



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Balanço hídrico climatológico e análise de tendência pluviométrica de capitais brasileiras afetadas pela crise hídrica: Brasília-DF e São Paulo – SP

Ana Clara Alves de Melo, Gleicon Queiroz de Brito

¹Mestre em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília – Faculdade UnB Planaltina (FUP)

Vila Nossa Senhora de Fátima – Brasília – DF, CEP: 73345-010, Brasil

²Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília – Faculdade UnB Planaltina (FUP)

Vila Nossa Senhora de Fátima – Brasília – DF, CEP: 73345-010, Brasil

Artigo recebido em 11/05/2021 e aceito em 06/03/2022

RESUMO

A escassez de água atinge grande parcela da humanidade. Com o crescimento da população e o fenômeno das mudanças climáticas a demanda por água pode aumentar. Logo, a compreensão de eventos de seca e chuva, são imprescindíveis para preparar a sociedade para uma situação mais grave. Diante disso, o objetivo aqui proposto é caracterizar o balanço hídrico e a tendência de chuva das cidades de Brasília e São Paulo, as quais nos últimos anos passaram por problemas no abastecimento público. Foram utilizados dados mensais de precipitação total e temperatura média do período de 1961 a 2017 obtidos através das estações meteorológicas de Brasília-DF e Miramar-SP pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Para a caracterização do balanço hídrico climatológico foi adotado o método de Thornthwaite e Mather (1955). Para a análise de tendência pluviométrica, foram utilizados os dados de precipitação das estações pluviométrica de Brasília-DF (Cód: 01547004) e Água Branca (Cód.: 02346046), da Agência Nacional de Águas – ANA, dos anos de 1964 a 2018 e 1940 a 2012, respectivamente. Os dados foram obtidos através do software Hidroweb. Tanto a cidade de Brasília como a cidade de São Paulo apresentaram tendências na diminuição de chuvas, em relação ao teste do sinal. Embora, a escassez hídrica tenha relação com eventos meteorológicos, as causas da crise decorrem, principalmente, da falta de gestão adequada e eficiente dos recursos hídricos. Isto posto, este tipo de estudo permite compreender a situação das chuvas ao longo dos anos, podendo auxiliar no planejamento para a utilização desse recurso.

Palavras-chave: água, escassez, série histórica, crise hídrica.

Climatological water balance and rainfall analysis of brazilian capitals affected by the water crisis: Brasília-DF e São Paulo – SP

ABSTRACT

Water scarcity affects a large part of humanity. With population growth and the phenomenon of climate change, the demand for water may increase. Therefore, understanding drought and rain events are essential to prepare society for a more serious situation. Therefore, the objective proposed here is to characterize the water balance and the rainfall trend of the cities of Brasília and São Paulo, which in recent years have experienced problems in public supply. Monthly data of total precipitation and average temperature from 1961 to 2017 obtained from the meteorological stations of Brasília-DF and Miramar-SP by the National Institute of Meteorology - INMET were used. To characterize the climatological water balance, the method of Thornthwaite and Mather (1955) was adopted. For the analysis of rainfall trends, rainfall data from the rainfall stations of Brasília-DF (Cod: 01547004) and Água Branca (Cod. 02346046), from the National Water Agency - ANA, from 1964 to 2018 and 1940 were used to 2012, respectively. Data were obtained using Hidroweb software. Both the city of Brasília and the city of São Paulo presented trends in the decrease of rainfall, in relation to the signal test. Although water scarcity is related to meteorological events, the causes of the crisis stem mainly from the lack of adequate and efficient management of water resources. That said, this type of study allows us to understand the situation of rainfall over the years and can help in planning for the use of this resource.

Keywords: water, scarcity, historical series, water crisis.

Introdução

A demanda global por água tem crescido, a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano devido

crescimento populacional, desenvolvimento econômico e as mudanças nos padrões de consumo (WWAP, 2018). Especialmente, no contexto

urbano (He et al., 2021; Livingston, 2021, Zhang et al., 2021).

É importante destacar que a água está diretamente relacionada a riscos ambientais, sociais e econômicos. Dessa forma, cita-se a perda da biodiversidade e esgotamento dos ecossistemas, por causa das crises alimentares, além das falhas de planejamento urbano, que agem sob os preços da energia (Palmer; Ruhi, 2018; Momm et al., 2021).

Essas problemáticas destacam que os recursos hídricos é um tema de planejamento crítico, além de estarem conectados a interesse de diversos grupos e partes interessadas (Ferraço et al., 2020; Mello; Randhir, 2017). Além disso, Loyola e Bini em 2015 destacaram que a escassez de água não era uma discussão nova, mas que tinha ganhado força mundial (He et al., 2021; Rosa et al., 2020; Van Vliet et al., 2021), em especial no Brasil (Peixoto et al., 2021).

O ciclo global da água está se intensificando pelas mudanças climáticas, ocasionando mudanças regionais nos regimes úmidos e secos (Allan et al., 2020; Levizzani; Cattani, 2019; Yao et al., 2019). Sendo estimado, que cerca de 3,6 bilhões de pessoas vivem em áreas de escassez potencial (falta água pelo menos um mês no ano). Essas alterações podem fazer com que em 2050, cerca de 4,8 a 5,7 bilhões de pessoas sofram com insuficiência desse recurso (WWAP, 2018).

As mudanças globais junto ou não de outros fatores, como o uso da terra (Foley et al., 2005; Hasan et al., 2020), podem refletir em alterações hidrológicas nas escalas local e regional (Aghsaei et al., 2020, Dibaba et al., 2020, Wu et al., 2021). Por exemplo, os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo tiveram em 2015 os menores níveis em seus reservatórios, em 80 anos (Hogue; Pincetl, 2015). Além disso, recentemente (2016 a 2018) o Distrito Federal sofreu uma forte escassez hídrica, que obrigou o uso do racionamento de água (Camelo; Sanches, 2019; Grigori, 2017; ADASA, 2018).

Assim, é fundamental compreender possíveis modificações na dinâmica hidrológica, excepcionalmente nas grandes cidades brasileiras. Desse modo, o objetivo aqui proposto é caracterizar o balanço hídrico e a tendência de chuva das cidades de Brasília e São Paulo, as quais nos últimos anos passaram por problemas no abastecimento público.

Metodologia

O trabalho foi realizado em duas capitais brasileiras: Brasília-DF e São Paulo – SP. Ambas

sofreram com racionamento de água no ano de 2017.

Foram utilizados dados mensais de precipitação total e temperatura média do período de 1961 a 2017 obtidos através das estações meteorológicas de Brasília-DF e Miramar-SP pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Para o balanço hídrico climatológico foi adotado o método de Thornthwaite e Mather (1955), cujos parâmetros de entrada são: capacidade de água disponível no solo (CAD), o qual leva em consideração o valor de 100 mm; total de precipitação e temperatura. A partir desses fatores, o modelo consegue os dados referentes à evapotranspiração real, evapotranspiração potencial, armazenamento de água no solo, deficiência e excesso hídrico mensal para o período de estudo (Thornthwaite, 1948).

