



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
Área de concentração: Geografia e Gestão do Território
Doutorado Acadêmico em Geografia**



GLEIDSON CAETANO DA SILVA

**ANÁLISE PRETÉRITA E PROGNÓSTICA DO BALANÇO HÍDRICO
CLIMATOLÓGICO (BHC) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARANAÍBA - BRASIL**

**Uberlândia/MG
2023**

GLEIDSON CAETANO DA SILVA

**ANÁLISE PRETÉRITA E PROGNÓSTICA DO BALANÇO HÍDRICO
CLIMATOLÓGICO (BHC) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARANAÍBA - BRASIL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Linha de Pesquisa: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira

**Uberlândia/MG
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586a Silva, Gleidson Caetano da, 1978-
2023 Análise pretérita e prognóstica do balanço hídrico climatológico (BHC) da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil [recurso eletrônico] / Gleidson Caetano da Silva. - 2023.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.5516>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. 2. Paranaíba, Rio, Bacia. 3. Hidrologia. 4. Climatologia. 5. Desertificação. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira, 1967-(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Rejâne Maria da Silva
Bibliotecária-Documentalista – CRB6/1925



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico número 231 do PPGGEO				
Data:	26 de janeiro de 2023	Hora de início:	14h:10min.	Hora de encerramento:	18h:25min.
Matrícula do Discente:	11813GEO008				
Nome do Discente:	GLEIDSON CAETANO DA SILVA				
Título do Trabalho:	ANÁLISE PRETÉRITA E PROSPECTIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO (BHC) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁIBA - BRASIL				
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO				
Linha de pesquisa:	Análise, Planejamento e Gestão Ambiental/Geoprocessamento				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se na sala 1H14 do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Ricardo Júnior de Assis Fernandes Gonçalves - UEG-GO; Carlos Alberto Araújo Campos - UFTM-MG; Paulo Cezar Mendes - IG-UFU; Alan Silveira - IG-UFU e Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU (orientador do candidato). O Professor Carlos Alberto Araújo Campos participou de forma online.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Professor Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu aos membros da Comissão e ao público presente e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente ocorreu conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/01/2023, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alberto Araujo Campos, Usuário Externo**, em 26/01/2023, às 18:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/01/2023, às 18:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Cezar Mendes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/01/2023, às 20:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Junior de Assis Fernandes Gonçalves, Usuário Externo**, em 27/01/2023, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4151704** e o código CRC **76567446**.

“A libertação caminha na estrada do autoconhecimento e mora no abrigo do perdão, pois a inteligência tem fome, enquanto o conhecimento nutre e a sabedoria sacia, saciai-vos”.

Victor César Carvalho

“A minha amada avó Dona Tatinha, aos meus pais Osair e Rosangela, a minha esposa Angélica, a minha filha Ana Clara e aos meus irmãos Elisangela e Glênio, obrigado por serem fonte de amor, inspiração e conquistas, dedico não somente esta tese, mais sim, toda a minha vida”

AGRADECIMENTOS

Sobretudo, ao meu Deus por sempre me iluminar e me guiar até nos momentos mais difíceis da minha vida. Só a Ele toda a Glória.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira pela amizade, companheirismo, paciência e pelos ensinamentos que sempre me foram úteis tanto para vida acadêmica quanto pessoal. Muito obrigado por tudo.

A minha alma gêmea Angélica a quem tenho orgulho em chamar de minha esposa, você é minha fonte de amor, força e companheirismo. Obrigado por diuturnamente acreditar em mim e, me conduzir a ser uma pessoa cada vez melhor. Te amo hoje, te amo sempre, nessa e em outras vidas.

A minha amada filha Ana Clara, acredite que ser seu pai, para mim é o melhor título que poderia receber. Você chegou na hora certa e, em um passe de mágica mudou toda a minha história. Obrigado por me escolher e me agraciar, infinitamente amo você, minha Neneca.

