



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

REI KUBOYAMA

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E RIO
TAQUARA (PR)**

Londrina
2022

REI KUBOYAMA

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E RIO
TAQUARA (PR)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Kuboyama, Rei.

Balanço hídrico climatológico das bacias hidrográficas do ribeirão Jacutinga e rio Taquara (PR) / Rei Kuboyama. - Londrina, 2022.
97 f.

Orientador: Maurício Moreira dos Santos.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.
Inclui bibliografia

1. balanço hídrico - Tese. 2. anomalias - Tese. 3. precipitação - Tese. I. Moreira dos Santos, Maurício. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

REI KUBOYAMA

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E RIO
TAQUARA (PR)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marciel Lohmann
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Emerson Galvani
Universidade de São Paulo - USP

Londrina, 28 de março de 2022.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal conhecer as variáveis hidrológicas e determinar o balanço hídrico climatológico das bacias hidrográficas do ribeirão Jacutinga (BHRJ) e do rio Taquara (BHRT). O extrato do balanço hídrico foi feito para a média da série histórica de 1980 a 2020 e em anos de anomalias positivas (2015 e 2016) e negativas (2020) de precipitação. O cálculo foi feito pelo método de Thornthwaite e Mather, automatizado por Rolim e Sentelhas. Também foram realizadas análises de variáveis fluviométricas e meteorológicas para compressão do contexto hidrológico e climático dominante nas bacias. Essas bacias são localizadas na região norte paranaense, estão cerca de 20 km de proximidade e são afluentes do rio Tibagi. A primeira é relevante para o abastecimento de água do município de Ibiporã (PR), com muitos afluentes que percorrem a área urbanizada da cidade de Londrina (PR). A segunda tem grande importância para a produção agropecuária, visto que o uso e ocupação na área é quase inteiramente rural. Foram utilizados dados de precipitação e temperatura diários e mensais de 1980 a 2020 de estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Instituto Água e Terra – IAT. O climograma da área de estudo revela que o período chuvoso vai de dezembro a fevereiro e o período seco vai de junho a agosto. O balanço hídrico médio na BHRJ demonstra ter excedente hídrico em quase todos os meses, com valores menores em março, abril e julho e maiores em dezembro a fevereiro. Em agosto ocorre retirada hídrica de 1,35 mm do solo. Na BHRT o excedente hídrico é presente em todos os meses, com valores maiores em janeiro, fevereiro e maio e valores menores em março, abril e agosto. Meses chuvosos não necessariamente são os que registram maior excedente hídrico por causa da evapotranspiração do solo e aqueles que registram baixo excedente ou retirada hídrica devem receber irrigação adequada para que não haja perdas na agricultura. Em julho de 2015 e janeiro de 2016, influenciado pela forte ocorrência do fenômeno *El Niño*, houve eventos extremos de precipitação que atingiu a região norte paranaense. O período chuvoso em 2015 nas duas bacias esteve abaixo da média e inesperadamente julho foi um dos meses com maior volume de excedente hídrico. Em janeiro de 2016 o evento extremo foi mais intenso que no ano anterior, com excedente hídrico concentrado em janeiro e fevereiro e pouco expressivo no segundo semestre. O ano de 2020 foi atipicamente seco, nas duas bacias as chuvas estiveram abaixo da média anual e o mês de agosto, acabou sendo o mês que teve maior volume de excedente, contrariando as expectativas da média. Com os resultados do balanço hídrico médio, retratando a dinâmica da entrada e saída de água, épocas de deficiência e excedente hídrico, é possível subsidiar as tomadas de decisões no planejamento agrícola regional, como no manejo de irrigação.

Palavras-chave: balanço hídrico; anomalias; precipitação

ABSTRACT

The present work had as main objective to know the hydrological variables and to determine the climatological water balance of the watersheds of the Jacutinga stream (BHRJ) and the Taquara river (BHRT). The water balance extract was made for the average of the historical series from 1980 to 2020 and in years of positive (2015 and 2016) and negative (2020) precipitation anomalies. The calculation was performed using the Thornthwaite and Mather method, automated by Rolim and Sentelhas. Analyzes of fluviometric and meteorological variables were also carried out to understand the dominant hydrological and climatic context in the basins. These basins are located in the northern region of Paraná, are approximately 20 km away and are tributaries of the Tibagi River. The first is relevant for the water supply of the municipality of Ibiporã (PR), with many tributaries that run through the urbanized area of the city of Londrina (PR). The second is of great importance for agricultural production, since the use and occupation in the area is almost entirely rural. Daily and monthly precipitation and temperature data from 1980 to 2020 from stations of the National Institute of Meteorology - INMET and Instituto Água e Terra - IAT were used. The climogram of the study area reveals that the rainy season runs from December to February and the dry season runs from June to August. The average water balance in BHRJ shows a water surplus in almost every month, with lower values in March, April and July and higher in December to February. In August there is a water withdrawal of 1.35 mm from the soil. At BHRT, the water surplus is present in all months, with higher values in January, February and May and lower values in March, April and August. Rainy months are not necessarily the ones with the highest water surplus because of soil evapotranspiration, and those with low water surplus or withdrawal should receive adequate irrigation so that there are no losses in agriculture. In July 2015 and January 2016, influenced by the strong occurrence of the El Niño phenomenon, there were extreme precipitation events that reached the northern region of Paraná. The rainy season in 2015 in both basins was below average and, unexpectedly, July was one of the months with the highest volume of water surplus. In January 2016, the extreme event was more intense than in the previous year, with water surplus concentrated in January and February and little expressive in the second semester. The year 2020 was unusually dry, in both basins the rains were below the annual average and the month of August ended up being the month that had the highest volume of surplus, contrary to average expectations. With the results of the average water balance, depicting the dynamics of water inflow and outflow, periods of water deficiency and surplus, it is possible to subsidize decision-making in regional agricultural planning, such as irrigation management.

Key-words: water balance; anomalies; rainfall

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo	7
Figura 2 –	Mapa de declividade da BHRJ e BHRT	10
Figura 3 –	Mapa de solos presentes na BHRJ e BHRT	12
Figura 4 –	Localização das bacias e das estações selecionadas para a pesquisa.....	21
Figura 5 –	Representação esquemática do hidrograma e da curva de permanência	25
Figura 6 –	Mapa de uso e ocupação do solo da BHRJ (2020)	29
Figura 7 –	Mapa de uso e ocupação do solo na BHRT (2020)	31
Figura 8 –	Comparação da área ocupada na BHRJ e BHRT pelas classes de uso e ocupação do solo	33
Figura 9 –	Média mensal de precipitação e temperatura da BHRJ (1980- 2020)	34
Figura 10 –	Média mensal de precipitação e temperatura da BHRT (1980- 2020)	35
Figura 11 –	Comparativo da média mensal de precipitação e vazão da BHRJ (1980-2020)	36
Figura 12 –	Correlação entre precipitação e vazão da BHRJ	37
Figura 13 –	Comparativo da média mensal de precipitação e vazão da BHRT (1980-2020)	38
Figura 14 –	Correlação entre precipitação e vazão da BHRT	39
Figura 15 –	Comparativo da série histórica de precipitação e vazão total da BHRJ.....	40
Figura 16 –	Comparativo da série histórica de precipitação e vazão total da BHRT	41
Figura 17 –	Comparativo da vazão específica das BHRJ e BHRT (1988- 2018)	42
Figura 18 –	Comparativos da variação percentual média da vazão das BHRJ e BHRT (1988-2018).....	43
Figura 19 –	Curva de permanência de vazões da BHRJ e BHRT	44
Figura 20 –	a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (1980-2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (1980-2020).....	46

Figura 21 – a) Extrato da média histórica do balanço hídrico da BHRT (1980-2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (1980-2020)	47
Figura 22 – Imagens aéreas do município de Londrina-PR após eventos extremos registrados em janeiro de 2016 a) vista de área inundada na zona rural do município b) Queda da ponte sobre o ribeirão Cafezal c) Rompimento da barragem do Parque Ecológico Daisaku Ikeda	54
Figura 23 – Localização das bacias e das estações selecionadas para a pesquisa.....	57
Figura 24 – Evolução da precipitação pluvial na BHRJ (1980-2020) destacando os anos de ocorrência moderada ou forte do fenômeno ENOS	60
Figura 25 – Evolução da precipitação pluvial na BHRT (1980-2020) destacando os anos de ocorrência moderada ou forte do fenômeno ENOS	61
Figura 26 – Precipitação pluvial na BHRJ (2015-2016).....	62
Figura 27 – Precipitação pluvial na BHRT (2015-2016)	63
Figura 28 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2015) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2015).....	65
Figura 29 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2015) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2015)	66
Figura 30 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2016) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2016).....	67
Figura 31 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2016) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2016)	69
Figura 32 – Comparativo da precipitação na BHRJ em 2020 com a média da série histórica	72
Figura 33 – Comparativo da precipitação na BHRT em 2020 com a média da série histórica	73
Figura 34 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2020).....	74
Figura 35 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2020)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação do relevo na BHRJ e BHRT	10
Tabela 2	– Tabela da classificação de solos na BHRJ e BHRT	12
Tabela 3	– Informações das estações selecionadas para a pesquisa	20
Tabela 4	– Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r).....	22
Tabela 5	– Classes de cobertura do solo do MapBiomas Coleção 6	23
Tabela 6	– Área e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na BHRJ (2020)	30
Tabela 7	– Área e porcentagem da área das classes de uso e ocupação do solo na BHRT (2020).....	32
Tabela 8	– Estatísticas da série histórica dos dados de precipitação e fluviometria das BHRJ e BHRT	43
Tabela 9	– Comparativo do extrato do balanço hídrico médio das BHRJ e BHRT (1980-2020)	49
Tabela 10	– Informações das estações selecionadas para a pesquisa	56
Tabela 11	– Comparativo do extrato do balanço hídrico médio das BHRJ e BHRT (1980-2020)	64
Tabela 12	– Comparação dos valores do balanço hídrico entre BHRJ e BHRT (2015-2016)	70
Tabela 13	– Comparativo da temperatura de 2020 com a média da série histórica	71
Tabela 14	– Comparação dos valores do balanço hídrico entre BHRJ e BHRT (2020)	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO E SOCIOECONÔMICO	5
2.2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	7
2.3	SOLOS	10
2.4	CLIMA	12
2.5	HIDROGRAFIA	13
3	ARTIGO CIENTÍFICO I - ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E DO RIO TAQUARA (PR)	15
3.1	INTRODUÇÃO	16
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
3.2.1	Materiais	19
3.2.2	Estações Fluviométricas E Meteorológicas	20
3.2.3	Coeficiente De Determinação E Coeficiente De Correlação De Pearson	22
3.2.4	Uso E Ocupação Do Solo	22
3.2.5	Curva De Permanência	24
3.2.6	Balanço Hídrico	25
3.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	27
3.3.1	Uso E Ocupação Do Solo	27
3.3.2	Climograma, Vazão Fluvial E Precipitação Pluvial	33
3.3.3	Balanço Hídrico Climatológico	45
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
4	ARTIGO CIENTÍFICO II - BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS POSITIVAS E NEGATIVAS DE PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E DO RIO TAQUARA (PR).....	51
4.1	INTRODUÇÃO	52

4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	55
4.2.1	Fonte De Dados.....	55
4.2.2	Estações Fluviométricas E Meteorológicas	56
4.2.3	Balanço Hídrico	58
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59
4.3.1	Anomalias Positivas De Precipitação (2015 E 2016).....	61
4.3.2	Anomalias Negativas De Precipitação (2020)	70
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Estudos que envolvem a dinâmica, distribuição e disponibilidade da água em bacias hidrográficas são fundamentais para a gestão e manejo de recursos hídricos, considerando diversos problemas relacionados a crise hídrica e a ocorrência de eventos extremos, que vem afetando a sociedade em diferentes regiões do mundo e ao mesmo tempo em diferentes proporções.

Em uma bacia hidrográfica, além da importância de preservar a quantidade e a qualidade da água, também deve se atentar a dinâmica das mudanças espaciais associadas ao uso e ocupação do solo.

O estado do Paraná foi atingido por eventos meteorológicos extremos na década de 2010 a 2020 (AMORIM *et al.*, 2020; MACHADO *et al.*, 2013; MONTANHER; MINAKI, 2020). Na região Norte do estado não foi diferente, por exemplo, entre o segundo semestre de 2015 e o primeiro semestre de 2016, foram registrados altos volumes pluviométricos que causaram alagamentos, inundações e movimentos gravitacionais de massa, produzindo impactos negativos para o ecossistema, mas principalmente, em prejuízos sociais e econômicos para muitas pessoas: “[...] a água invadiu casas e estabelecimentos, árvores foram arrancadas do solo com a velocidade do vento, os bueiros não suportaram o volume de água e ruas ficaram alagadas” (SANTOS; SARTOR; MELO, 2020, p. 796).

Recentemente, entre 2020 e 2021, o estado do Paraná passou a contabilizar uma queda no nível de chuvas, possivelmente relacionado à influência do fenômeno *La Niña* e a Oscilação Antártica (PORTO, 2020). Nauman *et al.* (2022) descrevem que essa seca meteorológica também afeta toda a bacia de La Plata desde meados de 2019, diminuindo consideravelmente a vazão dos rios Paraguai e Paraná.

Isso comprometeu o abastecimento de água para consumo em algumas áreas urbanas, o uso industrial, a produção agrícola, o fornecimento de energia, aumentou o risco de queimadas e reduziu a qualidade e umidade do ar (podendo causar problemas respiratórios) (FERNANDES *et al.*, 2021; MATTEI; PARRÉ, 2021; RPC CASCAVEL, 2021; SALTON; MORAIS; LOHMANN, 2021).

Eventos dessa natureza podem ser classificados como anomalias climáticas, pois são identificados como desvios acentuados ou flutuação extrema em relação à média de uma série climatológica, podendo apresentar diversos graus de magnitude, porém são mais raros, embora o aumento da frequência de sua ocorrência,

associado às mudanças climáticas, seja uma preocupação (CARDOSO; QUADRO; BONETTI, 2020; RAMOS; VIANA; SANTO, 2008).

Anomalias climáticas fazem parte da variabilidade climática. Podem se manifestar por ocorrências de secas prolongadas, inundações anormais, ondas de calor extremas, ciclones extratropicais amplificados, entre outros exemplos. Alguns desses eventos podem ser explicados em decorrência da intensificação do *El Niño*, que representa o aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial em decorrência do enfraquecimento dos ventos alísios (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

As mudanças climáticas podem fazer que a frequência, intensidade e duração de anomalias climáticas se alterem. São utilizadas metodologias para buscar entender as mudanças na probabilidade dos extremos influenciados pelas mudanças climáticas, pois essas podem fazer parte da variabilidade climática ou causadas pela sociedade (MARENGO, 2009). Essas mudanças trazem grandes consequências para o ciclo hidrológico, impactando a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas.

Nesse sentido, uma das ferramentas para a compreensão dessa dinâmica é aplicação do balanço hídrico, pois possibilita estimar as quantidades de água que entram (água da precipitação) e saem (evapotranspiração real e percolação) de certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo.

Ou seja, é uma das formas de monitoramento do armazenamento de água no solo, sem ser necessário tirar medidas diretas das condições do solo, do qual podem ser determinados períodos de deficiência e excedente hídrico.

Segundo Galiani (2012, p. 14):

[...] o conhecimento da distribuição da pluviosidade, do excedente e da deficiência hídrica de uma bacia hidrográfica, fornece subsídios para determinar períodos críticos predominantes fornece informações que visam reduzir as consequências causadas pelas flutuações do regime pluviométrico e do armazenamento de água no solo, consequentemente auxilia no planejamento para utilização racional dos recursos hídricos dentro de uma unidade territorial.

Um dos métodos mais consolidados para realizar o cálculo do balanço hídrico climatológico é de Thornthwaite e Mather (1955), que pode ser usado, entre tantos fins, para a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo. Esse método foi adotado pois não necessita tirar medidas diretas no campo, sendo menos oneroso, pois não envolvem a utilização de equipamentos para medir a

evapotranspiração, por exemplo. Assim, é possível aplicar essa metodologia em qualquer localidade, desde que exista dados de temperatura e precipitação.

Para chegar em um resultado com base nas equações definidas por esse método, é preciso definir os seguintes parâmetros: capacidade de água disponível (CAD), precipitação total (P), evapotranspiração total (ETP), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e o total de água retida no solo (ARM) (TOMASELLA; ROSSATO, 2005). Cada um desses conceitos será explicado posteriormente.

Não são muitos os estudos publicados nas bacias do ribeirão Jacutinga (BHRJ) e do rio Taquara (BHRT) que provem subsídios técnicos e científicos para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Ambas formam um sistema aberto complexo, com interações entre ambientes rurais e urbanos, sofrendo impactos de diferentes graus de intensidade das atividades socioeconômicas presentes. Em uma microbacia onde possui atividade majoritariamente agropecuária, essas alteram os ecossistemas naturais do ponto de vista físico, químico e biológico, evidenciando a necessidade da realização de estudos neste contexto.

Quanto as bacias hidrográficas, existem várias tentativas de conceituação delas. Porto e Porto (2008, p. 45) entendem o conceito sistêmico de bacia como “um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório”. Botelho (1999) a entende como uma área drenada por um rio principal e seus afluentes, delimitada por cotas altimétricas estabelecidas pelos divisores de água.

As bacias hidrográficas podem ser delimitadas em várias escalas de análise e essa escolha para uma boa gestão dos recursos hídricos vai depender do problema que nela se deseja resolver. Albuquerque (2012, p. 205) complementa que

a partir desta delimitação o poder público e a sociedade civil adquirem maior capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas específicas, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas, dentre outros.

A BHRJ tem grande importância pois é responsável por boa parte do sistema de abastecimento de água do município de Ibiporã, que em 2021 tinha a população estimada de 55.688 habitantes, segundo dados do IBGE Cidades. As águas

subterrâneas da região da BHRJ também são consideradas para Archela, França e Celligoi (2003, p. 139) como “um recurso estratégico para fomentar atividades econômicas, domésticas, locais e até regionais”, pois as potencialidades hídricas subterrâneas desse lugar são promissoras.

A BHRT é uma bacia que se destaca na sua área a produção agrícola, sendo dependente da oferta de água da precipitação e da irrigação para as culturas produzidas ali. O balanço hídrico pode estabelecer a variação do armazenamento e a disponibilidade de água no solo, conhecimento útil para tomar medidas no preparo e manejo do solo e em outras atividades agrícolas, como semeadura e colheita.

Portanto, essas bacias foram as escolhidas para pesquisa e espera-se que este trabalho contribua para o desenvolvimento científico e compreensão sistemática da interrelação climática, uso e ocupação do solo e seus efeitos sobre bacias hidrográficas.

Sendo assim, foram definidos dois objetivos, um para cada artigo. O primeiro artigo fez análises do movimento do ciclo hidrológico e do balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Matter. Essas análises são individuais da BHRJ e da BHRT e também comparativas. O recorte temporal dos dados vai de 1980 a 2020.

O segundo artigo fez análises comparativas da média histórica do balanço hídrico com anos de anomalia positiva e negativa de precipitação, como foram em 2015, 2016 e 2020, a fim de observar a quantidade de água na entrada e saída no solo durante desses acontecimentos.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO E SOCIOECONÔMICO

A região Norte do Paraná passou por um processo de colonização ainda no século XIX, inicialmente por alguns órgãos públicos e empresas, porém foi consolidada com a Companhia de Terras Norte do Paraná - CTNP no início do século XX. A ocupação tornou-se mais efetiva com a Estrada de Ferro Sorocabana, em 1908, por qual foi usada como meio por um grupo de ingleses interessados aplicar seu capital para o cultivo de algodão, para suprir a demanda das indústrias europeias.

Esse grupo fundou a CTNP em 1925 e adquiriu terras entre os rios Paranapanema, Tibagi e Ivaí, que foram vendidos para imigrantes dos estados de São Paulo, Minas Gerais e também de outros países, como Itália, Japão, Alemanha, entre outros. Assim foram fundadas na década de 1930 os municípios como Cambé, Londrina, Rolândia, Arapongas, Apucarana, Mandaguari (FARIA, 2015).

O processo de colonização do norte paranaense se deu em função do interesse da expansão da cafeicultura. O solo fértil, a organização em pequenas e médias propriedades, a facilitação nas formas de pagamento dos lotes e o planejamento de uma rede de cidades foram características atrativas para produtores familiares migrarem para a região. O café foi o produto econômico mais importante para a exportação na época que os municípios citados acima foram fundados ou emancipados, até a década de 1970 (CHIES; YOKOO, 2012).

Na década de 1960, com o aumento da população e das atividades comerciais, houve expansão da malha urbana de Londrina em direção a Cambé. No mesmo período o governo brasileiro implantou um processo de modernização da agricultura e estimulava o crescimento industrial, que até então no Paraná a indústria era considerada rudimentar.

Na década seguinte (1970) começou a se formar a aglomeração entre as cidades de Cambé, Londrina e Ibiporã, que hoje forma um aglomerado urbano-industrial formado pelos municípios de Apucarana, Arapongas, Rolândia, Cambé, Londrina e Ibiporã (DOMINGOS, 2010).

Bragueto e Cunha (2002) afirmam que na microrregião geográfica de

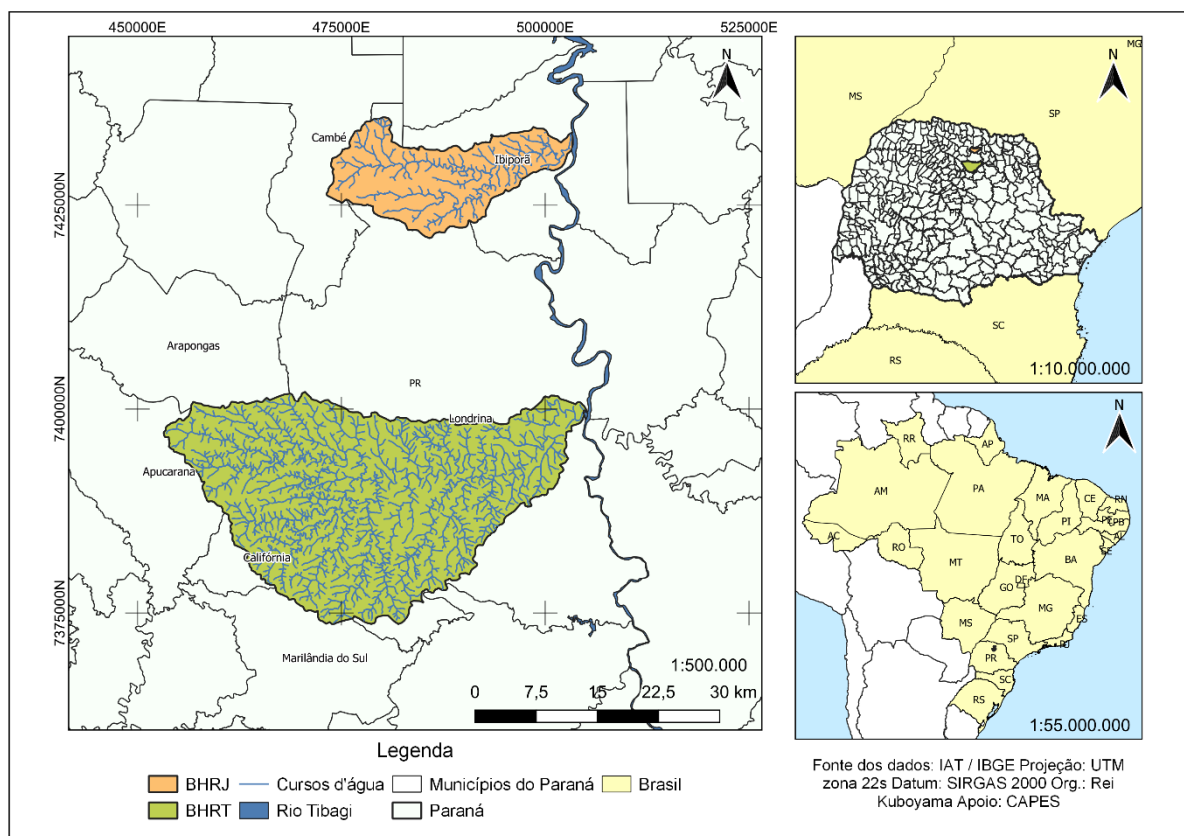
Londrina, (incluem os municípios de Londrina, Cambé, Ibiporã, Rolândia, Tamarana e Pitangueiras) a partir da década de 1970 houve um aumento de estabelecimentos em função das indústrias tradicionais. Ou seja, houve uma perda de importância do setor industrial em relação ao setor comercial e de serviços, que se diversificou e se sofisticou.

Hoje, Londrina, enquanto centro submetropolitano, apresenta um conjunto de atividades urbanas complexas, atuando com outras cidades do norte paranaense como Ibiporã, Cambé, Rolândia, Arapongas e Apucarana e também com a rede urbana da metrópole paulista (FRESCA, 2014).

A BHRJ (figura 1), localizada no norte do estado do Paraná abrange os municípios de Cambé, Londrina e Ibiporã, com área de aproximadamente 238 km². Somando o total da população estimada em 2021 desses três municípios, segundo o IBGE Cidades, são 744.684 habitantes. Arabori et al (2021) afirma que essa bacia é responsável por boa parte do sistema de abastecimento de água, pois a exploração de água subterrânea é insuficiente para o consumo local.

A BHRT (figura 1) possui área aproximada de 897 km², se localiza em direção sul em relação a BHRJ, a 20 km de distância aproximadamente entre seus limites. Abrange os municípios de Londrina, Arapongas, Apucarana, Califórnia e Marilândia do Sul, bem como os distritos de São Luiz, Paiquerê, Guaravera e Lerrovile, pertencentes a administração da prefeitura de Londrina. Estima-se que a população somada desses municípios em 2021 é de 862.287 habitantes, de acordo com o IBGE, 2021.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: o próprio autor

2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

As rochas do Paraná formam compartimentos distintos, que se refletem na geomorfologia do Estado, com a Baixada Litorânea, Serra do Mar, Primeiro, Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses. Abrangem um extenso intervalo do tempo geológico, com idades de 2,8 bilhões de anos até o presente (MINEROPAR, 2014).

As duas bacias estão geologicamente inseridas na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Na área da Bacia, são três conjuntos litológicos: Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico. O Mesozóico, que abrange a área de estudo, é constituído por

rochas sedimentares de origem continental, de idade triássica e por rochas ígneas extrusivas de composição predominantemente básica de idade jurássica-cretácea, responsáveis pelas feições do Terceiro Planalto Paranaense. Os últimos eventos de grande expressão na coluna estratigráfica no final do Cretáceo são os depósitos sedimentares de ambiente continental árido representados pelos sedimentos arenosos do noroeste do Estado (MINEROPAR, 2001).

O Grupo Serra Geral, Piramboia e Botucatu compõem a Supersequência Gondwana III, denominada de "Sequência Jurássica-Eocretácica"

compreende o intervalo do registro estratigráfico da Bacia do Paraná em que se posicionam os sedimentitos eólicos da Formação Botucatu, flúvio-eólicos da Formação Piramboia e as rochas magmáticas da Formação Serra Geral, originadas no início da ruptura do continente Gondwana e surgimento do Oceano Atlântico (PARANÁ, 2018).

Na região de Londrina, aflora o Grupo Serra Geral, unidade geológica de grande extensão (cobre cerca de 917.000 km² da região sudoeste da América do Sul) e espessura (aproximadamente de 500 a 1.000 m na maior parte) (HARTMANN, 2014; ARCHELA; FRANÇA; CELLIGOI, 2003).

Essa unidade é uma grande província magmática. A manifestação ígnea do Fanerozóico formou uma espessa sequência de lavas, com idades de 134,7 milhões de anos, que cobre 45% da área do Paraná e quase todo o Terceiro Planalto Paranaense, exceto na porção noroeste (PARANÁ, 2018).

Quase toda a região da Bacia do Paraná é coberta por rochas ígneas do magmatismo até nos dias de hoje, após um período de 100 milhões de anos de retrabalhamento erosivo. A Bacia do Paraná tem o grupo vulcânico próximo ao seu topo, coberto pelo Grupo Bauru de rochas sedimentares e pequeno volume de rochas vulcânicas alcalinas. Pode haver um grande volume de rochas basálticas (*sills*) intrusivas nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná (PARANÁ, 2018).

As rochas vulcânicas dominantes são basalto, andesito basáltico e andesito. Os principais recursos minerais são ametista, argilas, cobre e água mineral. A maioria dos derrames basálticos da província vulcânica são do tipo *pahoehoe*, com estrutura de crosta inferior e superior intensamente amigdaloidais e núcleo maciço (HARTMANN, 2014).

Quanto a geomorfologia, ambas estão sob o compartimento geomorfológico do Terceiro Planalto Paranaense, também chamado de Planalto de Guarapuava, abrange quase dois terços do território paranaense. Representa o plano de declive que forma a encosta da Escarpa da Serra Geral do Paraná, constituída por estratos de arenito, com derrames espessos de lavas básicas e compactas do trapp do Paraná (PARANÁ, 2018).

