



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Distribuição pluviométrica do município de Londrina/PR: análise do comportamento, balanço hídrico, probabilidade e tempo de retorno

Ana Karlla Penna Rocha¹, Maurício Moreira dos Santos²

¹ Doutoranda em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, karllapenna@hotmail.com. ² Professor Dr. Associado I, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, mmsantos@utfpr.edu.br.

Artigo recebido em 26/09/2022 e aceite em 12/10/2022.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar a distribuição histórica da pluviometria do município de Londrina/PR entre os anos de 1976 a 2020, a fim de ter um melhor conhecimento de sua disponibilidade hídrica. Para isto, foram utilizadas análises estatísticas descritivas (por exemplo, média, mínimo, máximo, mediana e outros), Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Balanço Hídrico Simplificado e Climatológico de Thornthwaite, Probabilidade e Tempo de Retorno pelo Método de Kimbal. Constatou-se, a partir da série histórica analisada, que Londrina apresenta total médio precipitado de 1658,4 mm/ano. Por sua vez, o período médio de maior concentração das chuvas ocorre entre os meses de outubro a fevereiro, sendo o janeiro que apresentou a maior magnitude pluviométrica de 550,7 mm no ano de 2005, com probabilidade de ocorrência de 2%. Destaca-se que o ano de 1980 foi o ano com maior valor de precipitação para a série histórica, com total médio de 2636,3 mm. Por outro lado, os anos 1985 e 2020 apresentaram a menor média anual de precipitação com 1058 e 1090 mm, respectivamente. Ainda foi possível comprovar que de modo geral há uma predominância de eventos chuvosos normais, com SPI oscilando entre +1,0 e -1,0. Sabendo que a pluviosidade é um dos fatores mais importantes para definição do clima de uma região, os dados aqui analisados devem subsidiar a criação de estratégias que visam o planejamento de atividades ambientais e socioeconômicas a fim de auxiliar no gerenciamento e utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica, padrão climático, mudança temporal, déficit hídrico.

Rainfall distribution in the municipality of Londrina/PR: behavior analysis, water balance, probability, and return period

ABSTRACT

This study aimed to verify the historical distribution of rain in Londrina/PR for the period 1976 to 2020 for a better understanding of water availability. Thus, were used descriptive statistical analysis (e.g., mean, minimum, maximum, median, and others), Standardized Precipitation Index (SPI), Thornthwaite's Simplified and Climatological Water Balance, Probability, and Return Period by the Kimbal method. According to the analyzed historical series, it was found that Londrina has an average total rainfall of 1658.4 mm/year. In turn, the middle period with the highest concentration of rain occurs between October and February, with January having the highest rainfall magnitude of 550.7 mm in 2005, with a probability of occurrence of 2%. It is noteworthy that 1980 had the highest precipitation value for the historical series, with an average total of 2636.3 mm. However, 1985 and 2020 had the lowest average annual rainfall, with 1058 and 1090 mm, respectively. It was still possible to prove that, in general, regular rainy events are predominant, with SPI oscillating between +1.0 and -1.0. Knowing that rainfall is one of the most critical factors for defining the climate of a region, the data analyzed here should support the creation of strategies aimed at planning environmental and socioeconomic activities to assist in the management and more efficient use of water resources.

Keywords: water availability, climate pattern, temporal change, water deficit.

Introdução

O clima é um dos fatores mais importantes para o sucesso das atividades agropecuárias. Porém, a insuficiência de informações básicas de

sua oscilação, é uma constante fonte de insegurança na produção agrícola. Sua variabilidade sazonal e principalmente o

comportamento aleatório da distribuição das chuvas, podem interferir na produtividade final das safras (Althoff et al., 2021; Lukwasa et al., 2022; Sibaldelli et al., 2022).

Com a variabilidade climática e o agravamento das crises hídricas, diversos setores da sociedade, como as atividades agropecuárias e industriais, geração de energia, são prejudicadas, resultando em riscos para o meio ambiente, a saúde humana e a queda da qualidade de vida (Brasiliense et al., 2020; Mendes, 2022; Schilling et al., 2020). O Sul do Brasil é a região mais vulnerável aos desastres desencadeados por chuvas extremas, em destaque às regiões metropolitanas com alto desenvolvimento econômico e alta densidade populacional urbana (Marengo et al., 2021). São nestas localidades em que a frequência e magnitude de chuvas extremas, deslizamentos de terra e inundações inesperadas podem ser intensificadas devido à crescente urbanização, impermeabilidade do solo e aquecimento global (Francipane et al., 2021; Marengo et al., 2021; Oliveira-Júnior et al., 2022).

Ao definir o clima de uma região tem-se o conhecimento da disponibilidade e variabilidade hídrica (Cangela et al., 2021). Com isso, os produtores podem adotar estratégias que inclui escolher uma determinada espécie ou variedade adaptada ao local do cultivo, estabelecer qual a época correta da adubação, definir qual melhor período de semeadura e colheita, entre outros planos. No fim, é mais provável que o produto seja de qualidade e quantidade satisfatória, alcançando os melhores preços de venda.

A precipitação pluviométrica e a temperatura do ar são utilizadas como forma de classificação do tipo climático de uma região (Alvares et al., 2013; Rodrigues et al., 2022). Na região Sul do Brasil, a pluviosidade é influenciada por sistemas frontais, ciclones, complexos convectivos de mesoescala e também tem influência indireta da Zona de Convergência do Atlântico Sul (Guerra & Quadros, 2021; Salton et al., 2021).

O estado do Paraná possui duas classificações climáticas, sua porção mais ao noroeste e litorânea é do tipo Cfa e ao sudoeste Cfb (Nitsche et al., 2019). O município de Londrina, cujo trópico de capricórnio cruza sua parte sul, tem como umas de suas principais atividades a agropecuária, devido aos seus solos férteis, a terra roxa (Grassiotto et al., 2022). Portanto, pesquisas que buscam compreender a variação espaço-

temporal das chuvas e o entendimento da disponibilidade hídrica fornecem informações importantes, principalmente para a tomada de decisão na agricultura (Haldar et al., 2020; Lukwasa et al., 2022).