Para a análise de tendência pluviométrica, foram utilizados os dados de precipitação das estações pluviométrica de Brasília-DF (Cód.: 01547004) e Água Branca (Cód.. 02346046), da Agência Nacional de Águas – ANA, dos anos de 1964 a 2018 e 1940 a 2012, respectivamente. Os dados foram obtidos através do software Hidroweb. Foram selecionadas as estações que possuíam mais de 500 dados importados de chuvas diárias. Além disso, os anos incompletos foram descartados.

Resultados e discussão

Brasília-DF

De acordo com a análise de dados meteorológicos pode-se observar que a evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) foram respectivamente, 863 mm e 990.1 mm, o déficit hídrico de 155 mm e o excesso hídrico de 658.7 mm (Tabela 1).

Verifica-se ainda que, de acordo com a Figura 1, os meses de maio a setembro, foram os meses com menor volume de chuva variando de 32 a 45mm de chuva (Tabela 1, Figura 1). Destaca-se, que em Brasília, esse período é considerado seco e frio, caracterizando o inverno, com baixas temperaturas e baixas precipitações. É nessa estação também que há maior déficit hídrico, variando de 0 mm até -140mm, justamente pelo fato de ter menores volumes de precipitação (Tabela 1, Figura 1).

Já os meses de outubro a abril, é considerado quente e úmido. As temperaturas podem ultrapassar os 23° e o volume de chuvas chega a mais de 245mm, caracterizando o verão (Tabela 1, Figura 1). Essa fase é caracterizada pelo excesso de água no solo, ultrapassando 255 mm de

água (Tabela 1, Figura 1), pelo fato de ser o período com maior quantidade de chuvas em Brasília.

Tabela 1. Balanço hídrico climatológico para a cidade de Brasília, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 1961 a 2017, cujas variáveis são: t = Temperatura; P = Precipitação; EP = Evapotranspiração; ARM = Armazenamento de água no solo; ALT = Alteração do conteúdo de umidade; ER = Evapotranspiração Real; DEF = Deficiência hídrica; EXC = Excesso de água no solo; i = fator de temperatura da equação de Thornthwaite; f = constante climática da equação de Thornthwaite (1948); $Epc = EP \cdot f$.

Todas as unidades em milímetros (mm), exceto a Temperatura (graus Centígrados) e as da equação de Thornthwaite.

Mês	t	i	EP	f	Epc	P	$P-EP$	ARM	ALT	ER	DEF	EXC
J	22.4	10.1	88	1.12	99	229.1	130.3	100	0.0	99	0	130.3
F	22.5	10.2	89	0.98	87	202.2	115.0	100.0	0.0	87	0	115.0
M	22.6	10.2	90	1.05	94	207.8	113.8	100.0	0.0	94	0	113.8
A	22.1	9.9	85	0.98	83	127.1	43.7	100.0	0.0	83	0	43.7
M	20.8	9.0	72	0.98	71	32.9	-37.9	62.1	-37.9	71	0	0.0
J	19.7	8.2	63	0.94	59	5.9	-53.0	9.1	-53.0	59	0	0.0
J	19.6	8.2	62	0.97	60	6.496	-53.6	0.0	-9.1	16	-76	0.0
A	21.4	9.4	78	1	78	15.54	-62.0	0.0	0.0	16	-93	0.0
S	23.0	10.5	94	1.00	94	45.5	-48.7	0.0	0.0	46	-140	0.0
O	23.2	10.6	96	1.07	103	158.1	55.5	55.5	55.5	103	0	0.0
N	22.4	10.1	87	1.07	94	244.8	151.2	206.6	151.2	94	0	0.0
D	22.3	10.0	86	1.12	97	245.9	149.2	100.0	-106.6	97	0	255.9
Total	21.8	116.3	990.1	-	1018	1521	503.5	833.2	0.0	863	155	658.7

Observa-se também, que entre os meses de outubro a junho a evapotranspiração potencial e real se coincidem, indicando que a evaporação máxima para o período foi atingindo, caracterizado pela grande quantidade de água disponibilizada no solo definido pelo volume de chuva (Figura 1, Tabela 1) (Jesus, 2015). Já nos demais meses, a

evapotranspiração potencial foi maior que a evapotranspiração real, o que pode ser explicado pela baixa quantidade de água no solo, chegando aos extremos de 0 mm (Figura 1, Tabela 1) (Cunha et al., 2001).

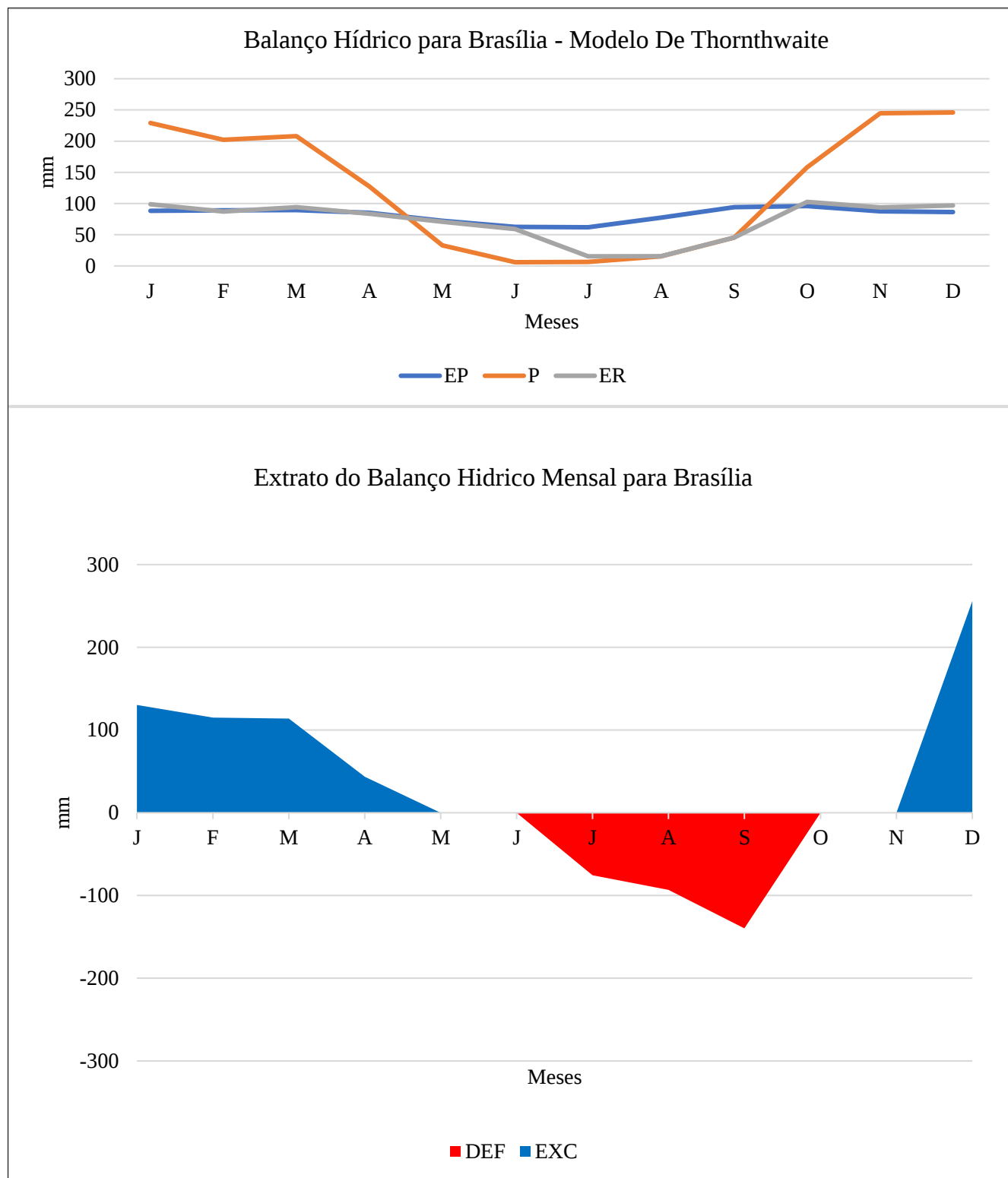


Figura 1. Gráficos referentes ao balanço hídrico climatológico para Brasília-DF dos anos de 1964 a 2016.