É uma região levemente ondulada com vertentes pouco inclinadas, com presença de mesas. Bigarella *et al.* (1994) completa que

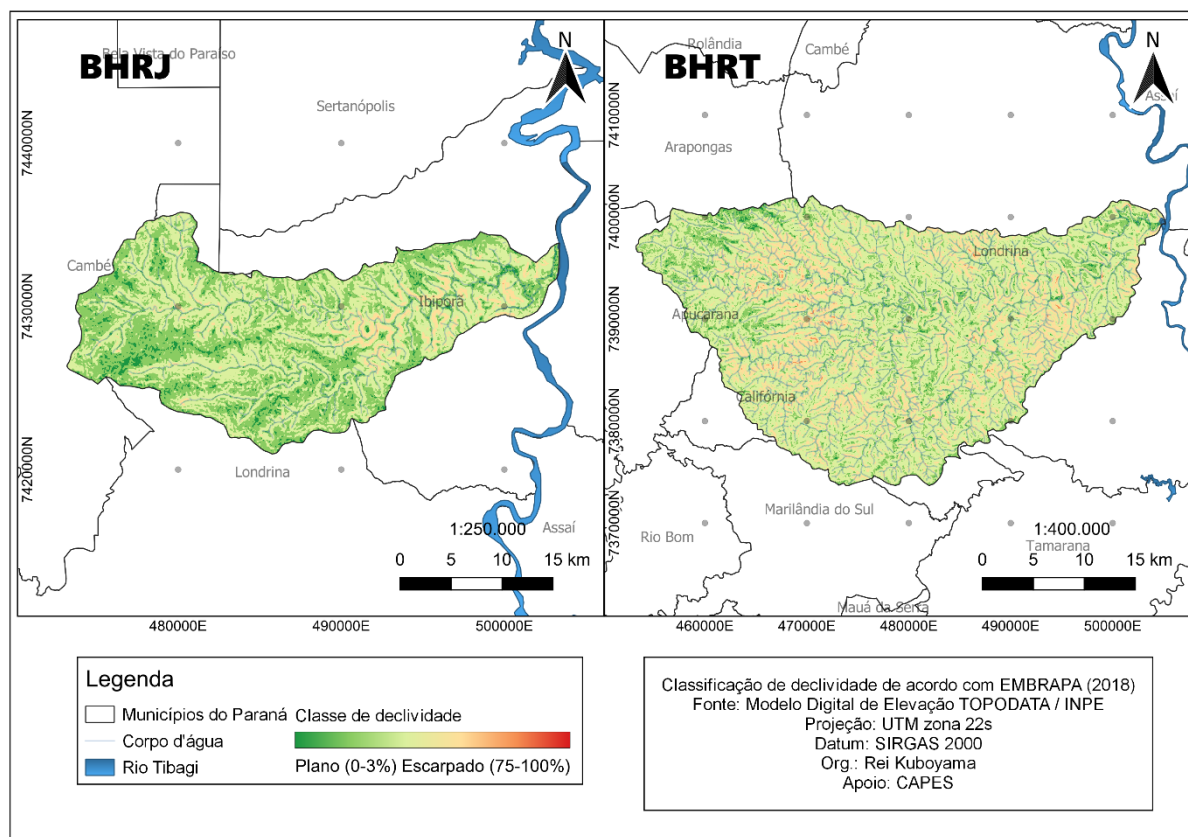
as camadas de basalto originaram plataformas estruturais que regulam a progressão da erosão. Dessa forma, a estrutura geológica desempenha papel importante sobre a ação erosiva dos leitos fluviais.

Os derrames basálticos se formaram por cima das rochas sedimentares sotopostas formaram uma camada e “a ação da erosão remontante acabou por se constituírem em escarpas e serras monoclinaes, denominadas geomorfologicamente por *cuestas*” (ARCHELA; FRANÇA; CELLIGOI, 2003, p. 134).

A figura 2 e tabela 1 reúnem as informações sobre a declividade das duas bacias, de acordo com a classificação de relevo estabelecido pela EMBRAPA (2018).

O relevo da BHRJ é ondulado em 48,34% da área da bacia (declividade de 8 a 20%), e 42,4% é suave ondulado (declividade de 3 a 8%) (figura 2). Segundo Arabori *et al* (2021) as altitudes que variam de 405 m a 680 m, sendo que as maiores altitudes se encontram nas bordas da bacia e as menores próximas ao centro e em volta dos canais fluviais.

Figura 2 – Mapa de declividade da BHRJ e BHRT



Fonte: o próprio autor

Tabela 1 – Classificação do relevo na BHRJ e BHRT

	BHRJ		BHRT	
Relevo	Área (km²)	Porcentagem	Área (km²)	Porcentagem
Plano (0-3%)	10.676,11	4,49%	11.863,89	1,32%
Suave ondulado (3-8%)	100.796,00	42,40%	146.626,65	16,36%
Ondulado (8-20%)	114.932,30	48,34%	567.784,51	63,35%
Forte ondulado (20-45%)	11.308,88	4,76%	168.023,89	18,75%
Montanhoso (45-75%)	21,28	0,01%	1.970,36	0,22%
Escarpado (>75%)	-	-	-	-
Total	237.734,58	100,00%	896.269,28	100,00%

Fonte: o próprio autor

A BHRT apresenta relevo ondulado predominante, com declives acentuados de 8 a 20% em 63,35% de sua área. As regiões de fundo de vale e baixas encostas são superfícies com topografia horizontal. As altitudes variam entre 420 m a 870 m.

Na parte oeste da bacia o relevo é fortemente ondulado, formado por morros com declives de 20 a 45% na média vertente (STIPP, CAMPOS, CAVIGLIONE, 2010).

2.3 SOLOS

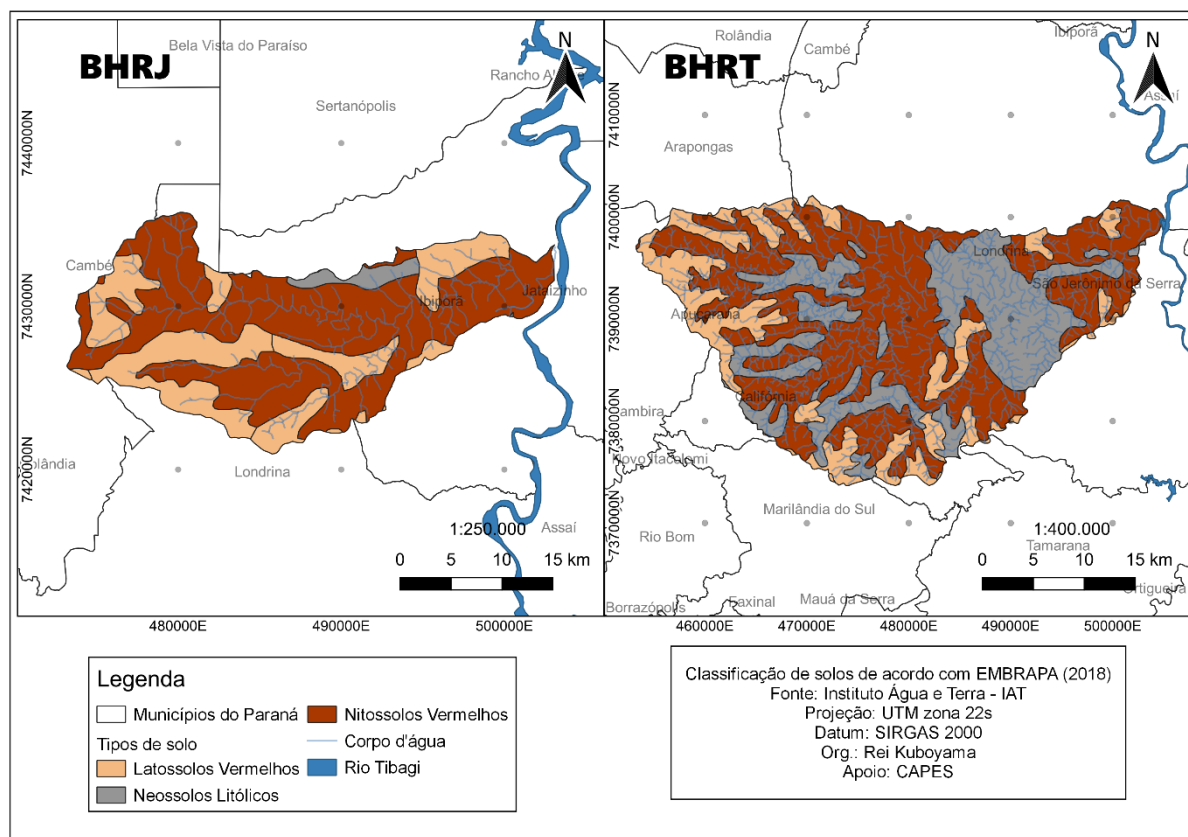
Os solos predominantes na área da BHRT e da BHRJ (figura 3 e tabela 2) são os Nitossolos Vermelhos,¹ Latossolos Vermelhos² (principalmente nas partes altas e aplainadas do relevo) e em menor ocorrência Neossolos Litólicos³ nas porções finais das vertentes, segundo a nomenclatura atual estabelecida pela EMBRAPA (STIPP, CAMPOS, CAVIGLIONE, 2010).

¹ Nitossolos são solos com horizonte B nítico, abaixo do horizonte A, com textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície do solo, apresentando estrutura em blocos subangulares ou angulares ou prismática, de grau forte ou moderado, com cerosidade expressiva e/ou caráter retrátil. Nitossolos vermelhos possuem matiz 2,5YR ou mais vermelho na parte superior dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

² Latossolos são solos bem desenvolvidos, que sofreram processo de latolização, resultando em intemperização intensa dos minerais primários e secundários menos resistentes. Tem concentração de hidróxidos de ferro e alumínio, sem adição de argila. Necessariamente possuem horizonte B diagnóstico latossólico na sequência de um horizonte A qualquer, com teor de argila nulo ou pouco acentuado do horizonte A para B. Os latossolos vermelhos possuem matiz 7,5YR ou mais amarelo na parte superior dos 100 cm do horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018).

³ Neossolos são solos pouco evoluídos, com material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, em razão de características inerentes ao material de origem ou por influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo). Não tem horizonte B diagnóstico definido, normalmente há ocorrência de horizonte A seguido diretamente de horizonte C ou R. Neossolos litólicos possuem contato lítico ou lítico fragmentário, com horizonte A ou hístico sobre horizonte C (EMBRAPA, 2018).

Figura 3 – Mapa de solos presentes na BHRJ e BHRT



Fonte: o próprio autor

Tabela 2 – Tabela da classificação de solos na BHRJ e BHRT

	BHRJ		BHRT	
Tipos de solo	Área (km²)	Porcentagem	Área (km²)	Porcentagem
Latossolos Vermelhos	76,52	32,26%	163,86	18,28%
Neossolos Litólicos	6,65	2,80%	253,18	28,24%
Nitossolos Vermelhos	154,02	64,94%	479,41	53,48%
Total	237,19	100,00%	896,45	100,00%

Fonte: o próprio autor

Os dados do tipo de solo são fornecidos pelo Instituto Água e Terra – IAT em escala de 1:250.000. De acordo com as imagens acima, a maior parte dos solos que compõe as duas bacias são do tipo Nitossolos Vermelhos (64,94% na BHRJ e 53,48% na BHRT). Os Latossolos Vermelhos ocupam 32,26% na BHRJ e formam a menor parte na BHRT, representando 18,28%. Por outro lado, os Neossolos Litólicos são a minoria na BHRJ (2,8%) e 28,24% na BHRT.

2.4 CLIMA

O estado do Paraná está localizado em uma região de transição de climas. A classificação climática do estado, de acordo com o proposto por Köppen, apresenta três tipos distintos: Cfa, Cfb e Af. Os ventos apresentam direção predominante de Nordeste ao longo do ano sobre a região. Durante os meses de primavera e verão, predomina a circulação de Norte, da região tropical para a região Sul, que transporta calor e umidade da Região Amazônica (PARANÁ, 2018).

Entre abril e agosto, a circulação atmosférica de latitudes médias ocorre em maior medida sobre o Sul do país. Com isso, os ventos predominam de sul para norte sobre o continente. Este padrão favorece a penetração de sistemas frontais, que se deslocam do Oceano Pacífico Sudeste, e passam nos Andes em direção ao Centro-Leste do Brasil. Na retaguarda dos sistemas frontais há a penetração de anticiclones frios (massas de ar frio), sobre a região Sul do Brasil, o que contribui para temperaturas baixas nestes meses do ano.

A temperatura média anual no estado do Paraná é entre 14°C e 23°C, sendo que os menores valores se encontram nas áreas de maior altitude e as temperaturas médias anuais mais elevadas se encontram no litoral, oeste, norte e noroeste do estado. O verão a média térmica varia de 16°C a 27°C e durante o inverno, estação mais fria do ano, as temperaturas variam de 10 a 19°C, sendo o Noroeste a região de maior temperatura (18 a 20°C). A primavera e o outono possuem características semelhantes, sendo a primavera sensivelmente mais quente que o outono, com médias variando entre 14 e 24°C na primavera, e entre 12 e 24°C no outono (PARANÁ, 2018).

O clima predominante na área de ambas as bacias é o Cfa ou subtropical úmido da classificação de Köppen (subdivisão do tipo Cf ou temperado úmido), com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente temperaturas acima de 22°C e com chuvas durante todo o ano. Os verões são quentes, as geadas pouco frequentes e possui a concentração das chuvas ficam nos meses do verão, mas não tem uma estação seca definida. O Cfa caracteriza as regiões das matas tropicais e subtropicais como sendo quente-subtropicais, sempre úmidas (STIPP, CAMPOS, CAVIGLIONE, 2010).

2.5 HIDROGRAFIA

A BHRJ apresenta escoamento em direção aos canais de drenagem e formato longo e estreito, o que indica um menor risco de enchentes em condições normais de precipitação, em comparação com bacias que possuem relevos mais íngremes, menos ramificada e com menor espaço entre os cursos d'água, pois esse tipo de bacia não possibilita a concentração de água em uma região só (ARABORI *et al*, 2021). Ela comporta 131 canais de drenagem, com densidade de drenagem boa ($1,83 \text{ km/km}^2$) e densidade de rios $0,55 \text{ rios/km}^2$.

A análise morfométrica da BHRT resultou na contagem de 952 canais de drenagem, com densidade de drenagem regular ($1,4 \text{ km/km}^2$) e densidade de rios de $1,06 \text{ rios/km}^2$. Quanto à forma, a bacia foi classificada como retangular, com índice de circularidade que a torna alongada, favorecendo um melhor escoamento de água e sedimentos e contribuindo para amenizar o impacto de precipitações intensas, assim como a BHRJ.

A BHRJ e BHRT são afluentes do rio Tibagi, que possui 550 km de extensão e uma área de drenagem de 25.240 km^2 . Sua nascente é localizada na Serra das Almas, entre os municípios de Ponta Grossa (PR) e Palmeira (PR), a cerca de 1.100 m de altitude e vai desaguar no reservatório da Usina Hidrelétrica da Capivara, no rio Paranapanema, a 298 m de altitude.

3 ARTIGO CIENTÍFICO I - ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E DO RIO TAQUARA (PR)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal conhecer as variáveis hidrológicas e determinar o balanço hídrico climatológico das bacias hidrográficas do ribeirão Jacutinga (BHRJ) e do rio Taquara (BHRT). O extrato do balanço hídrico foi feito para a média da série histórica de 1980 a 2020. O cálculo foi feito pelo método de Thornthwaite e Mather, automatizado por Rolim e Sentelhas. Essas bacias são localizadas na região norte paranaense, estão cerca de 20 km de proximidade ambas afluentes do rio Tibagi. A primeira é relevante para o abastecimento de água do município de Ibiporã, com muitos afluentes que percorrem a área urbanizada da cidade de Londrina. A segunda tem grande importância para a produção agropecuária, visto que o uso e ocupação na área é quase inteiramente rural. Foram utilizados dados de precipitação e temperatura diários e mensais de 1980 a 2020 de estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Instituto Água e Terra – IAT. O climograma da área de estudo revela que o período chuvoso vai de dezembro a fevereiro e o período seco vai de junho a agosto. O balanço hídrico médio na BHRJ demonstra ter excedente hídrico em quase todos os meses, com valores menores em março, abril e julho e maiores em dezembro a fevereiro. Em agosto ocorre retirada hídrica de 1,35 mm do solo. Na BHRT o excedente hídrico é presente em todos os meses, com valores maiores em janeiro, fevereiro e maio e valores menores em março, abril e agosto. Conclui-se que meses chuvosos não necessariamente são os que registram maior excedente hídrico por causa do fator evapotranspiração e aqueles que registram baixo excedente ou retirada hídrica devem receber irrigação adequada para que não haja perdas na agricultura.

Palavras-chave: balanço hídrico; precipitação; vazão

ABSTRACT

The present work had as main objective to know the hydrological variables and to determine the climatological water balance of the watersheds of the Jacutinga stream (BHRJ) and the Taquara river (BHRT). The water balance extract was made for the average of the historical series from 1980 to 2020. The calculation was performed using the Thornthwaite and Mather method, automated by Rolim and Sentelhas. These basins are located in the northern region of Paraná, they are about 20 km from each other, both tributaries of the Tibagi River. The first is relevant for the water supply of the municipality of Ibiporã, with many tributaries that run through the urbanized area of the city of Londrina. The second is of great importance for

agricultural production, since the use and occupation in the area is almost entirely rural. Daily and monthly precipitation and temperature data from 1980 to 2020 from stations of the National Institute of Meteorology - INMET and Instituto Água e Terra - IAT were used. The climogram of the study area reveals that the rainy season runs from December to February and the dry season runs from June to August. The average water balance in BHRJ shows a water surplus in almost every month, with lower values in March, April and July and higher in December to February. In August there is a water withdrawal of 1.35 mm from the soil. At BHRT, the water surplus is present in all months, with higher values in January, February and May and lower values in March, April and August. It is concluded that rainy months are not necessarily the ones that register the highest water surplus because of the evapotranspiration factor and those that register low surplus or water withdrawal should receive adequate irrigation so that there are no losses in agriculture.

Key-words: water balance; rainfall; flow rate

3.1 INTRODUÇÃO

As questões relacionadas ao uso da água, no contexto do Brasil, se iniciaram a partir do final da década de 1970 até a década de 1980, com a criação de comitês para diversas bacias hidrográficas, com atribuições consultivas, mas depois foram incorporados ao sistema de gestão dos estados federativos. A gestão baseada nas bacias permite a abordagem integrada das águas com os aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais (PORTO; PORTO, 2008).

A Lei nº 9.433/1997 institui a PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sistema de gestão descentralizado e participativo de bacias hidrográficas como unidade de planejamento em todo o território nacional, associado ao reconhecimento da água como bem econômico (LUCHINI, 2000).

Ainda de acordo com Luchini (2000), a Lei nº 9.433/1997 define um conjunto de instrumentos para a gestão da água, dentre eles planos de recursos hídricos; outorga do direito de uso dos recursos hídricos; cobrança dos recursos hídricos; divisão dos corpos d'água em classes de uso; e o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos.

No ano 2000 foi criado pela Lei nº 9.984 a ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico para regular e cumprir as diretrizes e objetivos da Lei nº 9.433/1997 já citada e mais recentemente da Lei nº 14.026/2020, o novo marco legal do saneamento básico. A agência também possui função de regular os serviços de

irrigação em regime de concessão e de adução de água bruta nos corpos de água da União, além de fiscalizar a segurança de barragens (VITÓRIA, 2013).

Para além dos marcos regulatórios e a legislação vigente no Brasil sobre os recursos hídricos, o conhecimento sobre a climatologia e hidrologia de uma determinada bacia hidrográfica podem servir como subsídios para o melhor planejamento e gerenciamento das atividades sociais, ambientais e econômicas, pois ao contrário disso, a degradação dos recursos ambientais poderá ser excessiva, ou seja, desfavorável ao desenvolvimento sustentável.

Para Chevalier (2001), a boa compreensão do fluxo hídrico em uma bacia hidrográfica depende do relacionamento integrado e sistêmico entre mapas e/ou informações topográficas, geológicas, pedológicas, clima, vegetação e uso do solo.

Cabe destacar que o clima se tornou o centro das atenções da comunidade científica a partir da década de 1990 por conta de suas mudanças cada vez mais intensas e imprevisíveis, como o aumento da temperatura global e do nível do mar, períodos longos de estiagem, causando inundações, escassez de água, entre outros problemas.

Nesse sentido, Marengo (2008) afirma que em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente estabeleceram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), com o objetivo de avaliar o clima e os riscos das mudanças climáticas para a população mundial com trabalhos científicos.

Conhecer melhor o clima torna mais possível minimizar as piores de suas consequências para o desenvolvimento da sociedade como um todo, isso inclui os impactos causados no território da bacia hidrográfica.

Em nível de Brasil, o mesmo autor afirma que

a disponibilidade de água no Brasil depende em grande parte do clima. O ciclo anual das chuvas e de vazões no país varia entre bacias, e de fato a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de *El Niño*, *La Niña*, ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar anomalias climáticas [...] O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. [...] O conhecimento sobre possíveis cenários climático-hidrológicos futuros e as suas incertezas podem ajudar a estimar demandas de água no futuro e também a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para o futuro (MARENGO, 2008, p. 83-86).

Para Terassi *et al.* (2017), a chuva é um fator importante para os riscos

climáticos, pois tanto as enchentes como as secas podem afetar atividades agrícolas, a geração de energia e o abastecimento de água. Portanto, a compreensão da variabilidade da chuva é fundamental para o planejamento e gestão de atividades industriais, agrícolas e florestais em escala regional.

No caso específico da agricultura, a precipitação é um dos elementos do clima que mais afeta a produção agrícola por causa de sua variabilidade de tempo e ocorrência. Para atender o solo com a disponibilidade hídrica necessária à agricultura é necessário considerar tanto o processo de entrada e perda de água no solo para as plantas, resultando no balanço hídrico (CARDOSO, ULLMANN, EBERHARDT, 2003).

De acordo com Galiani, (2012, p. 9) utilizando o balanço hídrico como metodologia para estudo de uma bacia hidrográfica permite-se retratar as “peculiaridades e o funcionamento da entrada e saída de água, as épocas de deficiência e excedente hídrico [...]”, podendo ser utilizado como indicativo dos principais conflitos pelo uso das águas e sistematizar projeções futuras.

Também é possível auxiliar para identificar fragilidades climáticas e ambientais de uma bacia, como a previsão de eventos associados a enchentes, secas extremas e erosão do solo, assim como a avaliação de seus impactos. No caso deste trabalho, além de tentar estimar a ocorrência desses eventos ao longo do tempo, também servirá para avaliar o balanço hídrico em períodos específicos quando esses se realizaram.

Dessa forma, o recorte espacial dessa pesquisa são as BHRJ e BHRT localizadas no norte paranaense, que são próximas espacialmente. Embora, apresentem características físicas semelhantes (clima, geologia e pedologia), possuem alterações socioeconômicas distintas em determinados períodos históricos, refletindo na intensidade de ocupação e nas classes de uso do solo. Nesse sentido, se buscou analisar dados de fluviometria e pluviometria ao longo da série histórica e como é dado o balanço hídrico climatológico de cada bacia.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1 Materiais

Primeiramente a pesquisa bibliográfica contribuiu de forma essencial para a fundamentação teórica desse trabalho, desde a caracterização, até as bases metodológicas que foram empregadas para atingir o objetivo principal desta pesquisa. Além disso, compõe a base conceitual deste trabalho artigos científicos, livros, trabalhos apresentados em eventos e até reportagens de jornal escritos por diferentes autores em diferentes tempos que ajudaram a guiar o raciocínio teórico e metodológico.

Em tempos pandêmicos, destaca-se a importância da divulgação científica de forma aberta por meios de comunicação em rede, podendo ter esses dados e informações acessados de qualquer lugar e a qualquer momento.

Todos os dados foram obtidos de maneira secundária, disponibilizados e publicados na internet por diversos institutos públicos de pesquisa. Os dados de precipitação foram adquiridos através do portal HidroWeb⁴ e no Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto Água e Terra - IAT; os dados de temperatura foram baixados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET; e os dados de vazão ou fluviometria foram disponibilizados pelo IAT e também podem ser acessados via portal HidroWeb.

A base cartográfica utilizada para a construção dos mapas é do IBGE e do IAT. No caso o IBGE fornece arquivos vetoriais dos limites das unidades federativas e dos limites dos municípios, que foram úteis para localizar mais detalhadamente a área que abrange as bacias hidrográficas em destaque. O IAT disponibiliza dados e informações geoespaciais temáticos, como a hidrografia e limite das bacias hidrográficas do Paraná.

⁴ O Portal HidroWeb é uma “ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos” (ANA, 2005).

3.2.2 Estações fluviométricas e meteorológicas

Como critério de seleção das estações meteorológicas, foi utilizado localização e mínimo 30 anos série histórica de dados. Não foi possível encontrar nenhuma estação com dados de temperatura diária ou mensal inseridas na área delimitada da BHRT, assim, os valores foram estimados com base diferença de altitude da estação de Londrina, com base na metodologia de Galiani (2012)⁵.

Os dados foram baixados de planilhas originais de acordo com o padrão cada entidade, posteriormente foi necessário organizar de maneira uniforme cada planilha para facilitar a análise estatística básica e gráfica de distribuição. Algumas das falhas da série de dados que foram detectadas, foram corrigidas com base no cálculo de média aritmética.

As planilhas originais do HidroWeb exibem dados de precipitação máxima, total do mês e também valores diários. O INMET organizou os dados originais por período mensal, como a quantidade de dias de chuva em um mês, precipitação total, temperatura mínima, média compensada e máxima.

A tabela 3 mostra informações adicionais sobre as estações selecionadas.

Tabela 3 – Informações das estações selecionadas para a pesquisa

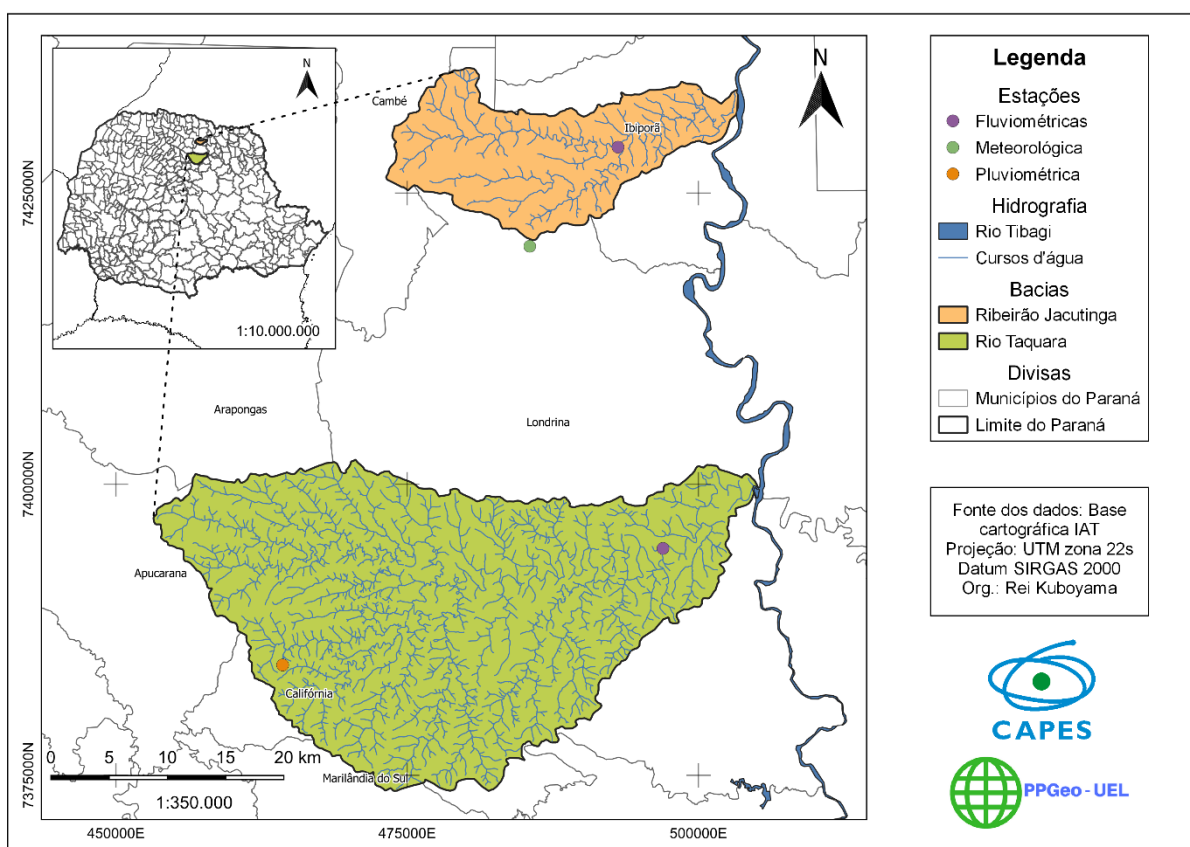
Nome da estação	Município	Responsável	Tipo de dados	Período dos dados	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Londrina	Londrina	Instituto Nacional de Meteorologia	Temperatura e pluviometria	1980-2020	-23.32	-51.14	566
Califórnia	Califórnia	Instituto Água e Terra	Pluviometria	1980-2020	-23.65	-51.35	790
ETA Ibiporã	Ibiporã	Agência Nacional das Águas	Fluviometria	1988-2019	-23.24	-51.06	395
Sítio Igrejinha	Londrina	Instituto Água e Terra	Fluviometria	1988-2018	-23.56	-51.03	390

⁵ Considerando que a cada 100 metros de altitude acima de um terreno a temperatura diminui 0,65 °C, em média. A diferença entre as altitudes da estação Califórnia (790 m) e a Londrina (566 m) é de 224 m. Então o cálculo foi feito da seguinte maneira: $224 * 0,65 / 100 = 1,45$ °C. Ou seja, suponha-se que a média de temperatura em dezembro para a bacia do ribeirão Jacutinga seja 24,4 °C, para a bacia do rio Taquara estima-se que seja de 23 °C para o mesmo período.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia; Instituto Água e Terra; Agência Nacional das Águas

A figura 4 exibe tanto a localização das bacias hidrográficas estudadas, quanto a localização das estações meteorológicas e fluviométricas selecionadas para determinar o balanço hídrico climatológico.

Figura 4 – Localização das bacias e das estações selecionadas para a pesquisa



Fonte: o próprio autor

Os climogramas, com dados de precipitação acumulada e temperatura média de cada mês da série histórica, foram úteis para visualizar e caracterizar o clima local, definindo também os períodos predominantes quentes, úmidos, frios e secos.

Dados das duas estações fluviométricas contribuíram no sentido de analisar e comparar, junto com os dados de precipitação, o tempo de concentração (tempo necessário para que toda a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada) das duas bacias hidrográficas tanto na série histórica, mas principalmente nos anos que ocorreram anomalias de precipitação. Não foram encontrados dados da vazão para a BHRT em 2016 na estação fluviométrica Sítio

Igrejinha.

3.2.3 Coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson

Foram elaborados gráficos de dispersão a partir dos dados da média mensal para a BHRJ e BHRT com linha de tendência linear, também para a série histórica de 1988-2018. A partir do mesmo gráfico, foi feito o cálculo do coeficiente de determinação pelo software Microsoft Excel.

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida de ajuste de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear simples ou múltipla, aos valores observados de uma variável aleatória. O R^2 varia entre 0 e 1, expressa a quantidade da variância dos dados que é explicada pelo modelo linear. Assim, quanto mais próximo de 1, mais explicativo é o modelo linear, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra.

