Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

HISTÓRICO E PROJEÇÃO DE INUNDAÇÕES REPENTINAS EM MORRETES-PARANÁ-BRASIL

History and projection of flash floods in Morretes-Paraná-Brazil

Historia y proyección de inundaciones repentinas en Morretes-Paraná-Brasil

Emerson Luís Pawoski da Silva
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná (PPGEO-UFPR)
em.pawoski@gmail.com

Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro (PPGEO-UERJ)
mhcrsilva@yahoo.com.br

Francisco de Assis Mendonça
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná (PPGEO-UFPR)
chico@ufpr.br

Resumo: A cidade de Morretes está localizada no litoral do estado do Paraná, no Brasil, e é delimitada a oeste pelas montanhas da Serra do Mar. Essa localização geográfica promove chuvas intensas que podem estar associadas a inundações. Foram realizadas análises retrospectivas e projetivas da precipitação e das inundações repentinas na macrozona urbana de Morretes para contribuir com a gestão desse desastre. A análise retrospectiva consistiu de correlações dos volumes de precipitação anuais, mensais e diárias com registros de inundações repentinas de 1995 a 2015. Verificou-se também a influência do El Niño e La Niña. A análise projetiva ocorreu pela modelagem climática da precipitação do mês com maior relação com inundações repentinas até 2060, considerando diferentes concentrações atmosféricas de CO2. Os resultados apontaram que El Niño e La Niña interferem pouco nas chuvas e inundações, março é o mês com maior relação com o desastre e que as inundações estão associadas a dias chuvosos consecutivos e saturação hídrica do solo. A previsão da precipitação mensal de março para 2041-2060 com mais CO2 atmosférico será maior que a média histórica e são esperadas mais inundações. A previsão mostra que as cidades costeiras e a leste da Serra do Mar terão chuvas mais intensas do que as do interior do continente.

Estudos com outras cidades do litoral do Paraná e suas populações são recomendados para a gestão dos desastres.
Palavras-chave: Desastres hídricos. Precipitação. Modelagem.

Abstract: The city of Morretes is located on the coast of the state of Paraná in Brazil and is bounded in the west by the mountains of Serra do Mar. This geographic location causes intense rainfall that may be associated with floods. Retrospective and projective analysis of precipitation and flash floods were conducted in the urban macrozone of Morretes to contribute with the management of this disasters. The retrospective analysis consisted of correlations of annual, monthly and daily precipitation volumes with flash flood records from 1995 to 2015. The influence of El Niño and La Niña was also verified. The projective analysis was conducted with climatic modeling of the precipitation of the month with greater relation with flash floods until 2060 and considering different atmospheric concentrations of CO2. The results showed that El Niño and La Niña have little influence in rains and floods, March is the month with the highest association with the disaster and that floods are associated with consecutive rainy days and water saturation of soil. The monthly rainfall expected for March 2041-2060 with more CO2 atmospheric will be greater than the historical average and more floods are expected. This modeling shows that the coastal cities adjacent with Serra do Mar will have more intense rains than others on the interior of the continent. Studies with other cities of the coast of Paraná and its populations are recommended for the management of this disaster.
Keywords: Water related disasters. Precipitation. Modeling.

Resumen: La ciudad de Morretes está ubicada en la costa del estado de Paraná en Brasil y es limitada al oeste por las montañas de la Serra do Mar. Esta ubicación geográfica promueve lluvias intensas que pueden estar asociadas con inundaciones. Se realizaron análisis retrospectivos y proyectivos de precipitaciones e inundaciones repentinas en la macrozona urbana de Morretes para contribuir con el manejo de este desastre. El análisis retrospectivo consistió en correlaciones de los volúmenes de precipitación anual, mensual y diaria con los registros de inundaciones repentinas de 1995 a 2015. También se verificó la influencia de El Niño y La Niña. El análisis proyectivo se realizó mediante la modelación climática de la precipitación del mes con mayor relación con inundaciones repentinas hasta el año 2060, considerando diferentes concentraciones atmosféricas de CO2. Los resultados mostraron que El Niño y La Niña interfieren poco con las lluvias e inundaciones, marzo es el mes con mayor relación con el desastre y que las inundaciones están asociadas a días consecutivos de lluvia y saturación de agua en el suelo. El pronóstico de precipitaciones mensuales de marzo para 2041-2060 con más CO2 atmosférico será superior al promedio histórico y se esperan más inundaciones. El modelado muestra que las ciudades adyacentes con la Serra do Mar tendrán lluvias más intensas que las del interior del continente. Se recomiendan estudios con otras ciudades del litoral paranaense y sus poblaciones para el manejo de este desastre.
Palabras clave: Desastres hidricos. Precipitación. Modelado.

Submetido em: 04/04/2022
Aceito para publicação em: 09/09/2022
Publicado em: 21/09/2022

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm se tornado cada vez mais temas de pesquisas devido a sua importância para futuras gerações, mas também por seus efeitos em menor prazo. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) reúne cientistas de todo o globo para compreender essas mudanças e prever cenários mundiais. Essas previsões abrangem diversos prazos e podem chegar até 2100. O aumento da temperatura média global do ar entre 1,5 e 4 ºC está entre as previsões do 6º Relatório do IPCC (IPCC, 2021), bem como a contribuição antrópica nesse processo. O aumento da temperatura tem relação com a frequência de muitos desastres naturais. Entre os desastres mais esperados estão os hídricos associados a chuvas intensas (ZHANG *et al*., 2019). Os desastres hídricos associados a chuvas podem ser divididos em quatro categorias (Figura 1): (1) alagamento – acúmulo de água num local devido ao relevo e infiltração; (2) enchente – elevação das águas de um canal; (3) inundação gradual – transbordamento de canal; e (4) inundação repentina – transbordamento de canal ou débito elevado de água em relevo acidentado (BRASIL, 2007).

Figura 1 - Desastres hídricos**:** A – Alagamento; B – Enchente; C – Inundação gradual; D – Inundação repentina.



Fonte: BRASIL (2007).

As inundações são eventos naturais e fazem parte do funcionamento das bacias hidrográficas, mas, quando causam danos à população, são consideradas desastres. Como tópico de estudo da climatologia, podem ser analisadas na superfície pela infiltração e escoamento, e na atmosfera pela precipitação. Incluem-se nesse escopo a avaliação da vulnerabilidade social dos habitantes e o planejamento da paisagem (SIMAS *et al*., 2021). Esses desastres atingem principalmente a parcela da sociedade que habita declives e planícies de inundação. Essas ocupações, muitas vezes, reduzem a infiltração pela supressão da vegetação. Destaca-se que a ocupação em áreas de risco é comumente associada à falta de planejamento urbano e à condição econômica dos habitantes. A divisão de classes sociais é manifestada na ocupação do espaço e, desse modo, indivíduos com menor renda e maior vulnerabilidade vivem em regiões com maior suscetibilidade a desastres em relação a outros de maior renda. (SANTOS, 2012). Além da ocupação de áreas de risco, a sociedade também atua por meio da emissão de gases do efeito estufa e pela pavimentação, que interfere no albedo, aumentando a radiação e temperatura locais (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011).