Com o intuito de compreender o funcionamento das variáveis climáticas em escala temporal e espacial, pretende-se fornecer informações que auxiliarão no gerenciamento dos recursos hídricos, planejamento de sistemas agrícolas e na produção animal do município de Londrina-PR, uma vez que estas mudanças têm impactos significativos na vida da sociedade, sendo imprescindível o seu conhecimento.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo - Com uma área de 1652,57 km², o município de Londrina está localizado na região norte do estado do Paraná (Figura 1), entre 23° 10' e 23° 48' de latitude sul e 51° 19' e 50° 53' de longitude a oeste de Greenwich.

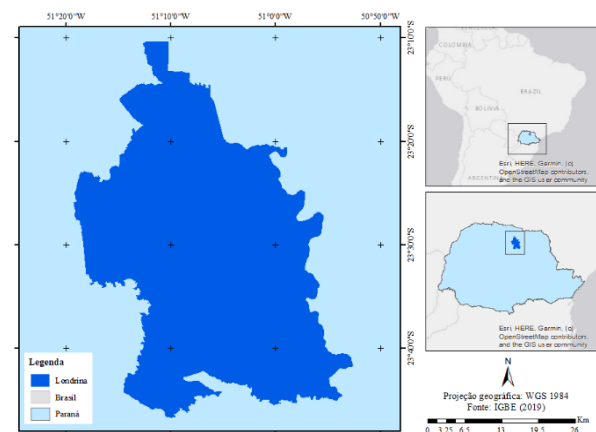


Figura 1. Mapa de localização de Londrina – PR

O clima do município, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, com clima subtropical úmido e oceânico sem estação seca e com verão quente (Alvares et al., 2013). Segundo dados de cobertura da terra do MapBiomas (2020) 72,05% do território londrinense correspondia as áreas relacionadas às atividades agropecuárias, seguido de 20,14% de florestas, 6,88% de áreas urbanizadas, 0,69% de rios e lagos, 0,17% áreas não vegetadas e 0,07% áreas de formação natural não florestal. Sua população estimada em 2021 é de 581 mil pessoas, aproximadamente (IBGE, 2021a).

Sobre dados de território e ambiente, apresentava 85,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 96,3% de domicílios urbanos

em vias públicas com arborização e 83.1% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada, ou seja, com presença de boca de lobo, calçada, pavimentação e guia, segundo dados do Censo 2010 (IBGE, 2021b).

Procedimentos metodológicos - Para avaliar o comportamento da precipitação pluviométrica, foram realizadas as análises

estatísticas descritivas: média, mínima, máxima, mediana, amplitude, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e desvio da precipitação pluviométrica entre 1976 a 2020. Para realização das análises deste artigo, foram utilizados dados climáticos, conforme descritos na Tabela 1:

Tabela 1. Localização e informações das estações climáticas utilizados no estudo.

Variável	Fonte	Estação	Período	Altitude	Latitude	Longitude
Precipitação pluviométrica	IAT	São Luiz	1976 - 2020	740 m	23°31'00"	51°13'59"
Temperatura do ar	IAPAR	Londrina	1976 - 2020	585 m	23°13'12"	51°6'0"
Vazão	IAT	Porto Londrina	1976 - 2020	424 m	23°38'11"	50°55'22"

A mediana é o valor que é superado e não superado por 50% das ocorrências, ou seja, assim como a média, ela é utilizada para medir a tendência central de um conjunto de dados. O desvio padrão é uma medida de dispersão que quantifica a flutuação ou grau de dispersão da variável em torno da média, em que numa análise onde tem seu menor valor, maior será a tendência da proximidade com o valor médio. A amplitude é outra medida de dispersão que indica a diferença entre o dado de maior valor com o de menor. O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média do conjunto de dados, esta medida relativa de dispersão serve para expressar o desvio padrão como porcentagem da média.

Outro parâmetro estatístico utilizado neste trabalho foi o coeficiente de assimetria em que se refere à quantificação do desvio padrão de um conjunto de dados distribuídos em relação a uma distribuição simétrica, no qual o resultado positivo ou negativo deste elemento proporciona o tipo de assimetria da distribuição. O coeficiente de curtose é outra medida estatística descritiva que fornece o grau de achatamento da curva da função de distribuição e serve para indicar a regularidade ou irregularidade pluviométrica espaço-temporal. Por fim ainda foi realizado o cálculo do desvio da precipitação pluviométrica a fim de verificar quais os meses chuvosos e secos do ano, por meio da diferença entre a média mensal e a média anual dos totais pluviométricos.

Com o intuito de analisar a tipologia da pluviosidade foi adotado o Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Esta ferramenta é utilizada para quantificar e monitorar as condições hídricas de uma região, com base na variável precipitação pluviométrica, sendo desejável um período de longo prazo, ou seja, 30 anos ou mais (Blain et al.,

2005). O cálculo do SPI consiste no ajuste uma função de densidade de probabilidade à distribuição de frequência de precipitação, somados ao longo da escala temporal do local do estudo. Os valores resultantes de SPI são divididos em sete categorias listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Classificações dos valores do SPI.

Valor do SPI	Classificação
$SPI \geq 2,0$	Extremamente úmido
$1,5 < SPI \leq 1,99$	Severamente chuvoso
$1,0 < SPI \leq 1,5$	Moderadamente chuvoso
$1,0 \geq SPI > -1,0$	Normal
$-1,0 \geq SPI > -1,5$	Moderadamente seco
$-1,5 \geq SPI > -2,0$	Severamente seco
$-SPI \leq -2,0$	Extremamente seco

Fonte: McKee et al. (1993).

Neste estudo, foi utilizado o software em ambiente MS-EXCEL para cálculo do SPI desenvolvido por Blain, Rolim & Brunini (2005) em duas escalas de tempo: 1 mês e 12 meses entre 1976 a 2020.