A Figura 2 mostra a curva de permanência pluviométrica mensal, equivalente a um histograma de frequências acumuladas. Observa-se que chuvas mensais superiores a 200 mm ocorrem

durante 25% da série histórica. Por outro lado, os outros 25% do tempo as chuvas mensais não ultrapassam 30mm. Ou seja, a metade da série histórica recebe entre 30 e 200mm de chuvas.

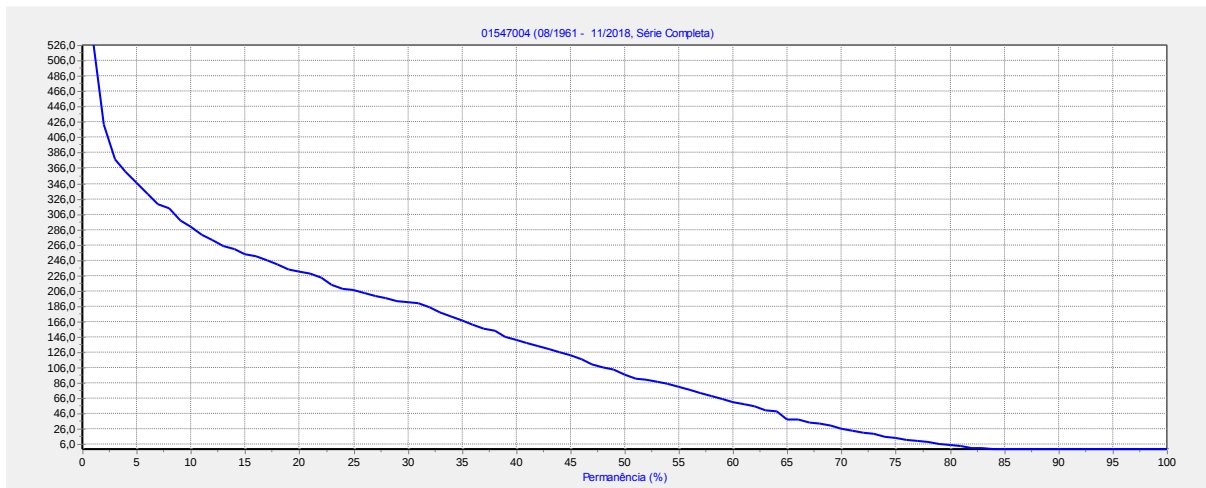


Figura 2. Curva de permanência pluviométrica da estação pluviométrica de Brasília – DF.

A Figura 3 mostra que o ano mais chuvoso foi em 1983, com mais de 2.000 mm; e o menos chuvoso foi em 1986 com 1.013 mm. A média anual de chuvas é de 1.515 mm.

A linha de tendência linear é um indicativo se a pluviosidade está diminuindo ou não com uma taxa fixa na área do posto demonstrativo (Ferreira,

2012). Logo, observa-se que a tendência das chuvas em Brasília – DF (linha preta) é de diminuição das chuvas, onde em 1964 o volume anual de chuvas ultrapassava os 1500 mm, sendo que a partir dos anos 2000 o volume anual de chuvas ficou abaixo de 1500 mm (Figura 3).

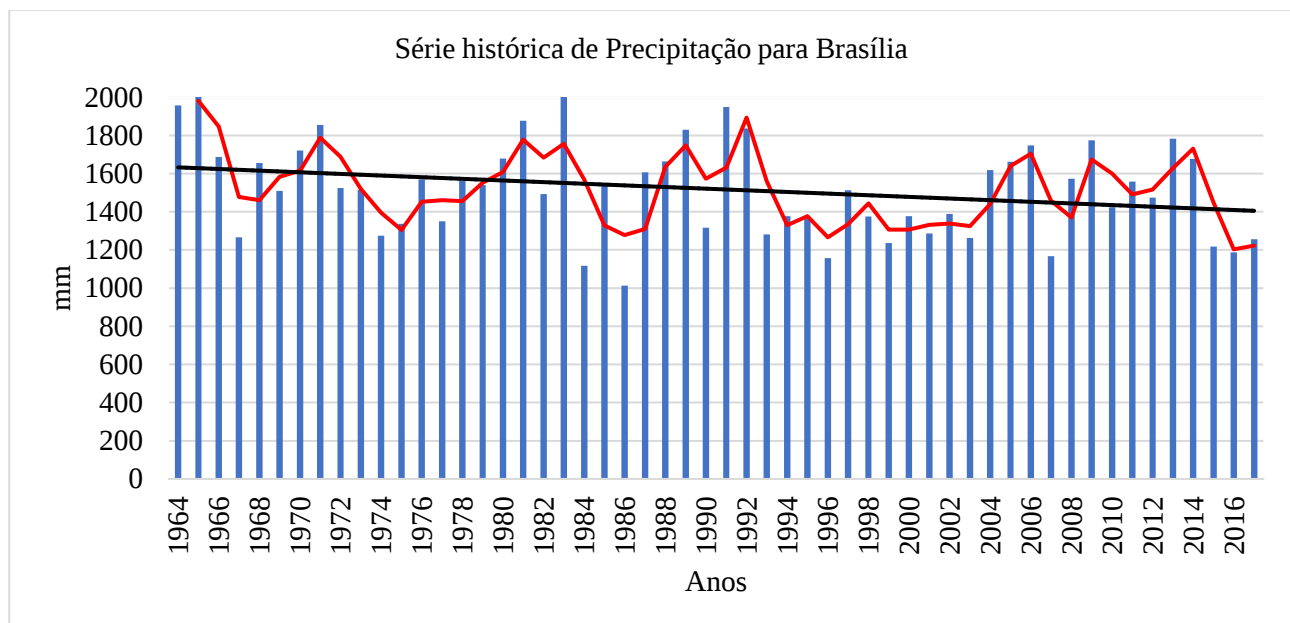


Figura 3. Série de pluviosidade anual da estação pluviométrica de Brasília -DF, mostrando linha de tendência linear (preta) e média móvel (vermelha)

A segunda linha de tendência (vermelha) é a média móvel - ela suaviza as flutuações nos números, utilizando quantidade específica de pontos de dados (período) (Figura 3). Para Brasília -DF, a média móvel de chuvas flutua entre pelo menos três períodos mais chuvosos e de quatro a cinco períodos mais secos (Figura 3). Destaca-se, que nos anos 2000, houve mais períodos secos do que períodos com chuvas (Figura 3).