As teleconexões são importantes componentes atmosféricos, comumente relacionados a chuvas. As principais teleconexões que atuam no Brasil envolvem a interação oceano-continente, bem como o encontro de massas de ar frias e quentes. Há algumas teleconexões que atuam no Brasil que têm influência no regime de chuvas, em especial El Niño e La Niña (Quadro 1).

Quadro 1 – Teleconexões e suas relações com chuvas.

Teleconexão	**Efeito na precipitação**
El Niño e La Niña	Chuvas e secas alternadas nas regiões norte e sul
Modos Anular-Sul, Pacífico-América do Sul e Transpolar	Troca de pressão e umidade com a Austrália, com produção de chuvas em março e setembro.
Monções	Levam chuvas de setembro do noroeste ao sul-sudeste em novembro
Oscilação de Madden-Julian e Oscilação Decenal do Pacífico	Umidade e calor do Oceano Pacífico para a América do Sul
Oscilação Multidecenal do Atlântico	Intensifica El Niño e La Niña

Fonte: CAVALCANTI; FERREIRA (2021).

Para a compreensão de dinâmicas atmosféricas associadas a chuvas são bastantes comuns estudos de modelagem climática (CHRISTOFOLETTI, 1981). Esse procedimento utiliza programas computacionais com muitas fórmulas da física dos elementos e considera o espaço geográfico. Devido à quantidade de dados a ser processada, a maioria desses programas é configurada para escalas cartográficas menores (SIMAS *et al*., 2021), e dessa forma particularidades locais podem não ser avaliadas (LIMBERGER, 2016). Os estudos com modelagem devem considerar o resultado das análises e estudos locais para melhor compreensão dos fenômenos.

As inundações repentinas estão, em algum nível, associadas a volumes elevados de precipitação e cobertura de terra impermeável. Desse modo, estudos com pluviosidade estão entre os mais comuns em relação a inundações (BRASIL, 2007). Apesar do aumento da temperatura média no planeta, alguns países com cidades costeiras têm maior risco de inundações, como a Índia e o Brasil. Esperam-se chuvas mais intensas no noroeste, sudeste e sul brasileiros. No sul, a projeção é que essas chuvas provoquem muitas inundações.

Os estados do sul, como o Paraná, têm a cadeia de montanhas da Serra do Mar como limite entre o litoral com o interior do continente. Essa barreira geográfica modifica o movimento de ventos e umidade do sul do Oceano Atlântico (CAVALCANTI; FERREIRA, 2021).

Bastante influenciado pelo relevo, o litoral do Paraná tem suas áreas urbanas ocupando as terras mais baixas da região. Das cidades da região, Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná apresentam esse modelo urbano (SILVA *et al*., 2019). Devido a esses fatores, tempestades, chuvas e vendavais comuns no litoral e que afetam a população são importantes elementos a serem estudados (MAYER; DOURADO; KRELLING, 2019, MENDONÇA, 2017). Os registros de desastres hídricos colocam a cidade de Morretes como uma das que sofrem com mais frequentes alagamentos, inundações e deslizamentos (BATISTA *et al*., 2021).

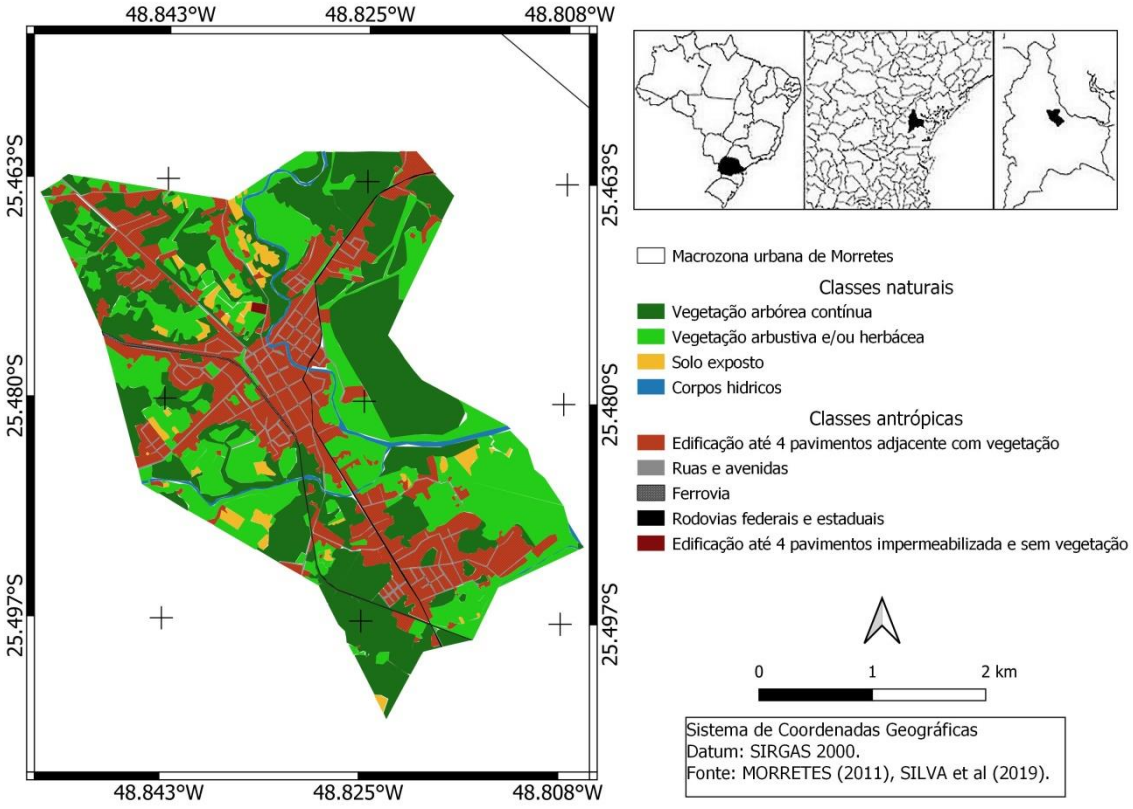
O efeito orográfico da Serra do Mar sobre Morretes (CUNICO, 2016) reflete em uma pluviosidade anual de 1.800 a 2.200 mm (ESTÊVEZ *et al*., 2011, IBGE, 2012).

A colonização europeia de Morretes iniciou-se em 1560. Os espanhóis e portugueses encontraram indígenas carijó habitando a região e a ocupação se deu por meio de conflitos e acordos. O interesse desses assentamentos era a extração de ouro dos rios da cidade, que se desenvolveu ao redor dos mesmos. Diferentemente dos carijós, os portugueses habitaram

as planícies de inundações, e as elevações naturais dos rios tornaram-se inconvenientes. Para gestão desses eventos foram realizadas muitas dragagens (CAVAZZANI; GOMES, 2017).