Aos meus dois exemplos, que me conceberam a vida, Osair e Rosangela. Não encontro palavras para agradecer por tudo que fizeram e fazem por mim. Vocês são fonte imensurável de amor e sabedoria e, com certeza sem vocês nada sou.

A minha amada avó Geralda Campos de Faria (Dona Tatinha), obrigado por tudo, principalmente por nunca ter desistido de mim, a senhora sempre confiou mesmo quando até eu duvidava, hoje cumpro a minha promessa e espero que do céu possa ver a nossa conquista, te amo.

Aos meus padrinhos Bruno e tia Aurinha obrigado por me apoiarem na vida, amo vocês.

Aos meus irmãos Elisangela e Glênio, ao meu cunhado Vinícius e, aos meus sobrinhos Emanuel e Miguel. Obrigado por tudo, por serem a família que pedi a Deus.

As amadas sogrinhas Gisele e Marlucci, muito obrigado por tudo e por tanto. Vocês são fonte de inspiração. Gratidão eterna, amo vocês.

A bisa amada, Dona Mercedes, muito obrigado por tudo, e que esse agradecimento se estenda a toda família Damasceno, tenho um carinho imenso por todos.

Aos irmãos que a vida me deu Gustavo Morghan, Júlio Falcão, Wellington Batata, Camila, Ana Amélia, Cebolinha, Didão, Ricardo Freud, Hudson Chatuba, Larissa Frango e Paulo Borges, gratidão por tudo e, por nunca terem me abandonado nas horas difíceis e por sempre me ajudarem a superar tudo.

Aos queridos Alan Sakaguti, Danise, Alison Magrelo e Mara. Gratidão a Deus por existirem na minha vida.

Ao Dr. Nilo, obrigado por tudo, pela companhia e por ter me apoiado cuidando da minha saúde física e psicológica. Que Deus o abençoe.

Aos bons amigos Nilo, Juliana, Aaron, Renata e Bruno. Gratidão por tudo.

Aos verdadeiros amigos, que sempre estão ao meu lado, até nos momentos mais difíceis Fabrício, Igor e Carol. Grato por tudo e pela amizade que durará várias vidas.

Aos eternos e amados professores, Marlene, Vicente, Silvio, Gelse, Luiz Antônio, Salvino, Marisa, Flavio Guará, Josenilson, Carlão Caube, Camacho, Djalma, Alcione, Gerusa, Paulo Cezar Mendes, Manfred Fehr, João (SEC. DEGEO), José Fernando Tchako, Paulo de Tarso, Oswaldo Fritzons e, aos demais professores que com extrema competência me conduziram no caminho do saber e pra mim são fonte de respeito e admiração. Obrigado!

A amada equipe DIRE, Leticia, Rita, Eliane, Graciele, Marco Tulio, Kelly, Eliles, Leandro, Tatiana, Ana Paula, Tamara, Luzia, Meire e Aldo. Obrigado pela oportunidade de trabalhar e aprender a ver a educação de outra forma. Gratidão a cada um. Amo vocês.

A família do Centro Espírita Ensinaamentos de Jesus, Sidney, Renata, André, Camila, Victor, Lucas, Stelinha, Mara, Marcelo, Flavia G., Flávia R., Izabela, Thais, Janaina, Líbia, Poliana, Edna, Arloni, Fernanda, Leda, Gabriel, Divaldo, Rita, ou seja, a todos que abraçaram a minha família, que possamos caminhar juntos e evoluir nessa e em todas as vidas. Gratidão.

Agradeço a todos da minha família que de alguma forma sempre oram por mim.

A todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) do Instituto de Geografia (IG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) por me proporcionar a obtenção do título de doutor.

A todos que seguraram minhas mãos e aos que soltaram também, eu nunca os esquecerei...