O teste do sinal é mais uma alternativa simples para detectar tendências em séries temporais (Ferreira, 2012). Se o número de sinais positivos for aproximadamente igual ao número de sinais negativos a tendência indica manutenção do comportamento da variável estudada (Ferreira, 2012). Se o sinal negativo prevalecer admite-se que está havendo tendência de aumento (a primeira subsérie apresenta valores menores) (Ferreira,

2012). Se prevalecer o sinal positivo a situação é de redução da variável estudada (a primeira subsérie apresenta valores maiores) (Ferreira, 2012).

Observa-se que dos 27 pares de dados 10 deles apresentam sinal negativo, indicando que os

totais anuais de pluviosidade apresentam tendência de declínio. O teste considera somente o sinal do resultado da operação, ignorando, portanto, a grandeza das diferenças (Ferreira, 2012) (Figura 4).

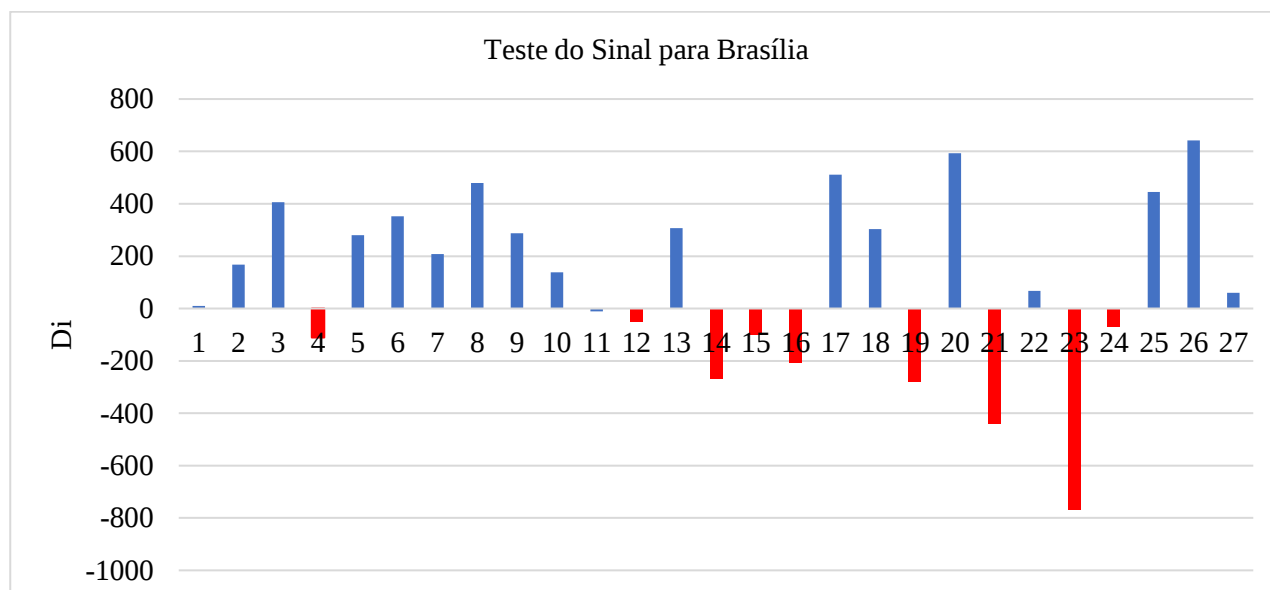


Figura 4. Resultado da aplicação do teste do sinal à série pluviométrica anual da estação pluviométrica de Brasília-DF

De fato, nos últimos anos o Distrito Federal vem enfrentando sérios problemas de escassez hídrica. Desde dezembro de 2016, quando o nível dos reservatórios abaixou, chegando a 5%, a população local sofreu com as consequências do racionamento.

Os dois principais usos da água no DF, em relação à demanda de quantidade, são, reconhecidamente, o abastecimento público (55%) e a irrigação (45%) (Adasa, 2018).

O abastecimento hídrico no DF é realizado principalmente por dois reservatórios: do Descoberto e Santa Maria. Em janeiro de 2017, com a diminuição das chuvas, o nível da água no reservatório do Descoberto, que abastece 65% da população do DF, estava em 18,94% (Veloso, 2017), o que desencadeou o programa de racionamento. Em novembro de 2017, o nível da água no Descoberto chegou a 5,3%, enquanto em Santa Maria chegou a 21,6% (Carvalho, 2018). Normalmente, na época seca, a retirada de água é maior que a entrada no Descoberto. Em 2016, quando sobreveio a estiagem mais acentuada, a entrada foi menor ainda, ocasionando o racionamento (Veloso, 2017).

Entretanto, a falta de chuvas não é a única explicação para a crise de abastecimento hídrico no DF. A isso, soma-se o crescimento populacional, que em 2000 contavam-se 2.051.146 habitantes, e

no último Censo (2010) foi registrado 2.570.160 habitantes. Segundo estimativa do IBGE, em 2030 a população do DF passará de 3.773.409 habitantes. Com esse aumento populacional, aumenta-se também o consumo de água, contribuindo para a diminuição dos reservatórios de água do Distrito Federal. Outro fator é o crescimento urbano desordenado, que contribuem para o escoamento superficial da água e não para a infiltração, devido a impermeabilização dos solos. Cita-se também o agronegócio (Peixoto et al., 2021, Rosa et al., 2020), conflitos de uso e ocupação (Balbino, 2020; Govender et al., 2022), falta de saneamento básico, perda de vegetação, falta de gestão e de políticas públicas tanto relacionadas aos impactos ambientais, quanto relacionadas ao social (Inácio, 2021; Passos et al., 2020).

Para reverter essa problemática é necessário um maior aprimoramento da gestão ambiental, de forma a tomar medidas de curto, médio e longo prazo em relação a racionalização no uso da água e de outros recursos ambientais (Camelo; Sanches, 2019; Zhang et al., 2021). No entanto, essa responsabilidade não pode apenas do poder público, mas também da população, pois quando se trata de meio ambiente, leva-se em consideração o trabalho em conjunto dos stakeholders envolvidos (Lu et al., 2022), pois é

uma situação que afeta os órgãos públicos, a população, os grandes empresários e o agronegócio.

São Paulo – SP

Os dados meteorológicos aqui compilados mostram que a Evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) de São Paulo são de 880,1 e 852,8 mm, sendo que o déficit hídrico foi nulo e o excesso hídrico foi de 668 mm (Tabela 2).

Tabela 2. Balanço hídrico climatológico para a cidade de São Paulo, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 1961 a 2017, cujas variáveis são: t = Temperatura; P = Precipitação; EP = Evapotranspiração; ARM = Armazenamento de água no solo; ALT = Alteração do conteúdo de umidade; ER = Evapotranspiração Real; DEF = Deficiência hídrica; EXC = Excesso de água no solo; i = fator de temperatura da equação de Thornthwaite; f = constante climática da equação de Thornthwaite (1948); Epc = EP*f. Todas as unidades em milímetros (mm), exceto a Temperatura (graus Centígrados) e as da equação de Thornthwaite.