Apesar dessas interferências no ecossistema, a vegetação é bastante preservada nos níveis de árvores, arbustos e ervas, além de muitas áreas edificadas com vegetação adjacente (Figura 2) (SILVA *et al*., 2019). Cerca de somente 0,27 % do território municipal incluía a área urbanizada em 2005, e essa área aumentou em 2017 para 0,34 % para a direção leste e rumo ao litoral (SILVA *et al*., 2020).

Figura 2 – Mapa de Cobertura da terra na macrozona urbana de Morretes - Paraná.



Adaptado: MORRETES (2011), SILVA *et al*., (2019).

A latitude subtropical e o percentual de cobertura da terra com vegetação arbórea (35,38%) são facilitadores da evaporação, evapotranspiração e formação de chuvas convectivas (MAACK, 2012). A grande quantidade de chuvas, representada pelo volume anual de precipitação de 2.000 mm, também está relacionada à umidade recebida do Oceano Atlântico e ao efeito orográfico do relevo com muitas elevações, que variam de 20 a 1.340 metros de altura e chegando até 7,62° de declividade (AGUASPARANÁ, 2019). O relevo retém e distribui espacialmente a umidade, interferindo temporalmente no regime de

chuvas (CAVALCANTI; FERREIRA, 2021). A vegetação e as chuvas se relacionam pela evapotranspiração, interceptação da precipitação, promoção da infiltração e redução do escoamento superficial (MAACK, 2012).

O clima na cidade está associado ao relevo. O clima Cfb (quente e com precipitação inferior a 30 mm nos meses do verão) ocorre nas áreas mais altas. O clima Cfa (quente e com precipitação superior a 30 mm nos meses do verão) ocorre nas encostas montanhosas. O clima Af (quente e com precipitação superior a 60 mm nos meses do verão) é encontrado nas áreas mais baixas (VANHONI; MENDONÇA, 2008). Morretes tem várias macrozonas (Urbana, Proteção ambiental, Proteção ambiental da Serra do Mar, Proteção ambiental de Guaratuba, Eixo de desenvolvimento econômico, Rural e Eixo de desenvolvimento turístico I, II e III) (MORRETES, 2011), onde se localizam 14 estações pluviométricas (IAT, 2021) e 5 fluviométricas (ANA, 2021).

Os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro são indicados como os de maior precipitação mensal (CAVALCANTI; FERREIRA, 2021). Morretes, de forma geral, apresenta chuvas mais intensas no verão e na primavera (MENDONÇA, 2017). As precipitações elevadas e frequentes em conjunto com o relevo facilitam a ocorrência de alagamentos e inundações na cidade (AGUASPARANÁ, 2019). Há registros de 28 anos com episódios de inundações repentinas (Quadro 2).

Quadro 2 – Registro dos anos com inundações repentinas em Morretes – Paraná.

Anos de ocorrência de inundações repentinas	Fonte
1776	CAVAZZANI; GOMES (2017)
1831	
1821	
1835	
1838	
1856	INCRA (1970), MIKOS *et al*. (2017)
1867	
1872	
1873	
1883	
1884	
1846	
1849	
1850	
1885	
1888	
1892	
1906	
1907	
1961	
1969	
1995	PARANÁ (2020), BRASIL (2021)
2003	
2004	
2008	
2010	
2011	
2015	

Fonte: INCRA (1970), CAVAZZANI; GOMES (2017), MIKOS *et al*. (2017), PARANÁ (2020), BRASIL (2021).

Os registros mais completos, com quantidade e tipos de danos causados à população tem início em 1995 e são realizados, desde então, pela Defesa Civil municipal (BRASIL, 2021).

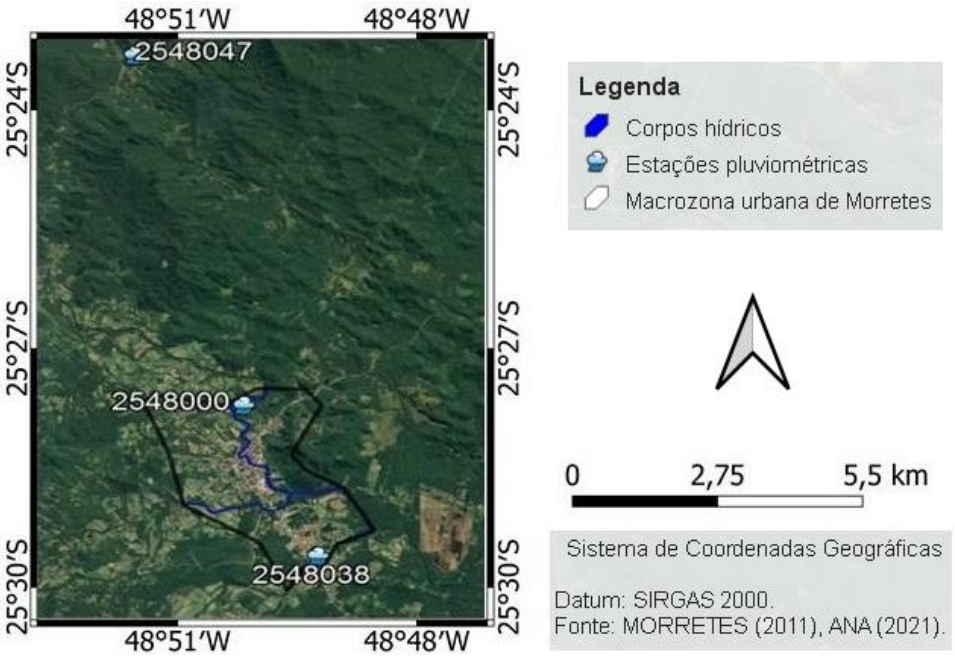
Devido às mudanças climáticas promoverem a possibilidade do aumento de volume de precipitação e maior ocorrência de inundações repentinas, e para fornecer mais subsídios no monitoramento e respostas da Defesa Civil, este estudo teve como objetivo contribuir com o conhecimento para gestão dos desastres das inundações repentinas na cidade Morretes no Paraná. Para isso, buscou-se estudar a dinâmica temporal das precipitações e relacionar historicamente precipitação e ocorrência de inundações repentinas.

2. METODOLOGIA

A relação entre precipitação e a ocorrência de inundações repentinas foi realizada de forma retrospectiva, com registros históricos, e de forma projetiva, com modelagem de cenários futuros. Os resultados da análise retrospectiva, em especial dos meses com maior associação a inundações repentinas, foram utilizados na projeção futura.