Além disso, foram realizados dois métodos de balanço hídrico. O balanço hídrico simplificado, baseado no método de conservação de massa, relaciona as entradas e as saídas de água por meio da Equação 1:

$$(1) P = Q + ETr \pm \Delta S$$

Em que P é a precipitação pluviométrica, ETr é a evapotranspiração real e ΔS é a água armazenada na bacia. Como o balanço hídrico é um ciclo, alguns autores consideram que a ΔS pode ser desprezada para períodos de tempos longos, simplificando a equação em: $ET = P - Q$ (Cunha et al., 2011). Quanto ao balanço hídrico climatológico, este estudo foi baseado de acordo com a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), no qual é destacado pela sua

determinação da disponibilidade de água no solo, útil para o planejamento agrícola.

A fim de verificar a frequência e o tempo de retorno das chuvas máximas, foi utilizado o Método de Kimbal, que relaciona a quantidade de vezes que determinado evento ocorre ao conjunto de informações utilizados na pesquisa (Equação 2).

$$(2) F = m / (n+1)$$

$$(3) T = 1/F$$

Esta ferramenta é utilizada para verificar estatisticamente a frequência de observações de alta magnitude. Para isto a série total de dados de precipitação foi organizado em ordem decrescente, onde cada dado foi atribuído um número de ordem (m), em que varia de 1 a n, onde n é o total de anos utilizado na série. Posteriormente, foi estimado o tempo de retorno (Equação 3), ou seja, o intervalo médio em anos da ocorrência do evento de magnitude que neste estudo é a precipitação máxima (Holtz, 1976).

Resultados

Comportamento da precipitação pluviométrica - No município de Londrina – PR foi possível determinar precipitação pluviométrica média anual de 1658,43 mm para a toda série histórica estudada, sendo os anos de 1980 e 1985 aqueles de maior e menor volume acumulado, com valores totais de 2636,30 e 1058,0 mm, respectivamente. Cabe destacar que de 2015 até 2020, ou seja, 5º ano consecutivo que o município de Londrina vem enfrentando os menores totais pluviométricos observados nesta série histórica (Figura 2).

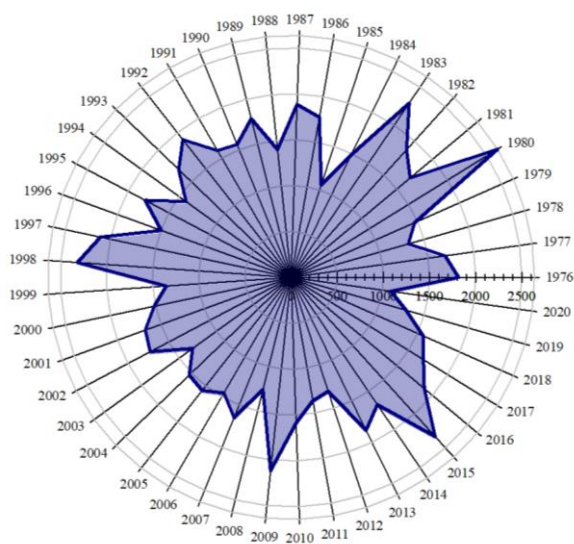


Figura 2. Precipitação pluviométrica acumulada entre 1976 e 2020 em Londrina – PR.

Na série histórica, 1976 a 2020, o valor de maior precipitação acumulada mensal de 550,70 mm ocorreu em janeiro de 2005. Por sua vez, os meses de junho (1986 e 2002), julho (1988 e 2017) e agosto (1983, 1988, 1994, 1999, 2004, 2012 e 2013) foram os mais secos, não ocorrendo registros de precipitação (0 mm), como demonstrado na Figura 3 e na Tabela 3.

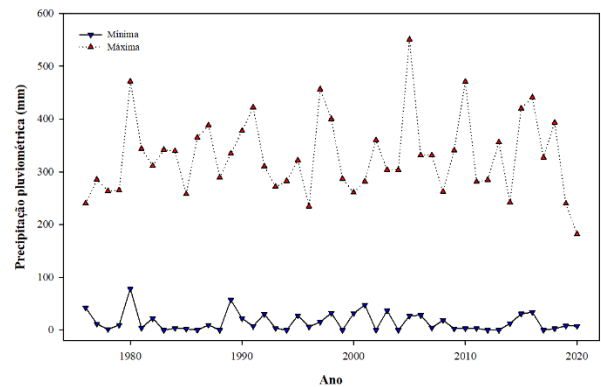


Figura 3. Precipitação pluviométrica mensal mínima e máxima nos anos de 1976 a 2020 para o município de Londrina – PR.

Os resultados dos dados estatísticos descritivos estão apresentados na Tabela 3. A média histórica mensal foi de 138,58 mm, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso e agosto o menos chuvoso com média de 223,26 e 62,34 mm, respectivamente. Ao observar a pluviosidade média, mínima e máxima, é possível inferir que os meses que apresentam os menores valores mínimos (junho, julho e agosto) também não atingem as maiores médias, sendo que apenas o mês de agosto possui a menor máxima. No entanto, janeiro apresenta a maior média, máxima e menor mínima precipitação mensal na série histórica. Desse modo, ao correlacionar estes dados à mediana evidencia-se que os meses de dezembro e janeiro são os que apresentam os valores de precipitação acima dos demais, sendo esse último apresentando a maior mediana (200,8 mm) e agosto a menor (38,4 mm).

O maior desvio padrão mensal para a série histórica foi o mês de janeiro (98,6), isto representa a maior variação de chuva em torno da média com amplitude de 510,20 mm. Ou seja, quanto maior o desvio padrão, menos homogênea será a amostra e maior será a amplitude dos dados. Em contrapartida, o mês de agosto (54,4) apresentou o menor desvio padrão no qual representa uma maior homogeneidade das precipitações em torno da média, apresentando também uma menor

amplitude (262,30 mm). É também possível observar esta diferença entre os meses de janeiro e agosto na Figura 4.

Nota-se o mês de agosto apresentou um Coeficiente de Variação (Cv) de 87,3%, representando muita dispersão em torno da média, portanto o mês com a maior oscilação do regime de

chuvas. Em contrapartida, o menor Cv foi no mês de dezembro com 37,3%. A partir de junho até agosto observa-se um aumento no valor do Cv e pouca diferença entre os valores, variando de 72,5% a 87,3%, devido a redução do volume precipitado (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros estatísticos da precipitação média mensal de Londrina -PR entre 1976 a 2020.