Mês	t	i	EP	f	Epc	P	P-EP	ARM	ALT	ER	DEF	EXC
J	22,1	9,9	91,6	1,1	102,5	264,4	161,9	100,0	0,0	102,5	0,0	161,9
F	22,5	10,2	95,2	1,0	93,3	236,1	142,8	100,0	0,0	93,3	0,0	142,8
M	21,7	9,6	88,0	1,1	92,4	193,5	101,1	100,0	0,0	92,4	0,0	101,1
A	19,7	8,2	71,1	1,0	69,7	79,5	9,8	100,0	0,0	69,7	0,0	9,8
M	17,6	6,9	55,8	1,0	54,7	70,1	15,4	100,0	0,0	54,7	0,0	15,4
J	16,8	6,5	50,7	0,9	47,6	55,9	8,2	100,0	0,0	47,6	0,0	8,2
J	16,1	6,1	46,3	1,0	44,9	44,6	-0,4	99,6	-0,4	44,9	0,0	0,0
A	17,6	6,9	55,7	1,0	55,7	36,3	-19,5	80,2	-19,5	55,7	0,0	0,0
S	18,4	7,5	61,9	1,0	61,9	77,0	15,2	95,3	15,2	61,9	0,0	0,0
O	19,7	8,3	71,5	1,1	76,5	128,6	52,0	147,4	52,0	76,5	0,0	0,0
N	20,7	8,9	79,3	1,1	84,8	146,2	61,4	100,0	-47,4	84,8	0,0	108,7
D	21,4	9,4	85,6	1,1	95,9	215,9	120,0	100,0	0,0	95,9	0,0	120,0
Total	19,5	98,4	852,8	-	880,1	1548,1	668,0	1222,5	0,0	880,1	0,0	668,0

A Figura 5 mostra que apenas dois meses (julho e agosto) apresentaram relação negativa entre a precipitação e a evapotranspiração, ou seja, evapora mais água do que chove. Além disso, os meses mais secos são junho, julho e agosto (com

chuvas mensais médias entre 55,9; 44,6; 36,3 mm, respectivamente), sendo este último mês o mais seco (Tabela 2, Figura 5).

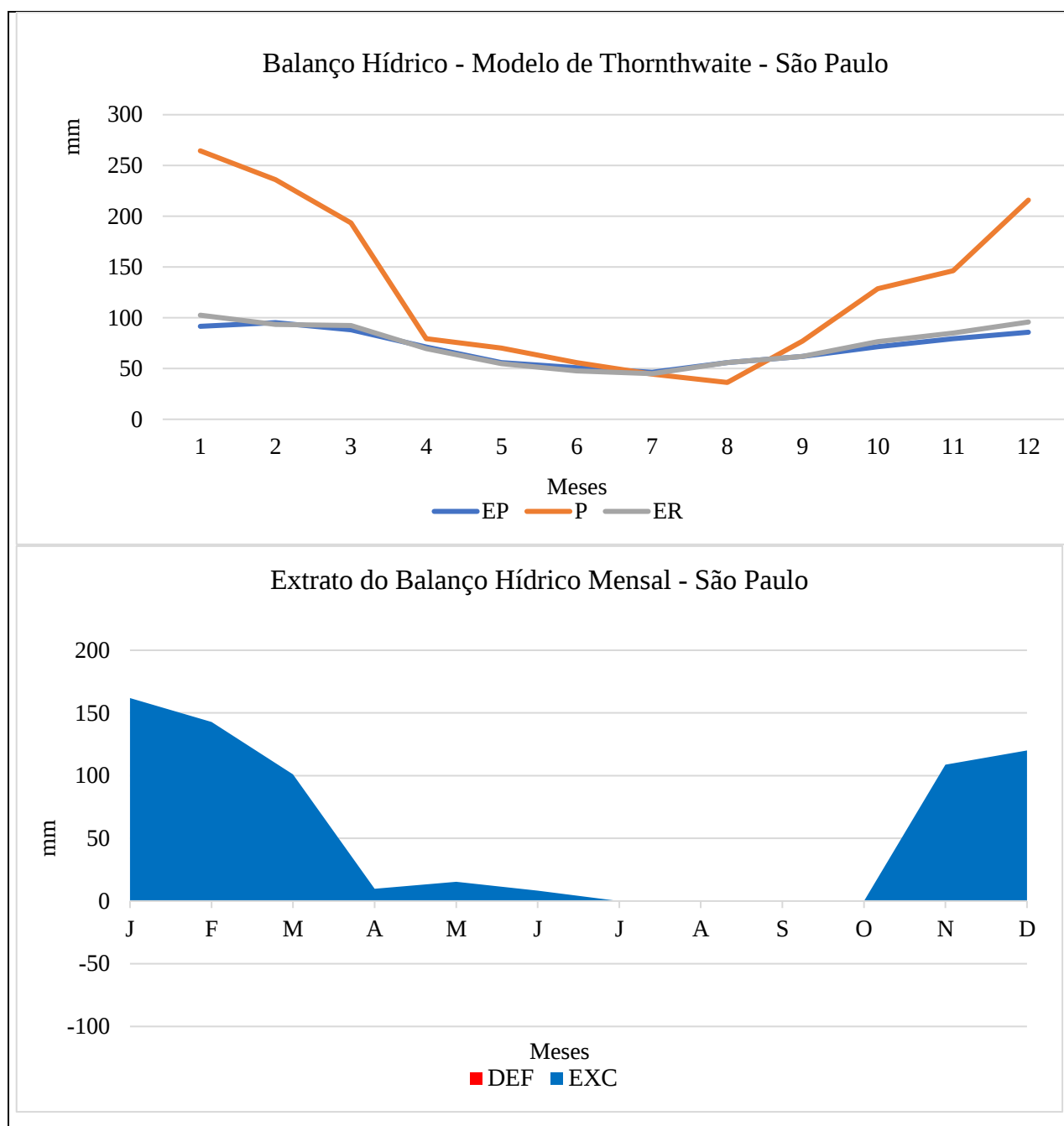


Figura 5. Gráfico do balanço hídrico climatológico para São Paulo-SP.

Os três meses mais secos na cidade de São Paulo, junto ao mês de maio são os meses mais frios. Já os meses mais quentes são os dois primeiros meses do ano (janeiro com 22,1 °C e fevereiro com 22,5 °C), que possuem as maiores precipitações mensais, 264,4 e 236,1 mm, respectivamente (Tabela 2, Figura 5).

As precipitações na região sudeste do Brasil exibem estações bem definidas anualmente, caracterizado por chuvas com grandes volumes de dezembro a fevereiro (verão) e menores volumes nos meses de junho a agosto (inverno). Existem

diversos sistemas meteorológicos que atuam nessa região, tal fato dificultou encontrar a causa direta para a seca em 2013-2014 (Marengo et al., 2015).

A curva de permanência pluviométrica mensal apresentada na Figura 6, aponta que 25% das chuvas na série histórica avaliada ocorrem acima dos 160 mm. Além disso, outros 25% da série histórica é composto de volumes abaixo de 50 mm. Tais dados, mostram que 50% da série histórica é composta de eventos que variam de 50 a 160 mm de chuva.