Destaca-se que o registro de inundações repentinas na cidade de Morretes se localiza entre os anos de 1995 e 2015 (PARANÁ, 2021), e por essa razão o período de precipitação escolhido para análise está compreendido entre esses anos. Os registros de volume de precipitação foram coletados da plataforma *HidroWeb* da Agência Nacional das Águas (ANA, 2021) a partir das estações pluviométricas 2548000 (S 25°28'00" e W 48°49'59") no centro de Morretes, 2548038 (S 25°30'00" e W 48°49'00") na região de terras baixas da cidade, e 2548047 (S 25°23'19" e W 48°51'30") na zona montanhosa da Serra do Mar, devido a sua zona de abrangência de até 13 km de cobertura para atender a macrozona urbana de Morretes (Figura 3) (BUFFON; SOUZA, 2018) e por estarem operando, durante os registros de inundações repentinas, pela Defesa Civil (1995-2015). Optou-se por utilizar dados diários, mensais e anuais, devido a apenas uma das três estações conter informações por horário e haver necessidade de uma similaridade entre os dados.

Figura 3 - Estações pluviométricas de Morretes - Paraná.



A relação retrospectiva ocorreu através de registros históricos anuais de 1995 a 2015, com avaliação da variação do volume de precipitação por regressão linear simples. Fez-se a correlação de chuvas e inundações repentinas em períodos de anos, meses e dias para entendimento dos eventos. Para as correlações, utilizou-se a Correlação de Pearson, devido à possibilidade de interação entre diferentes dados e apresentação de relações positivas e negativas. Os coeficientes de Pearson foram classificados nas categorias apresentadas por Mukaka (2012): muito fraca de 0 a 0,3; fraca de 0,3 a 0,5; moderada de 0,5 a 0,7; forte de 0,7 a 0,9; e muito forte sendo acima de 0,9. Todos os cálculos foram feitos com valor $p \leq 0,05$ no programa *Past* versão 3.26 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

Buscou-se correlacionar o volume de precipitação anual entre as estações pluviométricas para verificar diferenças entre as mesmas. Correlacionou-se o volume de precipitação anual das estações: com anos de ocorrência de inundações repentinas para verificar a influência das chuvas na gênese dos eventos; quantidade de bairros atingidos para inferir efeitos das chuvas na intensidade dos eventos; e teleconexões El Niño e La Niña, atribuindo-se valores (1, 2, 3 e 4) positivos para a primeira e negativos à segunda (Quadro 3) (NULL, 2021) para verificar o quanto as mesmas influenciam na precipitação da cidade.

Quadro 3 – Eventos El Niño e La Niña de 1995-2015.

El Niño				**La Niña**			
(1) Fraco	**(2) Moderado**	**(3) Forte**	**(4) Muito forte**	**(-1) Fraco**	**(-2) Moderado**	**(-3) Forte**	**(-4) Muito Forte**
2004-05	1994-95		1997-98	2000-01	1995-96	1998-99	
2006-07	2002-03		2015-16	2005-06	2011-12	1999-00	
2014-15	2009-10			2008-09		2007-08	
						2010-11	

Fonte: NULL (2021).

No período mensal, fez-se distribuição de frequências da quantidade de meses relacionada ao volume total de precipitação mensal para verificar os que apresentam mais valores extremos.

Para os períodos diários, foram elaborados diagramas de caixas (boxplots) para cada estação, verificando-se valores de mediana, máximos e mínimos para identificar registros

com volumes extremos. Com essa identificação, buscou-se avaliar quais meses com registros de inundações apresentaram mais dias com volumes de precipitação extremos.

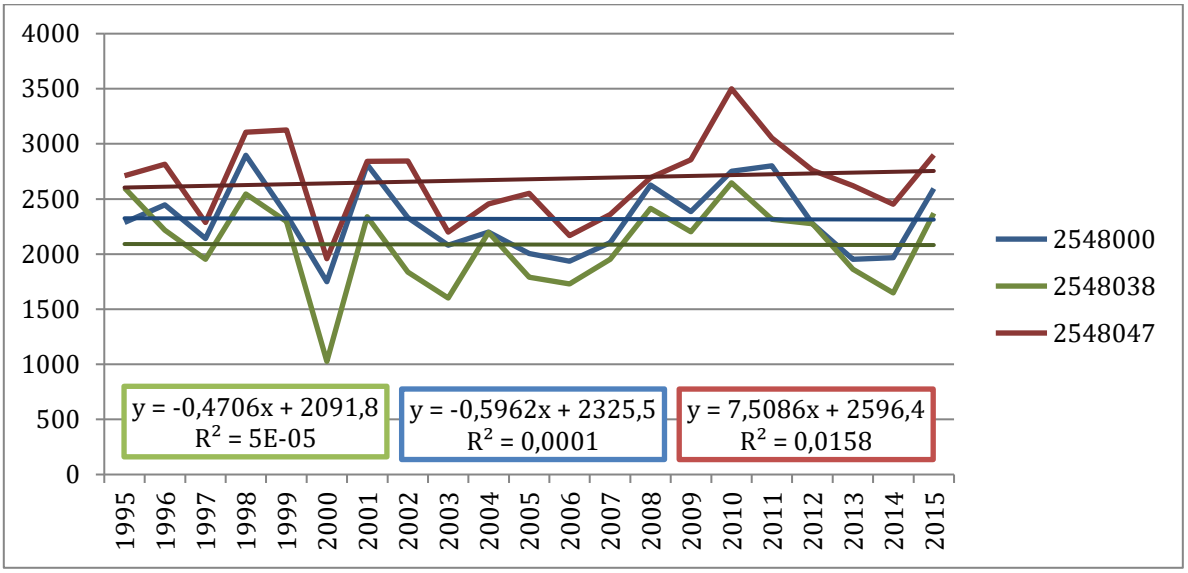
Os resultados da variação da precipitação anual, meses com maiores volumes totais de precipitação e quantidade de dias com chuvas extremas foram considerados para identificar o mês a ser usado na modelagem. Considerou-se que extremos de precipitação favorecem a ocorrência de inundações repentinas.

Foi realizada a projeção de dois cenários futuros, otimista e pessimista, que podem ocorrer com e sem ações/medidas de atenuação das variações climáticas como redução de CO2, NO2, reflorestamento e outras. Os modelos projetivos de precipitação utilizados foram ssp126 (cenário otimista com concentração de CO2 atmosférico de 430 a 480 ppm, conservação da vegetação e forçamento radiativo de 2,6 W/m² até 2100) e ssp585 (cenário pessimista com concentração de CO2 atmosférico >1.000 ppm, desmatamento e forçamento radiativo de 8,5 W/m² até 2100) do modelo *Beijing Climate Center Climate System Model* (BCC-CSM2-MR). Esse modelo considera: gases do efeito estufa e aerossóis na formação de nuvens e efeitos na radiação na atmosfera; e solo, vegetação, neve na radiação e sequestro de carbono na superfície (WU *et al*., 2019) para o mês identificado nos períodos 2021-2040 e 2041-2060 vinculado ao *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) em resolução de 2,5' (WORLDCLIM, 2021). Essa modelagem foi realizada no *QGIS* versão 3.10.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições de precipitação anual demonstraram variação nos registros; no entanto, o valor de R^2 é ínfimo e a linha de tendência linear só apresenta diferença para a estação 2548047 (Figura 4). Esses resultados demonstram pouca ou nenhuma relação entre a passagem do tempo e mudanças na precipitação. As estações 2548000, 2548038 e 2548047 não apresentam diferenças significativas entre si, pois os volumes anuais de precipitação têm uma correlação de Pearson forte (0,8).

