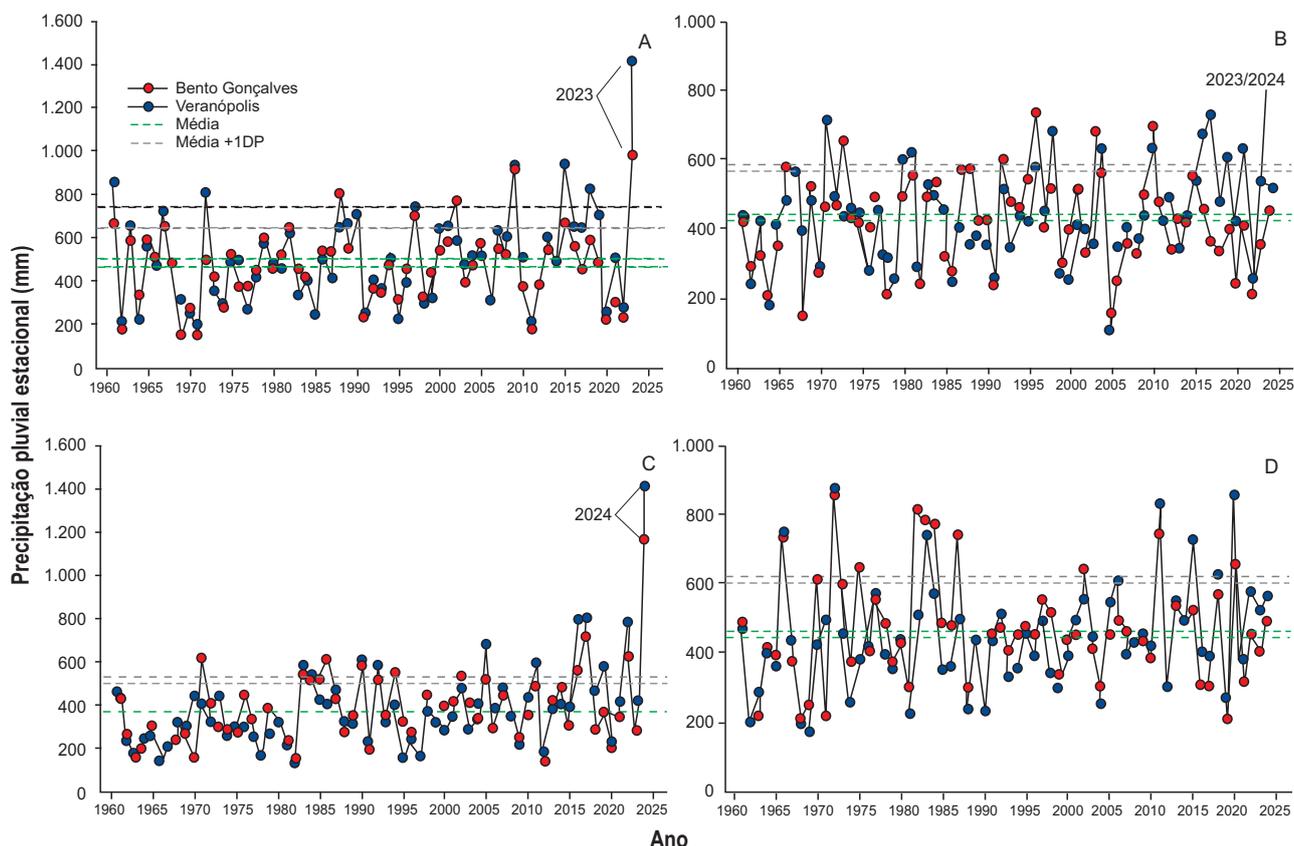


Figura 1.5. Precipitação pluvial estacional: (A) Primavera (setembro-outubro-novembro); (B) Verão (dezembro-janeiro-fevereiro); (C) Outono (março-abril-maio); (D) Inverno (junho-julho-agosto). Em Veranópolis e Bento Gonçalves, RS, na série histórica 1961–2024.

Em síntese, os eventos extremos de abril e maio de 2024 vieram na sequência de uma primavera extremamente chuvosa em 2023. Com isso, salienta-se a importância desse referencial da climatologia para a identificação de eventos extremos e a caracterização da variabilidade interanual da precipitação pluvial na região da Serra Gaúcha.