RESUMO

Optou-se por desenvolver a presente tese para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba – Brasil, devido a sua importância para o contexto nacional, pois trata-se de uma bacia hidrográfica interestadual com uma área de drenagem de 222,6 mil km², abrangendo aproximadamente 2,6% do território brasileiro, tendo sua base econômica principalmente agrícola. Para tanto, deve-se repensar quanto à adoção de metodologias que possam auxiliar os diversos setores de planejamento (rural e/ou urbano) quanto a tomada de decisões assertivas. Assim, o balanço hídrico climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather (1955) vem sendo uma ferramenta indispensável, através da qual pode-se contabilizar a dinâmica da água no solo, ou seja, traz os fluxos correspondentes a entrada e saída da água, sendo este fator calculado ao longo do tempo. Desse modo, ressalta-se a importância em se determinar os períodos de deficiência, excedente, retirada e reposição hídricas. Buscando conhecer quanto a aplicabilidade do balanço hídrico climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather (1955), objetiva-se verificar sua dinâmica tempo-espacial, ou seja, avaliar sua dinâmica no tempo pretérito e, então, buscar avaliar prognosticamente. Para que o trabalho fosse realizado, utilizou-se um banco de dados composto por 10 estações climatológicas pertencentes ao INMET, contemplando uma série temporal e/ou histórica de 1991 a 2021, exceto a estação EC10 – Araxá que contemplou de 1991 a 2017, sendo esta estação adotada para a região sul da bacia visando assim compor uma melhor distribuição. O somatório total pluviométrico entre as estações adotadas foi de 412.697,0 mm e, ao analisar sazonalmente os totais médios pluviométrico observou-se que a média geral para o período considerado chuvoso foi de 1.283,4 mm, enquanto para o período seco foi de 202,6 mm, ou seja, a diferença entre ambos os períodos é de 1.080,9 mm, sendo este um valor médio considerado ideal para o período avaliado. Estatisticamente a análise tendencial proposta por Mann-Kendall indicou que a maioria das estações apresentaram TNSQ (tendência não significativa de queda), com exceção das estações EC01 – Brasília que apresentou TNSA (tendência não significativa de aumento) e a EC10 – Araxá com TSQ (tendência significativa de queda). Já os dados de temperatura (máxima, média e mínima), apresentaram maior amplitude na estação EC05 – Jataí totalizando 13,9°C. Após verificar os índices pluviométricos e de temperatura aplicou-se a análise pretérita do balanço hídrico climatológico (BHC), destacando que durante todo o período avaliado as estações EC01 – Brasília e EC10 – Araxá mantiveram-se bem abaixo da média geral pluviométrica e de temperatura da bacia hidrográfica e, estatisticamente avaliando a pluviometria pelo método de Mann-Kendall as estações EC06 – Paracatu e EC10 Araxá, apresentaram TNSA (tendência não significativa de aumento), enquanto as demais apresentaram TSA (tendência significativa de aumento), resultado este que desperta atenção para qualquer setor de planejamento. De forma individual constatou-se que estações EC06 – Paracatu, EC07 – Paranaíba, apresentaram maiores períodos de deficiência hídrica enquanto as demais demonstraram praticamente o mesmo período de deficiência hídrica. Prognosticamente, foi utilizado o relatório AR6 do IPCC e baseando-se no cenário SSP2 – 4.5, considerado mediano, constatamos que em todos os cenários prognósticos propostos haverá um aumento do déficit hídrico o que poderá caracterizar possíveis áreas de desertificação na bacia. Por fim, a caracterização tipológica climática da bacia a caracterizou preteritamente sobre a tipologia B1sA'a' e prognosticamente evoluiu entre os cenários proposto entre as tipologias C2sA'a', C1wA'a' e D2dA'a', caracterizando assim possíveis impactos climatológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico Climatológico, Caracterização Pretérita, Caracterização Prognóstica, Cenário Tendencial, Hidrologia climática tipológica, bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