Figura 4 - Volume de precipitação anual de 1995 a 2015 em Morretes-Paraná.



Foram registrados pela Defesa Civil, de 1995 a 2015, 129 locais com inundações repentinas distribuídos nos bairros da macrozona urbana e nas adjacências. A precipitação anual nas estações tem uma correlação moderada positiva com anos com registros de inundações repentinas, muito fraca negativa com El Niño/ La Niña e muito fraca positiva com a quantidade de bairros atingidos (Quadro 4).

Quadro 4 – Coeficientes de correlação de Pearson da precipitação anual das estações de Morretes com inundações repentinas e El Niño/ La Niña.

Estações pluviométricas	Anos de ocorrência	Bairros atingidos	El Niño (valores positivos)/ La Niña (valores negativos)
2548000	0,7	0,2	-0,1
2548038	0,7	0,3	-0,2
2548047	0,6	0,2	-0,3

Esses valores podem indicar que as terras baixas, representadas pelas estações 2548000 e 2548038, podem ter significativas maiores correlações porque estão nas áreas mais habitadas com mais notificações da Defesa Civil sobre as zonas montanhosas, onde há menor acumulo de água superficial. A estação 2548038 da zona montanhosa foi a que apresentou substancial maior correlação a teleconexão La Niña e suas chuvas podem derivar dessa interação, bem como efeito orográfico e à umidade advinda do Oceano Atlântico

(CAVALCANTI; FERREIRA, 2021).

Foram identificadas 24 classes de precipitação mensal. Em relação aos meses, foram encontrados mais com elevados volumes de precipitação na porção direita das Figuras 5, 6 e 7 do que ocorrências de inundações repentinas, embora esses tenham menor frequência do que demais meses com menores volumes nas séries históricas. Isso pode demonstrar que a concentração de dias chuvosos dentro de um mês tenha maior influência que a precipitação mensal.

Figura 5 – Frequência de meses em relação volume de precipitação (mm) da estação 2548000 de 1995 a 2015.

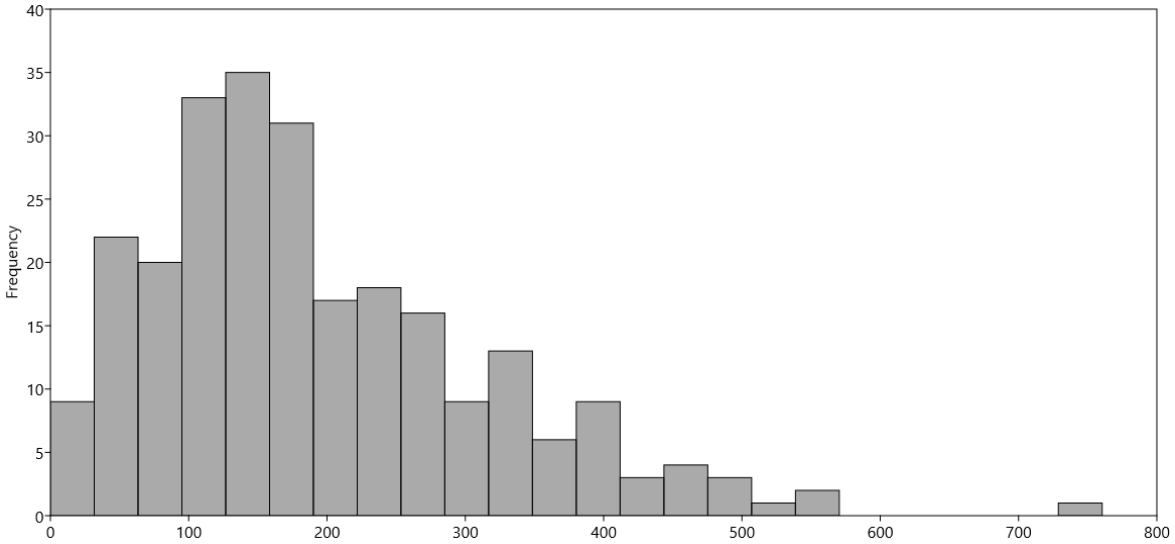


Figura 6 - Frequência de meses em relação volume de precipitação (mm) da estação 2548038 de 1995 a 2015.

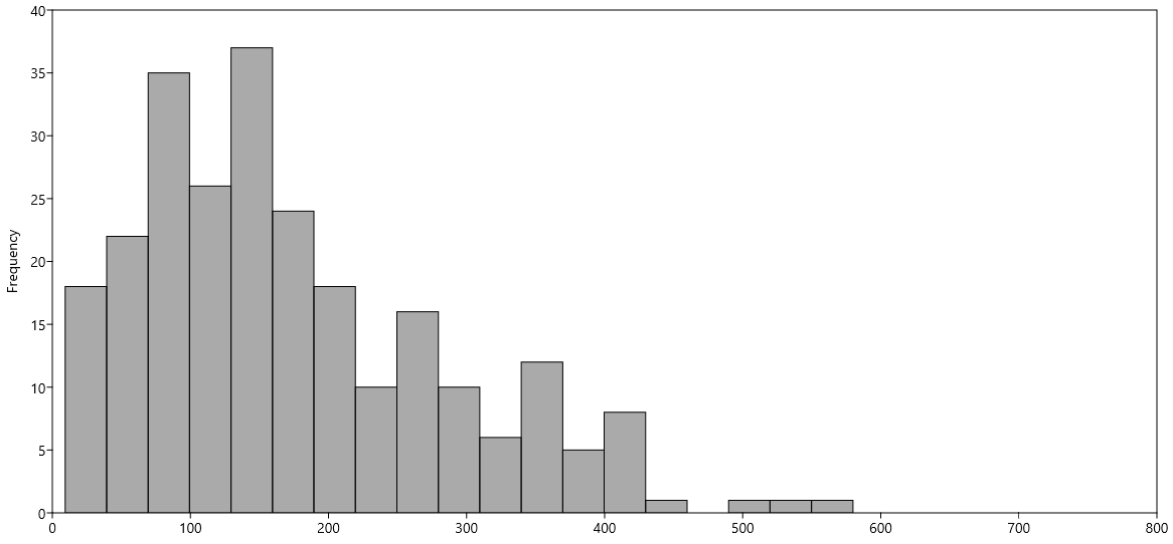
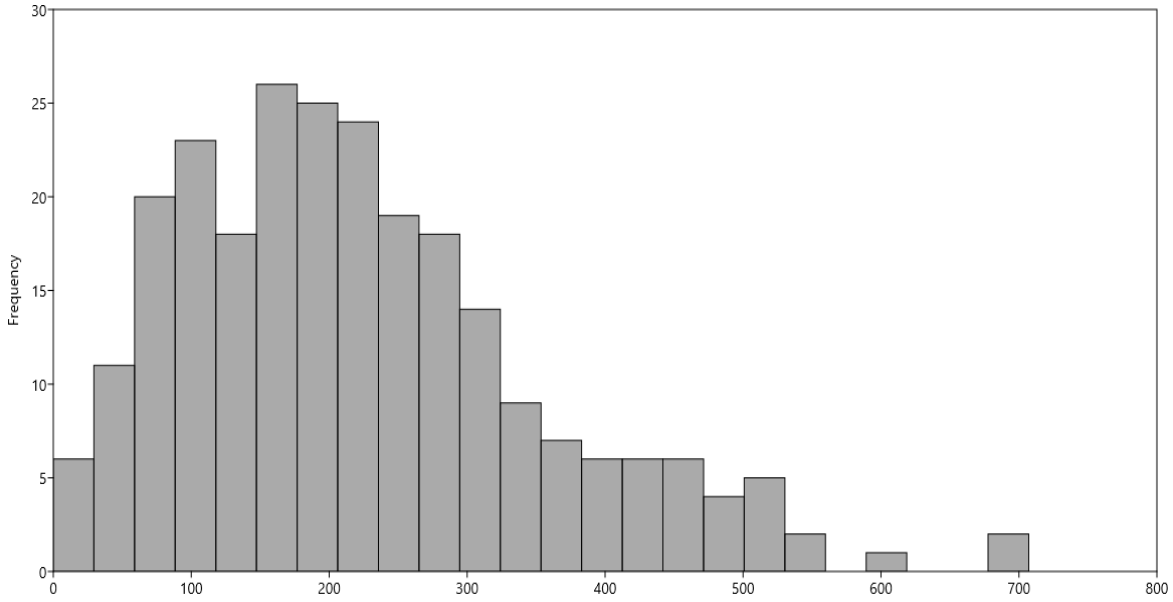