Mês	N	Média	Min	Max	Med	Amp	DP	Coeficientes			DPm
								Cv	Ca	Ck	
JAN	45	223.26	40.50	550.70	200.80	510.20	98.6	44.2%	0.77	0.11	84.68
FEV	45	184.12	22.20	365.00	181.20	342.80	78.7	42.8%	0.23	-0.86	45.54
MAR	45	147.66	15.50	400.10	145.70	384.60	60.6	41.0%	0.94	1.43	9.08
ABR	45	110.73	2.70	362.50	97.20	359.80	55.4	50.1%	1.12	1.91	-27.85
MAI	45	121.29	3.40	354.10	101.30	350.70	70.1	57.8%	0.91	0.12	-17.29
JUN	45	109.14	0.00	456.30	89.70	456.30	79.2	72.5%	1.60	2.24	-29.44
JUL	45	75.11	0.00	419.90	47.00	419.90	58.3	77.6%	2.23	5.62	-63.47
AGO	45	62.34	0.00	262.30	38.40	262.30	54.4	87.3%	1.17	0.64	-76.24
SET	45	118.60	4.50	341.80	107.80	337.30	69.5	58.6%	0.55	-0.27	-19.98
OUT	45	161.03	12.60	393.30	135.80	380.70	76.3	47.4%	0.63	-0.46	22.45
NOV	45	154.21	32.20	387.80	151.30	355.60	57.8	37.5%	1.06	1.48	15.63
DEZ	45	195.46	40.10	386.40	193.40	346.30	73.0	37.3%	0.26	-0.72	56.88

Onde: N = número de anos; Min = mínimo; Max = máximo; Med = mediana; Amp = amplitude; DP = desvio padrão; Cv = Coeficiente de variação; Ca = Coeficiente de assimetria; Ck = Coeficiente de curtose; DPm = Desvio da precipitação média.

Quanto ao coeficiente de assimetria (Ca) constata-se que todos os meses possuem distribuição assimétrica positiva, afirmando que os valores precipitados médios foram superiores aos valores medianos. Em relação ao coeficiente de curtose (Ck), percebe-se que a maioria dos valores mensais apresentaram valores positivos de Ck, portanto apresentando uma distribuição platicúrtica, isto é, tem curva de frequência um pouco menos aguda do que uma curva normal. Por sua vez, constatou-se que os meses de fevereiro,

setembro e outubro revelaram valores negativos, indicando uma distribuição de frequência com curva mais fechada denominada de distribuição leptocúrtica, o que significa que ocorre relativa regularidade no espaço e no tempo das precipitações ao longo destes meses (Tabela 3).

Além disso, quanto aos resultados da distribuição ao longo do ano da precipitação pluviométrica foi realizada uma análise de comparação por meio do gráfico de boxplot, (Figura 4).

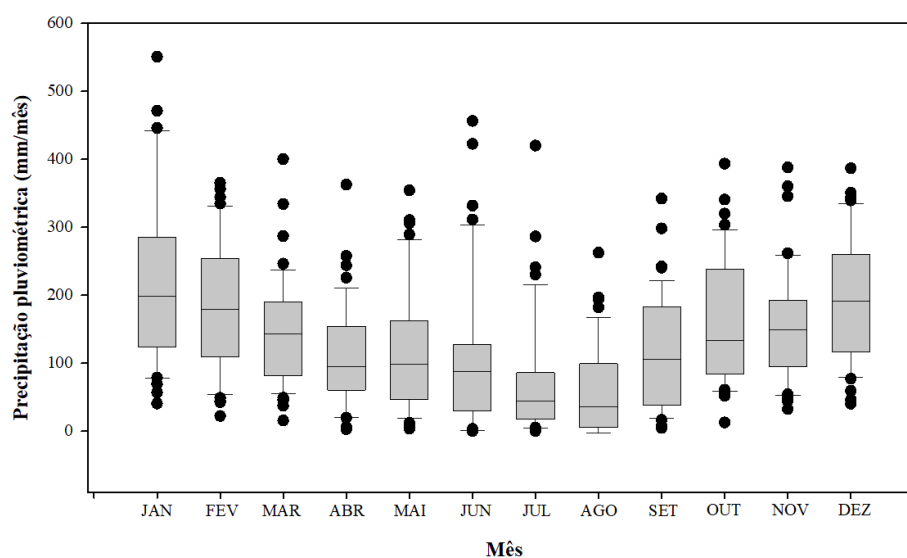


Figura 4. Bloxpot da precipitação pluviométrica (mm/mês) entre 1976 a 2020 para Londrina – PR.

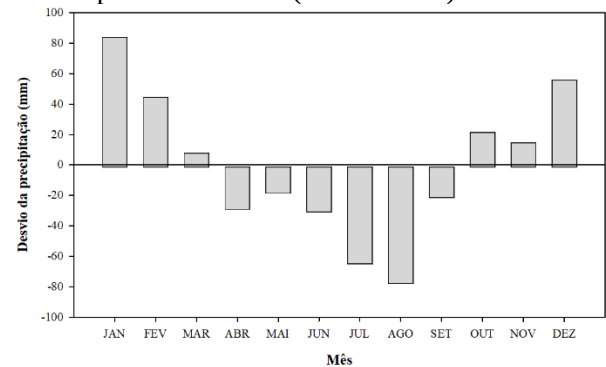
Um conjunto de dados que apresentam a linha da mediana no centro do retângulo, apresentará uma maior simetria, diante disto infere-se que a maioria dos diagramas observados possuem uma distribuição assimétrica positiva, uma vez que a maioria dos dados pluviométricos observados possuem seus valores acima do segundo quartil, ou seja, apresentam valores acima da mediana.

Observa-se que janeiro é o mês com a maior amplitude pluviométrica de dados, bem como apresenta a maior dispersão desses valores. Por sua vez, agosto é o mês com menor amplitude. Porém, se considerar apenas o intervalo interquartil, o mês de julho apresenta a menor dispersão por não apresentar a influência dos outliers. Nota-se que os meses de março, junho e julho, que apresentam os maiores valores discrepantes da série pluviométrica, com extremos mensais de precipitação de 550,7 mm, 456,3 mm e 419,9 mm em 2005, 1997 e 2015, respectivamente (Figura 4).