ABSTRACT

It was decided to develop this thesis for the drainage basin of the Paranaíba River - Brazil, due to its importance for the national context, as it is an interstate drainage basin with a drainage area of 222.6 thousand km², covering approximately 2.6% of the national territory, with its economic base mainly agricultural. Therefore, it is necessary to rethink on a daily basis the adoption of methodologies that can help the various planning sectors (rural and/or urban) to make assertive decisions. With this in mind, the climatological water balance (BHC) proposed by Thornthwaite and Mather (1955) has been an indispensable tool, where, in a simplified way, one can account for the dynamics of water in the soil, i.e., it brings the flows corresponding to the inflow and outflow of water, and this factor is calculated over time. Seeking to know the applicability of the climatological water balance (BHC) proposed by Thornthwaite and Mather (1955), the objective is to verify all its temporal-spatial dynamics, i.e., to evaluate its dynamics in the past and then seek to evaluate it prognostically. For this work to be carried out, a database was used composed of 10 climatological stations belonging to INMET, contemplating a temporal and/or historical series from 1991 to 2021, except for the station EC10 - Araxá that contemplated from 1991 to 2017, and this station was adopted for the southern region of the basin in order to compose a better distribution. The sum total of rainfall among the adopted stations was 412,697.0 mm, and when analyzing seasonally the average rainfall totals it is observed that the general average for the period considered rainy was 1,283.4 mm, while for the dry period it was 202.6 mm, that is, the difference between both periods is 1,080.9 mm, which is an average value considered ideal for the period evaluated. Statistically, the trend analysis proposed by Mann-Kendall indicated that most stations presented TNSQ (non-significant tendency to decrease), with the exception of stations EC01 - Brasília that presented TNSA (non-significant tendency to increase) and EC10 - Araxá with TSQ (significant tendency to decrease). The temperature data (maximum, average and minimum), showed the greatest amplitude at station EC05 - Jataí totaling 13.9°C. After checking the rainfall and temperature indices, the climatological water balance (BHC) analysis was applied, highlighting that during the entire period evaluated the stations EC01 - Brasília and EC10 - Araxá remained well below the overall average rainfall and temperature of the watershed and, Statistically evaluating the rainfall by the Mann-Kendall method, stations EC06 - Paracatu and EC10 - Araxá, showed TNSA (no significant upward trend), while the others showed TSA (significant upward trend), a result that draws attention to any sector of planning. Individually, stations EC06 - Paracatu, EC07 - Paranaíba, showed longer periods of water deficiency while the others showed practically the same period of water deficiency. Prognostically, the IPCC AR6 report was used and based on the SSP2 - 4.5 scenario, considered to be median, we found that in all the proposed prognostic scenarios there will be an increase of the water deficit, which could characterize possible areas of desertification in the basin. Finally, the climatic typological characterization of the basin characterized it preteritatively on the typology B1sA'a' and prognostically evolved among the proposed scenarios among the typologies C2sA'a', C1wA'a' and D2dA'a', thus characterizing possible climatic impacts.

KEYWORDS: Climatological Water Balance, Past Characterization, Prognostic Characterization, Trend Scenario, Typological Climate Hydrology, Paranaíba River Basin.