Figura 7 – Frequência de meses em relação volume de precipitação (mm) da estação 2548047 de 1995 a 2015.



Pela reduzida frequência de meses com maiores volumes de precipitação, foi possível identifica-los. O mês de março se destaca na correlação entre volume médio de precipitação mensal com bairros atingidos por inundações repentinas (Quadro 5), uma vez que o coeficiente foi positivo para janeiro (0,2), fevereiro (0,4) e março (0,8), neutro para dezembro (0,0) e negativo para os demais meses. Como os coeficientes variam de muito fraco a forte, não havendo correlação muito forte encontrada, há indícios de que a concentração de dias chuvosos e outros fatores, como ocorrência de valores extremos, atuem na gênese de inundações repentinas (BRASIL, 2021).

Quadro 5 – Meses com inundações repentinas no período 1995-2015 de Morretes.

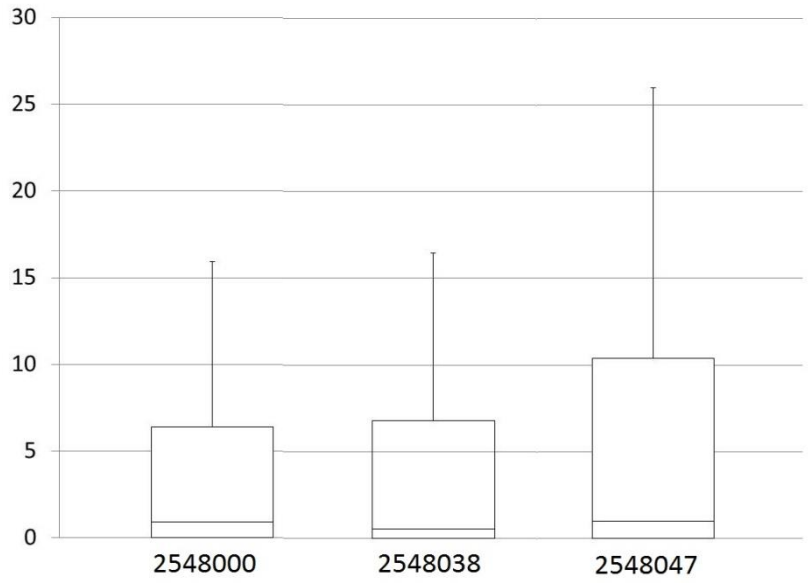
Mês/ Ano	Locais atingidos por inundações repentinas	Precipitação média (mm/ mês)
Janeiro	25	327,3
Fevereiro	35	290,5
Março	61	259,1
Dezembro	8	240,5

Fonte: ANA (2021).

A maior parte do volume diário das precipitações se concentra principalmente entre:

0 e 6,4 com máximos de até 16 mm/dia na estação 2548000; 0 e 6,8 com máximos de até 17 mm/dia na estação 2548038; e 0 e 10,4 com máximos de até 26 mm/dia na estação 2548047. Verifica-se que há maior volume das chuvas na encosta montanhosa. Os eventos extremos com magnitude acima dos máximos diários têm pouca frequência (Figura 8).

Figura 8 - Boxplot da pluviosidade média diária de 1995 – 2015.



Fonte: ANA (2021).

Os dados corrigidos (sem outliers) foram utilizados para identificar registros diários mais elevados nos meses com ocorrências de inundações repentinas, porém notou-se que muitos registros extremos foram removidos pela correção. Desse modo, considerou-se que chuvas mais extremas são representadas pelos outliers. Os registros com valores diários de volume de precipitação mais altos relacionados a inundações repentinas foram “março de 2010” e “março de 2011”. De forma geral, o mês de março se destaca com o maior volume e ocorrência de inundações repentinas das séries (Quadro 6).

Quadro 6 – Dias com registros discrepantes de precipitação nos meses associados à eventos de inundações.

Data	2548000	2548038	2548047	Total
jan/95	Não	Sim*	Não	1
jan/03	Sim*	Sim*	Sim*	3
jan/04	Sim*	Sim*	Sim*	3
fev/08	Sim*	Sim*	Não	2
fev/10	Não	Sim**	Não	2
mar/10	Sim**	Sim*****	Sim*	8
mar/11	Sim**	Sim**	Sim**	6
dez/15	Sim*	Sim**	Não	3
Total	8	15	5	28

Fonte: ANA (2021).