Com base na diferença entre a média histórica mensal e o valor médio das precipitações pluviométricas de cada mês, foi possível definir o desvio da precipitação (Tabela 3 e Figura 5). Constatou-se que o período chuvoso se concentra nos meses entre outubro a março, enquanto que o período seco ocorre entre os meses de abril a setembro. Por meio dos resultados, pode-se

observar que Londrina apresenta 6 meses de período chuvoso e 6 meses de período seco.

Figura 5. Desvio da precipitação média mensal no município de Londrina (1976 a 2020).



A Figura 6 apresenta os resultados do SPI em duas escalas temporais diferentes. Observa-se que os eventos de seca extrema foram raros, com uma ocorrência de frequência de 1% para maior escala (SPI-12) e de 3% para menor escala (SPI-1). O mesmo ocorreu para os eventos de chuvas extremas, sendo 4% no SPI-12 e 1% no SPI-1. Em contrapartida, houve uma predominância de eventos dentro da normalidade em 70% dos dados analisados, isto é, SPI entre +1,0 e -1,0. Os menores valores de SPI-12 ocorreram em dezembro de 1985, julho de 2000, 2008 e 2020 e nos meses de fevereiro e março de 2004.

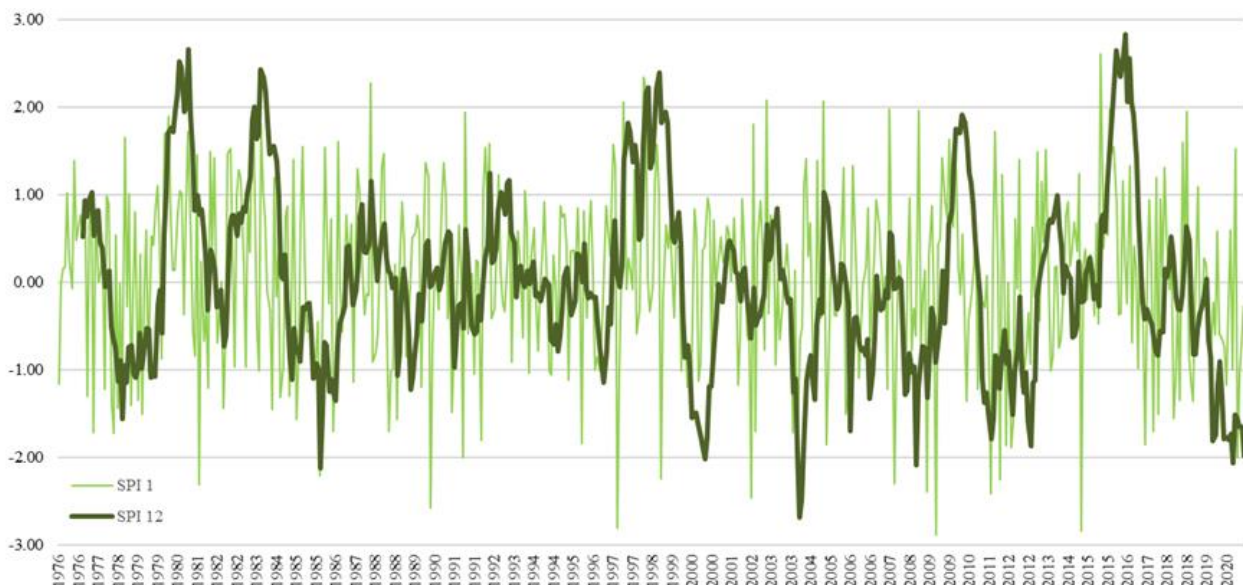


Figura 6. Resultados do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para 1 e 12 meses para a Londrina – PR.

Por meio da contabilização da precipitação pluviométrica e vazão, ou seja, entradas e saídas de

água, foi possível determinar a evapotranspiração real, bem como o balanço hídrico simplificado de

Londrina (Tabela 4). A evapotranspiração total média obtida pelo balanço hídrico simplificado entre 1976 a 2020 foi de 1041,42 mm/ano. O mês de janeiro apresentou o maior valor de evapotranspiração, em contrapartida agosto foi o

mês com menor valor. É possível observar que em todos os meses do ano o volume de água proveniente da precipitação pluviométrica é superior ao da vazão, portanto o volume que sai do sistema é inferior ao que entra.

Tabela 4. Balanço hídrico simplificado da média mensal do período de 1978 a 2020.

Mês	Pluviosidade			Vazão		Evapotranspiração	
	mm	%	m ³ /s	mm	%	mm	%
JAN	223.26	100	462.62	64.49	28.9	158.78	71.1
FEV	184.12	100	415.70	53.58	29.1	130.54	70.9
MAR	147.66	100	336.31	47.99	32.5	99.67	67.5
ABR	110.73	100	278.09	38.41	34.7	72.33	65.3
MAI	121.29	100	344.00	49.09	40.5	72.20	59.5
JUN	109.14	100	423.49	58.49	53.6	50.66	46.4
JUL	75.11	100	400.05	57.09	76.0	18.02	24.0
AGO	62.34	100	305.23	43.56	69.9	18.78	30.1
SET	118.60	100	347.47	46.87	39.5	71.73	60.5
OUT	161.03	100	433.60	60.44	37.5	100.59	62.5
NOV	154.21	100	366.48	50.61	32.8	103.60	67.2
DEZ	195.46	100	356.84	50.92	26.1	144.54	73.9

Na Figura 7 apresentam-se os dados resultantes do método de balanço hídrico mensal para a série histórica de 1976 a 2020.

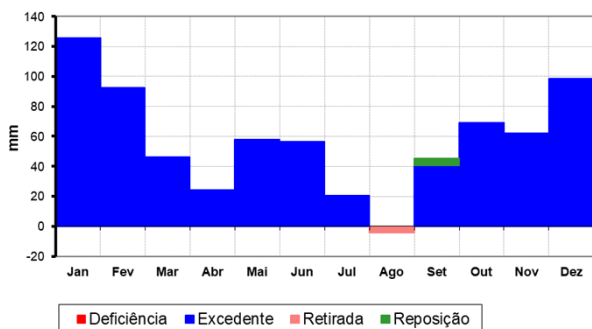


Figura 7. Balanço hídrico para o município de Londrina/PR (1976 – 2020).