A partir do coeficiente de determinação se calcula o coeficiente de correlação de Pearson, descrito na equação 1:

$$r = \sqrt[2]{r^2} \quad (1)$$

Os valores dos índices de correlação foram interpretados conforme Asuero, Sayago e González (2006) (tabela 4):

Tabela 4 - Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r)

Índice de correlação (r)	Classificação
0,0 – 0,29	Muito baixa
0,3 – 0,49	Baixa
0,5 – 0,69	Moderada
0,7 – 0,89	Alta
0,9 – 1,0	Muito alta

Fonte: Asuero, Sayago e González (2006)

3.2.4 Uso e ocupação do solo

Foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo para cada bacia, com base nos dados disponibilizados no Projeto MapBiomass⁶ inseridos na Coleção 6 de

⁶ O projeto MapBiomass é uma “iniciativa do Observatório do Clima co-criada e desenvolvida por uma

2021. Essa coleção cobre o período de 1985 a 2020, então foram aproveitados os dados mais recentes de 2020 para a elaboração.

Os dados matriciais foram baixados através do *software* Google Earth Engine, as legendas e classes de uso e ocupação do solo utilizadas no mapa foram pré-definidas pelo próprio MapBiomias (tabela 5).

No total são 21 classes de uso e ocupação em um sistema hierárquico, que foram definidas a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros (SOUZA *et al*, 2020). Para os mapas deste trabalho, foram detalhados na legenda apenas as classes presentes na área das bacias pesquisadas.

Tabela 5 – Classes de cobertura do solo do MapBiomias Coleção 6

Natural	1 Floresta	Antrópico	3.2.1.3 Arroz
Natural	1.1 Formação florestal	Antrópico	3.2.1.4 Outras lavouras temporárias
Natural	1.2 Formação savânica	Antrópico	3.2.2 Lavoura perene
Natural	1.3 Mangue	Antrópico	3.2.2.1 Café
Natural	1.4 Restinga arborizada	Antrópico	3.2.2.2 Citrus
Natural	2 Formação natural não florestal	Antrópico	3.2.2.3 Outras lavouras temporárias
Natural	2.1 Campo alagado e área pantanosa	Antrópico	3.3 Silvicultura
Natural	2.2 Formação campestre		3.4 Mosaico de agricultura e pastagem
Natural	2.3 Apicum	Mosaico	4 Área não vegetada
Natural	2.4 Afloramento rochoso	Natural	4.1 Praia, duna e areal
Natural	2.5 Outras formações não florestais	Antrópico	4.2 Área urbanizada
Antrópico	3 Agropecuária	Antrópico	4.3 Mineração
Antrópico	3.1 Pastagem	Mosaico	4.4 Outras áreas não vegetadas
Antrópico	3.2 Agricultura	Mosaico	5 Corpos d'água
Antrópico	3.2.1 Lavoura temporária	Mosaico	5.1 Rio, lago e oceano
Antrópico	3.2.1.1 Soja	Antrópico	5.2 Aquicultura
Antrópico	3.2.1.2 Cana	Não identificado	Não observado

rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso do solo do Brasil e monitorar as mudanças do território" (MAPBIOMAS, 2021).

Fonte: o próprio autor

A área de cada classe de uso presente na bacia foi calculada utilizando o *software* livre QGIS 3.16. Com o auxílio dessa ferramenta, foi possível elaborar tabelas com informações da área ocupada em quilômetros quadrados para as classes de uso e ocupação do solo e o percentual que ela representa em relação a área total cada bacia.

3.2.5 Curva de permanência

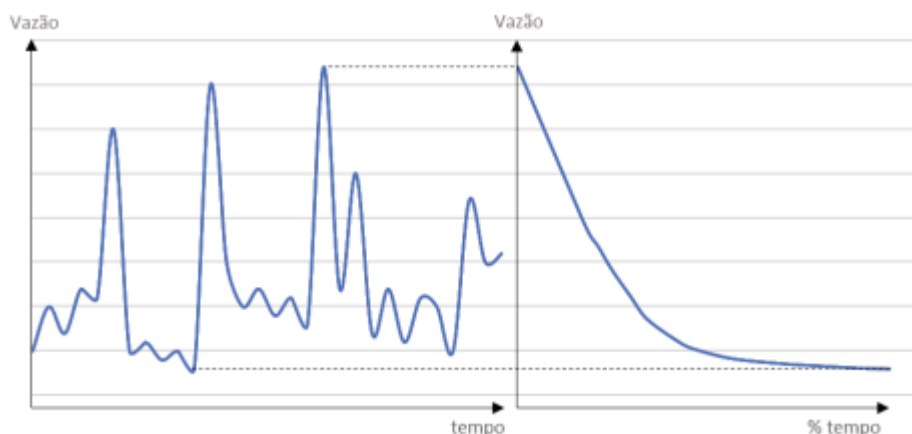
A curva de permanência foi escolhida para esse estudo pois permite descrever a frequência da oferta das vazões de um rio fornecendo visualização gráfica do comportamento hidrológico monitorado, sintetizando o regime de fluxo de uma a bacia. Segundo Córdova, Pinheiro e Pinheiro (2000), as curvas são instrumentos valiosos para comparação entre as características de relevo, vegetação, uso do solo e precipitações de diferentes bacias hidrográficas.

Segundo Wolff *et al.* (2017), as vazões são determinadas por características físicas, climáticas, morfológicas e de cobertura vegetal da bacia, e as curvas de permanência podem servir para comparação entre as características de relevo, vegetação, uso do solo e precipitações de diferentes bacias hidrográficas.

As curvas de permanência são utilizadas na prática da hidrologia para avaliar retiradas e lançamentos associados aos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos, gerenciamento de qualidade da água, estudos de potencial energético hidráulico, planejamento de irrigação, entre outros (CRUZ; TUCCI, 2008).

Elas relacionam a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico hidrológico utilizado para sua construção (CRUZ; TUCCI, 2008). As vazões máximas têm permanência no tempo próximas de 0%, e seriam as vazões que podem afetar as comunidades que habitam as regiões ribeirinhas dos rios em caso de inundações, além das estruturas hidráulicas descarregadoras de cheias em barragens, por exemplo, enquanto que a parte da curva próxima de 100%, seriam as vazões sanitárias de proteção à população e aos ecossistemas. As vazões intermediárias no entorno de 50% têm foco no suprimento hídrico e também na segurança hídrica em termos qualitativos (figura 5) (MONTEIRO; SILVEIRA; SILVEIRA, 2019).

Figura 5 – Representação esquemática do hidrograma e da curva de permanência



Fonte: MONTEIRO; SILVEIRA; SILVEIRA, 2019

Para obtenção da curva de permanência todos os valores de vazão das séries históricas das bacias hidrográficas estudadas foi primeiro calculado a vazão média de longo período, posteriormente os valores foram orientados em ordem decrescente e associados a cada valor uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica, tal como m/n ou $m/n+1$, sendo m a ordem do valor ordenado e n o número de valores da série (CRUZ; TUCCI, 2008).

A vazão média de longo período é definida como a média das vazões médias anuais para toda a série de dados e seu cálculo permitiu inserir ambas as curvas numa mesma área gráfica de plotagem, favorecendo comparativos na caracterização da disponibilidade hídrica (considerando os seus limites inferiores e posteriores) entre as bacias estudadas.

3.2.6 Balanço hídrico

Para a determinação do balanço hídrico climatológico das áreas de estudo, cálculo mais relevante nessa pesquisa, inicia-se pela inserção de informações da latitude de estações, dados de precipitação acumulada e temperatura média de um mês ou de um período de dez dias em uma planilha do *software* Microsoft Excel, contendo fórmulas previamente definidas pelos professores Glauco de Souza Rolim e Paulo Cesar Sentelhas do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP. Esse *software*, desenvolvido em formato de planilha, tem a vantagem de gerar o extrato do balanço hídrico climatológico de maneira fácil e rápida após o preenchimento das informações necessárias.

A evapotranspiração potencial mensal (ETP), que seria “a quantidade de água que evapora do solo e transpira pelas plantas, em uma condição ideal, em que o solo esteja bem suprido de umidade e coberto com vegetação rasteira verde e uniforme” (TREMOCOLDI; BRUNINI, 2008, p. 15), é calculada assim (equação 2):

$$ETP = 16K\left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad (2)$$

K = fator de correção depende da altitude

T = temperatura média mensal em graus Celsius

I = índice térmico anual em mm

a = constante dependente do local

O somatório dos índices térmicos mensais resulta no índice térmico anual (equação 3):

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (3)$$

$$I_i = (0,2.T)^{1,1514}$$

A evapotranspiração real, que é a “perda de água reduzida total ou parcialmente, por falta de umidade no solo, em geral, igual ou inferior à [evapotranspiração] potencial” (TREMOCOLDI; BRUNINI, 2008, p. 15), é calculada pela fórmula (equação 4):

$$\text{Se } (P - ETP) \geq 0, \text{ então } ETR = ETP \quad (4)$$

$$\text{Se } (P - ETP) \leq 0, \text{ então } ETR = P - ALT$$

Se o valor da precipitação mensal (P) subtraído pela evapotranspiração potencial (ETP) for menor que zero, ou seja, negativo, é possível determinar a negativa acumulada (NEG-AC) de um determinado mês e do mês anterior (-1) (equação 5):

$$NEG-AC = NEG-AC_{-1} + (P - ETP) \quad (5)$$

Do contrário, quando P subtraído pela ETP for maior que zero, o excedente hídrico (EXC) (equação 6) que significa o volume de água que abastece reservatórios subterrâneos, rios e raízes de vegetação, é:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (6)$$

O déficit hídrico (DEF) é a diferença entre a ETR e a ETP (equação 7):

$$DEF = ETR - ETP \quad (7)$$

O armazenamento de água no solo é definido pela equação 8:

$$ARM = CAD.e^{\frac{(NEG-AC)}{CAD}} \quad (8)$$

CAD se refere a capacidade de água disponível, que depende da estrutura e da textura do solo. Independentemente do tipo de solo, pode-se adotar valores de CAD entre 75 e 100 mm para culturas anuais e entre 100 e 125 mm para culturas perenes (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Portanto, nesta pesquisa o CAD foi definido como 100 mm.

Temos também como variável a alteração da umidade do solo (ALT) (equação 9):

$$ALT = ARM_i - ARM_{i-1} \quad (9)$$

3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.3.1 Uso e ocupação do solo

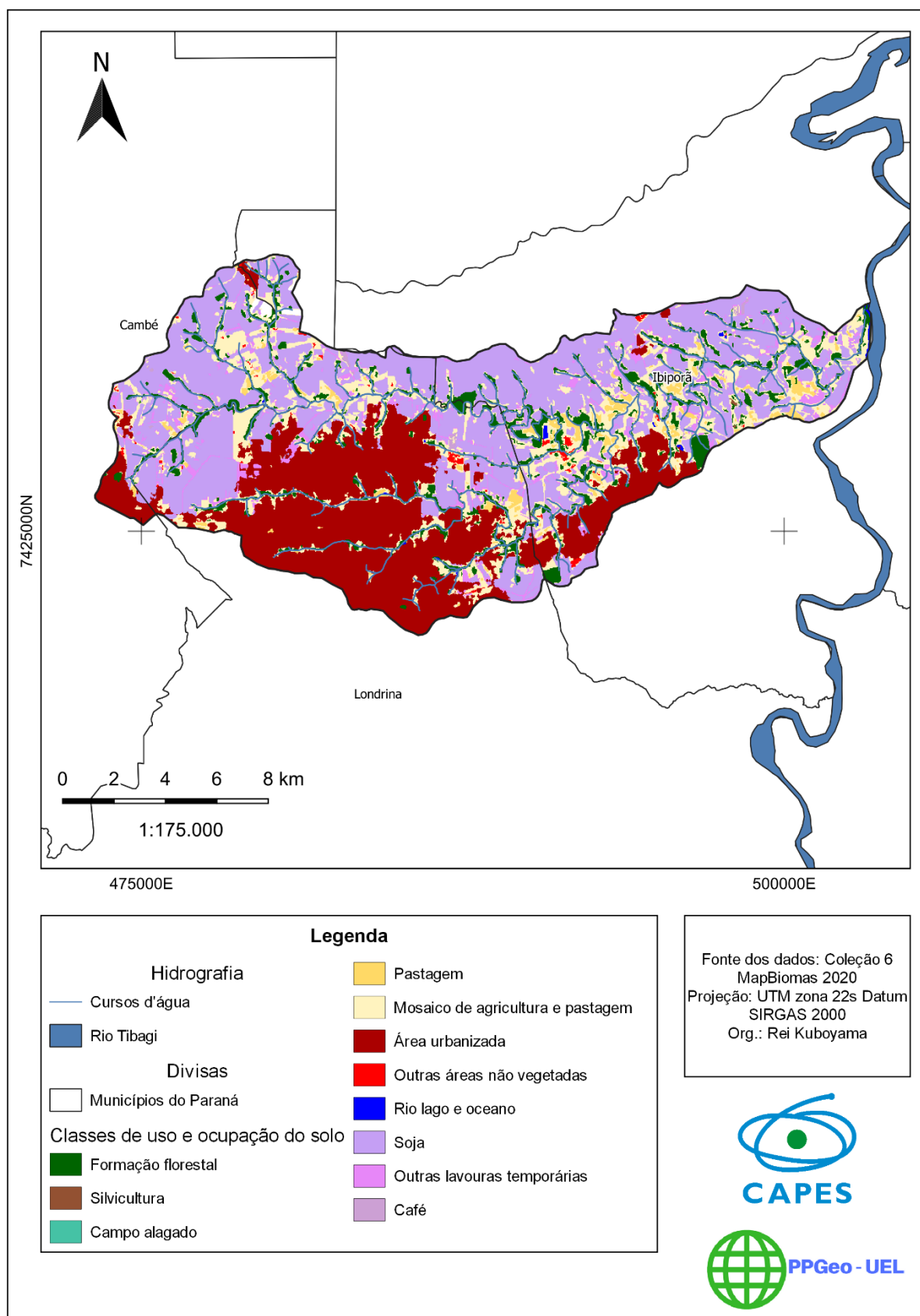
Conforme a figura 6 e tabela 6, que qualificam e espacializam a utilização e ocupação da BHRJ em 2020, se verifica que a maior parte da bacia predomina as classes de uso e ocupação do solo rurais⁷ (62,84%). Na maioria ocupam plantações de soja (37,59%), distribuídas por toda a extensão da bacia. A área urbanizada (27,66%) se encontra na porção sudoeste da bacia (onde a nascente se localiza), a zona norte de Londrina (grandes bairros habitacionais e um novo tipo de centro comercial) e o norte de Ibiporã.

Ao longo dos afluentes existem formações florestais (total de 8,78%) bem

⁷ Aqui considera-se uso e ocupação de solo do tipo rural as seguintes classes: pastagem; mosaico de agricultura e pastagem; soja; café; e outras lavouras temporárias.

próximas aos cursos d'água e também mosaico de agricultura e pastagem (total de 18,11%). Os cursos d'água que estão mais ao sul da BHRJ se encontram na malha urbana da zona norte de Londrina, porém em toda sua extensão a área de proteção permanente de 30 metros não é respeitada. Isso afeta diretamente a capacidade de armazenamento de água no solo, diante do maior índice de impermeabilidade típico da infraestrutura urbana, o que também leva ao aumento do escoamento superficial das águas da chuva. Outras lavouras temporárias ocupam 4,66% do total da área da bacia.

Figura 6 – Mapa de uso e ocupação do solo da BHRJ (2020)



Fonte: o próprio autor

Tabela 6 – Área e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na BHRJ (2020)

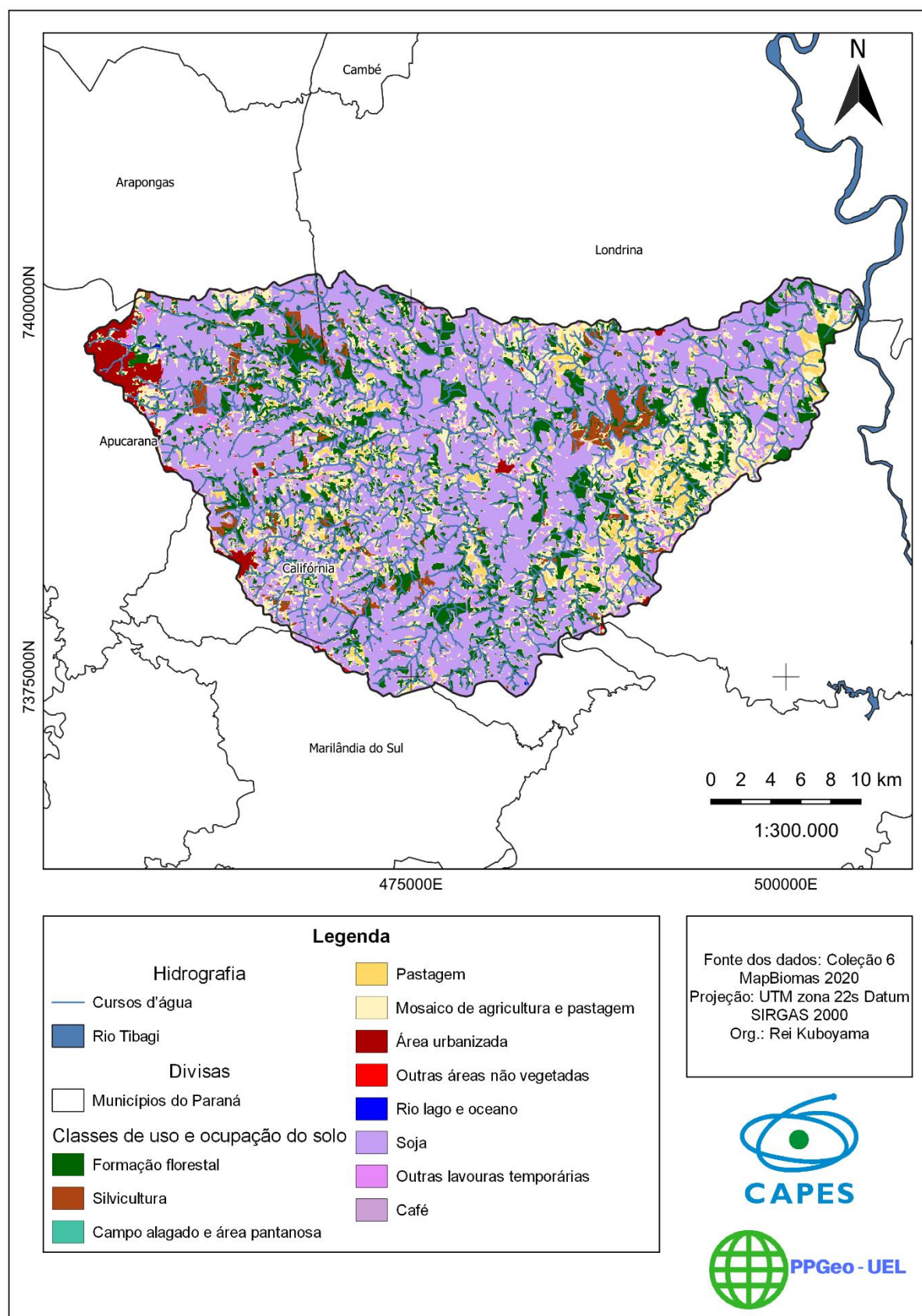
Classe de uso e ocupação do solo	km²	Porcentagem
Formação florestal	20.872,17	8,78%
Silvicultura	54,74	0,02%
Campo alagado	30,50	0,01%
Pastagem	5.259,10	2,21%
Mosaico de agricultura e pastagem	43.038,60	18,11%
Área urbanizada	65.738,36	27,66%
Outras áreas não vegetadas	1.119,07	0,47%
Rio lago e oceano	513,01	0,22%
Soja	89.358,56	37,59%
Outras lavouras temporárias	11.077,35	4,66%
Café	630,31	0,27%
Total	237.691,76	100,00%

Fonte: o próprio autor

Assim como a BHRJ, a BHRT também possui área de ocupação do solo predominantemente rural (figura 7), porém essa última possui área 74,35%, ou seja, 11,5% a mais que a BHRJ para esta classe. Essa diferença comparativa entre as classes das bacias é ainda maior quando se verifica a distribuição percentual da área urbanizada entre BHRJ e BHRT, com 27,7% e 1,86%, respectivamente.

Nessa última, a área urbanizada está concentrada na região da cabeceira da bacia, no município de Apucarana. Parte do município de Califórnia (sudoeste da bacia) e distrito de Guaravera (centro da bacia), pertencente a Londrina, também se destacam. Dentro dos limites da BHRT, o uso rural divide-se principalmente entre cultivo de soja espalhadas por toda a área da bacia (44,43%), mas também pode ser encontrada áreas importantes de fragmentos de formação florestal (20,65%) e mosaico de agricultura e pastagem (21,59%) sendo essa última concentradas na porção leste da bacia e também na foz do rio Tibagi.

Figura 7 – Mapa de uso e ocupação do solo na BHRT (2020)



Fonte: o próprio autor

Tabela 7 - Área e porcentagem da área das classes de uso e ocupação do solo na BHRT (2020)

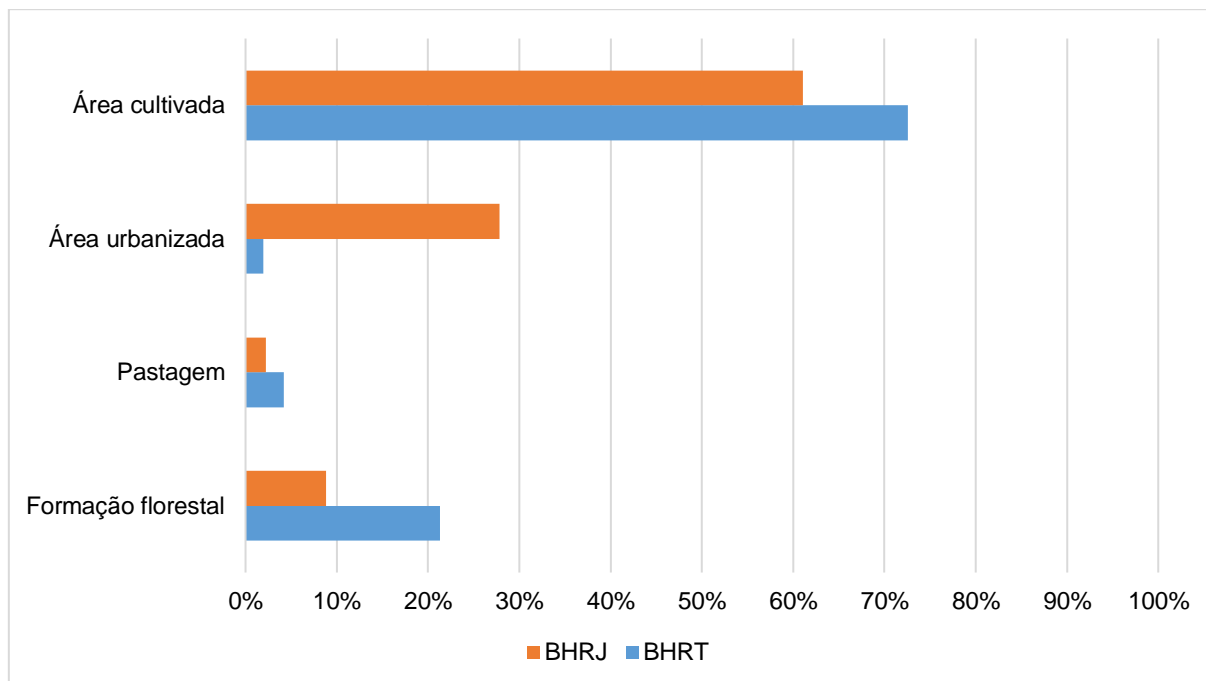
Classe de uso e ocupação do solo	km²	Porcentagem
Formação florestal	185.085,43	20,65%
Silvicultura	24.854,30	2,77%
Campo alagado	419,72	0,05%
Pastagem	36.284,61	4,05%
Mosaico de agricultura e pastagem	193.488,44	21,59%
Área urbanizada	16.654,89	1,86%
Outras áreas não vegetadas	1.600,57	0,18%
Rio lago e oceano	1.263,07	0,14%
Soja	398.286,60	44,43%
Outras lavouras temporárias	33.392,78	3,73%
Café	5.020,98	0,56%
Total	896.351,39	100,00%

Fonte: o próprio autor

A figura 8 representa o gráfico comparativo da porcentagem da área ocupada por determinadas classes de uso e ocupação do solo⁸ nas bacias desse estudo. A BHRJ, por estar inserida dentro do perímetro urbano de Londrina e Cambé, além de ter uma mancha urbana maior que a BHRT, como já foi mencionado, possui 11,87% menos formação florestal, reservada próximos aos fundos de vale existentes e que cortam a cidade, principalmente na parte sul da bacia.

⁸ Área cultivada refere-se as seguintes classes de uso e ocupação: mosaico de agricultura e pastagem; soja; outras lavouras temporárias; café.

Figura 8 – Comparação da área ocupada na BHRJ e BHRT pelas classes de uso e ocupação do solo



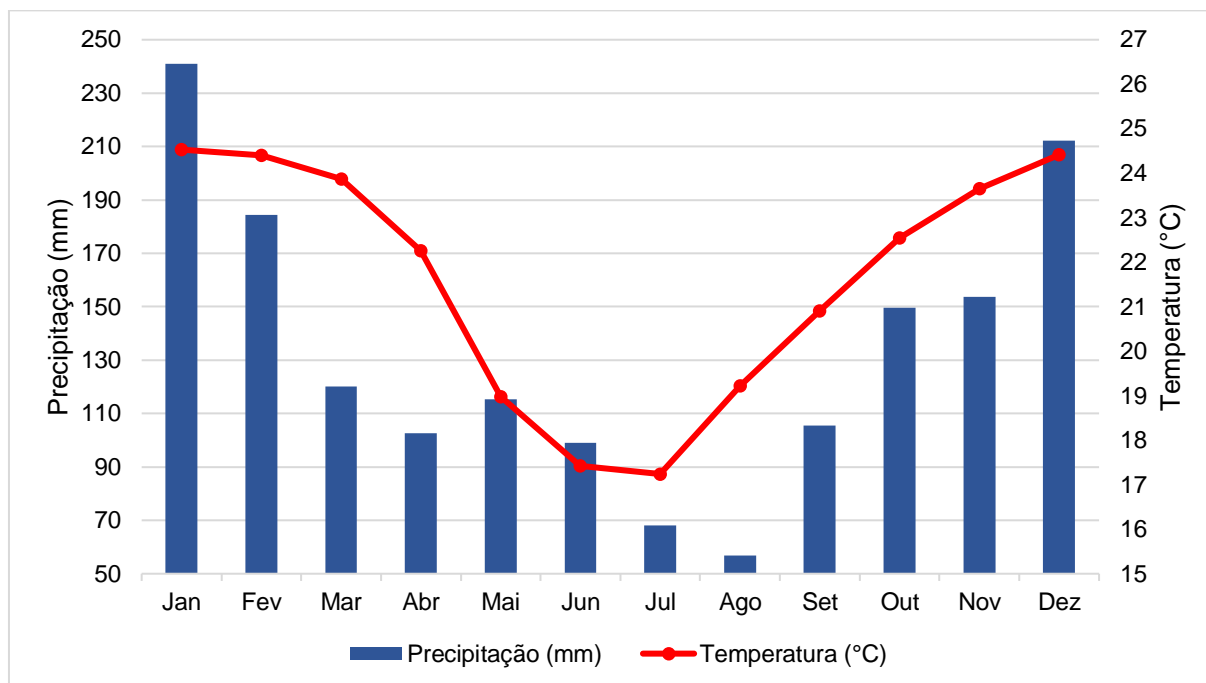
Fonte: o próprio autor

Dessa forma, destaca-se que a BHRT possui mais de 1/5 de sua área (20,65%) coberta por vegetação nativa e floresta plantada, o que contribui para o processo de infiltração e percolação da água no solo pelas raízes profundas das árvores e outras plantas.

A BHRT, por não coincidir sua área com o centro de cidades, acaba dando mais espaço para locais mais propícios para o cultivo de culturas como a da soja, pastagens e outras lavouras, afinal, o uso e ocupação do solo para a agropecuária nessa bacia é uma característica marcante (74,35% de sua área total).

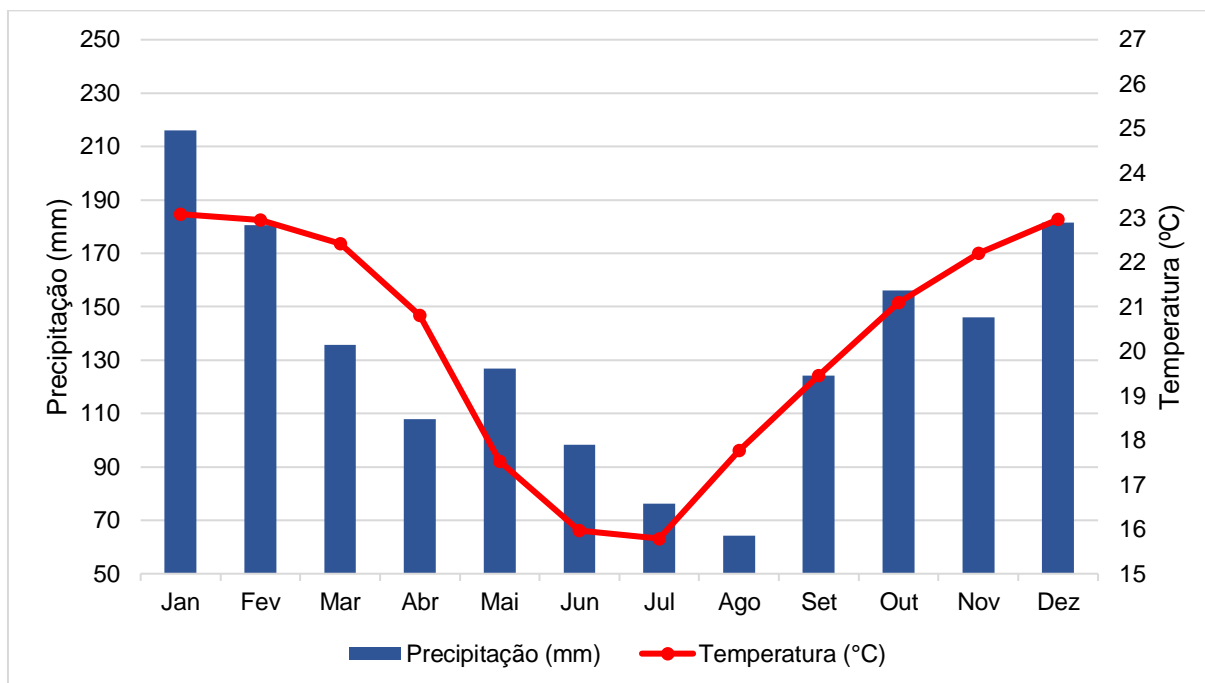
3.3.2 Climograma, vazão fluvial e precipitação pluvial

A figura 9 permite visualizar a estação mais seca e fria, em contraponto com a estação mais quente e chuvosa durante a série histórica (1980-2020) da BHRJ. É possível estabelecer com base nos dados que os meses mais chuvosos e quentes vão de dezembro até fevereiro (212,3 mm; 240,9 mm; 184,4 mm, respectivamente), enquanto os mais secos e frios iniciam-se, com maior incidência média, no mês de junho até agosto (98,9 mm; 68,1 mm; 56,9 mm, respectivamente). Em média, o volume de precipitação por mês é de 134 mm para a série histórica (1980-2020).