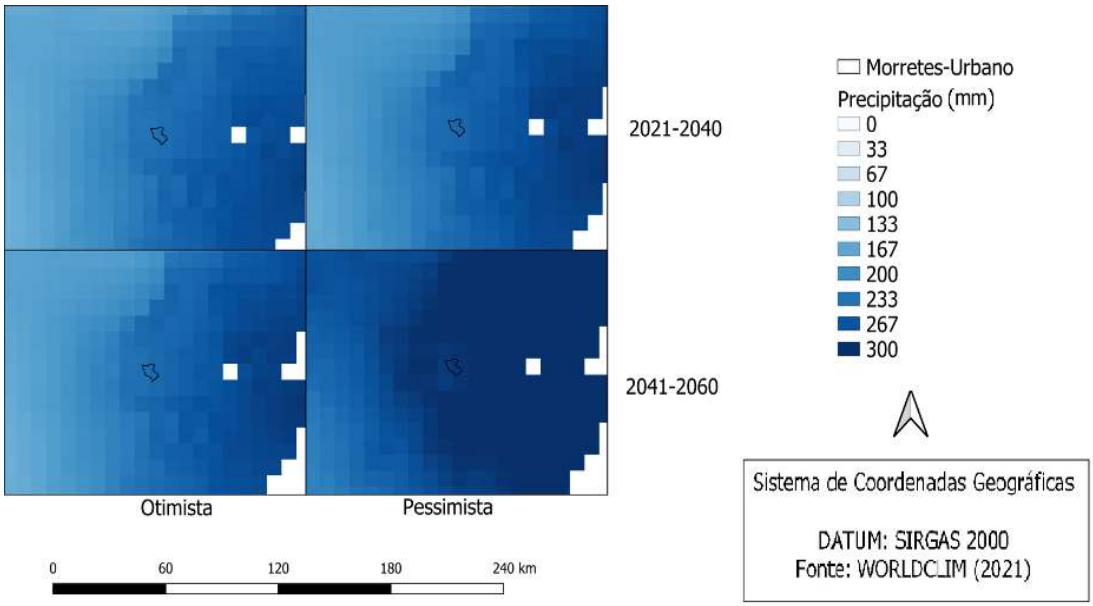
Legenda: * = quantidade de dias.

Embora janeiro seja o mês com mais elevada pluviosidade, o mês de março foi identificado como o mais relacionado a inundações repentinas e indicado para modelagem de eventos futuros. Março é um dos meses que recebe influência do Modo Anular Sul, mas setembro também, e não foram encontrados registros mensais e diários elevados de precipitação nesse último. Desse modo, como El Niño e La Niña, a teleconexão do Modo Anular Sul parece ter pouca influência na região (CAVALCANTI; FERREIRA, 2021). Há possibilidade de que as inundações ocorram, principalmente em março, devido a esse ser o fim do verão, que é uma estação chuvosa. Nesse sentido, o começo desse período apresenta menos inundações porque a grande quantidade de vegetação facilita a infiltração. Conforme os meses passam, o solo fica saturado (TUCCI, 2013). A menor quantidade de dias e meses com volumes elevados de precipitação é corroborada por Christofoletti (1981), que apresenta que eventos hídricos de maior magnitude, também chamados de extremos, são mais raros.

A relação projetiva evidencia o efeito orográfico e repressão da umidade do Oceano Atlântico na formação de chuvas da Serra do Mar (MENDONÇA, 2017; SILVA *et al*., 2019). A macrozona urbana de Morretes e todo o litoral paranaense que se localizam a leste da elevação apresentam maior volume de precipitação mensal de março em relação a oeste (Figura 9). Conforme as projeções, a precipitação mensal de março sobre a área de estudo não muda no cenário mais otimista com uma média de 233 mm/mês, enquanto que no

cenário mais pessimista em 2060 a média será de 300 mm/mês. Os valores médios preditos nos dois cenários futuros otimistas se encontram abaixo da média mensal de março, contudo, a projeção pessimista de 2060 tem a média bastante acima do valor médio histórico. Com esse acréscimo e aproximação dos valores de março e fevereiro, é esperado um aumento na quantidade de inundações repentinas.

Figura 9 - Projeção da precipitação no mês de março de 2021 a 2060.



Fonte: WORLDCLIM (2021).

Marengo e colaboradores (2021) elaboraram projeções de precipitação entre os anos de 1971 a 2100, e observaram que para os cenários de aumento de 1,5, 2,0 e 4,0 °C a intensidade das chuvas é elevada gradativamente, atingindo principalmente as regiões sul e sudeste do Brasil. Desse modo, em ambos os cenários, otimista e pessimista, é recomendado um modelo de expansão urbana que permita escoamento e infiltração, e isso passa a ser mais importante no cenário pessimista de 2060 onde teoricamente essas ações/medidas não teriam sido tomadas (IPCC, 2021). No Brasil, há legislação ligada a desastres em diferentes instâncias. No nível federal, existem a Política Nacional sobre Mudanças do Clima e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Essas políticas designam a rede da Defesa Civil para planejamento, resposta e adaptação das áreas suscetíveis e populações vulneráveis (BRASIL, 2016). As principais medidas, além da realocação da população, incluem modificações na paisagem que facilitem a infiltração (RUANGPAN *et al.*, 2020).

Se a taxa de crescimento de Morretes se mantiver, a área urbanizada será de 2,64% da área de todo o município em 2040 e 4,85% em 2060. Na possibilidade da disposição espacial da expansão urbana ocorrer em direção contrária ao conjunto da Serra do Mar e, logo, em planícies, a tendência é que os desastres hídricos sejam majoritariamente de inundações e alagamentos (MENDONÇA, 2017). As chuvas podem ser intensificadas pela convecção dadas a latitude e a cobertura da terra, bem como pelo encontro de massas de ar.

Como exposto, a projeção para inundações repentinas em Morretes é que podem se tornar mais frequentes com o aquecimento global.

Os resultados deste estudo apontam que as inundações repentinas são mais comuns no verão e principalmente no mês de março, se houver concentração de dias chuvosos. Essa informação pode ser utilizada para redes de monitoramento de desastres, como a Defesa Civil. Recomendam-se estudos com a população, cobertura da terra, precipitação de outras cidades do litoral do Paraná e com cenários intermediários entre o mais otimista e mais pessimista de concentração atmosférica de CO2 para maior compreensão e gestão desses desastres.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de Morretes possui um volume de precipitação mensal média de março acima de 250 mm. Embora elevada, essa precipitação não está diretamente correlacionada com as inundações repentinas ocorrentes em março. Após verificar e analisar os dados, percebe-se que as inundações nesse mês podem estar mais relacionadas com a saturação do solo produzida pela concentração de dias bastante chuvosos e porque março é o mês final da estação chuvosa. Conforme a literatura e o estudo apresentam, dias com elevados volumes de precipitação subsequentes favorecem mais ocorrência de inundações em comparação quando há dias espaçados.

As teleconexões El Niño e La Niña parecem pouco relacionadas com esses eventos. A quantidade de vegetação eficiente à interceptação e infiltração da precipitação na área de estudo pode ser um dos maiores atenuadores das inundações pela infiltração e manutenção dos lençóis freáticos. Há possibilidade de que se essas chuvas ocorressem em uma área sem

arborização e com muita impermeabilização, a frequência de inundações seria maior.

A frequência de meses e dias com chuvas extremas se mostrou baixa na análise retrospectiva. Com a análise projetiva, esses meses podem se tornar mais comuns com o aumento da temperatura média global. A escala cartográfica da modelagem oportunizou verificar que toda a região a leste da Serra do Mar apresenta características semelhantes quanto à pluviosidade. Para os dois cenários futuros (com menor e maior concentração de CO2 atmosférico, com seus efeitos no aumento da temperatura e formação de chuvas) é importante um planejamento urbano adequado à possibilidade de inundações. De qualquer forma, as modificações e expansão urbana são constantes e mais pesquisas com outras cidades do litoral do Paraná são recomendadas para o entendimento desses processos na região.