Verifica-se que apenas o mês de agosto apresenta deficiência hídrica, enquanto os demais meses apresentam um excedente hídrico. Neste caso, a evapotranspiração potencial média obtida foi de 972,72 mm/ano, no que resultou um balanço hídrico positivo de +690,25 mm/ano. A fim de comparar os dois métodos de determinação do balanço hídrico, nota-se que a ETr demonstra maior variabilidade ao longo do ano se comparado aos valores de ETp e o BHC apresenta comportamento semelhante ao da pluviosidade (Figura 8).

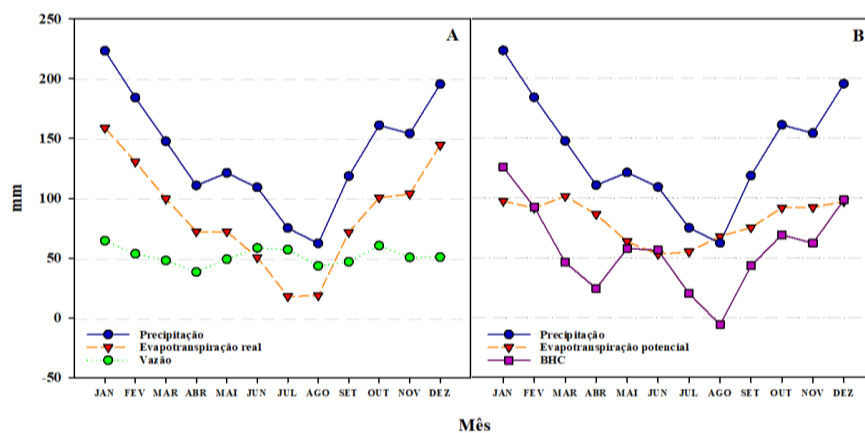


Figura 8. Balanço hídrico simplificado, BHS (A) e balanço hídrico climatológico, BHC (B) para o município de Londrina entre 1976 e 2020.

Probabilidade e tempo de retorno - A Figura 9 apresenta os resultados referentes à probabilidade e tempo de retorno de totais precipitados máximos. A fim de verificar qual a frequência de um determinado evento de alta ou baixa magnitude é necessário analisar e observar os dados pluviométricos e fluviométricos de uma região. Para melhor análise, a série anual foi

dividida em três meses. Nos três primeiros meses observam-se os maiores volumes precipitados, sendo o mês de janeiro apresentando uma probabilidade de 50% para eventos de chuva acima de 200 mm. O mês de março apresentou o menor quantitativo pluviométrico, com probabilidade acima de 60% de haver chuvas abaixo de 100 mm.

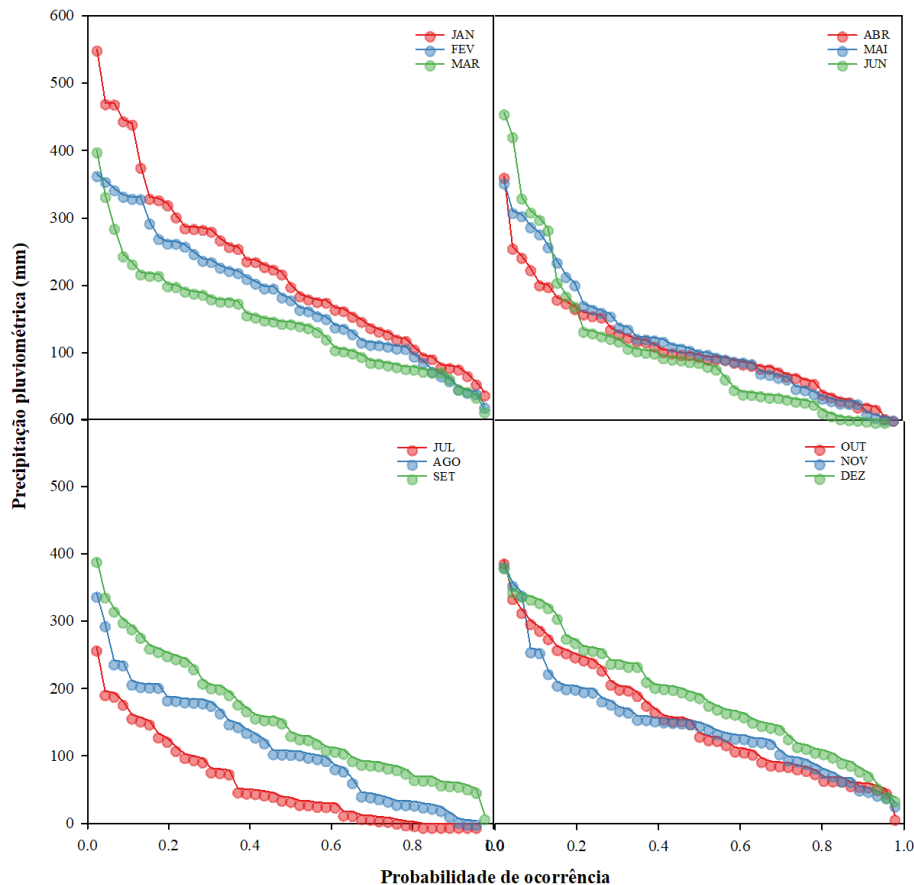


Figura 9. Probabilidade e tempo de retorno para o município de Londrina entre 1976 a 2020.

No segundo trimestre, o maior índice pluviométrico acontece no mês de junho com o tempo de retorno de 46 anos e probabilidade de 2% para acontecer uma chuva de 456,3 mm. Em compensação, é maio que apresenta 50% de probabilidade de valores pluviométricos acima de 101,3 mm, enquanto abril 97,2 mm e junho 88,5 mm.