Figura 9 – Média mensal de precipitação e temperatura da BHRJ (1980-2020)

Fonte: o próprio autor

A figura 10 demonstra que na BHRT os períodos secos e chuvosos da série histórica são semelhantes, os três meses com maior volume de precipitação são os mesmos da BHRJ, que vão de dezembro a fevereiro (total de 578 mm) e também os meses com menor volume vão de junho a agosto (total de 238,6 mm). Algumas diferenças que se apresentam se encontram próximo da estação do outono no hemisfério Sul, de março até maio, quando as chuvas são um pouco mais volumosas na BHRT (acúmulo de 370,4 mm) em comparação com o mesmo período para a BHRJ (total de 337,9). O mesmo ocorre na estação da primavera, de setembro a novembro aproximadamente, um pouco mais chuvosa na BHRT (426,5 mm) comparativamente a BHRJ (408,9 mm).

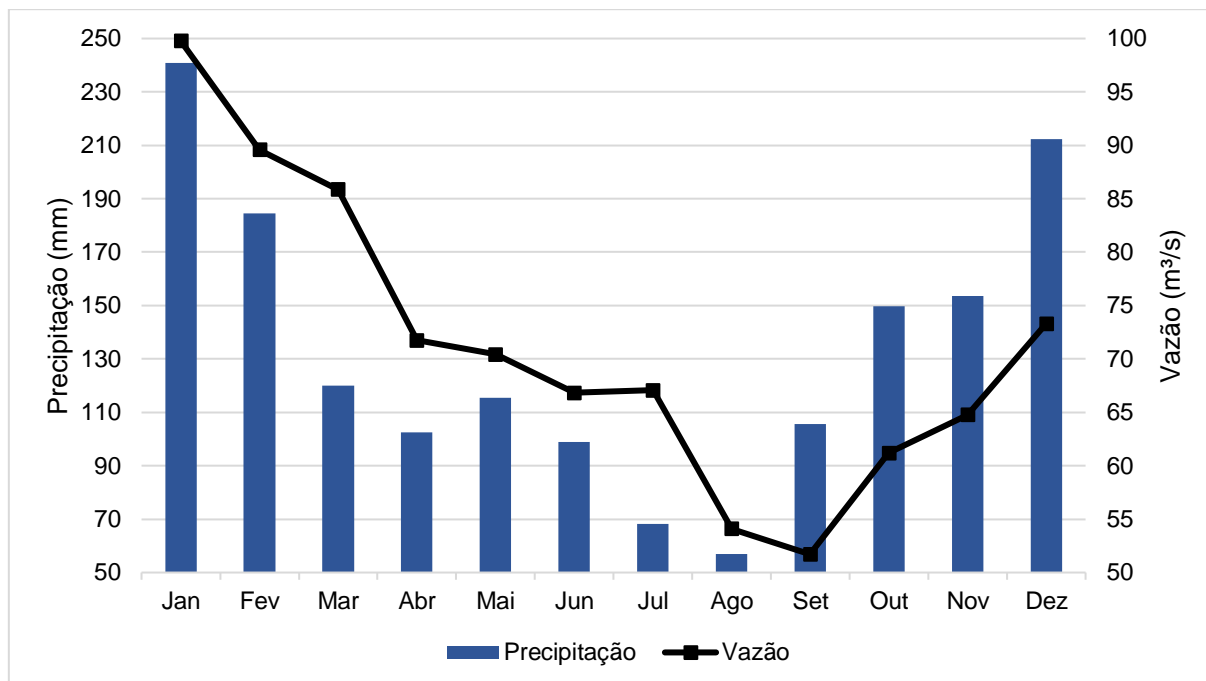
Figura 10 – Média mensal de precipitação e temperatura da BHRT (1980-2020)

Fonte: o próprio autor

A pequena variação climática entre as bacias ocorre devido à diferenciação de alguns aspectos físicos, destacando que a BHRT possui a área de drenagem e comprimento do canal principal com 660 km² e 32 km, respectivamente, superior a BHRJ, além disso, a primeira está localizada em uma altitude média mais elevada (790 m), o que altera a temperatura média entre as bacias, apesar da classificação climática de Köppen não se diferenciar entre uma e outra.

Dados comparativos na figura 11 demonstram como a precipitação e vazão na BHRJ se acompanham ao longo de um ano em média. Após o mês de agosto (sendo em média o mais seco da série histórica), as chuvas tendem a aumentar continuamente até janeiro, porém a vazão só acompanha o ritmo da precipitação de setembro para outubro.

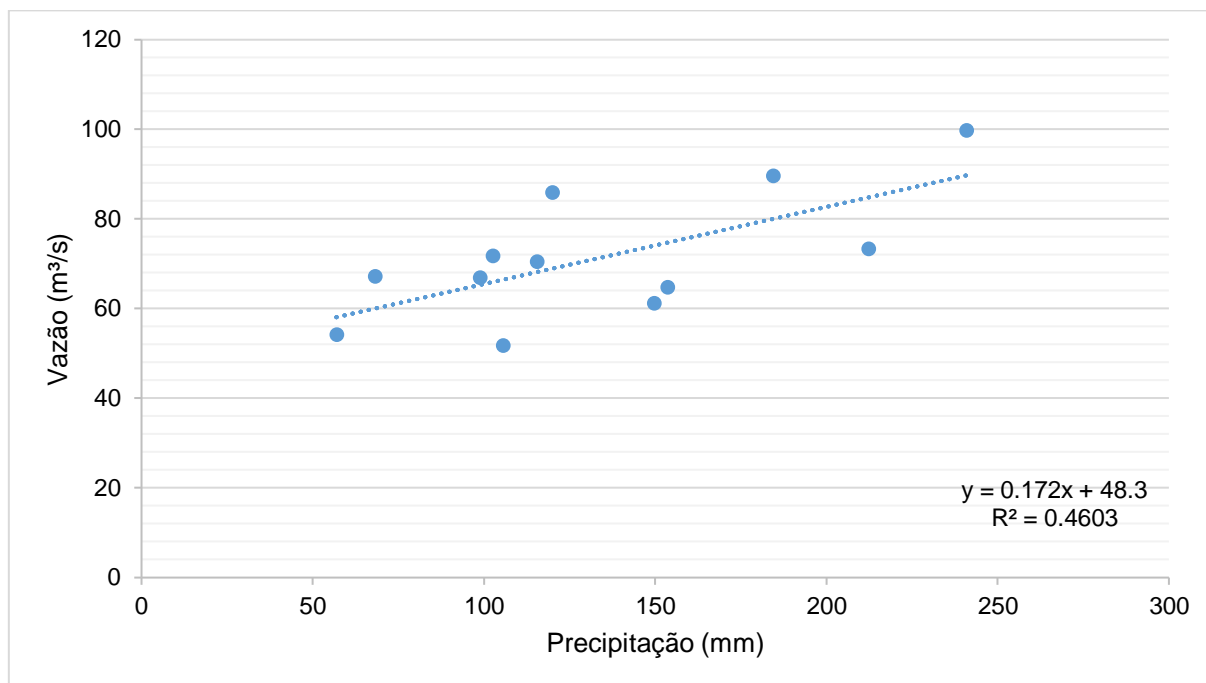
Figura 11 – Comparativo da média mensal de precipitação e vazão da BHRJ (1980-2020)



Fonte: o próprio autor

Outro destaque vale para a partir do mês de janeiro, onde coincide os valores máximos da média mensal de vazão e também de precipitação. Observa-se que a vazão e precipitação decrescem concomitantemente, exceto em maio quando a precipitação aumenta 12,9 mm em relação ao mês anterior, causando um pequeno aumento da vazão em junho e depois segue em queda até atingir o menor valor médio mensal em setembro, enquanto a precipitação chega no menor patamar em agosto.

A figura 12 apresenta um gráfico de correlação dos dados BHRJ, com a equação da reta e coeficiente de determinação (R^2), que foi aproximadamente 0,46. Então o coeficiente de correlação de Pearson (r) é 0,67, ou seja, a correlação é moderada, conforme a classificação estabelecida anteriormente na tabela 4. Os resultados do gráfico apontam que os meses de abril, maio, junho e agosto são os que mais se aproximam da linha de tendência, indicando uma maior correlação das variáveis.

Figura 12 – Correlação entre precipitação e vazão da BHRJ

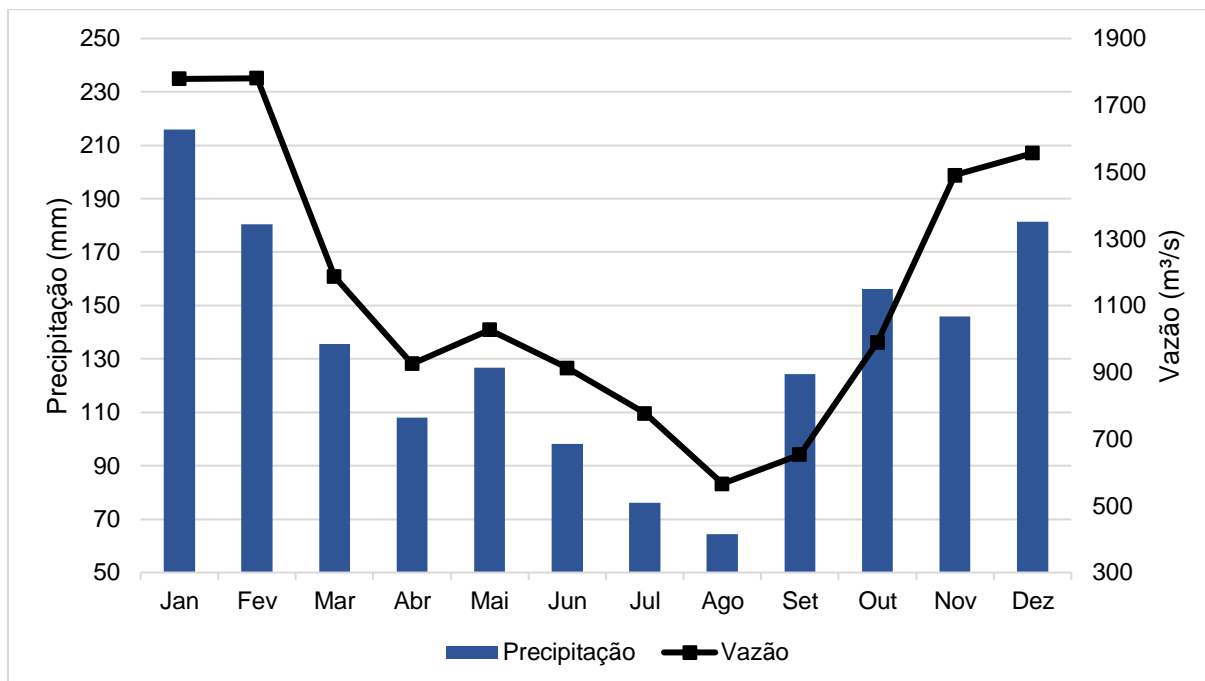
Fonte: o próprio autor

Maciel (2017, p. 154-155) explica que a maior dispersão pode ser causada por “interferência de outros fatores extrínsecos que também promovam a variabilidade do regime de vazões, bem como da própria quantidade de chuva precipitada”.

Schmidt *et al.* (2011) contribuem nesse sentido para entender que parte da precipitação pode ser interceptada pela vegetação (caso exista) e outra parte infiltra ao entrar diretamente em contato no solo. Apenas quando o solo está saturado que se inicia o escoamento superficial e o tempo que a água precipitada demora para atingir a calha do rio que drena a área da vertente pode variar de acordo com o tipo de solo, declividade, uso do solo e condições da cobertura vegetal.

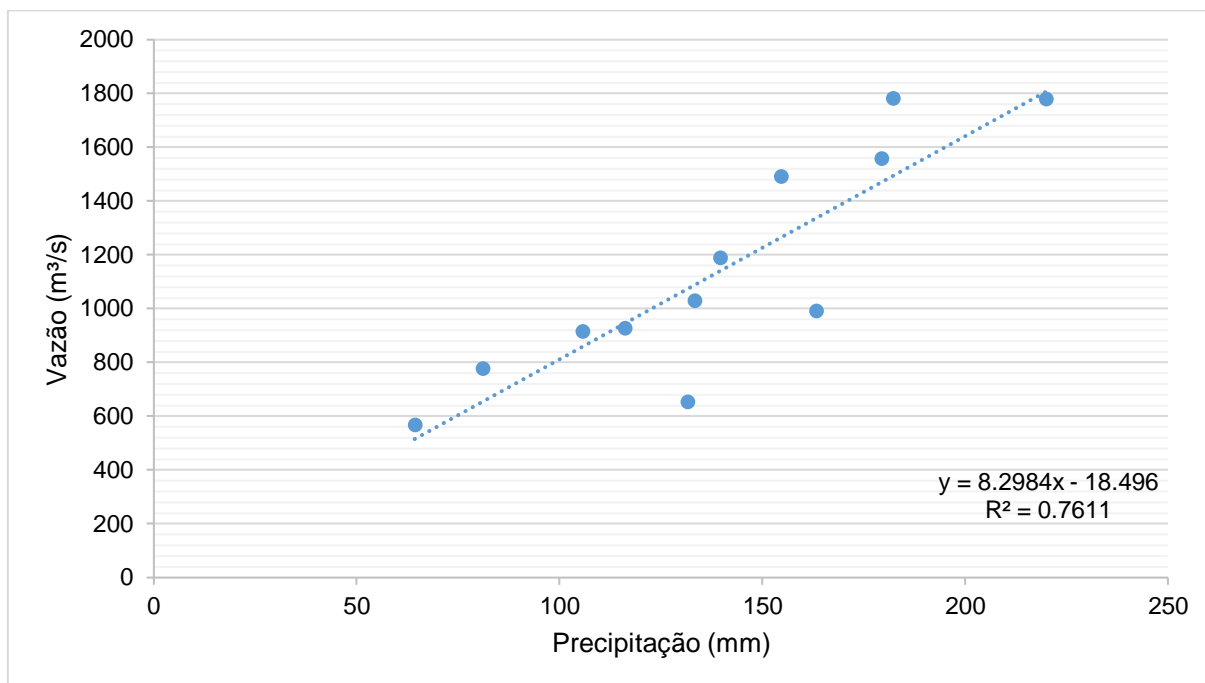
Na figura 13 é apresentado um novo comparativo, dessa vez em relação aos dados médios mensais de precipitação e vazão da bacia do rio Taquara. Por conta do maior número de afluentes e maior área de drenagem, em comparação com a BHRJ, os valores da vazão em metros cúbicos por segundo também se apresentam elevados, na casa dos milhares (enquanto a média de vazão por mês na BHRJ é de 71,35 m³/s, na BHRT a média é 1137,27 m³/s).

Figura 13 – Comparativo da média mensal de precipitação e vazão da BHRT (1980-2020)



Fonte: o próprio autor

Na BHRT (figura 14), a correlação dos dados se apresentou mais forte, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,76 e coeficiente de correlação de Pearson (r) 0,87, que indica uma correlação alta pela classificação. Nesse caso, a correlação é maior por causa da área da BHRT ser maior que BHRJ. Podemos também atribuir essa diferença ao uso e ocupação do solo, comparando com a BHRJ que é mais urbanizada. Os meses mais próximos da linha de tendência são janeiro, março, abril, maio, junho e agosto.

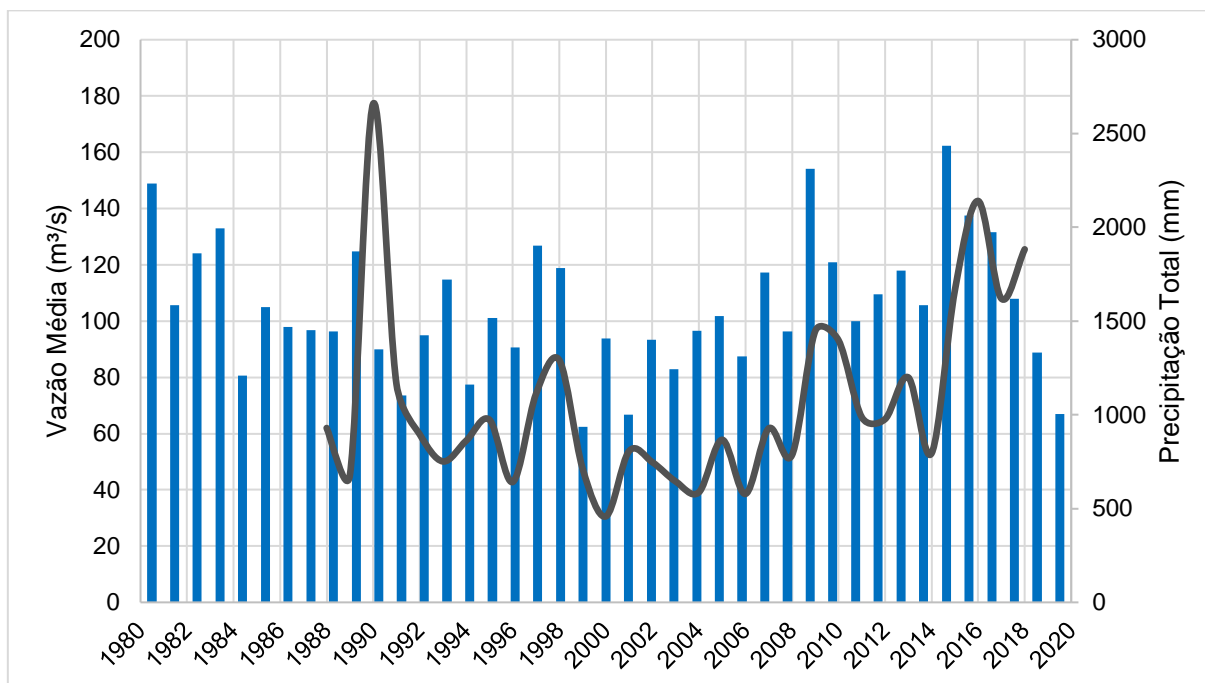
Figura 14 – Correlação entre precipitação e vazão da BHRT

Fonte: o próprio autor

Para analisar um panorama da série histórica dos dados de vazão (1988-2018) e precipitação (1980-2020), as figuras 15 e 16 representam gráficos para cada bacia. Na BHRT, a média do total de precipitação de todos os anos é 38,3 mm maior em relação a BHRJ e a vazão fluvial maior ainda, por causa do maior número de afluentes existentes nessa bacia.

Por causa da elevada precipitação em 1989 na BHRJ, 1990 foi o ano que a vazão atingiu o valor máximo dentro da série histórica (177,24 m³/s), porém em 2015, quando o volume total de chuva foi o maior da série, a vazão no ano seguinte não se comportou da forma esperada. Entre 1999 a 2007, a BHRJ sofreu um período longo de estiagem, registrando em cada ano valor total de precipitação menor que a média histórica (1574 mm), fazendo que a vazão também ficasse menor, não passando de 60 m³/s. A partir de 2016 a precipitação foi reduzindo de ano a ano até chegar 2020, um dos anos mais secos da série histórica, porém a vazão em 2018 teve uma alta repentina.

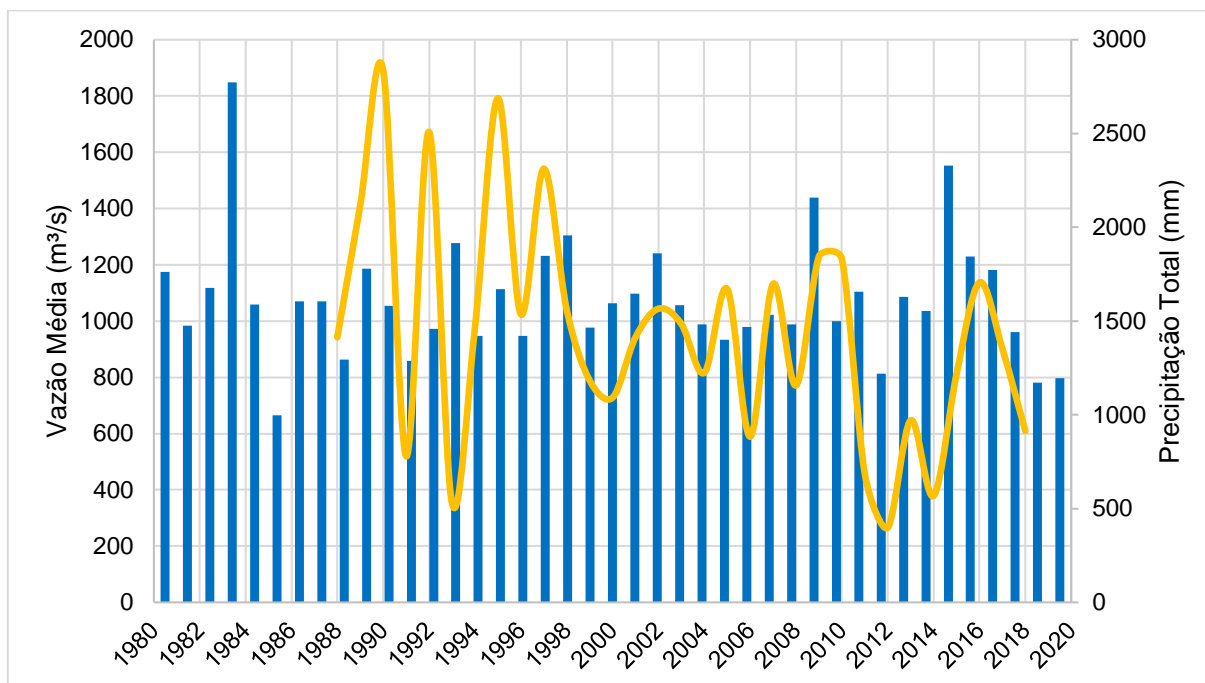
Figura 15 – Comparativo da série histórica de precipitação e vazão total da BHRJ



Fonte: o próprio autor

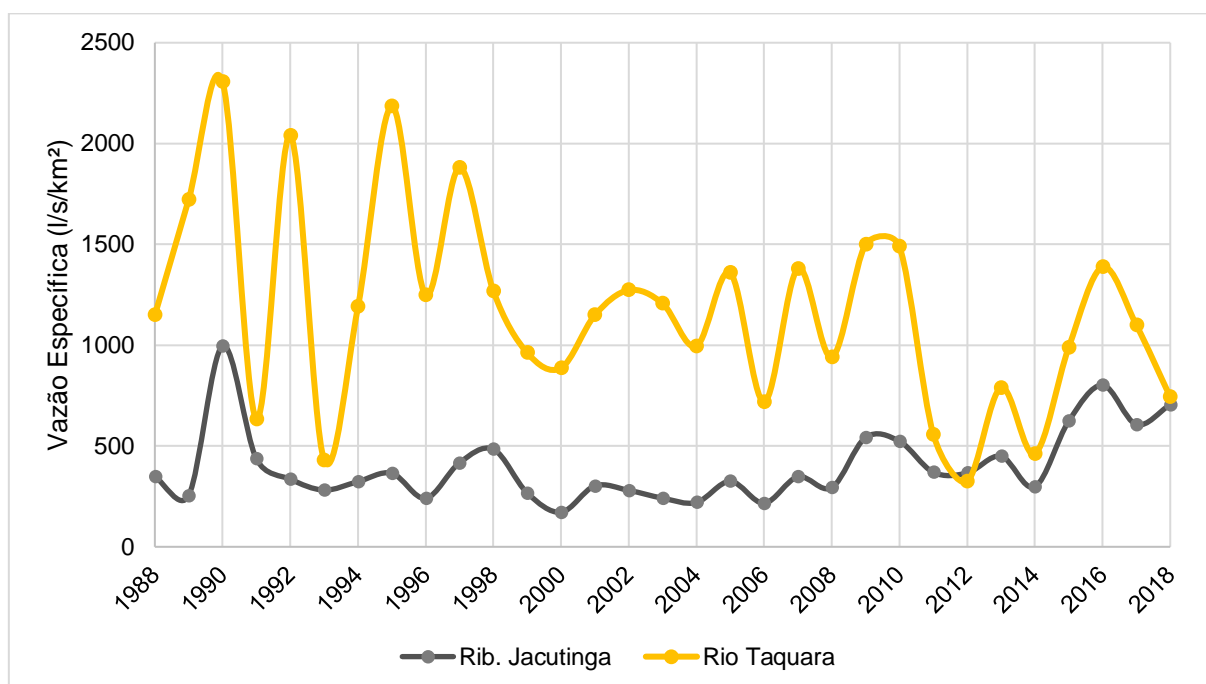
Na BHRT (figura 16) observa-se uma variação da vazão mais acentuada nos primeiros dez anos da série histórica (1988-1998) e depois mais moderada até 2010. Assim como na BHRJ, a máxima da vazão foi em 1990, apesar de que próximo desse ano não houve a máxima de precipitação da série histórica. O que se percebe é que a vazão do rio Taquara é mais sensível a variação da precipitação, fazendo com que as curvas da linha sejam bem marcantes.

Figura 16 – Comparativo da série histórica de precipitação e vazão total da BHRT



Fonte: o próprio autor

A variação da vazão específica total das bacias de estudo é representada na figura 17. A BHRJ em média não ultrapassa a linha de 500 l/s/km^2 , exceto em anos em que ocorreram eventos extremos de precipitação, como foram em 2009, 2015 e 2016. Destaca-se novamente que a área da BHRJ é de aproximadamente de 238 km^2 e a BHRT 897 km^2 , ou seja, a segunda é quase 4 vezes maior que a primeira. O resultado da média da vazão específica demonstra que proporcionalmente, a BHRT ($1208,73 \text{ l/s/km}^2$) tem uma vazão três vezes maior que a BHRJ ($414,27 \text{ l/s/km}^2$), atribuído as características morfométricas da bacia como a densidade de drenagem.

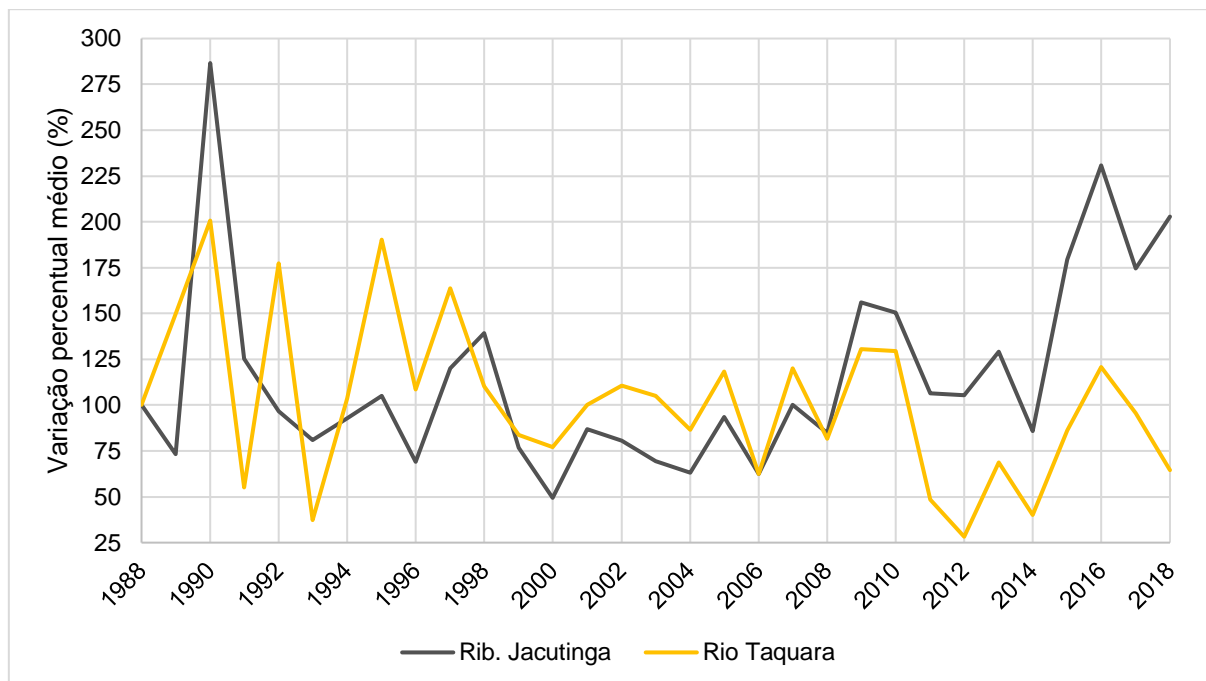
Figura 17 – Comparativo da vazão específica das BHRJ e BHRT (1988-2018)

Fonte: o próprio autor

As linhas se aproximam em alguns dos anos iniciais (1991, 1993) e finais (2014, 2018) da série histórica, porém apenas se cruzam em 2012, ano em que a precipitação acumulada em ambas as bacias esteve abaixo da média histórica, resultando na vazão específica da BHRT de o valor de 324,1 l/s/km², menor que a BHRJ no mesmo período (365,92 l/s/km²).