Em séries históricas de longo prazo, além da climatologia, análises de tendência costumam ser realizadas com objetivo de identificar alterações nos conjuntos de dados. O termo tendência climática indica a elevação ou a diminuição nos valores de uma série temporal meteorológica (Blain, 2010). No que se refere à tendência em séries temporais de precipitação pluvial, Junges et al. (2019) já ha-

viam apontado, considerando a série histórica 1956–2015 de Veranópolis, a tendência de aumento na precipitação pluvial anual ($p < 0,01$) e com menor nível de significância da precipitação pluvial nas estações de primavera ($p < 0,10$) e verão ($p < 0,10$). De acordo com Berlato e Cordeiro (2017), em uma revisão da literatura acerca dos sinais das tendências e mudanças climáticas observadas no Rio Grande do Sul, é possível afirmar que houve aumento da precipitação pluvial anual, especialmente na primavera e no outono. No período de 30 anos, de 1980–2009, a precipitação pluvial anual aumentou cerca de 10% em quase todas as regiões do Rio Grande do Sul, em relação à normal climatológica de 1950 a 1979.

Além do aumento da precipitação pluvial anual e estacional, houve aumento da intensidade média da precipitação anual (mm/dia) e aumento de precipitações diárias intensas. O número de dias de precipitação pluvial, na média do estado, também apresentou tendência de aumento, principalmente na primavera e no verão (Berlato; Cordeiro, 2017).

A variação e as tendências das variáveis meteorológicas no Rio Grande do Sul estão associadas, em grande parte, aos fenômenos de grande escala, especialmente o *El Niño* Oscilação Sul (Enos) ou *El Niño Southern Oscillation* (Enso), caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial e considerado o principal mecanismo de variabilidade climática interanual em diversas regiões do globo. Por causa das teleconexões globais, os efeitos das fases quente (*El Niño*) e fria (*La Niña*) do Enos causam grande impacto nas condições meteorológicas e, conseqüentemente, nas atividades humanas, incluindo a agricultura (Berlato, 2024). A região Sul do Brasil, que pertence à região Sudeste da América do Sul (juntamente com o nordeste da Argentina, do Uruguai e do sul do Paraguai) apresenta forte influência do Enos (Firpo et al., 2012).

No Rio Grande do Sul, diversos trabalhos têm demonstrado que precipitações pluviais acima da média estão associadas aos eventos de *El Niño* (situação contrária, no caso de *La Niña*), especialmente na primavera e no início do verão (trimestre de outubro, novembro e dezembro no ano de início do fenômeno) e em um período secundário, no final do outono até o início do inverno, no ano seguinte (conhecido como “repique”) (Matzenauer et al., 2017; Berlato, 2024). Na primavera de 2023 e no outono de 2024, caracterizados pelas precipitações pluviais muito acima da média na região da Serra Gaúcha, havia a atuação consolidada do fenômeno *El Niño*, com anomalias positivas de TSM que se iniciaram no trimestre de abril, maio e junho de 2023 (+0,5 °C) e foram crescentes até atingirem +2 °C em novembro, dezembro e janeiro e decresceram até +0,7 °C em março, abril e maio de 2024. O trimestre de abril, maio e junho de 2024, com anomalia de +0,4 °C, marcou o fim deste evento *El Niño* (2023/2024) (United States, 2024). Pode-se considerar, portanto, que, em virtude do *El Niño*, precipitações pluviais acima da média poderiam ocorrer.

No entanto, os valores registrados foram muito elevados, o que caracterizou abril e maio de 2024

como catástrofe climática. Diversos autores demonstraram que há uma tendência de intensificação dos eventos Enos, ou seja, a maior frequência de ocorrência de *El Niños* e *La Niñas* classificados como fortes e muito fortes, observada especialmente após a década de 1960 e associada ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa e às mudanças climáticas de causa antropogênica (Cai et al., 2023). Dessa forma, eventos Enos (*El Niño/La Niña*) estão intrinsecamente ligados às mudanças climáticas, particularmente por meio de suas interações com condições térmicas globais, correntes marinhas e fluxos de ar atmosférico. De modo geral, a partir do aquecimento global e o aumento da temperatura na superfície do Oceano Pacífico, as projeções indicam cenários de eventos extremos de *El Niño* e de *La Niña* (Cai et al., 2015; Julianto et al., 2021).