AGRADECIMENTOS

Item não obrigatório a ser incluído antes das referências. Ressalta-se, quando houver agradecimento, que esta seção deve ser preenchida em sua totalidade após a avaliação por pares cega, para que não haja menção aos nomes dos autores, universidades, instituições e agências de fomento.

REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ – Instituto Das Águas do Paraná; COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. **Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea (BHL)**. Paraná. 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Séries Históricas de Estações**. 2021. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 12 mai. 2021.

BATISTA, F.E.S.; FONSECA, M.N.; FERENTZ, L.M.S.; PINHEIRO, E.G.; STRINGARI, D. Panorama da produção científica sobre a redução de riscos de desastres no estado do Paraná. **Revista de Geografia**, v.38, n.2, p.265-283, 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007.

BRASIL. **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

BRASIL. **S2ID – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. 2021. Disponível em: https://s2idsearch.labtrans.ufsc.br/.Acesso em: 18 jun. 2021.

BUFFON, E.A.M.; SOUSA, M.S. Proposta metodológica para avaliação dos registros secundários de alagamentos: uma abordagem a partir de Curitiba-Paraná, Brasil. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v.19, n.67, p. 188-204, 2018.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J. (org). **Climas das regiões brasileiras e variabilidade climática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

CAVAZZANI, A.L.M.; GOMES, S.A.R. (org.). **Memória histórica de Morretes**. Curitiba: Editora UFPR, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CUNICO, C (Org). **Zoneamento ecológico – econômico do Estado Do Paraná – Litoral**. Curitiba: ITCG, 2016.

ESTÊVEZ, L.F.; CUNICO, C.; MEZZOMO, M.M.; BIESEK, A.S.; MAGANHOTTO, R. Análise da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Marumbi, Morretes-PR: Unidades De Paisagem, Fragilidade Potencial e Hemerobia. **RA´EGA**, v.23, p.428-447, 2011.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, p. 1-9, 2001.

IAT – Instituto das Águas do Paraná. **Relatório de Alturas Diárias de Precipitação**. 2021. Disponível em: http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasDiariasPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial. Acesso em: 30 jun.2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeio: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012.

INCRA-Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Morretes e suas possibilidades**. Curitiba: INCRA, 1970.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021.

LIMBERGER, L. ESTUDOS DE TELECONEXÕES ATMOSFÉRICAS E POSSIBILIDADES DE AVANÇOS NA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA: CONCEITOS, FONTES DE DADOS E TÉCNICAS. **Revista Brasileira de Climatologia,** v.19, p.10-19, 2016.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012.

MAYER, F. Z.; DOURADO, M. S. ; KRELLING, A.P. PERCEPÇÃO DOS PESCADORES EM RELAÇÃO AOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DE SHANGRI-LÁ, PONTAL DO PARANÁ. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v. 4, p. 76-97, 2019.

MARENGO, J.A.; CAMARINHA, P.I.; ALVES, L.M.; DINIZ, F.; BETTS, R.A. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0 ºC Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, v.3, 610433, 2021.

MENDONÇA, F. (org.). **Os Climas do Sul**: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

MIKOS M., TIWARI B., YIN Y., SASSA K. (ed.). **Advancing Culture of Living with Landslides**. WLF 2017. Springer, Cham., 2017.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F.A. (org.). **Clima urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

MORRETES. **Lei Complementar Municipal n.º 06, de 04 de fevereiro de 2011**. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-morretes-pr. Acesso em: 02 jul. 2020.

MUKAKA, M.M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v.24, n.3, p.69-71, 2012.

NULL,J. **El Niño and La Niña Years and Intensities**. 2021. Disponível em: https://ggweather.com/enso/oni.htm. Acesso em: 12 mai.2021.

PARANÁ. **SigRisco – Sistema Paranaense de Informações para Gestão de Riscos a Desastres Naturais**. Disponível em: < http://www.viconsaga.com.br/sigriscopr >. Acesso em: 02 jul. 2021.

RUANGPAN, L.; VOJINOVIC, Z.; SABATINO, S.; LEO, L.S.; CAPOBIANCO, V.; OEN, A.M.P.; MCCLAIN, M.E.; LOPEZ-GUNN, E. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.20, p.243-270, 2020.

SANTOS, K.R. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. **Élisée**, v.1, n.1, p.177-190, 2012.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; CAZAROTO, P. C.; RODRIGUES, B. S. Metanálise de pesquisas sobre inundações urbanas: identificação de fatores causais e métodos empregados em estudos recentes. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. e185760, 2021.

SILVA, C.M.O.; OLIVEIRA, M.H.F.; FERRARINI, J.C.G.; SILVA, E.L.P.; TONETTI, E.L.; PEREIRA, L.A. EVOLUÇÃO DA ÁREA URBANIZADA NO MUNICÍPIO DE MORRETES-PR. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 59077-59085, 2020.

SILVA, E.L.P.; SANTOS, E.;TONETTI, E.L.Interação planta-polinizador em praças públicas da cidade de Morretes (Paraná). **Meio Ambiente (Brasil)**, v.2, n.3. p.21-42, 2020.

SILVA, E. L. P.; SILVA, M.H.C.R. ; MENDONÇA, F.A. HISTÓRICO E PROJEÇÃO DE ENXURRADAS EM MORRETES-PR. *In*: XIV ENANPEGE, 2021. **Anais do XIV ENANPEGE**, 2021.

SILVA, E.L.P.; SILVA, P.O.; TONETTI, E.L.; SANTOS, E.; FARIA, G.G. Qualidade ambiental e hemerobia da macrozona urbana de Morretes**. Revista Científica Interdisciplinar Interlogos**, v.6, n.1, p.1-13, 2019.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ ABRHidro, 2013.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O CLIMA DO LITORAL DO ESTADO DO PARANÁ. **Climatologia**, v.3, p.49-63, 2008.

WORLDCLIM. **Future climate, 2.5 minutes spatial resolution**. 2021. Disponível em: https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim2.5m.html. Acesso em: 08 jun.2021.

WU, T.; LU, Y.; FANG, Y.; XIN, X.; LI, L.; LI, W.; JIE, W.; ZHANG, J.; LIU, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, F.; ZHANG, Y.; WU, F.; LI, J.; CHU, M.; WANG, Z.; SHI, X.; LIU, X.; WEI, M.; HUANG, A. The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v.12, n.4, p.1573-1600, 2019.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; CHEN, Y.; LIANG, F.; LIU, H. Assessment of future flash flood inundations in coastal regions under climate change scenarios—A case study of Hadahe River basin in northeastern China. **Science of the Total Environment**, v.693, p.133550-133550, 2019.