A variação percentual histórica da vazão em relação à média para cada bacia está representada na figura 18. Os dados demonstram que em dezesseis dos vinte primeiros anos da série histórica, a variação da vazão em relação à média é maior na BHRT (exceto em 1990, 1991, 1993 e 1998). Depois a BHRJ apresenta valores maiores de 2009 a 2018. Nota-se a que a maior mudança média nas duas bacias foi em 1990, podendo ser explicado por causa da precipitação anual total de 1989 ter sido acima da média da série histórica e apenas no ano seguinte que a vazão fluvial respondeu ao volume de chuva. Mas essa máxima de 1990 foi mais forte na BHRJ do que na BHRT.

Figura 18 – Comparativos da variação percentual média da vazão das BHRJ e BHRT (1988-2018)



Fonte: o próprio autor

A tabela 8 mostra a distribuição da precipitação e fluviometria onde foram calculados valores médios, medianas, máximos e mínimos para BHRJ e BHRT. Os números de precipitação não são muito distantes em cada bacia devido a localização ou pertencentes ao mesmo tipo de climático de ambas. Porém, as principais diferenças, como dito anteriormente, se dão nos índices de vazão, em razão, devido a maior área de drenagem e da quantidade de afluentes que drenam a BHRT quando comparada a BHRJ.

Em relação aos valores máximos a BHRJ se afasta 248% da média enquanto a BHRT se afasta 199%, ou seja, uma diferença de 49%, mesmo que a BHRJ tenha uma densidade de drenagem menor (1,01) em relação a outra (1,40).

Tabela 8 – Estatísticas da série histórica dos dados de precipitação e fluviometria das BHRJ e BHRT

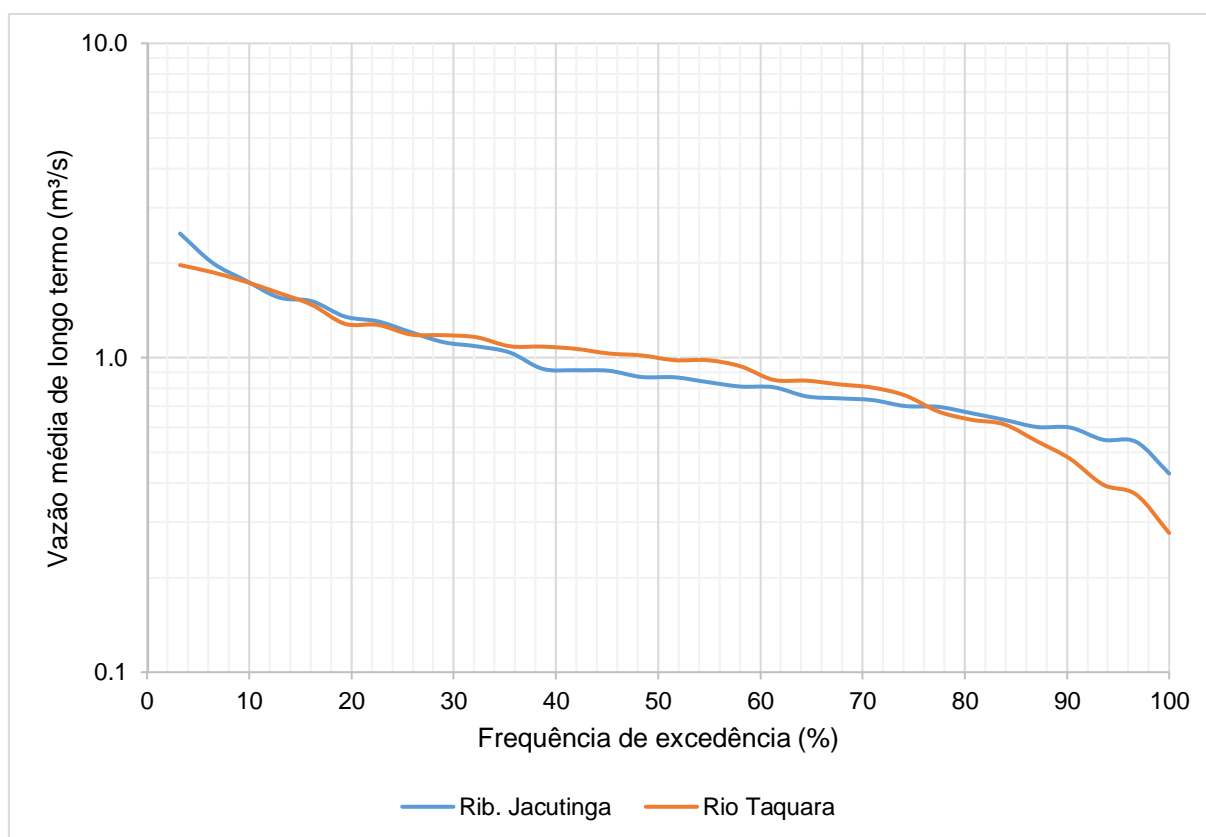
Precipitação (mm) (1980-2020)	BHRJ	BHRT
Média	1574	1612,3
Mediana	1517,5	1582,8
Máxima	2434	2328,3
Mínima	936,3	1219,2

Fluviometria (m³/s) (1988-2018)	BHRJ	BHRT
Média	856,4	11395,9
Mediana	742,1	11306,4
Máxima	2126,9	22690,5
Mínima	366,6	3189,2

Fonte: o próprio autor

A figura 19 exibe o comparativo da curva de permanência da BHRJ e BHRT. A BHRJ apresenta valores proporcionalmente maiores de vazão de longo termo nas extremidades da curva, ou seja, na vazão máxima próxima a Q_5 e também nas vazões mais baixas, em Q_{90} e Q_{95} . As vazões de longo termo da BHRT são superiores próximos a mediana, ou entre Q_{30} a Q_{75} da curva de permanência.

Figura 19 – Curva de permanência de vazões da BHRJ e BHRT



Fonte: o próprio autor

Os picos de vazão de longo termo da BHRJ visto em Q_5 superior a BHRT ocorre devido a maior urbanização o que produz maior espacialização de áreas impermeabilizadas de uso e ocupação do solo (aumentando o escoamento

superficial), considerando que 27,66% da área total desta bacia é composta pela classe Urbana.

Souza, Souza e Cardoso (2017) mostraram resultados semelhantes em seus estudos na bacia do rio das Fêmeas, localizada no estado da Bahia. O aumento das áreas de interferência humana de 1985 a 1992 contribuíram na modificação na infiltração de água no solo e no escoamento superficial, aumentando a vazão média anual devido ao impacto do desmatamento.

Contudo, quando analisado a performance da vazão de longo termo em Q_{80} e Q_{95} da BHRJ, é possível demonstrar que essa bacia tem maior capacidade proporcional de armazenar quantidade ou volume de água no subsolo que é liberada lentamente como fluxo de base em seus canais fluviais. Ou seja, mesmo a BHRT possuindo índices de drenagens superiores, a queda da vazão de longo termo a partir de Q_{90} é mais significativo comparativamente a primeira.

A maior capacidade de armazenar água da BHRJ pode ser explicado pelas características do relevo e tipo de solo predominante. Para fins de comparação, proporcionalmente a área da BHRJ tem mais relevos classificados em plano e suave ondulado do que na BHRT (somando essas duas classes, são 46,89% na BHRJ e 17,68% na BHRT).

Quanto aos solos, os Latossolos e os Nitossolos vermelhos, que são bem mais drenados do que os Neossolos, somam 97,2% da área total BHRJ e no caso da BHRT, os dois primeiros tipos de solos somam 71,76%. Ainda uma outra explicação poderia ser dada se fosse realizada uma avaliação dos lineamentos estruturais do basalto, que podem permitir maior armazenagem de água na área da BHRJ.

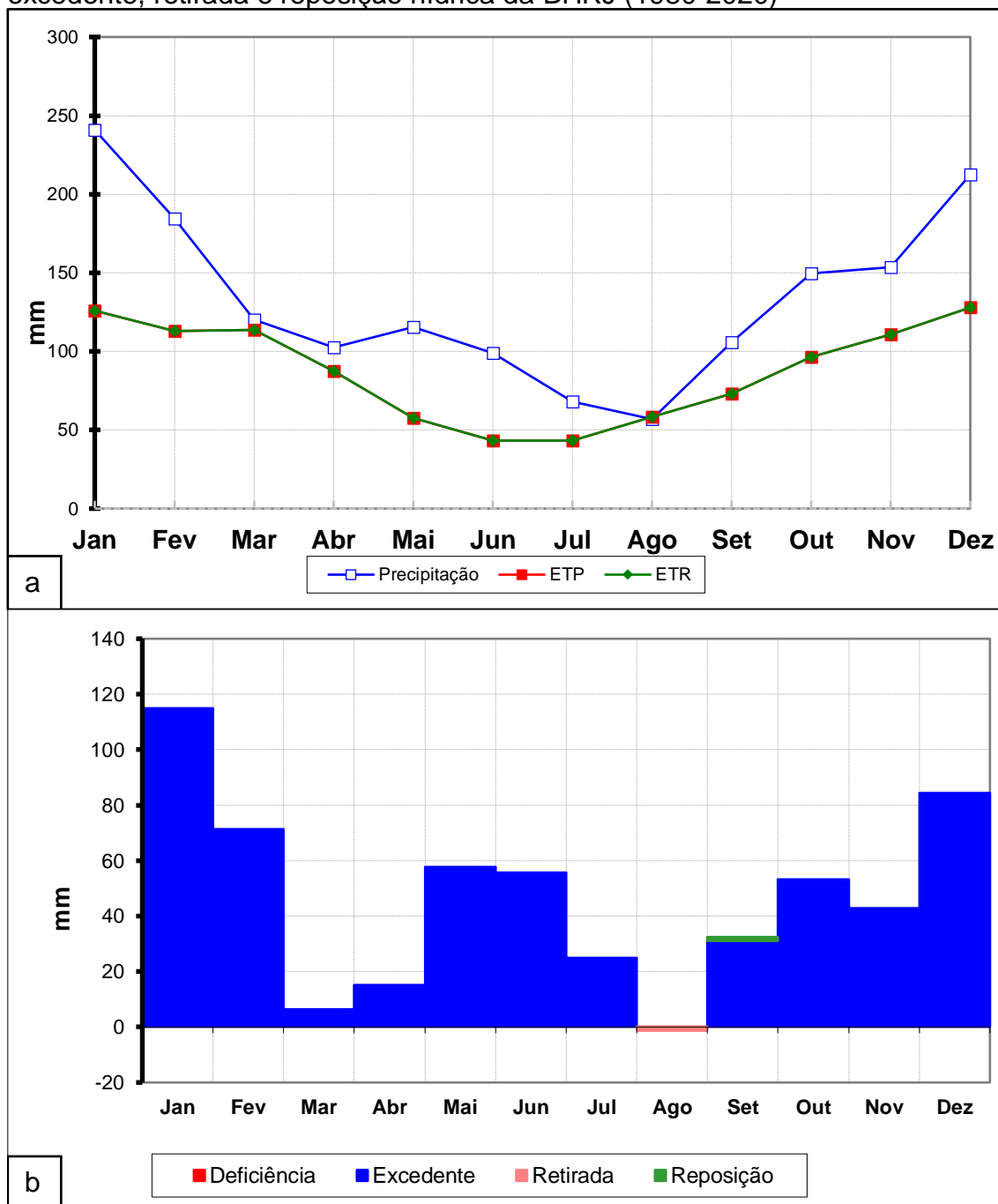
3.3.3 Balanço hídrico climatológico

Com base nos dados apresentados anteriormente, foram elaborados dois extratos do balanço hídrico da série histórica (1980-2020) para cada bacia hidrográfica para fins de comparação, representados por gráficos distintos (figuras 20 e 21).

A figura 20 demonstra que janeiro é o mês com maior pluviosidade e excedente hídrico para a BHRJ (240,9 mm e 115 mm respectivamente) e esses índices decrescem até abril, aumenta em maio e depois decai a partir de junho até

ocorrer retirada apenas em agosto (-1,35 mm), no período de estiagem, com a menor precipitação média do ano (64,3 mm). As reposições hídricas sempre ocorrem após um período de retirada, o que nesse caso se dá logo em setembro ainda com um valor de 31,1 mm de excedente, que permanece com valores positivos nos meses seguintes.

Figura 20 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (1980-2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (1980-2020)

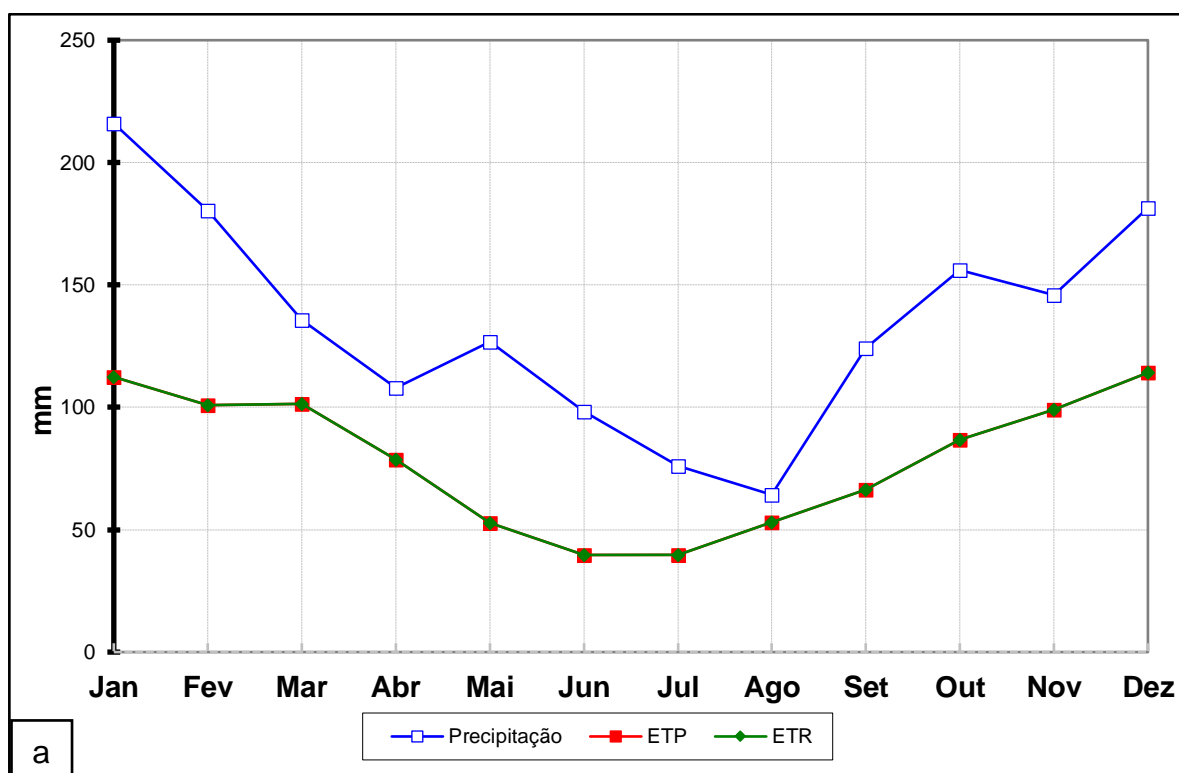


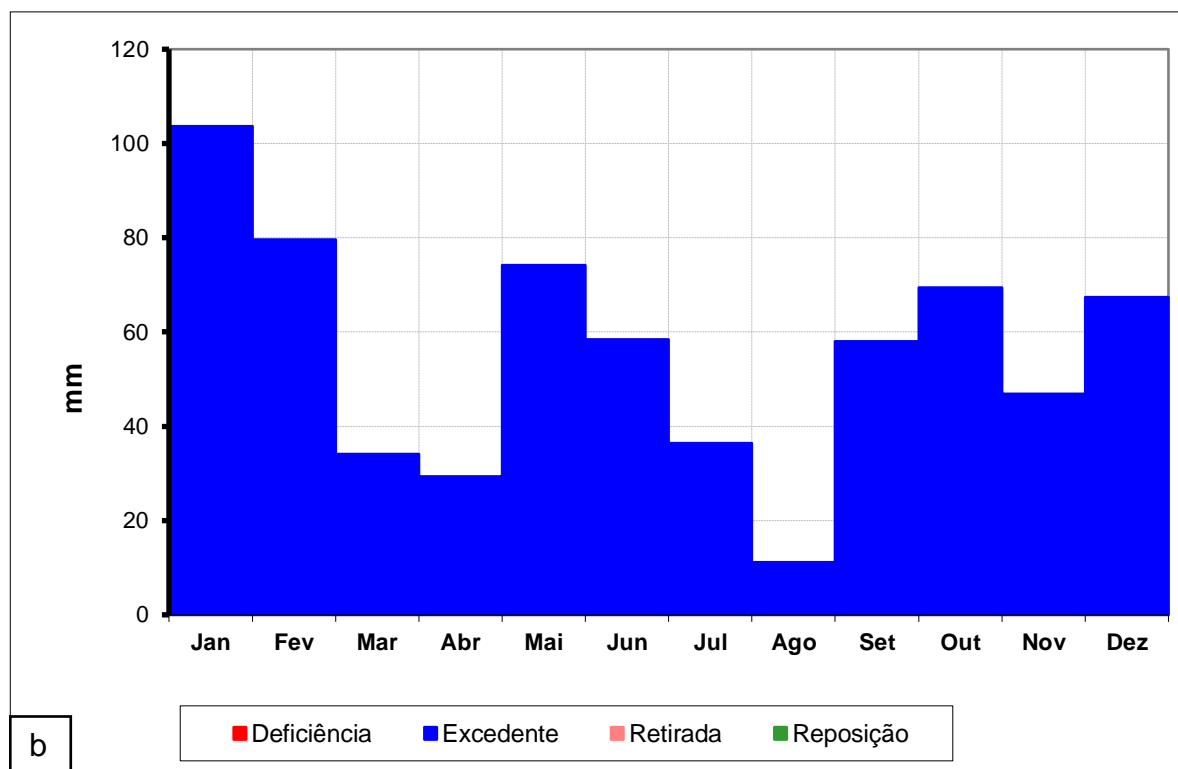
Fonte: o próprio autor

Em nenhum mês a precipitação foi menor que a evapotranspiração, ou seja, a capacidade de armazenamento de água do solo se mantém abastecido com as águas das chuvas durante quase o ano inteiro, exceto em agosto. Dos 1608,3 mm que precipitam em média em um ano, 1050,4 mm são perdidos pela evapotranspiração, tendo assim um excedente de 557,9 mm.

A figura 21 representam o balanço hídrico para a BHRT. Os índices demonstram as diferenças com o balanço hídrico do Ribeirão Jacutinga, principalmente quanto aos meses que concentram os maiores excedente (dezembro, janeiro e fevereiro) e os menores (março, abril, agosto). Porém é notável que todos os demais meses apresentam valores em média de 55,7 mm e não há nenhum momento em que ocorra retirada ou deficiência hídrica. O mês de agosto, que costuma ser o com menor pluviosidade de um ano, ainda registrou um índice positivo de 11,2 mm de excedente e logo em setembro aumenta para 58 mm.

Figura 21 – a) Extrato da média histórica do balanço hídrico da BHRT (1980-2020)
b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (1980-2020)





Fonte: o próprio autor

Por conta da estação de Califórnia estar em uma altitude mais elevada (790 m) em comparação com a estação de Londrina (566 m), a temperatura média nesse caso é mais fria, o que reflete na diminuição da evapotranspiração (a BHRJ tem valor de evapotranspiração real de 1050,4 mm, na BHRT o valor é 944,8 mm) e ao mesmo tempo que aumenta consideravelmente o excedente hídrico, principalmente na estação mais seca.

A comparação do extrato do balanço hídrico climatológico gerado pelo método de Thornthwaite e Matter fica nítida na tabela 9, com os valores de deficiência, excedente, retirada e reposição do período de 1980 a 2020 para cada bacia hidrográfica. O excedente hídrico da BHRT supera todos os valores de excedente da BHRJ, além disso não apresenta período de retirada ou deficiência hídrica. Apesar das duas bacias possuírem uma estação seca (junho a agosto), os meses de março e abril também apresentam excedente hídrico abaixo da média (50,7 mm de excedente médio na BHRJ e 55,7 mm na BHRT), principalmente por causa da diminuição gradual da pluviosidade desde janeiro e a evapotranspiração em março se manter acima de 100 mm.

Tabela 9 – Comparativo do extrato do balanço hídrico médio das BHRJ e BHRT (1980-2020)

Mês	BHRJ				BHRT			
	EXC (mm)	DEF (mm)	RET (mm)	REP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	RET (mm)	REP (mm)
Janeiro	115				103,7			
Fevereiro	71,4				79,7			
Março	6,5				34,1			
Abril	15,2				29,4			
Maiο	57,7				74,1			
Junho	55,6				58,4			
Julho	24,8				36,4			
Agosto			-1,35		11,2			
Setembro	31,1			-1,35	58			
Outubro	53,3				69,5			
Novembro	42,9				46,9			
Dezembro	84,4				67,3			
Total	557,9		-1,35	-1,35	668,7			

Fonte: o próprio autor

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas bacias hidrográficas selecionadas para a área de estudo possuem áreas de drenagem distintas, mas o uso e ocupação é predominantemente rural, ocupadas por na maioria lavouras de soja espalhadas, apesar da BHRJ ter 1/4 de área urbanizada (logo, com o solo mais impermeável), enquanto a segunda é voltada para a produção agropecuarista, com formação florestal próximas aos afluentes do rio, soja e mosaico de agricultura e pastagem.

Qualificar o uso e ocupação do solo da área de estudo foi importante para trazer melhores explicações sobre as variações do comportamento da vazão fluvial e o armazenamento de água no solo, como foram exibidos através das curvas de permanência e nos gráficos de dispersão.

Por causa da localização entre as duas bacias serem próximas, elas apresentam algumas características físicas semelhantes, como o tipo de solo, geologia, clima e relevo.

Pelos resultados apresentados graficamente da vazão fluvial das bacias, é possível afirmar que a BHRT possui um tempo de concentração maior do que a

BHRJ, apesar da primeira ter uma área de drenagem maior do que a segunda. A vazão da BHRJ em 2018 ter aumentado apesar do decréscimo contínuo de precipitação na série histórica também deve ser melhor investigado em pesquisas futuras.

Por esse motivo, sugere-se buscar mais explicações para esse fato por meio de análises mais aprofundadas das características físicas da bacia, a partir de uma caracterização morfométrica e também da avaliação de zonas de descontinuidades de rochas basálticas dentro da área da BHRJ, que podem servir para armazenar água e promover a surgência de água subterrânea alimentando o fluxo de base de seus canais fluviais.

Em relação a climatologia, de acordo com os dados apresentados, a BHRT verificou-se que ser pouco mais chuvosa e com temperaturas mais baixas do que a BHRJ. Pela média mensal, o extrato do balanço hídrico climatológico apresentou em quase todo o ano excedente hídrico. Ocorre retirada hídrica, em média, apenas no mês de agosto na BHRJ, pois esse mês normalmente é o mais seco de um ano e a evapotranspiração supera o volume precipitado, porém a reposição ocorre rapidamente no mês seguinte.

Na BHRT há excedente hídrico em todos os meses do ano, em maior volume entre dezembro a fevereiro. Apesar desse saldo positivo em relação ao excedente hídrico, a armazenagem de água em longo termo é menor proporcionalmente quando comparado a BHRJ, como ficou demonstrado pela curva de permanência nos momentos de maior seca (Q_{90}).

Determinar o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Matter das duas bacias hidrográficas contribuiu para estabelecer os períodos em que o solo necessita de maior atenção para a irrigação e ao mesmo tempo para otimizar a quantidade de água a ser destinada para esse fim, já que se sabe que a maioria da área ocupada na BHRJ e BHRT é utilizada para fins agrícolas, como plantações de soja, pastagens e culturas temporárias.

4 ARTIGO CIENTÍFICO II - BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS POSITIVAS E NEGATIVAS DE PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIBEIRÃO JACUTINGA E DO RIO TAQUARA (PR)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar os efeitos de anomalias positivas e negativas de precipitação no balanço hídrico climatológico das bacias hidrográficas do ribeirão Jacutinga (BHRJ) e do rio Taquara (BHRT). O recorte temporal selecionado da pesquisa foram os anos de 2015, 2016 e 2020. O cálculo foi feito pelo método de Thornthwaite e Mather, automatizado por Rolim e Sentelhas. Essas bacias são localizadas na região norte paranaense, estão cerca de 20 km de proximidade e são afluentes do rio Tibagi. A primeira é relevante para o abastecimento de água do município de Ibiporã, com muitos afluentes que percorrem a área urbanizada da cidade de Londrina. A segunda tem grande importância para a produção agropecuária, visto que o uso e ocupação na área é quase inteiramente rural. Foram utilizados dados de precipitação e temperatura diários de estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Instituto Água e Terra – IAT. O climograma da área de estudo revela que o período chuvoso vai de dezembro a fevereiro e o período seco vai de junho a agosto. Em julho de 2015 e janeiro de 2016, influenciado pela forte ocorrência do fenômeno *El Niño*, houve eventos extremos de precipitação que atingiu a região norte paranaense. O período chuvoso em 2015 nas duas bacias esteve abaixo da média e inesperadamente julho foi um dos meses com maior volume de excedente hídrico. Em janeiro de 2016 o evento extremo foi mais intenso que no ano anterior, com excedente hídrico concentrado em janeiro e fevereiro e pouco expressivo no segundo semestre. O ano de 2020 foi atipicamente seco, nas duas bacias as chuvas estiveram abaixo da média anual e o mês de agosto, acabou sendo o mês que teve maior volume de excedente, contrariando as expectativas da média.

Palavras-chave: balanço hídrico; anomalias; precipitação

ABSTRACT

The main objective of this study was to evaluate the effects of positive and negative precipitation anomalies on the climatological water balance of the Jacutinga (BHRJ) and Taquara (BHRT) river basins. The time frame selected for the research was the years 2015, 2016 and 2020. The calculation was performed using the Thornthwaite and Mather method, automated by Rolim and Sentelhas. These basins are located in the northern region of Paraná, are approximately 20 km away and are tributaries of

the Tibagi River. The first is relevant for the water supply of the municipality of Ibiporã, with many tributaries that run through the urbanized area of the city of Londrina. The second is of great importance for agricultural production, since use and occupation in the area is almost entirely rural. Daily precipitation and temperature data from stations of the National Institute of Meteorology – INMET and Instituto Água e Terra – IAT were used. The climogram of the study area reveals that the rainy season runs from December to February and the dry season runs from June to August. In July 2015 and January 2016, influenced by the strong occurrence of the El Niño phenomenon, there were extreme precipitation events that reached the northern region of Paraná. The rainy season in 2015 in both basins was below average and, unexpectedly, July was one of the months with the highest volume of water surplus. In January 2016, the extreme event was more intense than in the previous year, with water surplus concentrated in January and February and little expressive in the second semester. The year 2020 was unusually dry, in both basins the rains were below the annual average and the month of August ended up being the month that had the highest volume of surplus, contrary to average expectations.

Key-words: water balance; anomalies; rainfall

4.1 INTRODUÇÃO

Entre 2015 a 2016, a região norte do estado do Paraná sofreu com intenso acúmulo anômalo de precipitação durante a atuação no hemisfério sul do fenômeno *El Niño* classificado como de forte intensidade (CPTEC-INPE, 2021; SANTOS; SARTOR; MELO, 2020).

O *El Niño* Oscilação Sul – ENOS é um fenômeno de grande escala caracterizado por anomalias de temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical. A fase quente do ENOS está associada aos períodos secos nas regiões tropicais e períodos quentes e úmidos nos extratropicais. Existe o inverso da fase quente, chamado de *La Niña*, que está associado a períodos úmidos nos trópicos e frio nos extratropicais (FONTANA, BERLATO, 1997).

Segundo o CPTEC-INPE (2021), os períodos e intensidades de ocorrência do fenômeno ENOS ocorreram nos seguintes anos:

- Fraca: 1992-1993
- Moderada: 1979-1980; 1986-1987; 2002-2003; 2006-2007; 2009-2010
- Forte: 1982-1983; 1987-1988; 1991-1992; 1997-1998; 2015-2016

Eventos climáticos extremos, que também podem ser chamados de anomalias climáticas, estão geralmente relacionados às adversidades climáticas e

aos impactos de clima e de tempo que incidem raramente, longe da média e variando sua magnitude. Esses eventos fazem parte do aspecto integral da variabilidade climática, como exemplo, pode-se citar secas anômalas, perdas de produtividade agrícola, enchentes, inundações, ondas de calor e de frio, ventanias, tempestades, furacões, movimentos de massa, entre outros (NASCIMENTO JÚNIOR, 2013).

Segundo os mesmos autores, o método de Dourte *et al.* (2015) caracteriza eventos extremos diários de precipitação quando em um período de 24 horas ocorre o acumulado de, no mínimo, a metade da média mensal.

Assim como no Norte do estado do Paraná, entre o ano 2015 e início de 2016 a região de Londrina registrou eventos extremos de precipitação. Em 08 de julho de 2015, Fantin (2015) relatou que nos primeiros oito dias daquele mês havia precipitado 240,4 mm, sendo que a média histórica para o mês é de 68,1 mm. Até o final daquele mês, o valor acumulado foi 346 mm, um número atípico considerando que o mês de julho é o segundo mais seco de um ano em média na região das BHRJ e BHRT, ficando atrás apenas do mês de agosto.