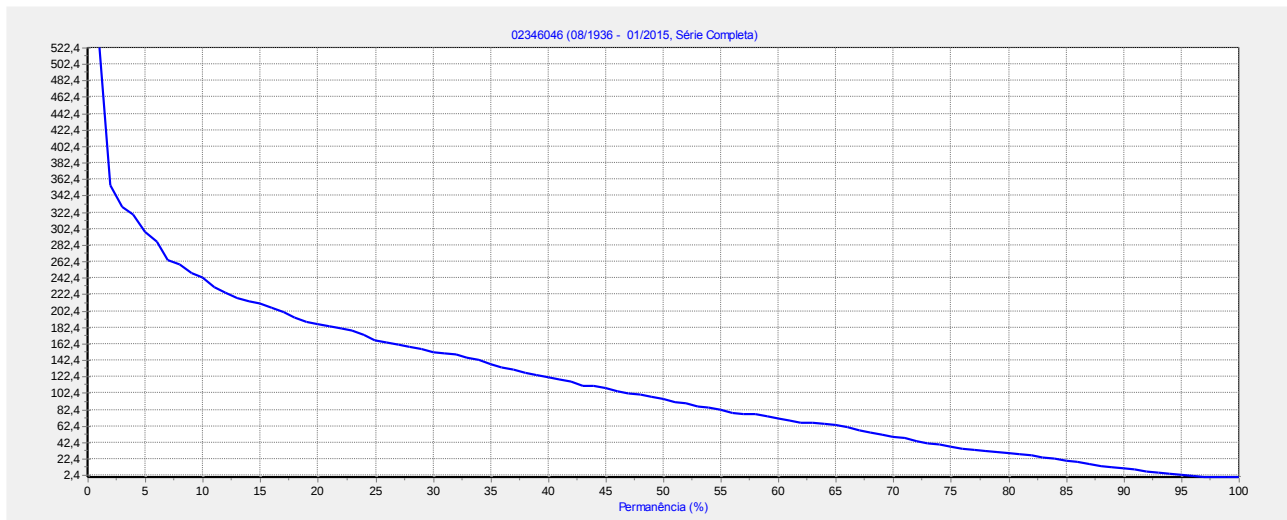


Figura 6. Curva de permanência pluviométrica da estação pluviométrica de Asa Branca - SP.

A Figura 7 evidencia que os anos mais chuvosos tiveram volumes superiores a 1800 mm. No entanto, o ano de 1944 apresentou a pluviosidade anual mais baixa, 962.3 mm.

A linha de tendência das chuvas para São Paulo (linha preta) exibe uma leve inclinação

positiva, que indicaria um aumento das precipitações. Contudo, essa indicação para o aumento não foi consolidada, pela já conhecida crise hídrica que assolou São Paulo (Jacobi et al., 2015; Marengo et al., 2015; Ganem et al., 2018).

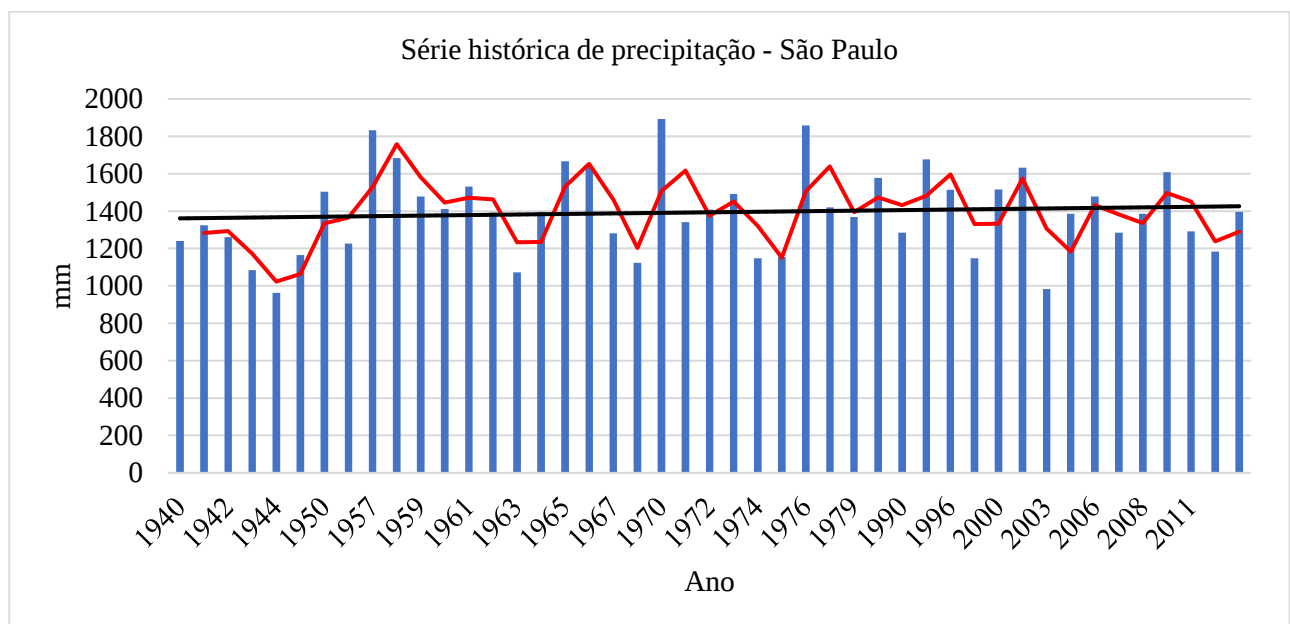


Figura 7. Série de pluviosidade anual da estação pluviométrica de São Paulo - SP, mostrando linha de tendência linear (preta) e média móvel (vermelha).

A média móvel (em vermelho) da série histórica em São Paulo (Figura 7), apresenta de três a quatro períodos chuvosos e de cinco a seis períodos de seca. Nesse caso, o sexto período na figura 7 inaugura o começo da crise hídrica. Secas sazonais já foram experimentadas em São Paulo nos anos de 1953, 1971 e 2001, além dessa última considerada a maior seca da Região Metropolitana de São Paulo (Marengo et al., 2016).

O teste de sinal para a cidade de São Paulo apontou 10 tendências negativas de 22 pares analisados. Logo, o número superior de tendências positivas, assinala provável redução da pluviosidade anual (Figura 8). Tal tendência pode ser catastrófica para as cidades avaliadas, pois tanto a Região Metropolitana de São Paulo e o Distrito Federal são regiões de chuvas anuais abundantes (Ganem, 2018).