RESUMEN

Se eligió desarrollar esta tesis para la cuenca hidrográfica del Río Paranaíba - Brasil, debido a su importancia para el contexto nacional, ya que se trata de una cuenca hidrográfica interestatal con un área de drenaje de 222,6 mil km², abarcando aproximadamente el 2,6% del territorio nacional, teniendo su base económica principalmente agrícola. Por lo tanto, es necesario repensar cotidianamente la adopción de metodologías que puedan auxiliar a los diversos sectores de planificación (rural y/o urbana) en la toma de decisiones asertivas. En este sentido, el balance hídrico climatológico (BHC) propuesto por Thornthwaite y Mather (1955) ha sido una herramienta indispensable, donde, de forma simplificada, se puede contabilizar la dinámica del agua en el suelo, es decir, aporta los flujos correspondientes a la entrada y salida de agua, y este factor se calcula a lo largo del tiempo. Buscando conocer la aplicabilidad del balance hídrico climatológico (BHC) propuesto por Thornthwaite y Mather (1955), se pretende verificar toda su dinámica temporal-espacial, es decir, evaluar su dinámica en el tiempo pasado y luego buscar pronóstico evaluar. Para el trabajo a ser realizado, fue utilizada una base de datos compuesta por 10 estaciones climatológicas pertenecientes al INMET, contemplando una serie temporal y/o histórica de 1991 a 2021, con excepción de la estación EC10 - Araxá que contempló de 1991 a 2017, y esta estación fue adoptada para la región sur de la cuenca buscando así componer una mejor distribución. La suma total de precipitación entre las estaciones adoptadas fue de 412.697,0 mm, y al analizar los totales medios de precipitación estacionalmente, se observa que el promedio general para el periodo considerado lluvioso fue de 1.283,4 mm, mientras que para el periodo seco fue de 202,6 mm, es decir, la diferencia entre ambos periodos es de 1.080,9 mm, valor medio considerado ideal para el periodo evaluado. Estadísticamente, el análisis de tendencia propuesto por Mann-Kendall indicó que la mayoría de las estaciones presentaron TNSQ (tendencia decreciente no significativa), con excepción de las estaciones EC01 - Brasília que presentó TNSA (tendencia creciente no significativa) y EC10 - Araxá con TSQ (tendencia decreciente significativa). Los datos de temperatura (máxima, media y mínima), presentaron mayor amplitud en la estación EC05 - Jataí totalizando 13,9°C. Después de verificar los índices de precipitación y temperatura, se aplicó el análisis del balance hídrico climatológico (BHC), destacándose que durante todo el periodo evaluado las estaciones EC01 - Brasília y EC10 - Araxá se mantuvieron muy por debajo del promedio general de precipitación y temperatura de la cuenca hidrográfica y, Evaluando estadísticamente la pluviometría por el método de Mann-Kendall, las estaciones EC06 - Paracatu y EC10 Araxá, presentaron una TNSA (tendencia al alza no significativa), mientras que las demás presentaron una TSA (tendencia al alza significativa), resultado que llama la atención de cualquier sector de planificación. Individualmente, las estaciones EC06 - Paracatu y EC07 - Paranaíba presentaron periodos más largos de deficiencia hídrica, mientras que las demás presentaron prácticamente el mismo periodo de deficiencia hídrica. Para el pronóstico se utilizó el informe AR6 del IPCC y en base al escenario SSP2 - 4.5, considerado como mediano, encontramos que en todos los escenarios de pronóstico propuestos habrá un aumento del déficit hídrico que podría caracterizar posibles áreas de desertificación en la cuenca. Finalmente, la caracterización climática tipológica de la cuenca la caracterizó lo pasado sobre la tipología B1sA'a' y pronósticamente evolucionó entre los escenarios propuestos entre las tipologías C2sA'a', C1wA'a' y D2dA'a', caracterizando así los posibles impactos climatológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Balance Hídrico Climatológico, Caracterización del Pasado, Caracterización Pronóstica, Escenario Tendencial, Hidrología Climática Tipológica, Cuenca del Río Paranaíba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos do Ciclo Hidrológico e/ou Ciclo da Água.....	38
Figura 2 – Aspectos de classificação de modelos hidrológicos.	51
Figura 3 – Representação da função exponencial para a retirada de água do solo.	61
Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Localização (2013).	72
Figura 5 – Unidades de gestão hídrica (UGHs) da bacia do rio Paranaíba.	75
Figura 6 – Unidades de gestão hídrica (UGHs) da bacia do rio Paranaíba.	76
Figura 7 – Unidades de gestão hídrica (UGHs) da bacia do rio Paranaíba.	77
Figura 8 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Embasamento Geológico / Estrutural.	80
Figura 9 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Características Geomorfológicas.	83
Figura 10 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Mapa Hipsométrico.....	85
Figura 11 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Classificação Pedológica.	88
Figura 12 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Classificação Pedológica.	90
Figura 13 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Biomas.	92
Figura 14 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Precipitação média anual.	98
Figura 15 - Site eletrônico do Sistema de informações do INMET utilizado para aquisição dos dados históricos de precipitação e de temperatura (máxima, média e mínima), Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.	106
Figura 16 - Site eletrônico do Sistema de informações do INMET: variáveis disponíveis para aquisição do banco de dados meteorológico.	107
Figura 17 - Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Localização das estações climatológicas utilizadas.....	108
Figura 18 – Processos do Ciclo Hidrológico e/ou Ciclo da Água.....	119
Figura 19 – Conjunto de Gráficos da variação média anual das médias nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021)...	149