Berlato e Cordeiro (2017) também afirmam que há evidências observacionais que indicam a ocorrência de mudanças no sistema climático global e regional, as quais incluem o aumento de extremos climáticos em diversos continentes nas últimas décadas. Considerando os cenários de mudanças climáticas, a temperatura na superfície da terra já aumentou mais de 1 °C desde o período pré-industrial até 2021. Se as emissões de gases de efeito estufa continuarem a aumentar, estima-se que o aquecimento global será superior a 1,5 °C entre 2030 e 2052, ou até mais de 4 °C até o final do século XXI (Pörtner et al., 2022). Tais projeções induziram a *Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas* (UNFCCC) ao estabelecimento de metas em 2010 (Acordo de Cancún) e em 2015 (Acordo de Paris), visando manter o aquecimento global abaixo de 2 °C, acima do nível pré-industrial, e preferencialmente até o limite máximo de 1,5 °C.

Apesar do estabelecimento dessas metas de controle, destaca-se que, em 2023, a OMM confirmou, oficialmente, a marca histórica de 1,45 ± 0,12 °C acima dos níveis pré-industriais de 1850 a 1900 para a temperatura global média anual (Organização das Nações Unidas, 2024). Além disso, com base no último relatório da OMM, publicado em 05/06/2024, já foram atingidos 80% de probabilidade de que, nos próximos 5 anos, a temperatura média global anual ultrapassará, temporariamente, o incremento de 1,5 °C acima do referencial térmico pré-industrial (World Meteorological Organization, 2024). Se levado em conta o período de junho de 2023 a maio de 2024, a maioria dos meses já apresentou uma elevação maior

que 1,5 °C na temperatura média global (Figura 1.6). De qualquer modo, o relatório da OMM destaca que a temperatura média global próxima à superfície

deverá ser entre 1,1 e 1,9 °C mais alta entre 2024 e 2028, comparada com o período de referência 1850 a 1900.

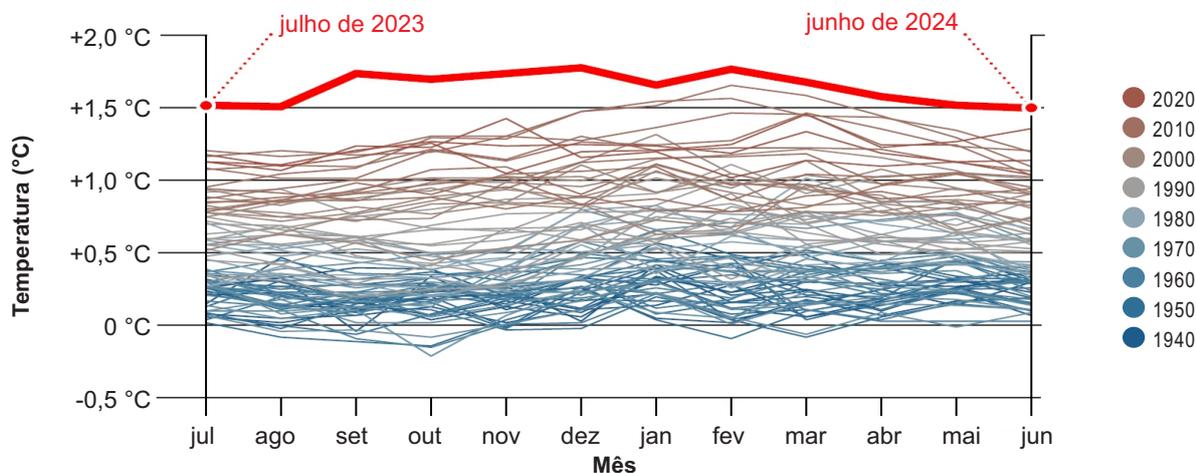


Figura 1.6. Incremento na temperatura média global mensal medida na superfície do planeta em relação ao referencial de temperatura média global registrado no período pré-industrial (1850 a 1900). Dados registrados no período de 1940 a 2024. Fonte: Copernicus Climate Change Serviço (2024) citado por A "era da fervura global" [...], 2024).