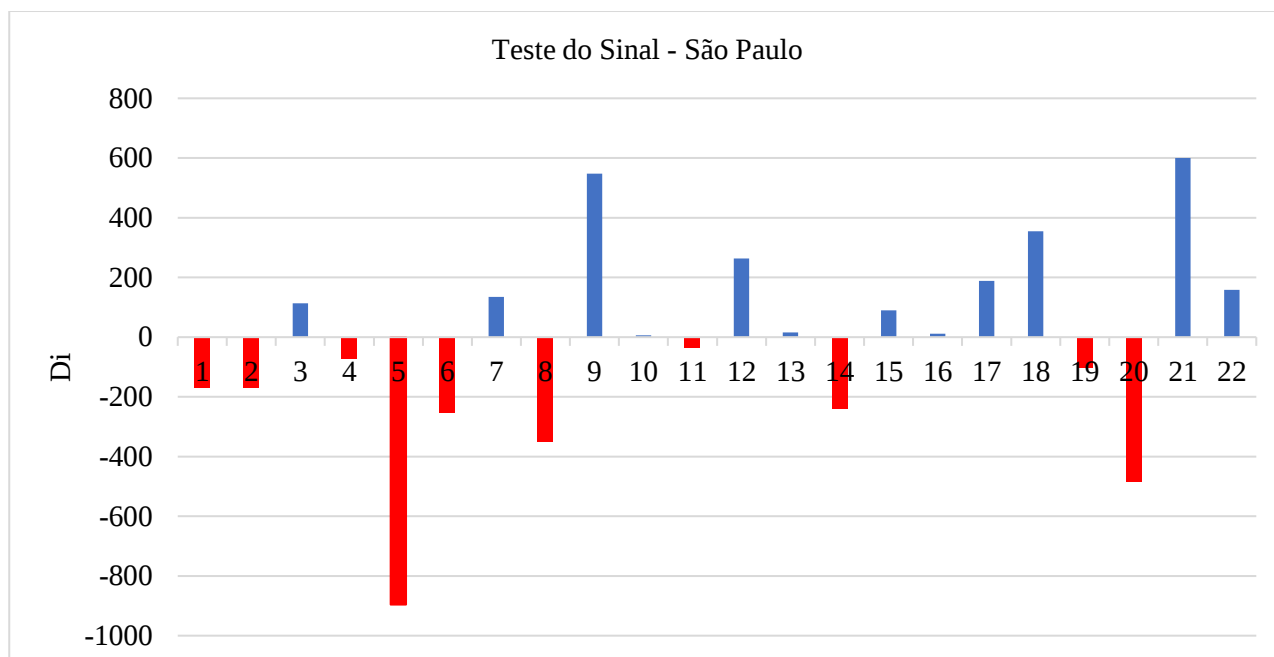


Figura 8. Resultado da aplicação do teste do sinal à série pluviométrica anual da estação pluviométrica de São Paulo – SP – Miramar

A junção de baixos índices de pluviosidade (verões de 2013-2014 e 2014-2015), especialmente, o aumento da demanda de água, a falta de planejamento adequado para o gerenciamento do recurso hídrico e a ausência do uso racional da água pelo coletivo brasileiro gerou a “crise hídrica” (Marengo et al., 2016). A partir do começo de 2014, essa crise começou ficar clara, diminuindo o nível do Sistema Cantareira até chegar em um estado crítico em maio (10,5%) e depois em outubro (6,7%), sendo que em 2015, chegou no pior nível 5% no mês de fevereiro (Dias, 2016; Marengo et al., 2016).

A cidade de São Paulo registrou a pior seca da região. Perante a crise, as problemáticas de gestão hídrica apareceram, demonstrando a incapacidade de gestão pública com as situações emergenciais, ligados a falta de água (Ferraço et al., 2020). A Região Metropolitana de São Paulo, com aproximadamente, 20 milhões de habitantes, impactadas com a incerteza de viver uma anormalidade hídrica (Dias, 2016).

A discussão sobre crise hídrica em São Paulo vai além de seu território, pois outras partes do país e do mundo sofrem com o mesmo problema (Ciobanu, 2020; He et al., 2021; Hughes, 2019; Salameh et al., 2021). Diante desse cenário, existe a precisão de uma administração pública efetiva, além da interação da sociedade civil, através da aliança pela água e a transparência das informações a respeito da crise (Jacobi et al., 2015; Jacobi et al., 2021).

Conclusões

1. As aplicações do Balanço Hídrico Climatológico compreendem a caracterização da disponibilidade hídrica, podendo comparar diferentes localidades, caracterização dos períodos secos e úmidos, além do planejamento agrícola baseado no zoneamento agroclimático.
2. Desse modo, Brasília possui dois períodos bem definidos, característicos das regiões de Cerrado: os meses de maio a setembro, são os meses com menor volume de chuva, caracterizando o período seco e frio. Já os meses de outubro a abril, é considerado o período quente e úmido, com maior quantidade de chuvas. Além disso, a metade da série histórica recebe entre 30 e 200mm de chuvas. Observou-se que a tendência das chuvas em Brasília-DF está tendendo a diminuir. Logo, são necessários esforços conjuntos de todos os stakeholders envolvidos na questão da crise hídrica que assola o Distrito Federal.
3. A cidade de São Paulo e sua região metropolitana passou por períodos críticos, em que a seca se manifestou de maneira intensa, principalmente, em 2014 e 2015. Deixando a população à mercê dessa situação, a qual poderia ter sido evitada, caso a administração pública tivesse agido sobre estratégias de reserva hídrica. Espera-se que toda essa problemática sirva de exemplo para ações que

viabilizem e evitem transtornos no abastecimento público.

4. Embora, a escassez hídrica vivida no Sudeste, especificamente na cidade São Paulo, e no DF tenha relação com eventos meteorológicos, devido, entre outros fatores à diminuição dos eventos de precipitação, as causas da crise decorrem, principalmente, da falta de gestão adequada e eficiente dos recursos hídricos. Logo, este tipo de estudo permite compreender a situação das chuvas ao longo dos anos e, podem auxiliar no planejamento para a utilização desse recurso.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Goiás, Campus Formosa, pelo apoio no trabalho.

Referências

- ADASA. 2018. Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal. Editado por Jorge Enoch Furquim Werneck Lima [et al.] - Brasília, DF: Adasa: Caesb : Seagri : Emater, DF, 328 p. : il.
- Aghsaei, H.; Dinan, N. M.; Moridi, A.; Asadolahi, Z.; Delavar, M.; Fohrer, N.; Wagner, P. D., 2020. Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment* 10, 1 – 11.
- Allan, R. P.; Barlow, M.; Byrne, M. P.; Cherchi, A.; Douville, H.; Fowler, H. J.; Gan, T. Y.; Pendergrass, A. G.; Rosenfeld, D.; Swann, A. L. S.; Wilcox, L. J.; Zolina, O., 2020. Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Balbino, N. S., 2020. Conflito de uso entre abastecimento público e irrigação associado à crise hídrica na bacia do Alto Descoberto, Distrito Federal. 88 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Camelo, A. P. S.; Sanches, K. L., 2019. Pagamento por serviços ambientais: um instrumento de mitigação dos efeitos de variação climática e uma ferramenta de gestão para crise hídrica na bacia do Alto Descoberto. *Nativa* 7, 574-581.
- Carvalho, L., 2018. Um ano de racionamento: confira os números da crise hídrica no DF. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distritofederal/noticia/um-ano-de-acionamento-confira-os-numeros-da-crise-hidricano-df.ghtml>. Acesso em 15.nov.2018.
- Ciobanu, E., 2020. The global water crisis: an exploration of Romania's water puzzle. Guarini School of Graduate and Advanced Studies, Master thesis, 156.
- Cunha, G. R.; Barni, N. A.; Haas, J. C.; Maluf, J. R. T.; Matzenauer, R.; Parsinato, A.; Pimentel, M. B. M.; Pires, J. L. F., 2001. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, 3, 446-459.
- Dias, N., 2017. O sistema Cantareira e a crise da água em São Paulo: falta de transparência, um problema que persiste. São Paulo: Artigo 19 Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.aliancapelaagua.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Sistema-Cantareira-Sum%C3%A1rio-Executivo.pdf>.
- Dibaba, W. T.; Demissie, T. A.; Miegel, K., 2020. Watershed hydrological response to combined land use/land cover and climate change in Highland Ethiopia: Finchaa catchment 12, 1 – 25.
- Ferraço, A. A. G.; Piaulino, B. B. C.; Figuerôa, M. R. C. C.; Bastian, M. V. S. S., 2020. A atuação da sociedade diante da falha de governança do estado no caso da crise hídrica de São Paulo (2013-2015). *Dom Helder Revista de Direito* 3, 49-74.
- Ferreira, V.O., 2012. Análise de tendências em séries pluviométricas: algumas possibilidades metodológicas. *Revista Geonorte* 1,5, 317 – 324.
- Foley, J. A.; Defries, R.; Asner, G. P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S. R.; Chapin, F. S.; Coe, M. T.; Daily, G. C. Gibbs, H. K.; Helkowski, J. H.; Holloway, T.; Howard, E. A.; Kucharik, C. J.; Monfreda C.; Patz, J. A.; Prentice, I. C.; Ramankutty, N.; Snyder, P. K., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.
- Ganem, R. S., 2018. Fique por dentro: crise hídrica. Consultoria legislativa da área XI – Câmara dos deputados, p. 21.
- Govender, T.; Dube, T.; Shoko, C., 2022. Remote sensing of land use-land cover change and climate variability on hydrological processes in Sub-Saharan Africa: Key scientific strides and challenges. *Geocarto International*.
- Grigori, P., 2017. Especialistas já alertavam para escassez de água no DF há 20 anos. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/03/30/interna_cidadesdf,584694/especialistas-ja-alertavam-para-escassez-de-agua-no-df-ha-20-anos.shtml>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- Hasan, S. S.; Zhen, L.; Miah, Md. M.; Ahamed, T.; Samie, A., 2020. Impact of land use change on