O terceiro trimestre apresenta a maior diferença de probabilidade quando comparado às outras séries trimestrais. Além disto, há uma redução significativa dos valores médios precipitados, apresentando probabilidade de 60% para ocorrência de chuvas de 33,9 mm, 30 mm e

86,6 mm com tempo de retorno de 1,6 anos em julho, agosto e setembro respectivamente. Verifica-se que no último trimestre as maiores magnitudes pluviométricas foram de 393,3 mm, 387,3 mm e 386,4 mm para os meses de outubro, novembro e dezembro, consecutivamente. Apesar do mês de outubro apresentar o maior evento chuvoso da série história neste trimestre, ocorrem chuvas abaixo de 135,8 mm para uma probabilidade de 50%, enquanto em novembro é 151,3 mm e dezembro 193,4 mm.

Discussão

Comportamento da precipitação pluviométrica - Segundo Holtz (1976), o estado paranaense apresenta duas zonas de pluviosidade. A zona com maiores índices pluviométricos está localizada no litoral, com uma média pluviométrica em torno de 3000 mm/ano. Quanto a zona de menor pluviosidade, se concentra na porção mais ao norte do estado, ou seja, próximo ao rio Paranapanema, com um total médio precipitado de 1000 mm/ano. Já no Atlas Climático do Paraná, o litoral tem em média uma precipitação pluviométrica anual entre 2400 a 2600 mm e na divisa com o estado paulista entre 1200 a 1400 mm/ano (Nitsche et al., 2019).

Nota-se que desde 2015 a região vem enfrentando os menores índices pluviométricos, sendo o 5º ano consecutivo da série histórica, algo também corroborado para a região Sul do Brasil (Fernandes et al., 2021).

Quando à distribuição sazonal das chuvas na região Sul do Brasil, é na primavera que se inicia a estação chuvosa e seu término no início do outono. Ainda segundo Gonçalves e Back, (2018), no verão tem a predominância das chuvas mais intensas na região, provocadas, principalmente devido ao aquecimento da superfície e condução de umidade para o interior do continente resultando na instabilidade da atmosfera e com isto o aumento dos processos convectivos.

De modo geral, o Brasil é caracterizado por apresentar as maiores concentrações de chuvas no verão, entre dezembro e fevereiro enquanto as menores no inverno, entre os meses de junho a agosto. Devido a isto seu regime de precipitação tem caráter unimodal, isto é, possui ocorrência sazonal bem definida das chuvas (Alvares et al., 2013). A ocorrência de chuvas na região sul do Brasil é influenciada por diversos fatores, de acordo com (Guerra & Quadros, 2021), citam-se: ciclones, frentes frias, circulações locais, sistemas convectivos de mesoescala, bloqueios atmosféricos, entre outros.

Tipologia das chuvas em Londrina - A fim de quantificar o déficit ou o excesso de precipitação pluviométrica em diferentes escalas de tempo, McKee et al., (1993) desenvolveu o Índice Padronizado de Precipitação. Ela é considerada uma ferramenta atrativa para estudos de disponibilidade hídrica. Neste estudo foi utilizada duas escalas temporais, 1 mês e 12 meses. Segundo Blain (2005), o SPI-1 move-se frequentemente acima ou abaixo de zero, observando, por exemplo,

o regime da seca meteorológica enquanto o SPI-12 apresenta comportamento divergente quanto às mudanças pluviométricas, sendo utilizado para observar o regime de seca hidrológica.

Balanco hídrico - Os estudos realizados em Londrina geralmente utilizam o método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para monitorar o armazenamento da água do solo a fim de verificar a possibilidade de efetuar o plantio de culturas como a soja e o milho (Ely, 2013; Pinheiro et al., 2009; Werlang & Werlang, 2021). Carvalho e Stipp (2004) também utilizaram a mesma metodologia, porém para todo o estado do Paraná e incluiu também o município londrinense. As autoras observaram que não há deficiência hídrica no estado e que Londrina apresentou um balanço hídrico positivo de 634 mm/ano. Resultados próximos ao de Carvalho e Stipp (2004) foram também observados neste trabalho e também no Atlas Paranaense (Nitsche et al., 2019), sendo este último com valores do balanço hídrico entre 600,1 a 700 mm/ano.

Conclusões

A precipitação pluviométrica média anual no município de Londrina é de 1658,43 mm, sendo o período mais chuvoso o verão e o menos chuvoso o inverno. O mês de janeiro é o mais chuvoso e agosto o menos chuvoso com média de 223,26 e 62,34 mm, respectivamente. No ano de 1980 observou-se o maior volume acumulado médio com 2636,30 mm/ano, enquanto em 1985 houve o menor volume acumulado médio com 1058,0 mm/ano. Este município está localizado na região sul brasileira no qual recebe influência direta de frentes frias deslocadas do Polo Antártico em direção ao Equador e influência indireta da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Constatou-se que o período chuvoso se concentra nos meses entre outubro e março, enquanto o período seco ocorre entre os meses de abril a setembro. No entanto, de acordo com SPI, há predominância de eventos pluviométricos dentro da normalidade, sendo os menores valores nos anos 1985, 2000, 2004, 2008 e 2020. O que caracterizou o município de Londrina com excedente hídrico, ou seja, um balanço hídrico positivo de 690,25 mm/ano.

Por fim, os dados aqui analisados devem subsidiar a criação de estratégias que visam o planejamento de atividades ambientais e socioeconômicas a fim de auxiliar no

gerenciamento e utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Estadual de Londrina, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Referências