Considerando os cenários de aquecimento global nos limites de 1,5 e 2,0 °C, as projeções já indicam que a região Sul do Brasil será exposta às condições de maior intensidade de umidade (Figura 1.7), marcada por eventos extremos de chuvas e inundações (Tavares et al., 2023). Essa tendência também se confirma com dados diários de precipitação, registrados de 1961 até 2020, em 15 estações meteorológicas distribuídas nos três estados do Sul do Brasil (Lapa et al., 2024). Portanto, esses resultados caracterizam a tendência de aumento no volume anual de chuvas no Sul do Brasil. Contudo, salienta-se que essas

projeções evidenciam também o predomínio de uma distribuição irregular das precipitações, o que possibilita cenários futuros contrastantes, com períodos de secas e eventos de chuvas em excesso.

Ou seja, os contrastes vivenciados nos últimos cinco anos no Sul do Brasil não são eventos isolados e com baixa probabilidade de ocorrência, pelo contrário, são situações que mimetizam os cenários que eram classificados como "futuro" e evidenciam que as projeções de mudanças climáticas já estão ocorrendo, alterando a frequência e a intensidade dos eventos extremos.

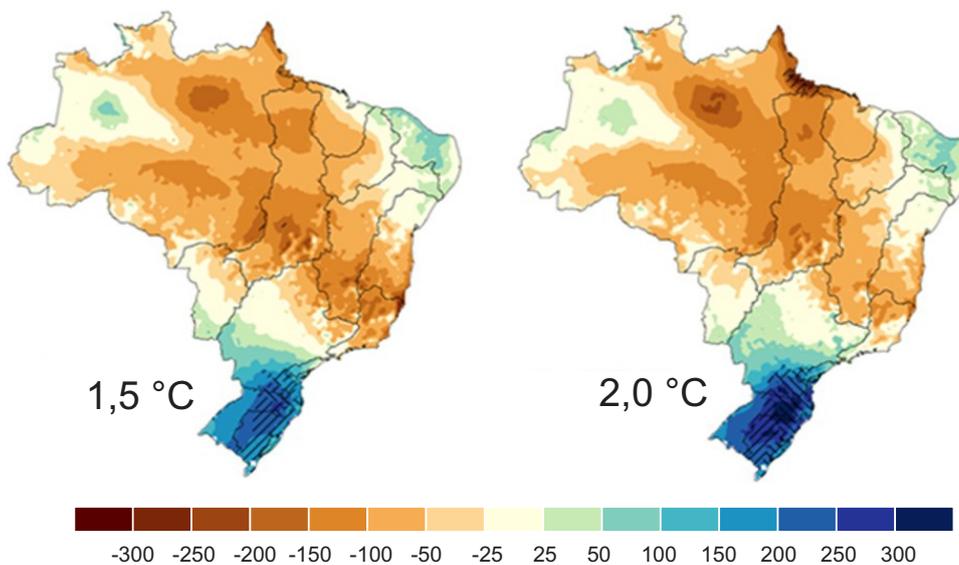


Figura 1.7. Variações na precipitação (mm/ano) do Brasil nas projeções de elevação de 1,5 e 2,0 °C, em relação à temperatura média do período de referência (1961 a 1990) para o Brasil. Fonte: Adaptado de Tavares et al. (2023).

Considerações finais

Diante do exposto, evidenciam-se que as propriedades agrícolas estão em situação de risco climático e com tendência de cenários mais agravantes. Dentro da normal climática, a variabilidade interanual da precipitação pluvial já se apresenta como um dos principais desafios para o produtor rural, por ser um dos fatores de grande impacto para as quebras ou frustrações de safra. Entretanto, quando se consideram o aumento ou a intensificação dos eventos extremos impostos pelas mudanças climáticas, os riscos de perda atingem outros limites e os impactos podem atingir níveis sem precedentes, como os registrados no outono de 2024. Ou seja, as mudanças climáticas saíram do cenário de previsão e já fazem parte da realidade. Portanto, considerando que a variabilidade, as tendências e as mudanças climáticas ameaçam a vida, a segurança alimentar e a sustentabilidade na região Sul do Brasil, as ações não podem ser só discutidas ou previstas, mas executadas imediatamente. A necessidade de intervenções técnicas e assertivas é urgente para se garantir a resiliência dos cultivos, principalmente nos locais de risco, como nas áreas de encosta dos rios na Serra Gaúcha.