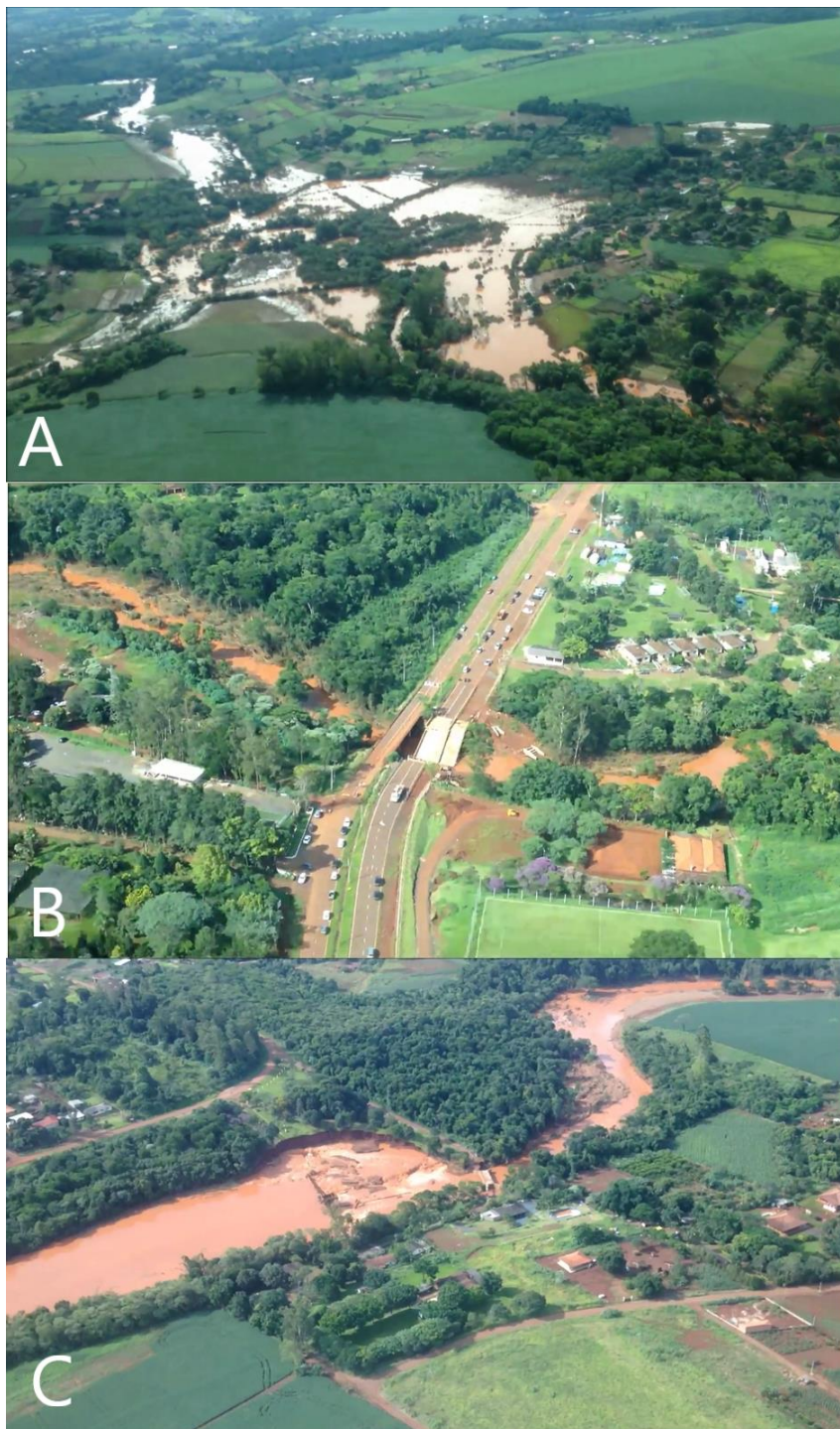
Quatro meses depois, em novembro de 2015, houve um outro evento de precipitação ainda maior. De acordo com o jornal Folha de Londrina (2015), na tarde do dia 07 de novembro de 2015 choveu 50 mm em apenas uma hora, ou o equivalente a um terço da média histórica que é de 150 mm aproximadamente, demonstrando a força da chuva que atingiu a região, o que provou inevitavelmente alagamentos no arruamento, queda de árvores, destelhamento de casas e o transbordamento do ribeirão Cafezal, localizado na zona sul do município de Londrina.

Em janeiro de 2016, uma reportagem do mesmo jornal noticiou os estragos (figura 22) causados por quatro dias seguidos de chuvas intensas que atingiram os municípios de Rolândia, Cambé, Londrina, Jataizinho, entre outros deixando um prejuízo de R\$ 95,1 milhões, pois prejudicou obras, como uma ponte de acesso sobre o ribeirão Cafezal. Ainda escrevem na reportagem que:

se no chão a desolação era turva no olhar dos desabrigados, do alto ela brilhava forte nas grandes áreas que permaneciam alagadas. Muita água continuava acumulada em regiões de fundo de vale. Em Londrina, as chuvas provocaram enchentes em praticamente toda a bacia hidrográfica, com cheias nos ribeirões Jacutinga, Lindoia, Cambé, Limoeiro e com maior intensidade nos ribeirões Taquara, Cafezal e Três Bocas. Com o Rio Tibagi seis metros acima do nível

normal, todos os afluentes foram impactados (FELIZARDO, 2016).

Figura 22 – Imagens aéreas do município de Londrina-PR após eventos extremos registrados em janeiro de 2016 a) Vista de área inundada na zona rural do município b) Queda da ponte sobre o ribeirão Cafezal c) Rompimento da barragem do Parque Ecológico Daisaku Ikeda



Fonte: Folha de Londrina (2016)

Após os eventos extremos de precipitação ocorridos em 2015 e 2016, ocorreu a contínua diminuição da pluviosidade no estado do Paraná ao ponto que entre os

anos de 2019 a 2021 os índices de disponibilidade hídrica alcançaram situação crítica. Nesse sentido, entre junho de 2019 e março de 2020, as nove maiores cidades paranaenses registraram chuvas muito abaixo da média histórica (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ, 2020).

Segundo o SIMEPAR (2021), o mês de abril de 2021 foi considerado um dos meses mais secos desde que o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – SIMEPAR começou a funcionar monitorando o tempo em 1997. De acordo com o mesmo instituto, este desvio negativo tem sido registrado desde fevereiro de 2021 em quase todas as regiões do estado.

Segundo a Agência de Notícias do Paraná (2020), em média a precipitação foi 33% menor nos municípios de Curitiba, Ponta Grossa (Campos Gerais), Guarapuava (Centro), Maringá (Noroeste), Londrina (Norte), Foz do Iguaçu (Oeste), Cascavel (Oeste), Guaratuba (Litoral) e Umuarama (Noroeste). No mês de novembro de 2020, o Paraná havia registrado situação de seca em 99,98% do território e situação de seca extrema em 14,06%, segundo o Monitor de Secas, da Agência Nacional de Águas - ANA (BITTAR, 2020).

Diante das mudanças abruptas e aceleradas das condições meteorológicas nesses últimos seis anos (2015-2021), busca-se compreender como as mais recentes anomalias de precipitação influenciam no balanço hídrico das BHRJ e BHRT. Portanto, o objetivo geral foi realizar análises e comparações dos efeitos causados no balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Matter das BHRJ e BHRT em 2015, 2016 e 2020.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Fonte de dados

Os dados de precipitação foram adquiridos por meio do portal HidroWeb⁹ e no Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto Água e Terra - IAT; os dados de temperatura foram baixados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET; e os

⁹ O Portal HidroWeb é uma “ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos” (ANA, 2005).

dados de vazão ou fluviometria foram disponibilizados pelo IAT e também estão portal HidroWeb.

4.2.2 Estações fluviométricas e meteorológicas

Os dados foram baixados de planilhas originais de acordo com o padrão cada entidade, posteriormente foi necessário organizar de maneira uniforme cada planilha para facilitar a análise estatística básica e gráfica de distribuição. Algumas das falhas da série de dados que foram detectadas, foram corrigidas com base no cálculo de média aritmética.

As planilhas originais do HidroWeb exibem dados de precipitação máxima, total do mês e também valores diários. O INMET organizou os dados originais por período mensal, como a quantidade de dias de chuva em um mês, precipitação total, temperatura mínima, média compensada e máxima.

A tabela 10 mostra informações adicionais sobre as estações selecionadas.

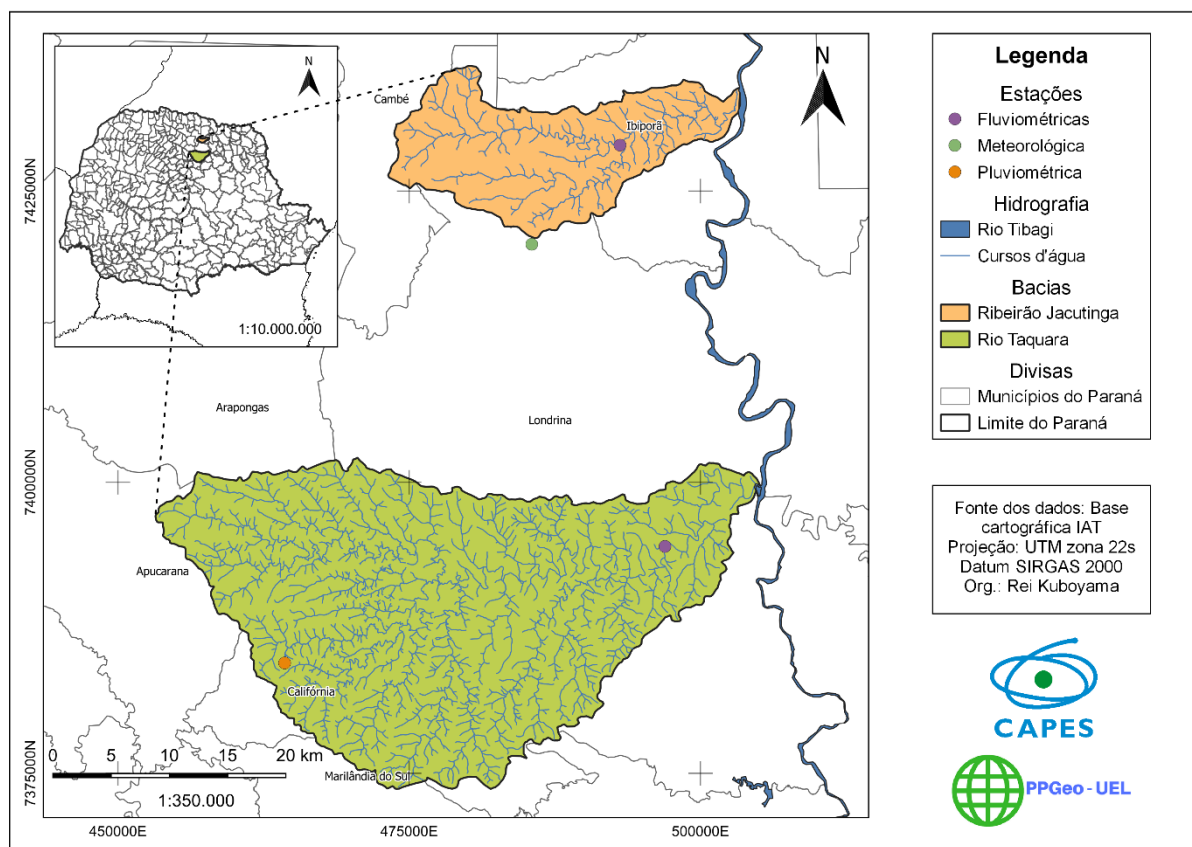
Tabela 10 – Informações das estações selecionadas para a pesquisa

Nome da estação	Município	Responsável	Tipo de dados	Período dos dados	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Londrina	Londrina	Instituto Nacional de Meteorologia	Temperatura e pluviometria	1980-2020	-23.32	-51.14	566
Califórnia	Califórnia	Instituto Água e Terra	Pluviometria	1980-2020	-23.65	-51.35	790
ETA Ibiporã	Ibiporã	Agência Nacional das Águas	Fluviometria	1988-2019	-23.24	-51.06	395
Sítio Igrejinha	Londrina	Instituto Água e Terra	Fluviometria	1988-2018	-23.56	-51.03	390

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia; Instituto Água e Terra; Agência Nacional das Águas

A figura 24 exhibe tanto a localização das bacias hidrográficas estudadas, quanto a localização das estações meteorológicas e fluviométricas selecionadas para determinar o balanço hídrico climatológico.

Figura 23 – Localização das bacias e das estações selecionadas para a pesquisa



Fonte: o próprio autor

Dados das duas estações fluviométricas contribuíram no sentido de analisar e comparar, junto com os dados de precipitação, o tempo de concentração (tempo necessário para que toda a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada) das duas bacias hidrográficas tanto na série histórica, mas principalmente nos anos quando ocorreram anomalias de precipitação. Não foram encontrados dados da vazão para a BHRT em 2016 na estação fluviométrica Sítio Igrejinha pois os consecutivos eventos de precipitação extremas acabou comprometendo as medições fluviométricas do rio Taquara.

4.2.3 Balanço hídrico

Foram elaborados de forma decendial o balanço hídrico para as duas bacias hidrográficas nos anos anômalos, ou seja, somando a precipitação diária em milímetros de dez ou onze dias, representados por símbolos como “J1” (primeiro decêndio de janeiro), “J2,” “J3”, “F1” e assim por diante, e calculando a média da

temperatura em graus Celsius no mesmo período.

Esses dados foram incluídos na planilha do *software* Microsoft Excel, contendo fórmulas previamente definidas pelos professores Glauco de Souza Rolim e Paulo Cesar Sentelhas do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP. Alguns parâmetros devem ser estimados através da metodologia de Thornthwaite e Matter, como a evapotranspiração potencial e real, negativa acumulada, capacidade de armazenamento de água e o excedente e a deficiência hídrica.

A evapotranspiração potencial mensal (ETP), que seria “a quantidade de água que evapora do solo e transpira pelas plantas, em uma condição ideal, em que o solo esteja bem suprido de umidade e coberto com vegetação rasteira verde e uniforme” (TREMOCOLDI; BRUNINI, 2008, p. 15), é calculada assim (equação 1):

$$ETP = 16K\left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad (1)$$

K = fator de correção depende da altitude

T = temperatura média mensal em graus Celsius

I = índice térmico anual em mm

a = constante dependente do local

O somatório dos índices térmicos mensais resulta no índice térmico anual (equação 2):

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (2)$$

$$I_i = (0,2.T)^{1,1514}$$

A evapotranspiração real, sendo a “perda de água reduzida total ou parcialmente, por falta de umidade no solo, em geral, igual ou inferior à [evapotranspiração] potencial” (TREMOCOLDI; BRUNINI, 2008, p. 15), é calculada pela fórmula (equação 3):

$$\text{Se } (P - ETP) \geq 0, \text{ então } ETR = ETP \quad (3)$$

$$\text{Se } (P - ETP) \leq 0, \text{ então } ETR = P - ALT$$

Se o valor da precipitação mensal (P) subtraído pela evapotranspiração potencial (ETP) for menor que zero, ou seja, negativo, é possível determinar a negativa acumulada (NEG-AC) de um determinado mês e do mês anterior (-1) (equação 4):

$$NEG-AC = NEG-AC_{-1} + (P - ETP) \quad (4)$$

Do contrário, quando P subtraído pela ETP for maior que zero, o excedente

hídrico (EXC) (equação 5), que significa o volume de água que abastece reservatórios subterrâneos, rios e raízes de vegetação, é:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (5)$$

O déficit hídrico (DEF) é a diferença entre a ETR e a ETP (equação 6):

$$DEF = ETR - ETP \quad (6)$$

O armazenamento de água no solo é definido pela equação 7:

$$ARM = CAD.e \frac{(NEG-AC)}{CAD} \quad (7)$$

CAD se refere a capacidade de água disponível, que depende da estrutura e da textura do solo. Independentemente do tipo de solo, pode-se adotar valores de CAD entre 75 e 100 mm para culturas anuais e entre 100 e 125 mm para culturas perenes (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Portanto, nesta pesquisa o CAD foi definido como 100 mm.

Temos também como variável a alteração da umidade do solo (ALT) (equação 8):

$$ALT = ARM_i - ARM_{i-1} \quad (8)$$

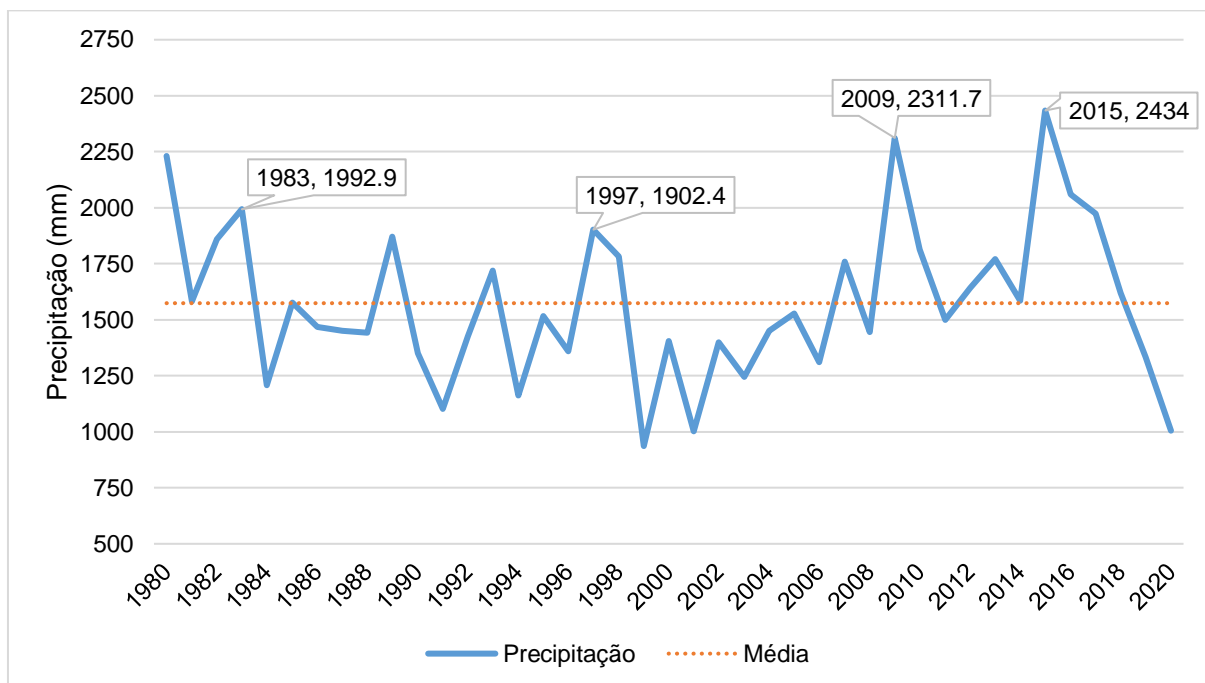
4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram elaborados dois gráficos (figuras 24 e 25) com dados mensais que demonstram a pluviosidade acumulada de cada ano da série histórica, de 1980 a 2020, da BHRJ e da BHRT, destacando por rótulos de dados apenas os períodos quando o fenômeno ENOS se manifestou de maneira moderada ou intensa, como foi em: 1983, 1997, 2009 e 2015. Esses anos também podem ser identificados no gráfico por estarem, em grande parte, próximos ou acima da linha de 2.000 mm acumulados.

Na BHRJ (figura 24), é possível observar que existe uma alternância cíclica entre um ano considerado chuvoso, seguido por um ano mais seco. O ano de 2015 foi o que atingiu o valor máximo de precipitação total acumulada de toda a série histórica e posteriormente apresentou tendência de queda para o volume de chuva anualmente. Cabe destacar que em 2020 foi precipitado (1.004 mm), menos da metade do que em 2015 (2.434 mm), ou seja, há quase 20 anos a estação de Londrina não havia registrado nível de precipitação pluvial tão baixo.

Figura 24 – Evolução da precipitação pluvial na BHRJ (1980-2020) destacando os

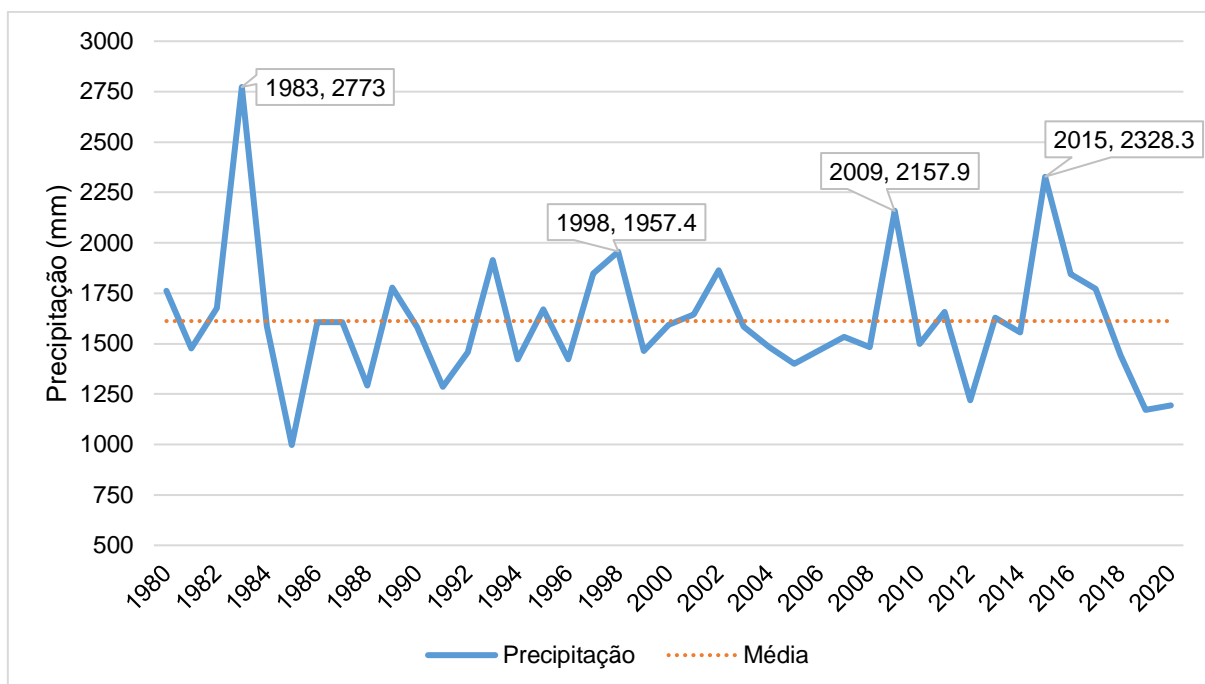
anos de ocorrência moderada ou forte do fenômeno ENOS



Fonte: o próprio autor

Os anos mais chuvosos na BHRT (figura 25) também foram aqueles que sofreram a influência do ENOS de forma moderada (2009) ou forte (1983, 1998 e 2015). O pico de precipitação acumulada atingiu 2.773 mm em 1983 e em seguida o ano de 2015 foi o segundo ano com maior volume acumulado de 2.328 mm, evidenciando a forte influência que o ENOS exerceu na região sul do país. Da mesma forma, porém, com diferente intensidade, o período de estiagem mais recente dos últimos três anos no estado do Paraná é representado pela linha descendente de precipitação de 2015 a 2019, porém tendo um pequeno aumento em 2020. O mesmo tipo de ciclo mencionado no gráfico anterior (figura 4) pode ser constatado na série histórica da precipitação da BHRT, porém com uma duração um pouco mais longa, de um até dois anos.

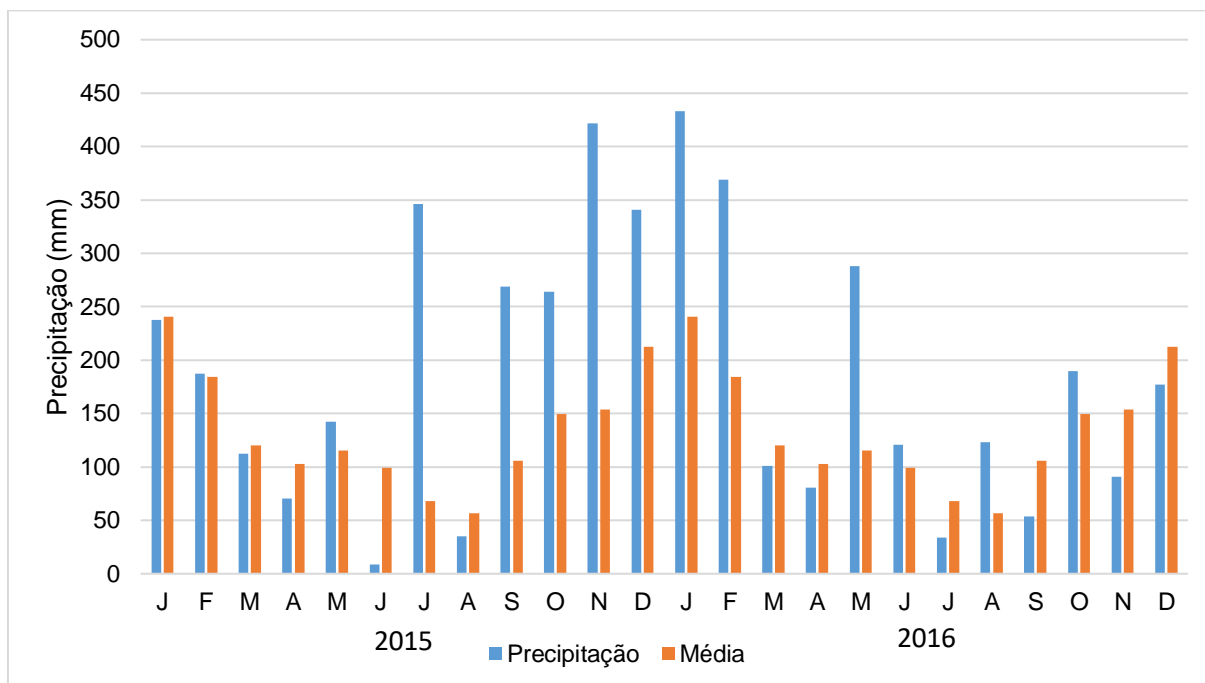
Figura 25 - Evolução da precipitação pluvial na BHRT (1980-2020) destacando os anos de ocorrência moderada ou forte do fenômeno ENOS



Fonte: o próprio autor

4.3.1 Anomalias positivas de precipitação (2015 e 2016)

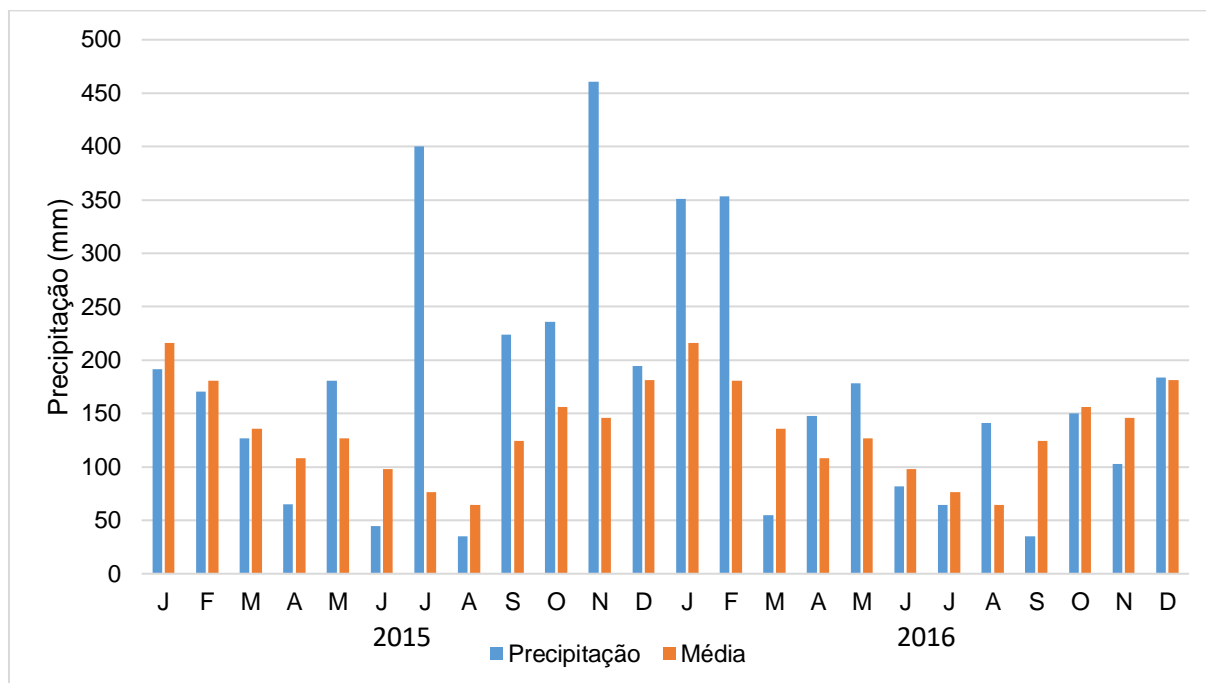
A figura 26 apresenta a distribuição da precipitação pluvial média mensal da BHRJ nos anos de 2015 e 2016, comparados com a média da série histórica de 1980 a 2020. Até junho de 2015 o valor acumulado de precipitação era de 90,5 mm, ou seja, abaixo da média histórica, mas em julho os valores saltam para 346 mm precipitados, superando cinco vezes média histórica de 68,1 mm. Nesse caso, considera-se um evento extremo pois, em somente no dia 03 de julho de 2015 precipitou 92,4 mm (a média diária de precipitação nos meses de julho é de 2,26 mm). Em agosto a precipitação diminuiu e ficou 21,9 mm abaixo da média. Ainda em 2015, o mês de novembro foi o mais chuvoso do ano, totalizando 421,4 mm, superando a média de 153,6 mm.

Figura 26 – Precipitação pluvial na BHRJ (2015-2016)

Fonte: o próprio autor

Em 12 de janeiro de 2016 ocorre mais um evento extremo que atinge a região de Londrina (PR) e suas bacias hidrográficas, com total pluviométrico acumulado de 180 mm em 24 horas, provocando graves prejuízos socioeconômicos e impactos ambientais, como os citados anteriormente. Alguns municípios da região decretaram estado de calamidade pública provocados por movimentos de massa, enxurradas, interdições de vias, processos erosivos, inundações e alagamentos (SANTOS; SARTOR; MELO, 2020). O total mensal precipitado foi de 433,2 mm, sendo que 375,8 mm acumulados ocorreram em um intervalo de cinco dias, sendo a média histórica para janeiro não superior a 241 mm de chuva.

A partir da série histórica estudada, considerando a ocorrência média anual de precipitação, a BHRT possui maior volume de chuvas acumuladas em relação a BHRJ, mas 2015 foi uma exceção, pois a primeira registrou 105,7 mm a menos de precipitação acumulada anual que a segunda.

Figura 27 – Precipitação pluvial na BHRT (2015-2016)

Fonte: o próprio autor

Na BHRT também houve caso de evento extremo de precipitação no dia 04 de julho de 2015, quando foi registrado em 24 horas 152,1 mm acumulados, ou equivalente ao dobro da média histórica (76,1 mm). O mês de novembro foi ainda mais volumoso quanto as chuvas (314,4 mm acima da média do mês), porém não pode ser considerado um evento extremo por não ter atingido os critérios estabelecidos, conforme descrito na metodologia deste trabalho.