- ecosystem services: a review. *Environmental Development* 34.
- He, C.; Liu, Z.; Wu, J.; Pan, X.; Fang, Z.; Li, J.; Bryan, B., 2021. A Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications* 12, 1 – 11.
- HIDROWEB. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em 15.nov.2018.
- Hogue, T. S.; Pincetl, S., 2015. Are you watering your lawn? *Science* 348, 6241, 1319-1320.
- Hughes, D. A., 2019. Facing a future water resources management crisis in sub-Saharan Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 23.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=df&tema=censoagro>. Acesso em 15.nov.2018.
- Inácio, L. C., 2021. “Água enquanto...”: estudo das múltiplas performances da água no contexto de escassez hídrica do Distrito Federal. *Sociologias Plurais* 7, 191 – 214.
- INMET. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 15.nov.2018.
- Jacobi, P. R.; Buckeridge, M.; Ribeiro, W. C., 2021. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo – desafios à luz das mudanças climáticas. *Estudos Avançados* 35, 209 - 226.
- Jacobi, P. R.; Cibim, J. C.; Souza, A. N., 2017. Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo. *Geosp – Espaço e Tempo* 19, 3, 422-444.
- Jesus, J.B., 2015. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. *Scientia Plena* 11.
- Levizzani, V.; Cattani, E., 2019. Satellite remote sensing of precipitation and the terrestrial water cycle in a changing climate. *Remote sensing* 11.
- Livingston, J., 2021. Water scarcity & health in urban Africa. *Dædalus* 150, 85 -102.
- Loyola, R., Bini, L.M., 2015. Water shortage: a glimpse into the future. *Natureza & Conservacao*.
- Lu, W.; Sarkar, A.; Hou, M.; Liu, W.; Guo, X.; Zhao, K.; Zhao, M., 2022. The impacts of urbanization to improve agriculture water use efficiency-An empirical analysis based on spatial perspective of panel data of 30 provinces of China. *Land* 11.
- Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, A.; Alves, L. M.; MENDIONDO, E. M.; Obregón, G.; Sampaio, G. 2015. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP* 106, 31-44.
- Mello, K.; Randhir, T., 2017. Diagnosis of water crises in the metropolitan area of São Paulo: policy opportunities for sustainability. *Urban Water Journal*, 1-8.
- Momm, S.; Travassos, L.; Ramalho, P.; Zioni, S., 2021. Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo. *EURE* 47, 199 – 219.
- Palmer, M.; Ruhi, A., 2018. Measuring Earth's rivers. *Science*, 361.6402, 546-547.
- Passos, M. C.; Ribeiro, F. P.; Teixeira, T. M. A.; Valadão, M. B. X., 2020. Water crisis in the Distrito Federal, Brazil: an academic view. *Research, Society and Development* 9.
- Peixoto, F. S.; Soares, J. A.; Ribeiro, V. S., 2021. Conflitos pela água no Brasil. *Sociedade & Natureza* 34, 1 – 13.
- Rosa, L.; Chiarelli, D. D.; Rulli, M. C.; Dellangello, J.; D’odorico, P., 2020. Global agricultural economic water scarcity. *Sciences Advances* 6, 1 – 10.
- Salameh, M. T. B.; Alraggad, M.; Harahsheh, S. T., 2021. The water crisis and the conflict in the Middle East. *Sustainable Resources Management* 7.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38:55-94.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R., 1955. The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104.
- Van Vliet, M. T. H.; Jones, E. R.; Flörke, M.; Franssen, W. H. P.; Hanasaki, N.; Wada, Y.; Yearsley, J. R., 2021. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, 16.
- Veloso, S. Olhares sobre a crise hídrica no Distrito Federal. *UnB Notícias*, 16/01/2017. Disponível em: <https://www.noticias.unb.br/publicacoes/117-pesquisa/1155-olhares-sobre-a-crise-hidrica-no-distrito-federal>. Acesso em 15.nov.2018.
- Wu, J.; Deng, G.; Zhou, D.; Zhu, X.; Ma, J.; Cen, G.; Jin, Y.; Zhang, J., 2021. Effects of climate change and land-use changes on spatiotemporal distributions of blue water and green water in Ningxia, northwest China. *Journal of Arid Land* 13, 674 – 687.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report

- 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO.
- Yao, T.; Xue, Y.; Chen, D.; Chen, F.; Thompson, L.; Cui, P.; Koike, T.; Lau, W. K.-M.; Lettenmaier, D.; Mosbrugger, V.; Zhang, R.; Xu, B.; Dozier, J.; Gillespie, T.; Gu, Y.; Kang, S.; Piao, S.; Sugimoto, S.; Ueno, K.; Wang, L.; Wang, F.; Sheng, Y.; Guo, W.; Ailikun; Yang, X.; Ma, Y.; Shen, S. S. P.; Su, Z.; Chen, F.; Liang, S.; Liu, Y.; Singh, V. P.; Yang, K.; Yang, D.; Zhao, X.; Qian, Y.; Zhang, Y.; Li, Q., 2019. Recent third pole's rapid warming accompanies cryospheric melt and water cycle intensification and interactions between monsoon and environment: multidisciplinary approach with observations, modeling, and analysis, 423 – 444.
- Zhang, Z.; Shi, M.; Chen, K. Z.; Yang, H.; Wang, S., 2021. Water scarcity will constrain the formation of a world-class megalopolis in North China. NPJ Urban Sustainability 13.