Referências

- A "ERA DA FERVURA GLOBAL" está cada vez mais próxima. **Política por Inteiro**, 18 jul. 2024. Disponível em: <https://politicaporinteiro.org/2024/07/18/a-era-da-fervura-global-esta-cada-vez-mais-proxima/>. Acesso em: 17 set. 2024.
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, p. 273-302, 2017.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.
- BERLATO, M.A. El Niño oscilação Sul. In: Berlato, M.; Cunha, G.R.; Fontana, D. C. **El Niño Oscilação Sul**: clima, vegetação, agricultura. Passo Fundo, Ed. dos Autores. 2024. p. 17-159.
- BLAIN, G.C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 765-770, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300031>.
- CAI, W.; WANG, G.; SANTOSO, A.; WU, L.; GAN, B.; JING, Z.; LI, S.; MCPHADEN, M. J. Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 132-137, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2492>.
- CAI, I. W.; NG, B.; GENG, T.; JIA, F.; WU, L.; WANG, G.; LIU, Y.; GAN, B.; YANG, K.; SANTOSO, A.; LIN, X.; LI, Z.; LIU, Y.; YANG, Y.; JIN, F. -F.; COLLINS, M.; MCPHADEN, M.J. Anthropogenic impacts on twentieth-century ENSO variability changes. **Nature Reviews Earth and Environment**, 4, p. 407-418, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8>.
- CONSELHO PERMANENTE DE AGROMETEOROLOGIA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Boletim de Informações**, n. 69, maio 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 11 set. 2024.
- FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000100010>.
- JULIANTO, M. T.; DHIMAS, S; SOPAHELWAKAN, A.; NURDIATI, S.; SEPTIAWAN, P. Identification of global warming contribution to the El Niño phenomenon using empirical orthogonal function analysis. **Agromet**, v. 35, n. 1, p. 11-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29244/J.AGROMET.35.1.11-19>.
- JUNGES, A. H.; TONIETTO, J. Caracterização climática da precipitação pluvial e temperatura do ar em Bento Gonçalves e Veranópolis, Serra Gaúcha, Brasil. **Agrometeoros**, v. 30, e027126, 2022.
- JUNGES, A. H.; BREMM, C.; FONTANA, D. C. Rainfall climatology, variability, and trends in Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 160-166, 2019.
- PÖRTNER, H. -O; ROBERTS, D.C.; POLOCZANSKA, E.S.; MINTENBECK, K.; TIGNOR, M.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A. (ed.). IPCC 2022: summary for policymakers. In: PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E.S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA B. (ed.). **Climate change 2022**: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change . Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2022. p. 3–33. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

LAPA, C. H. A.; CAMPOS, C. G. C.; QUADRO, M. F. L.; RUFATO, D. P. Precipitation patterns and their variability in the southern region of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, p. 1521-1542, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1521-1542>.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, p. 323-331, 2017.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 151-152.

UNITED STATES. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate Prediction Center**. Disponível: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso: 10 out. 2024.

ONU. ONU confirma que 2023 bate recorde de temperatura global. **Notícias**, 12 jan. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/257750-onu-confirma-que-2023-bate-recorde-de-temperatura-global>. Acesso em: 10 out. 2024.

RIO GRANDE DO SUL - Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2018. Escala 1:25.000 – BCRS25. Versão 1.0 – 2018. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>. Acesso em: 10 out. 2024.

TAVARES, P. S.; ACOSTA, R.; NOBRE, P.; RESENDE, N. C.; CHOU, S. C.; LYRA, A. A. Water balance components and climate extremes over Brazil under 1.5 °C and 2.0 °C of global warming scenarios. **Regional Environmental Change**, v. 23, n. 40, p. 1-16, 2023. DOI: 10.1007/s10113-023-02042-1.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Global Annual to Decadal Climate Update: 2024-2028**. Geneva, 2024, 27 p. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>. Acesso em: 10 out. 2024.