Foi identificado outro evento extremo no dia 12 de janeiro de 2016, levando em conta que a média de janeiro é 216 mm. No mês todo foram registrados na estação Califórnia 351,2 mm acumulados de chuva e somente naquele dia foram 146 mm. Isso é 34 mm a menos do que marcado na estação Londrina, referente a BHRJ, que por ser mais urbanizada, sofreu mais danos a estruturas construídas durante a manifestação do mesmo evento extremo.

A título de comparação, foi elaborado uma tabela (tabela 11) com todos os valores de excedente, deficiência, retirada e reposição hídrica para a BHRJ e BHRT, com base na média mensal da série histórica de 1980 a 2020.

Tabela 11 – Comparativo do extrato do balanço hídrico médio das BHRJ e BHRT (1980-2020)

Mês	BHRJ				BHRT			
	EXC (mm)	DEF (mm)	RET (mm)	REP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	RET (mm)	REP (mm)
Janeiro	115				103,7			
Fevereiro	71,4				79,7			
Março	6,5				34,1			
Abril	15,2				29,4			
Maio	57,7				74,1			
Junho	55,6				58,4			
Julho	24,8				36,4			
Agosto			1,35		11,2			
Setembro	31,1			1,35	58			
Outubro	53,3				69,5			
Novembro	42,9				46,9			
Dezembro	84,4				67,3			
Total	557,9		-1,35	-1,35	668,7			

Fonte: o próprio autor

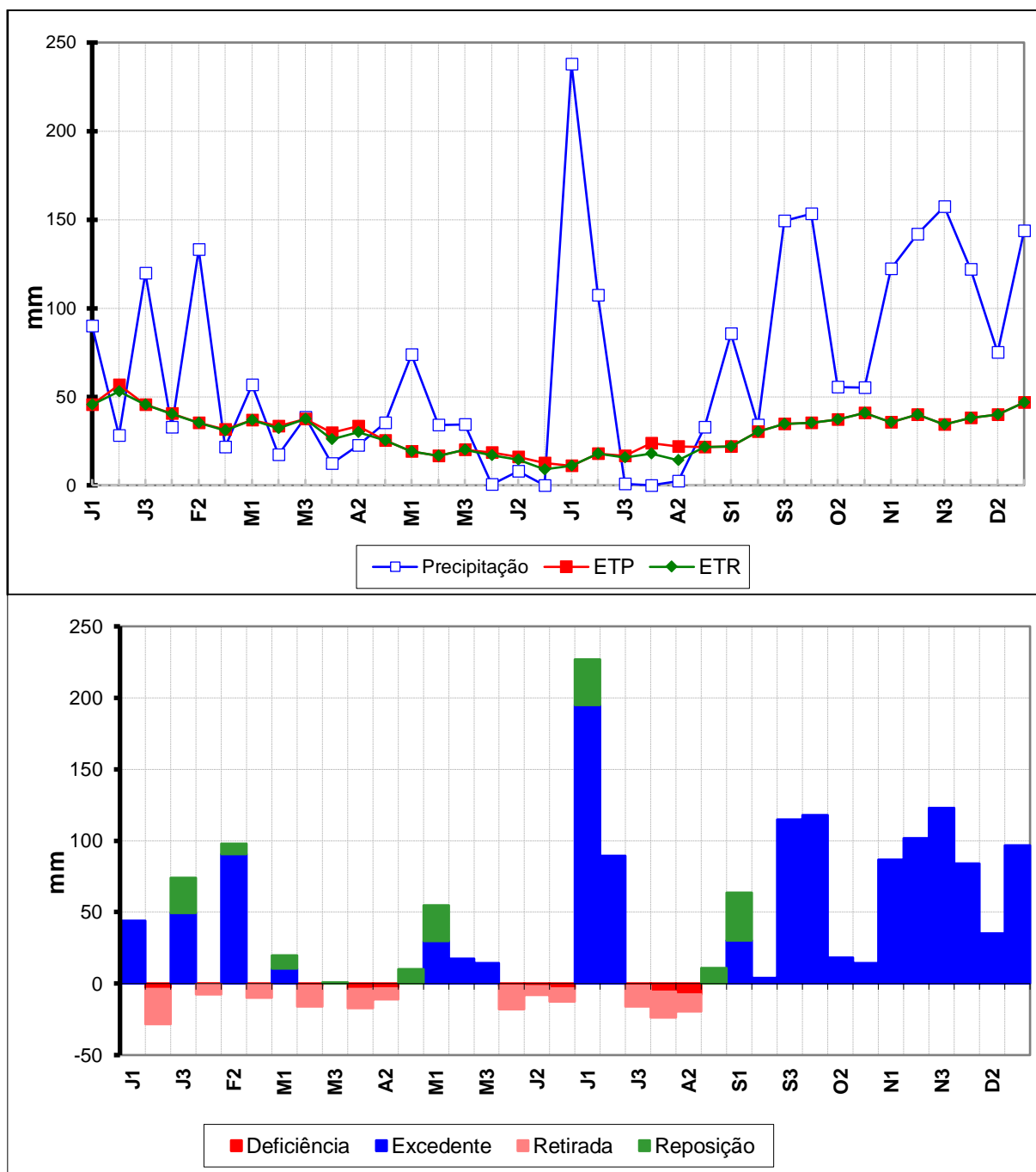
Existem semelhanças no balanço hídrico das duas bacias se observar o mês com maior (janeiro) e com menor ou sem excedente hídrico (agosto). Na BHRJ ocorre em média deficiência hídrica apenas em agosto de -1,35 mm, porém em setembro esse valor já é repositado e a precipitação é o suficiente para gerar um excedente hídrico de 31,1 mm. Na BHRT, o ano inteiro em média registra excedente, e a de mínima acontece em agosto. Por causa do maior volume de precipitação e temperatura menor nessa bacia, o excedente hídrico total é 110,8 mm superior a BHRJ.

Em 2015 a deficiência hídrica totalizou 33,9 mm negativos (figura 28), presentes em oito decêndios de janeiro a agosto. Os primeiros dez dias de julho foram suficientes para cobrir a retirada de todo o mês anterior de 32 mm e ainda ficar com um excedente de quase 195 mm. Dos 346 mm precipitados em julho, quase 70% ocorreu no primeiro decêndio.

Após uma queda de precipitação em agosto, de setembro em diante a precipitação volta a subir, mantendo o excedente hídrico positivo em todos os decêndios até o final do ano. No mês de novembro houve precipitação maior do que em julho (346 mm e 421,4 mm respectivamente), representado no gráfico um

excedente superior, ainda que a evapotranspiração seja mais elevada em novembro.

Figura 28 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2015) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2015)



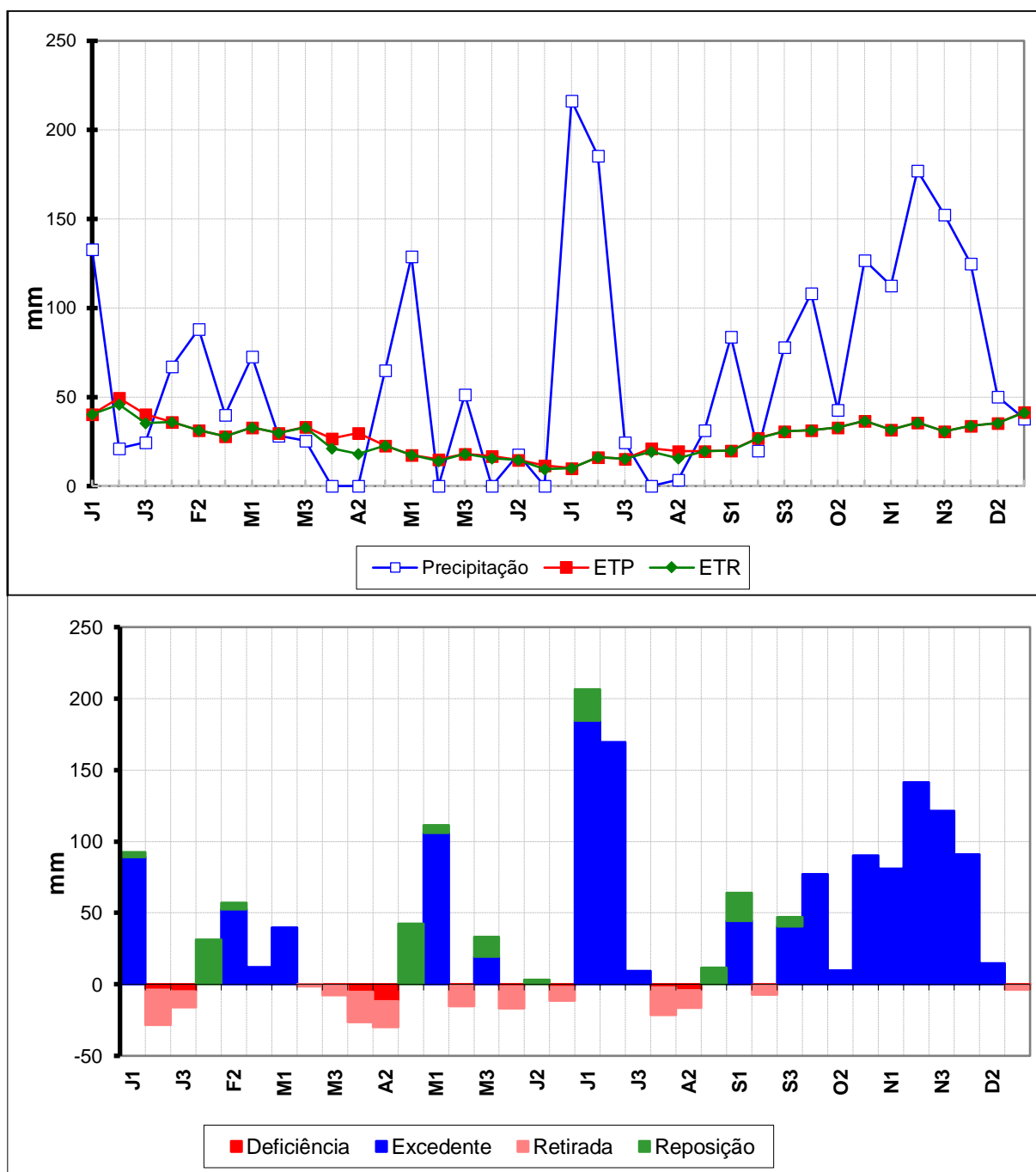
Fonte: o próprio autor

Na BHRT (figura 29) as principais diferenças em relação ao gráfico anterior é que em julho o excedente foi pouco menor, porém distribuído melhor entre os três decêndios. Ademais, existem semelhanças como a pequena deficiência hídrica concentrada no primeiro semestre, porém com chuvas suficientes para repor as

perdas e ainda exceder; e o acúmulo de excedente de setembro até dezembro.

O alto volume de precipitação em novembro não refletiu tanto no extrato do balanço hídrico, ficando com excedente hídrico menor que em julho (400,1 mm e 460,4 mm respectivamente), por causa da evapotranspiração que diminui a entrada de água no solo.

Figura 29 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2015) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2015)

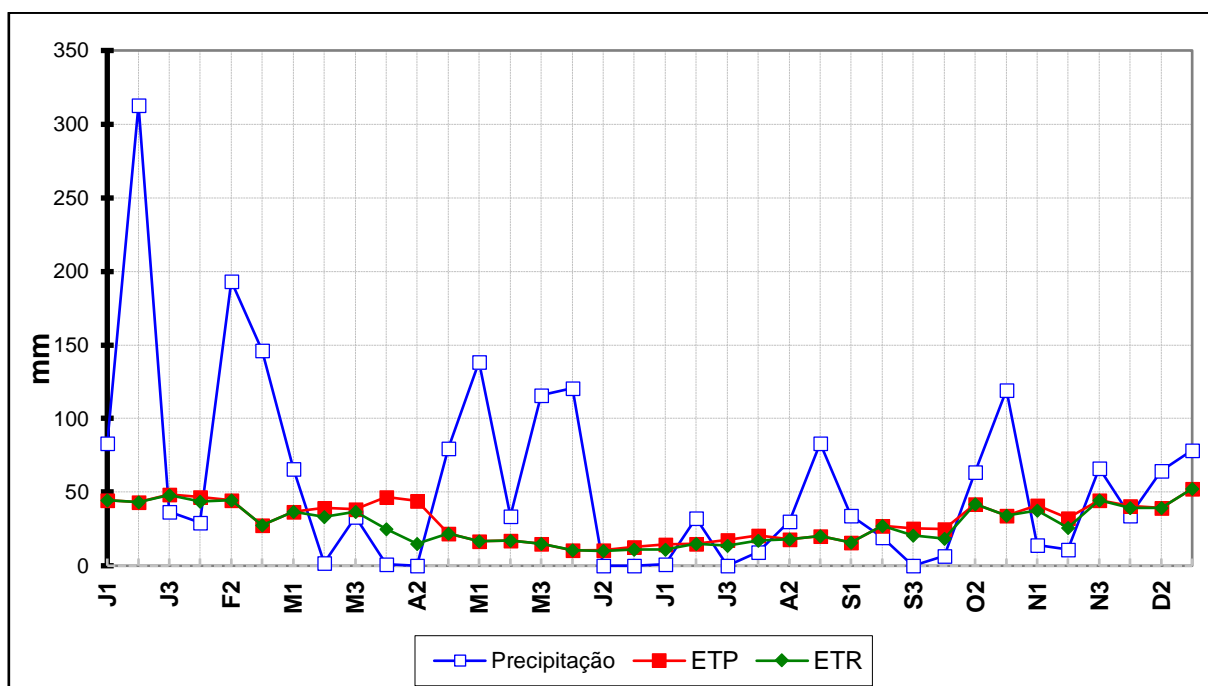


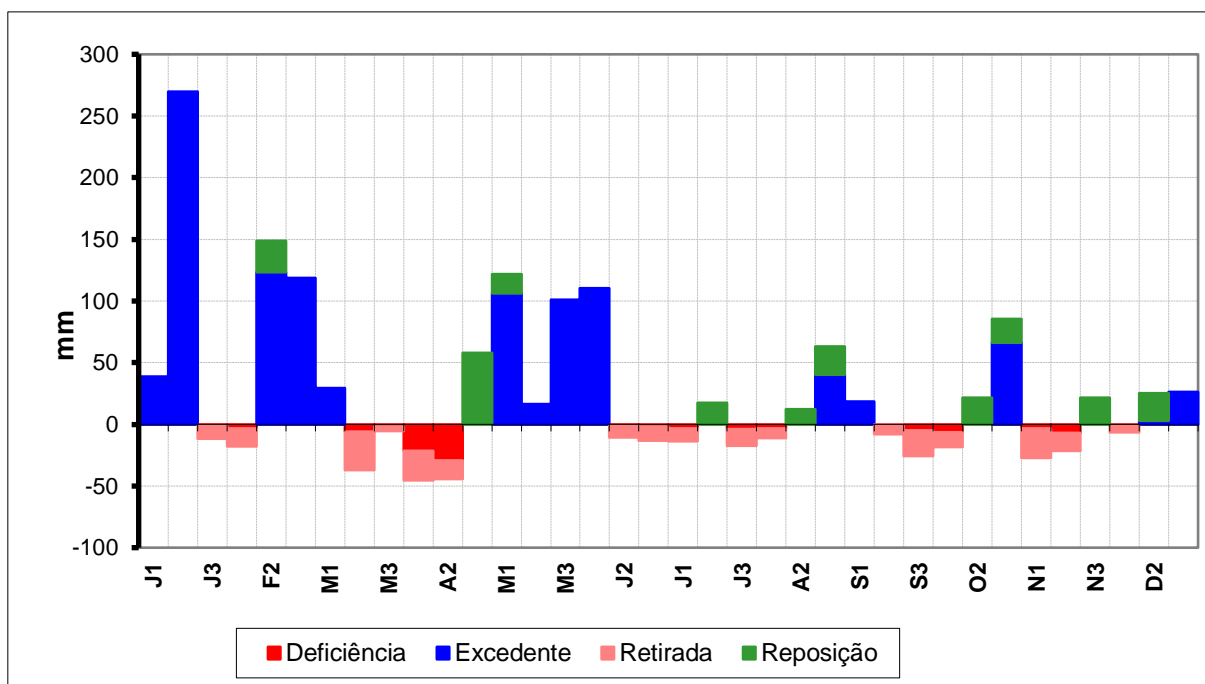
Fonte: o próprio autor

Na figura 30 destaca-se o mês de janeiro de 2016, quando ocorreu um novo evento extremo de precipitação no segundo decêndio que causou danos na área urbana e na área rural, como foram exemplificadas nas imagens exibidas anteriormente (figura 22). A média histórica de precipitação em janeiro é 240,9 mm, mas nesse mês em particular foi quase o dobro, 433,2 mm, sendo que 313 mm desse total foi precipitado no segundo decêndio.

Analisando os valores médios, é comum que o período de retirada ou deficiência hídrica atue de forma intensificada em agosto, mas em 2016 isso ocorreu principalmente em março e abril, meses que acumulam em média 100 e 120 mm de precipitação respectivamente, porém com ocorrência frequente de excedente hídrico. O segundo semestre também foi incomum pelo volume de precipitação pouco expressivo e abaixo da média de setembro até o fim daquele ano.

Figura 30 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2016) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2016)



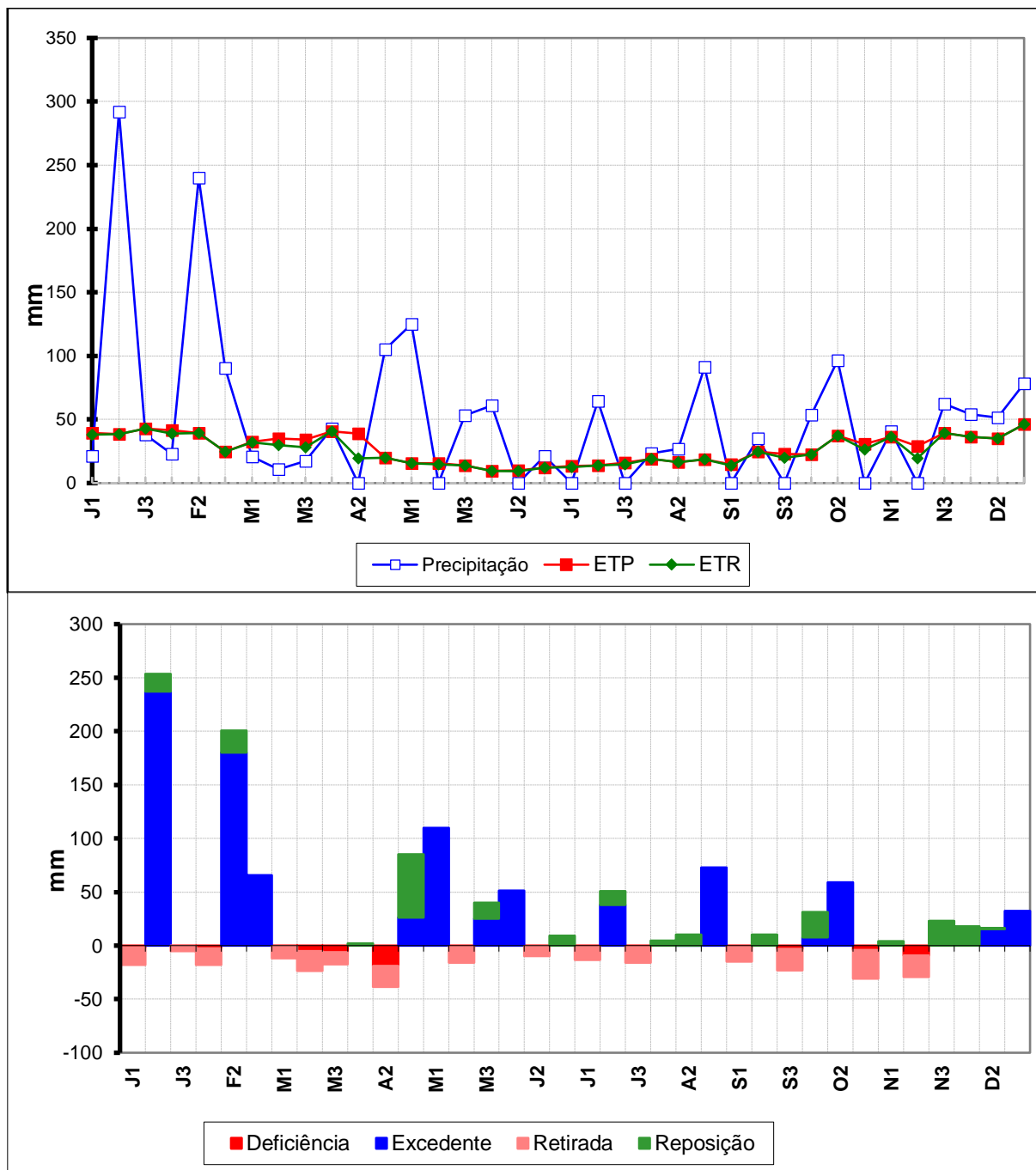


Fonte: o próprio autor

O mesmo impacto aconteceu na BHRT (figura 31), precipitando 291,9 mm somente no segundo decêndio de janeiro de 2016. Aquele mês inteiro totalizou 351,2 mm acumulados, considerando que a média histórica para janeiro é 216 mm. No mês de fevereiro o volume de chuva também foi bastante expressivo (353,3 mm), acima de janeiro de 2016, mas pouco menos pontual.

O segundo semestre, diferente em 2015, foi mais seco, porém comparando com o balanço hídrico do BHRJ no mesmo período, os momentos de retirada hídrica foram mais curtos, não por mais tempo de um decêndio.

Figura 31 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2016) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2016)



Fonte: o próprio autor

Todos os valores de excedente, deficiência, retirada e reposição hídrica representados nos gráficos anteriores estão sintetizados na tabela 12, agora no intervalo mensal, elaborada também com o objetivo de comparar os desdobramentos dos eventos extremos no balanço hídrico.

Tabela 12 – Comparação dos valores do balanço hídrico entre BHRJ e BHRT (2015-2016)

			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BHRJ	2015	EXC	93,6	90,5	10,5	0	61,6	0	284,3	0	148,8	150,5	311,6	216
		DEF	3,7	0,8	1,2	7,1	0	6,6	1,2	13,3	0	0	0	0
		RET	24,7	16,8	14,8	21,2	0	32	14,7	29,9	0	0	0	0
		REP	24,7	7,4	10,3	10,1	24,9	0	32	11,1	33,5	0	0	0
	2016	EXC	308,5	242,1	29,4	0	223,8	110,3	0	40,1	18,2	66,4	0	29,6
		DEF	0,7	3,2	7,9	51,1	0	2,6	7,2	3,6	5	6,4	10,1	1,3
		RET	11	14,3	34,6	38,7	0	21	23,8	7,7	28,4	12	38,4	5,2
		REP	0	25,4	0	57,8	15,5	0	17,2	35,3	0	40,5	21,7	21,9
BHRT	2015	EXC	89,1	64,4	39,9	0	125,1	0	363,3	0	85,1	177,2	343,9	105,8
		DEF	8,5	0	0,4	17	1,1	3,3	0	6,2	0,2	0	0	0,1
		RET	35,7	0	8,6	39,3	14	24,9	0	31,2	6,7	0	0	3,5
		REP	3,5	35,7	0	42,2	19,7	3,2	21,6	11,7	26,2	0	0	0
	2016	EXC	236,9	245,4	0	26,4	134,8	51,1	37,8	72,9	0	67	0	47,3
		DEF	1,7	2,4	11,9	19,2	1,2	0,5	2,1	0	4,2	4,3	9,5	0
		RET	21,6	15,8	41,1	19,6	14,5	9,3	27,3	0	33,5	26,5	19,6	0
		REP	16,6	20,8	0	60,7	14,5	9,1	12,8	14,7	10,2	23,3	27,1	19

Fonte: o próprio autor

Destacam-se novamente os meses em que ocorreram eventos extremos. A diferença do excedente hídrico na BHRJ de janeiro de 2015 e janeiro de 2016 foi de 215 mm. Entre julho de 2015 e julho de 2016 foi 110,3 mm. A BHRT teve uma diferença no mesmo período de 147,8 mm e 325,5 mm, respectivamente.

4.3.2 Anomalias negativas de precipitação (2020)

O ano de 2020 foi o mais recente do conjunto de dados da série histórica, também sendo um dos anos mais secos registrados pelas estações pluviométricas de Londrina e Califórnia em todo o período de 1980 a 2020.

Além de ter sido o mais seco ao longo dessa série histórica também foi mais quente, como aponta os dados da estação meteorológica de Londrina. Calculando a diferença de temperatura média de cada mês de 2020 com a temperatura média da série histórica, o ano de 2020 esteve 1 °C acima na BHRJ (tabela 13). Para a BHRT, mesmo que não exista dados de temperatura registrados em estação, através da estimativa descrita na metodologia, se chega ao mesmo resultado de estar 1 °C

acima da média em 2020.

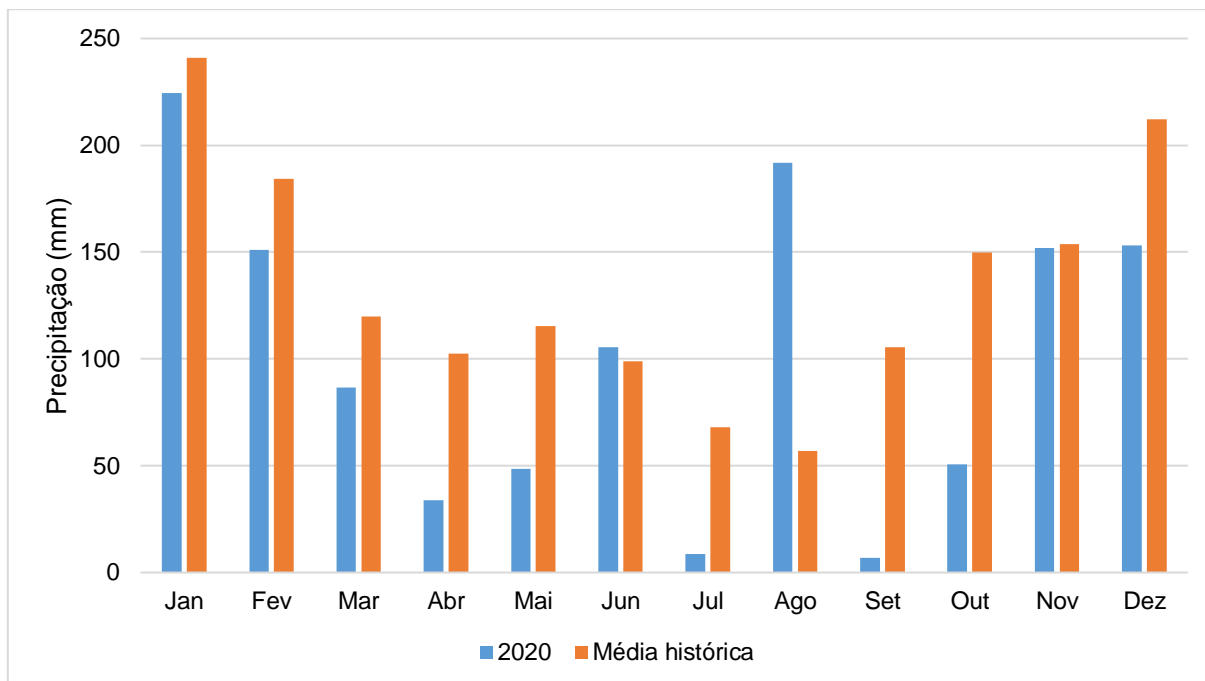
Tabela 13 – Comparativo da temperatura de 2020 com a média da série histórica

Mês	BHRJ		BHRT	
	Temperatura (2020) (°C)	Temperatura média (°C)	Temperatura (2020) (°C)	Temperatura média (°C)
Janeiro	25,3	24,5	23,8	23,0
Fevereiro	24,5	24,4	23,0	22,9
Março	24,8	23,9	23,3	22,4
Abril	22,3	22,3	20,8	20,8
Maio	18,9	19,0	17,4	17,5
Junho	19,7	17,4	18,2	15,9
Julho	19,1	17,2	17,6	15,7
Agosto	19,1	19,2	17,6	17,7
Setembro	25,1	20,9	23,6	19,4
Outubro	25,2	22,5	23,7	21,0
Novembro	23,7	23,7	22,2	22,2
Dezembro	24,8	24,4	23,3	22,9

Fonte: o próprio autor

A escassez de chuvas em 2020 pode ser avaliada nas figuras 32 e 33. Primeiro, a figura 32 envolve os dados mensais de precipitação da estação Londrina, comparados com os valores médios da série histórica. Foram 1213,1 mm no total, sendo que a média anual é 1608,3 mm.