- Althoff, D., Bazame, H. C., Filgueiras, R., & Rodrigues, L. N. (2021). Assessing rainfall spatial variability in the Brazilian savanna region with TMPA rainfall dataset. *Journal of South American Earth Sciences*, 111(June), 103482. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103482>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Blain, G., Rolim, G. S., & Brunini, O. (2005). Dimes- Software for Calculation and Interpretation of the Standartized Precipitation Index (Spi) in Visual Basic for Application in Ms-Excel Environment Dimes – Software Para Cálculo E Interpretação Do Índice Padronizado De Precipitação (Spi) Em Visua. *V Congresso Brasileiro de Agroinformática, SBI-AGRO, March 2014*.
- Brasiliense, C. S., Dereczynski, C. P., Satyamurty, P., Chou, S. C., & Calado, R. N. (2020). Air temperature and precipitation climatologies over Paraíba do Sul River Basin, southeast Brazil. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 43(1), 355–365. https://doi.org/10.11137/2020_1_355_365
- IBGE. 2021a. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/londrina.html>>. Acesso em 12 dez. 2021.
- IBGE. 2021b. Panorama do município de Londrina – PR. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>>. Acesso em 12 dez. 2021.
- Cangela, G. L. C., Araújo Júnior, G. do N., Morais, J. E. F., Silva, R. I., Jardim, A. M. da R. F., Silva, Ê. F. de F., & Lopes, J. L. (2021). Revista Brasileira de Geografia Física. *Revista Brasileira de Geografia*, 14(3), 650–660. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p650-660>
- Carvalho, S. M., & Stipp, N. A. F. (2004). Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do paraná: uma proposta de classificação qualitativa. *Geografia (Londrina)*, 13(1), 57–71. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6790/6112>
- Cunha, M. C. da, Oliveira, É. D. de, Thomaz, E. L., & Vestena, L. R. (2011). Análise Temporal do Balanço Hídrico na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, PR. *Revista Brasileira de Geografia*, 5, 1013–1028.
- Ely, F. B. M. D. F. (2013). *Análise da Relac o da Produ o do Milho Segunda Safra com o Balanço Hídrico Sequencial em Londrina (PR)*. 65–85.
- Fernandes, V. R., Cunha, A. P. M. do A., Pineda, L. A. C., Leal, K. R. D., Costa, L. C. O., Broedel, E., França, D. D. A., Alvalá, R. C. dos S., Seluchi, M. E., & Marengo, J. (2021). Secas e os impactos na região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 561–584. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74717>
- Francipane, A., Pumo, D., Sinagra, M., La Loggia, G., & Noto, L. V. (2021). A paradigm of extreme rainfall pluvial floods in complex urban areas: The flood event of 15 July 2020 in Palermo (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(8), 2563–2580. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2563-2021>
- Gonçalves, F. N., & Back,  . J. (2018). Análise da varia o espacial e sazonal e de tendências na precipita o da região sul do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(3), 592–602. <https://doi.org/10.19084/rca17204>
- Grassiotto, M. L. F., Januzzi, D. de C. R., & Grassiotto, J. de A. (2022). O papel do Boulevard Londrina Shopping na revitaliza o da região leste da cidade / The role of Boulevard Londrina Shopping in the revitalization of the city's eastern region. *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 42952–42978. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-02942978>
- Guerra, C., & Quadros, M. (2021). Estudo da variabilidade diurna da precipita o região sul do Brasil. *Estrab o*, 2, 205–209.

- <https://doi.org/10.53455/re.v2i.56>
- Haldar, K., Kujawa-Roeleveld, K., Dey, P., Bosu, S., Datta, D. K., & Rijnaarts, H. H. M. (2020). Spatio-temporal variations in chemical-physical water quality parameters influencing water reuse for irrigated agriculture in tropical urbanized deltas. *Science of The Total Environment*, 708, 134559. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134559>
- Holtz, A. C. T. (1976). Precipitação. In: Pinto, N. L. S.; Holtz, A. C. T.; Martins, J. A.; Gomide, F. L. S. Hidrologia básica. 1 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1976. p. 7 - 35.
- MapBiomass. (2020). Classe de cobertura de 2020 em Londrina – PR. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>>. Acesso em 12 dez. 2021.
- Lukwasa, A. Z., Ayal, D. Y., Zeleke, T. T., & Beketie, K. T. (2022). Spatio-temporal rainfall variability and its linkage with large scale climate oscillations over the Republic of South Sudan. *Climate Services*, 28(May), 100322. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100322>
- Marengo, J. A., Camarinha, P. I., Alves, L. M., Diniz, F., & Betts, R. A. (2021). Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, 3(March), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.610433>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. In *Eighth Conference on Applied Climatology*.
- Mendes, V. (2022). Climate smart cities? Technologies of climate governance in Brazil. *Urban Governance*, December 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2022.08.002>
- Nitsche, P. R., Caramori, P. H., Ricce, W. da S., & Pinto, L. F. D. (2019). *Atlas do Estado do Paraná*. 216. http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/AtlasClimaticoPR.pdf
- Oliveira-Júnior, J. F., Correia Filho, W. L. F., Monteiro, L. S., Shah, M., Hafeez, A., Gois, G., Lyra, G. B., Carvalho, M. A., Santiago, D. B., Souza, A., Mendes, D., Costa, C. E. A. S. Blanco, C. J. C., Zeri, M., Pimentel, L. C. G., Jamjareegulgarn, P., & Silva, E. B. (2022). Urban rainfall in the Capitals of Brazil: Variability, trend, and wavelet analysis. *Atmospheric Research*, 267(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105984>
- Pinheiro, B. C., Farias, J. R. B., Tonon, B. C., Sibaldelli, R. N. R., Camargo, L. M., & Gianelli, F. M. (2009). Análise da disponibilidade hídrica para a cultura da soja nas safras 2004 / 05 e 2009 / 10 em Londrina , PR. *Embrapa Soja*, 23–26.
- Rodrigues, L. G., Moreira, P. B. de A., Santos, L. F. dos, Teixeira, Y. N., Firmino, P. R. A., & Oliveira, C. C. F. de. (2022). Revista Brasileira de Geografia Física. *Revista Brasileira de Geografia*, 15(2), 618–633. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p618-633>
- Salton, F. G., Moraes, H., & Lohmann, M. (2021). Dry periods in the state of paraná, brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(2), 295–303. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620163>
- Schilling, J., Hertig, E., Trambly, Y., & Scheffran, J. (2020). Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. *Regional Environmental Change*, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01597-7>
- Sibaldelli, R. N. R., Gonçalves, S. L., & Farias, J. R. B. (2022). *Boletim Agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2021*.
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The water balance. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. *Publication in Climatology*, 8(8), 1–104.
- Werlang, M. K., & Werlang, E. P. (2021). Balanço hídrico e classificação climática de thornthwaite do bairro Camobi, Santa Maria, RS. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 25, e7. <https://doi.org/10.5902/2236499440437>