Figura 32 – Comparativo da precipitação na BHRJ em 2020 com a média da série histórica

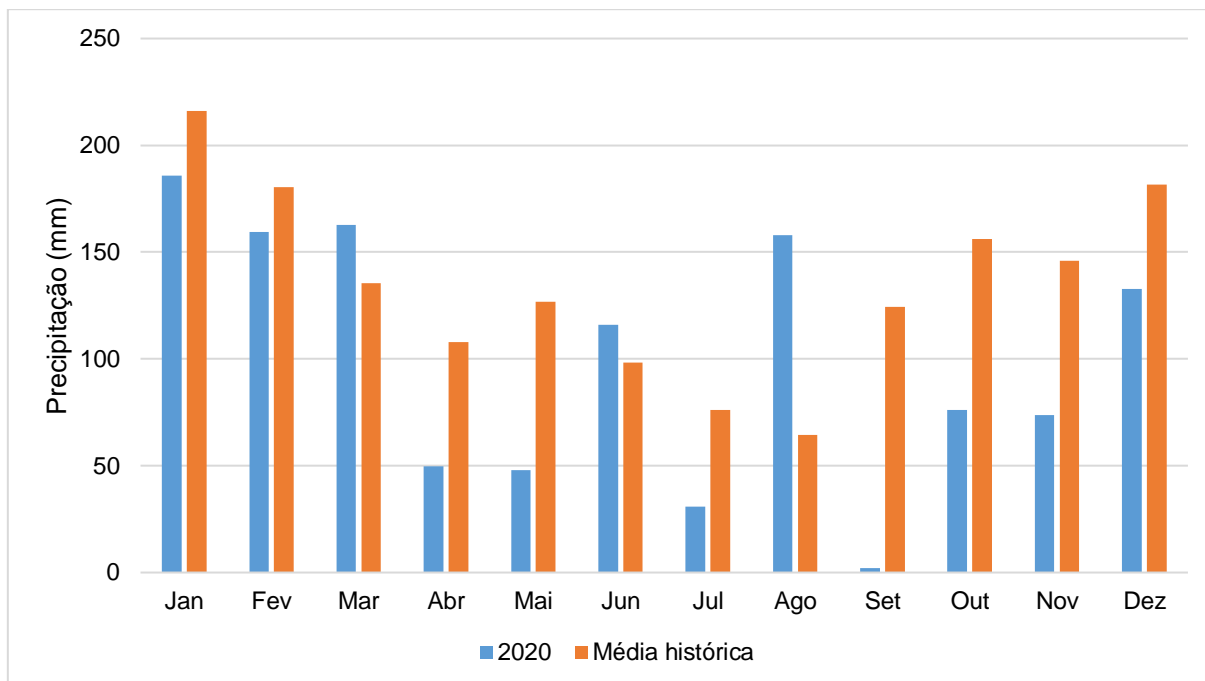


Fonte: o próprio autor

Com exceção de junho e agosto, todos os outros meses registraram chuvas abaixo da média. Vale lembrar que os meses de junho, julho e agosto compreende o período mais seco para a série histórica das duas bacias, ou seja, em 2020 houve um comportamento pluviométrico inverso, ficando abaixo da média no período chuvoso (dezembro a fevereiro) e acima da média no período seco.

No caso da BHRT (figura 33) em 2020 o total anual de precipitação foi 1194,6 mm, abaixo da média histórica de 1613,5 mm. Somente em três meses (março, junho e agosto) a precipitação esteve acima da média, demonstrando que também houve aqui um comportamento inverso como na BHRJ.

Figura 33 – Comparativo da precipitação na BHRT em 2020 com a média da série histórica

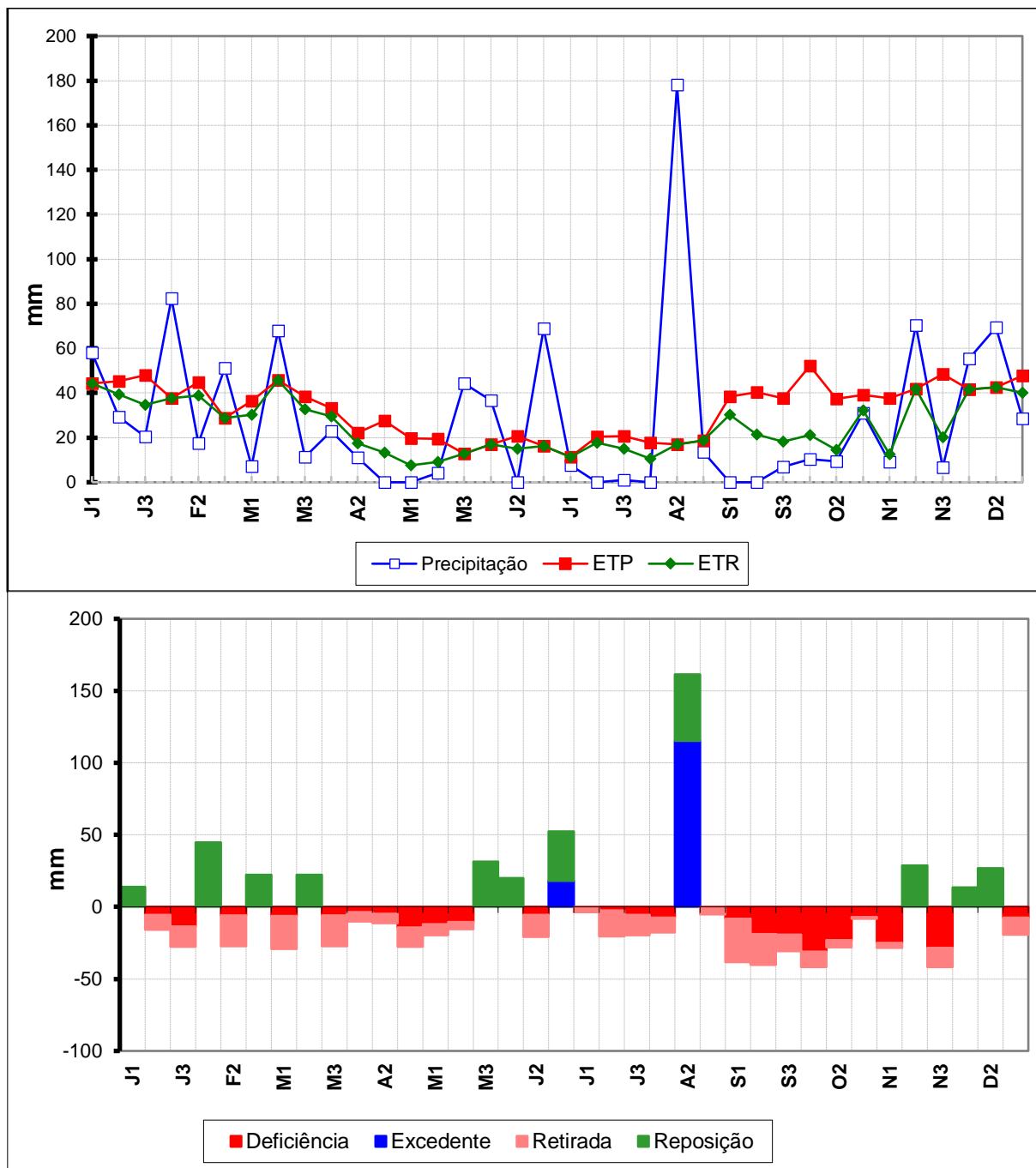


Fonte: o próprio autor

A figura 34 apresenta o balanço hídrico da BHRJ neste referido momento. Apenas em dois decêndios houve excedente hídrico em junho (18,1 mm) e em agosto (115,2 mm). Ou seja, justamente em agosto, o mês mais seco de um ano em média na BHRJ (de acordo com o balanço hídrico médio, nesse mês ocorre retirada hídrica e não excedente), ocorreu o maior valor de excedente hídrico no solo.

Os meses do verão (janeiro a março) no hemisfério sul em 2020 passou por cinco decêndios com retiradas e deficiências, mas também quatro com reposição hídrica. O período de março a maio e de setembro até novembro sofreram retirada e deficiência hídrica por um longo tempo, de seis a oito decêndios, até ocorrer precipitação suficiente para reposição.

Figura 34 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRJ (2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRJ (2020)

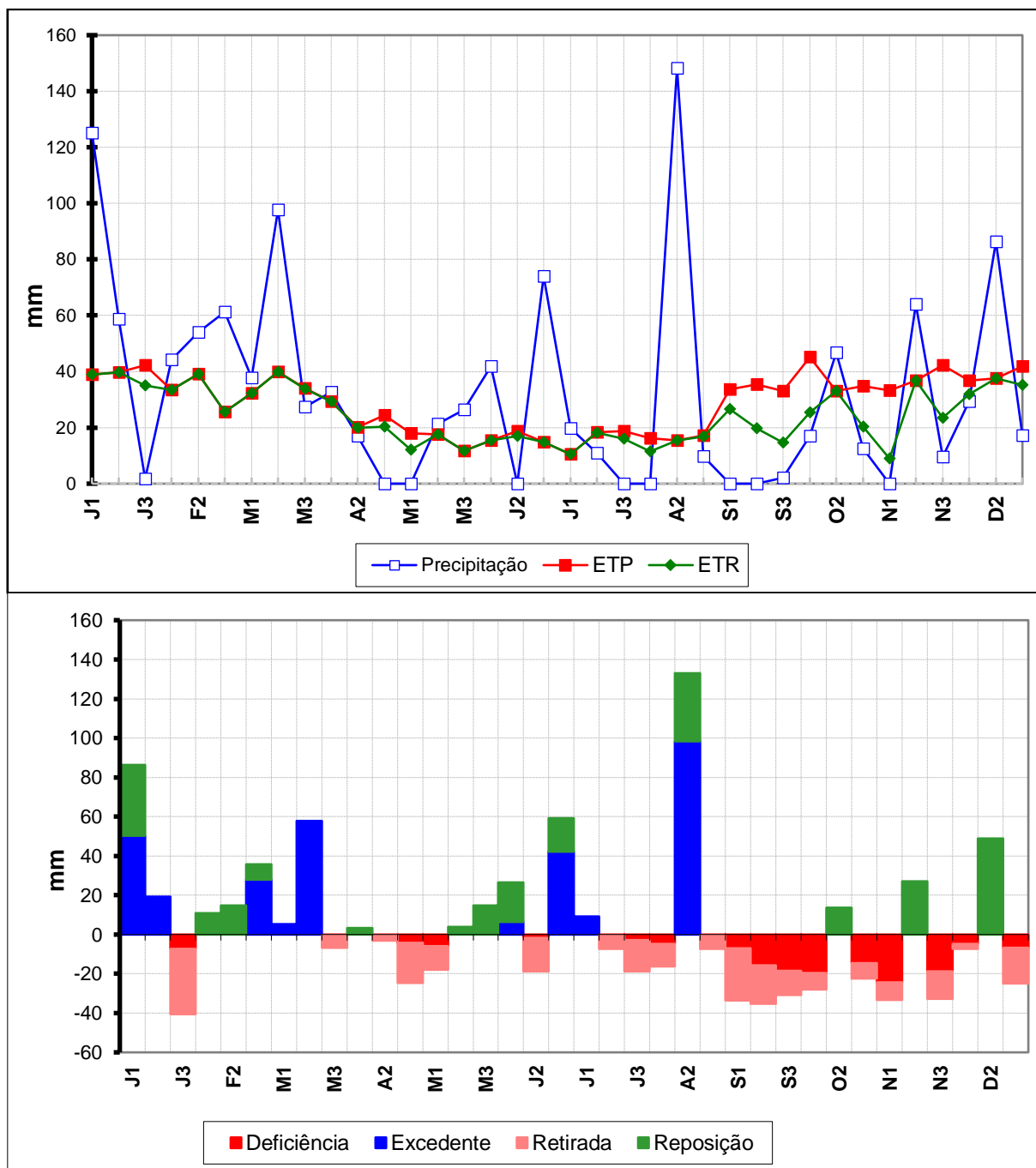


Fonte: o próprio autor

A figura 35 apresenta o balanço hídrico da BHRT em 2020. Em comparação com a figura 34, existem diferenças no primeiro semestre, como a presença de excedente hídrico nos primeiros três meses e menor quantidade de decêndios de retirada ou deficiência hídrica. A partir do mês de julho, julho e agosto são os únicos meses do segundo semestre com excedente hídrico. Novamente o decêndio “A2”

registrou o valor máximo de excedente no ano todo e em seguida há um período de cinco decêndios consecutivos com retirada e deficiência hídrica.

Figura 35 – a) Extrato do balanço hídrico da BHRT (2020) b) Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica da BHRT (2020)



Fonte: o próprio autor

A tabela 14 compara os valores mensais do balanço hídrico para as duas bacias hidrográficas apenas para o ano de 2020, atipicamente seco.

Tabela 14 – Comparação dos valores do balanço hídrico entre BHRJ e BHRT (2020)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BHRJ 2020	EXC	0	0	0	0	0	18,1	0	115,2	0	0	0	0
	DEF	19,2	6	12,2	22,5	22,6	5,6	8,3	7,4	46,3	61	53,3	7,5
	RET	24,2	21,3	44,2	26,4	12,3	15,1	35,4	15,6	63,1	17,2	17,1	11,6
	REP	13,7	67,1	22,2	0	31,4	54,2	0	46	0	0	28,6	40,5
BHRT 2020	EXC	69,5	28	63,1	0	0	48,5	9,3	98,4	0	0	0	0
	DEF	7,2	0	0,2	4,3	5,9	1,6	3,1	4,9	41,3	34,2	43,2	11,6
	RET	33,3	0	6,5	23,3	12	17	23	18,6	58,6	16,2	22,8	20,6
	REP	35,9	33,3	0	3,2	18,3	37,2	0	34,5	0	13,6	27,1	48,8

Fonte: o próprio autor

Percebe-se como a BHRT manteve um excedente hídrico no solo superiores a BHRJ em cinco meses do ano, totalizando 316,8 mm e a BHRJ totalizou 133,3 mm. Esse resultado já era de se esperar, sabendo que a precipitação anual na BHRT é 38 mm superior a BHRJ e a temperatura média na BHRT é 1,45 °C menor, causando uma menor taxa de evapotranspiração e consequentemente perdendo menos água no solo. Ao mesmo tempo, a deficiência e retirada hídrica também foram mais elevadas na BHRJ (114,4 mm e 51,6 mm a mais respectivamente).

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo uso do balanço hídrico climatológico como metodologia adotada, foi possível definir os períodos mais secos e chuvosos de um ano em relação à média. O período seco inicia em junho e vai até agosto, o período chuvoso vai de dezembro até fevereiro.

Observando temporalmente os dados anuais de precipitação, foram identificados alguns anos recentes (2015, 2016 e 2020) que são considerados anômalos por terem ficado muito acima ou abaixo da média dentro da série histórica de 1980-2020.

O ano de 2015, quando ocorreu *El Niño* com forte intensidade, se apresentou anômalo nas duas bacias pois durante a maioria do período chuvoso, em janeiro e fevereiro, a precipitação ficou abaixo da média e o solo ficou com deficiência hídrica. No mês de julho ocorreu um evento extremo de precipitação inesperado, ou seja, precipitações que em um único dia foram superiores que a metade da média mensal,

gerando o valor máximo de excedente hídrico naquele ano de 284,3 mm na BHRJ e 363,3 mm na BHRT.

Seis meses depois, em janeiro de 2016 veio a ocorrer outro evento extremo em toda a região norte paranaense, porém mais forte na BHRJ. Esse evento foi maior comparado com o julho de 2015. Por motivo da BHRJ ser mais urbanizada, ela teve a infraestrutura urbana parcialmente prejudicada em cidades como Londrina, Cambé, Ibiporã, Rolândia, Arapongas, entre outras. Embora, a BHRT possui área predominante rural, as chuvas excessivas também causaram perdas nas plantações, intensificaram processos erosivos e de perda de solo.

A partir de 2015 cada ano da série histórica foi diminuindo gradualmente o volume total precipitado por ano, até atingir em 2020 a menor pluviosidade dos últimos quinze anos. As chuvas irregulares e temperatura 1 °C acima da média causou, principalmente na BHRJ, períodos consecutivos de até oito decêndios com deficiência ou retirada hídrica concentrados no segundo semestre do ano.

Esse cenário recente dos últimos 5 anos da série histórica é preocupante pela escassez de chuvas que tendem a diminuir cada vez mais e ao mesmo tempo os eventos extremos de precipitação podem surgir com mais frequência devido as mudanças climáticas. Com isso, o poder público deve planejar e executar medidas no Plano Diretor voltadas a melhorar estruturas urbanas que estejam preparadas a resistir eventos extremos, pois parte dos prejuízos que foram causados são arcados pelas prefeituras e governo do Estado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa demonstraram o comportamento da pluviosidade, da fluviometria e como é dado o balanço hídrico climatológico da BHRJ e BHRT.

As principais diferenças entre as duas bacias são quanto ao tamanho da área de drenagem, declividade (mais ondulada ou forte ondulada na BHRT), tipo de solo (mais Neossolos na BHRT) temperatura média mensal (maior na BHRJ), precipitação média anual (maior na BHRT) e volume de vazão fluvial (maior na BHRT).

O fato de a BHRT possuir classes de declividade como ondulado ou forte ondulado mais expressivas faz com que o tempo de resposta nessa bacia seja mais rápido, mesmo com área de drenagem maior, conforme ilustrado nos gráficos de vazão específica e comparação da vazão com precipitação no primeiro artigo.

Analizando os últimos anos da série histórica da comparação entre vazão e precipitação na BHRJ, pode-se afirmar que essa é capaz de armazenar maior quantidade de água no tempo, pois mesmo com a queda da precipitação anual de 2015 para 2018, a vazão anual aumenta de 2017 para 2018, do contrário que se espera. Pode-se atribuir essa explicação aos tipos de solos bem drenados que estão mais presentes naquela área em relação a BHRT.

De acordo com a média do extrato do balanço hídrico das bacias, mesmo no período de menor pluviosidade que vai de junho a agosto, o solo possui excedente hídrico na maioria do tempo, exceto no mês de agosto da BHRJ. Portanto, nas áreas rurais, dependendo da cultura produzida ali, é necessário que a irrigação seja feita adequadamente para que não haja perda de produtividade.

Pelo balanço hídrico, calculou-se que a maior parte da entrada de água no solo se concentrou na segunda metade de 2015 e nos primeiros meses de 2016, saturando o solo e causando movimentação de massa, alagamento nas ruas e enchentes próximos aos cursos d'água com o aumento da vazão. Resultado disso foram enormes prejuízos financeiros para a população mais vulnerável atingida.

O último ano série histórica, mais seco e mais quente que a média, mostrou a que existe uma alta demanda de água no solo para algumas práticas agrícolas, como preparação e manejo do solo e na semeadura. Se a tendência de pluviosidade dos próximos anos continuar a cair como nos últimos cinco anos, a crise hídrica que

já é grave hoje seguirá dificultando o abastecimento de água para consumo, uso industrial e agrícola, o fornecimento de energia, diminuindo a umidade do ar e aumentando o risco de queimadas.

A redução gradual do volume de precipitação anual dos últimos cinco anos da série histórica deve servir como alerta. Com as mudanças climáticas atribuídas as atividades humanas, os eventos extremos como as secas ou precipitações intensas podem se tornar cada vez mais intensos e imprevisíveis, levando a graves consequências se não houver novas mudanças mais efetivas dos três setores da sociedade para barrar o avanço dos desastres climáticos.

6 AGRADECIMENTO

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES – Código de Financiamento 001) pelo fornecimento de bolsa de auxílio financeiro à pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ. **Paraná sofre com a estiagem mais severa dos últimos anos**. Disponível em:

<https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=106505&tit=Parana-sofre-com-estiagem-mais-severa-dos-ultimos-anos>. Publicado em 08 de abril de 2020. Acesso em 05 de outubro de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. HIDROWEB. In: **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em 08 de junho de 2021.

ALBUQUERQUE, Adoréa Rebello da C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, v. 4, n. 4, p. 201-209, 2012.

AMORIM, A. C. B. et al. Eventos extremos de precipitação no Litoral do Paraná (Baía de Paranaguá). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 563–575, dez. 2020.

ARABORI, Meire Kiko Nozaki; et al. Análises das características hidrogeológicas da microbacia do Ribeirão Jacutinga em Ibiporã-PR. **Ciência Geográfica (Bauru)**, ano XXV, vol. XXV, n. 1, jan./dez. 2021. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/revista_xxv_1.html. Acesso em 10 de setembro de 2021.

ARCHELA, Edison; FRANÇA, Valmir; CELLIGOI, André. Geologia, geomorfologia e disponibilidade hídrica subterrânea na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga. **Geografia (Londrina)**, v. 12, n. 2, jul./dez. 2003, Londrina. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6675>. Acesso em 10 de setembro de 2021.

ASUERO, A. G.; SAYAGO, A.; GONZÁLEZ, A. G. The Correlation Coefficient: An Overview. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 36, n. 1, p. 41-59, 2006.

BITTAR, William. Seca grave já atinge 99% do estado, segundo o Monitor de Secas. **CBN Curitiba**, Curitiba, 04 jan. 2021. Disponível em: <https://cbncuritiba.com/seca-grave-ja-atinge-99-do-estado-monitor-de-secas/>. Acesso em 13 de setembro de 2021.

BRAGUETO, Claudio Roberto; CUNHA, Fábio César Alves da. A divisão territorial do trabalho e o processo de industrialização da microrregião geográfica de Londrina. **Geografia (Londrina)**, v. 11, n. 1, 2002. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/7641>. Acesso em 19 de setembro de 2021.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. da; VITTE, A. C. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos e GUERRA, Antonio José Teixeira (org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

CARDOSO, Célio Orli; ULLMANN, Mário Nestor; EBERHARDT, Evandro Luis. Balanço hídrico agro-climático para Lages-SC. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p. 118-130, 2003.

CARDOSO, C. DE S.; QUADRO, M. F. L. DE; BONETTI, C. Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 219–231, jun. 2020.

CHEVALIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2a. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 485-525.

CHIES, Cláudia; YOKOO, Sandra Carbonera. Colonização do norte paranaense: avanço da cafeicultura e problemas decorrentes deste processo. **Revista GEOMAE**, v. 3, n. 1, p. 27-44, jan./jun. de 2012. Disponível em: <http://rpem.unespar.edu.br/index.php/geomae/article/viewFile/204/196>. Acesso em 19 de setembro de 2021.

CÓRDOVA, R. N.; PINHEIRO, A.; PINHEIRO, I. G. Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da bacia do Itajaí. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais [...]**. Porto Alegre: ABES, 2000, p.1-7.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, jan./mar. 2008, p. 111-124.

DOMINGOS, Thiago Augusto. **Metrópole e região metropolitana**: reflexões sobre a região metropolitana de Londrina. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?view=vtls000156177>. Acesso em 20 de setembro de 2021.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FANTIN, Rafael. Chuva bate recorde em Londrina. **Folha de Londrina**. Londrina, 8 de julho de 2015. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/geral/chuva-bate-recorde-em-londrina-921668.html>. Acesso em 05 de outubro de 2021.

FARIA, Maria do Carmo Carvalho. Apucarana – processo de ocupação e colonização. In: VII Congresso Internacional de História, 2015, Maringá. **Anais [...]** p. 2957-2968. Tema: Políticas, Culturas e Narrativas na América Latina. Disponível em: <http://www.cih.uem.br/anais/2015/trabalhos/1430.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2021.

FELIZARDO, Celso. Chuva histórica deixou rastro de destruição. **Folha de Londrina**. Londrina, 17 de janeiro de 2016. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/reportagem/chuva-historica-deixou-rastro-de-destruicao-937707.html>. Acesso em 05 de outubro de 2021.

FERNANDES, V. R. et al. Secas e os impactos na região Sul do Brasil. **Revista**

Brasileira de Climatologia, v. 28, p. 561–584, 27 maio 2021.

FOLHA DE LONDRINA. Chove em uma hora quase um terço do previsto para novembro. **Folha de Londrina**, Londrina, 07 de novembro de 2015. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/cidades/chove-em-uma-hora-quase-um-terco-do-previsto-para-novembro-932401.html>. Acesso em 09 de outubro de 2021.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. Influência do *El Niño* Oscilação Sul sobre precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, 1997, p. 127-132. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/128.pdf>. Acesso em 04 de outubro de 2021.

FRESCA, Tânia Maria. A centralidade de Londrina – PR na rede urbana brasileira: de centro regional ao nível submetropolitano. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 121-145, dez./2014.

GALIANI, Diego Leonardo Arruda. **Análise espacial das variáveis hidrológicas, precipitação e balanço hídrico, como subsídio para o planejamento ambiental da bacia do Rio Pirapó-PR**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Zoneamento ecológico-econômico do estado do Paraná**. Curitiba: ITCG, 2018. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Zoneamento-Ecologico-Economico-ZEE>

HARTMANN, Léo Afraneo. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. **Ciência e natureza**, Santa Maria, v. 36 ed. especial, 2014, p. 173-182. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/13236/pdf>. Acesso em 15 de outubro de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições atuais do ENOS: La Niña**. 2021. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

LUCHINI, Adriana de Mello. Os desafios à implementação do sistema de gestão dos recursos hídricos estabelecidos pela Lei nº 9.433/97. **Revista de Administração Pública**, v. 34, n. 1, p. 123-143, 2000. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6256>. Acesso em 15 de janeiro de 2022.

MACIEL, Samuel Alves. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/18164/1/AnaliseRelacaoChuva.pdf>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

MACHADO, C. et al. Eventos extremos de precipitação no estado do Paraná. **Ciência e Natura**, p. 81–85, 13 nov. 2013.

MARENGO, José Antônio. Águas e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 83-96. 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnzzt6Khr8zYx3L/abstract/?lang=pt>. Acesso em 16 de setembro de 2021.

_____. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas – GPMC**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE. Centro de Ciências do Sistema Terrestre – CCST, n. 8, maio de 2009, Edição especial.

MAPBIOMAS. O projeto. In: **MapBiomias v.6.0 [Brasil]**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em 02 de outubro de 2021.

_____. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em 10 de agosto de 2021.

MATTEI, T. F.; PARRÉ, J. L. Panorama do setor de energia elétrica no Brasil e no Paraná: políticas e desafios para energias alternativas. **Revista Faz Ciência**, v. 23, n. 38, p. 53–77, 27 out. 2021.

MINEROPAR – MINEIRAIS DO PARANÁ S/A. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Curitiba, 2001. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Geologico-do-Estado-do-Parana>. Acesso em 15 de outubro de 2021.

_____. **Geologia do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR, 2014. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=106>.

MRTVI, Paulo Roberto. **Impactos ambientais gerados pela nova conformação das atividades na microbacia do Ribeirão Jacutinga, região Norte do município de Londrina 1989 a 2002**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

MONTANHER, O. C.; MINAKI, C. Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 39, p. 138–153, 26 jun. 2020

MONTEIRO, Juliana Bitencourt; SILVEIRA, Alexandre; SILVEIRA, Geraldo Lopes da. Estudo da curva de permanência de uma bacia urbana: caso de Poços de Caldas-MG. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/5559>. Acesso em 07 de fevereiro de 2022.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg. **As chuvas no Paraná**: variabilidade, teleconexões e impactos de eventos extremos. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

NAUMANN, G. *et al.* **O episódio de seca extrema de 2019-2021 na bacia de La Plata**: um relatório conjunto do JRC, da CE, do CEMADEN, do SISSA e da OMM. Serviço das Publicações da União Europeia: Luxemburgo, 2022.

PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. Climatologia. In: **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. p. 289-320.

PINTO, Nelson L. de Souza (org.) **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PORTO, Gustavo. Governo alerta para a pior seca em 111 anos no Paraná e outros quatro estados. **Bem Paraná**, São Paulo, 28 mai. 2021. Disponível em: <https://www.bemparana.com.br/noticia/governo-alerta-para-a-pior-seca-em-111-anos-606#.YVJzVbhKjsC>. Acesso em 27 de setembro de 2021.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/?lang=pt>. Acesso em 29 de agosto de 2020.

RAMOS, M. A. B.; VIANA, S.; SANTO, E. B. E. **Mudanças climáticas**. In: SILVA, C. R. Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Disponível em: <http://www.cprn.gov.br>. Acesso em 30 setembro 2021.

RPC CASCAVEL. **Crise hídrica**: Paraná tem 13 cidades em estado de alerta e outras 18 com racionamento de água. 07/09/2021, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2021/09/07/crise-hidrica-parana-tem-13-cidades-em-estado-de-alerta-e-outras-18-com-acionamento-de-agua.ghtml>.

SANTOS, Mauricio Moreira dos; SARTOR, Maria José; MELO, Ângela Cristina Alves de. Evolução temporal da atuação ENOS sobre elementos climáticos no norte do estado do Paraná e a influência sobre evento extremo na bacia do Ribeirão Cafezal em janeiro de 2016. In: JÚNIOR, Lourenço Magnoli *et al.* (Org.). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2 ed. São Paulo: CPS, 2020, v. 2, p. 795-811. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/Reducao2020.html>. Acesso em 11 de junho de 2021.

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; LOHMANN, M. Períodos secos no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 295–303, jun. 2021.

SCHIMDT, Darlan Martínez *et al.* Análise comportamental dos regimes de precipitação e vazão da estação Camaçari no Rio Coruripe, no município de Coruripe – AL. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]**. Maceió: ABRH, 2011. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=953>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

SIMEPAR. **Estiagem e emergência hídrica na RMC e Sudoeste do Paraná**. 2021. Disponível em: <http://simepar.br/prognozweb/simepar/post/28925>. Acesso em 25 de outubro de 2021.

SOUZA, Adilson Pacheco de *et al.* Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Mato Grosso. **Revista Nativa**, Sinop, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1334>. Acesso em 11 de junho de 2021.

SOUZA, Carlos M. Jr. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land

Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 2020, v. 12, n. 17. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735/htm>. Acesso em 29 de setembro de 2021.

SOUZA, Nayara Silva; SOUZA, Wanderley de Jesus; CARDOSO, Jossy Mara Simões. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, mai/jun. 2017, p. 453-462. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jKBdnLybP3rCWK7rdfmftPy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 01 de março de 2022.

STIPP, Nilza Aparecida Freres; CAMPOS, Ricardo Aparecido; CAVIGLIONE, João Henrique. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da cartografia**, v.3, n.1, p.105-124, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/8929/7451>. Acesso em 12 de junho de 2021.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas *et al.* Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, 11-25, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/MHHrkZBG6ZTKh84K86xHLhF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 28 de fevereiro de 2022.

TOMASELLA, Javier; Rossato, Luciana. **Balanco hídrico**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Javier-Tomasella/publication/41560239_Balanco_hidrico/links/00b49519caef96e7e1000000/Balanco-hidrico.pdf. Acesso em 11 de junho de 2021.

TREMOCOLDI, Wanderley Antonio; BRUNINI, Orivaldo. **Caracterização agroclimática das unidades da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo**: Capão Bonito e região. Boletim técnico IAC, n. 205. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt205.pdf>. Acesso em 22 de setembro de 2021.

VITÓRIA, Fabrício Flávio Terso. **Agência Nacional de Águas**: uma análise de sua natureza e de seu papel no sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. 2013. Dissertação (Administração) - UNIFACS Universidade Salvador, Salvador, 2013. Disponível em: <http://tede.unifacs.br/tede/handle/tede/516>. Acesso em 19 de janeiro de 2022.

WOLFF, W. *et al.* Zoneamento hidrológico por meio da relação dos parâmetros de curvas de permanência de vazão com variáveis ambientais. *In*: IV INOVAGRI *International Meeting*, 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: UFRB, 2017. Disponível em: https://web.archive.org/web/20180721174537id_/http://www.inovagri.org/anais/TC1990296.pdf. Acesso em 26 de janeiro de 2022.