Figura 20 – Conjunto de gráficos da variação média anual das máximas nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021)...	155
Figura 21 – Conjunto de gráficos da variação média anual das temperaturas mínimos apresentadas individualmente e comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	162
Figura 22 – Conjunto de gráficos das Estações Climatológicas - Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).....	191
Figura 23 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC01 - Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	192
Figura 24 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	195
Figura 25 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	197
Figura 26 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	199
Figura 27 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC05 – Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	202

Figura 28 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	204
Figura 29 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	206
Figura 30 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC08 - Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	208
Figura 31 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC09 - Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	210
Figura 32 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).	212
Figura 33 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).	214

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estados e Municípios constituintes da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP).....	73
Quadro 2 - Subdivisão Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.....	82
Quadro 3 – Projeções de temperatura de acordo com o cenário, em graus Celsius (°C).	121
Quadro 4 – Proposta classificatória por meio da análise quartílica dos dados da série histórica e/ou temporal (1991-2021) em Secos, Habituais e Chuvosos	135
Quadro 5 – Proposta classificatória por meio da análise Anos-Padrão dos dados da série histórica e/ou temporal (1991-2021).	140
Quadro 6 – Comparativo dos cenários prognósticos com a tipologia do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.	220

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Climograma da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1973-2011).	96
Gráfico 2 – Distribuição da precipitação média mensal na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	122
Gráfico 3 – Valor médio total da estação chuvosa de cada estação climatológica adotada comparados a média geral (1.283,4 mm) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	125
Gráfico 4 – Valor médio total da estação seca de cada estação climatológica adotada comparados a média geral (202,6 mm) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	125
Gráfico 5 – Média dos acumulados pluviométricos em cada estação (seca e chuvosa) de cada estação climatológica na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	126
Gráfico 6 – Precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	127
Gráfico 7 – Comparativo entre a pluviosidade anual e o desvio padrão.	128
Gráfico 8 – Desvio padrão com relação à precipitação média anual (1991-2021).	130
Gráfico 9 – Amplitudes da precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	131
Gráfico 10 – Média, mediana, moda, 1º quartil, 3º quartil e valores mínimo, médio e máximo das precipitações anuais que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	133
Gráfico 11 – Histograma das classes adotadas segundo o método Anos-Padrão (AP) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	138
Gráfico 12 – Variação das temperaturas médias mensais nas estações climatológicas comparadas a média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	147
Gráfico 14 – Variação média mensal das temperaturas máximas nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	153
Gráfico 16 – Variação média anual das temperaturas máximas (1991-2021).	157
Gráfico 17 – Variação mensal da temperatura mínima (°C) (1991-2021).	160

Gráfico 19 – Balanço hídrico climatológico da estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	166
Gráfico 20 – Balanço hídrico climatológico da estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	168
Gráfico 21 – Balanço hídrico climatológico da estação EC03 - Goiânia segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	170
Gráfico 22 – Balanço hídrico climatológico da estação EC04 - Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	172
Gráfico 23 – Balanço hídrico climatológico da estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	174
Gráfico 24 – Balanço hídrico climatológico da estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	176
Gráfico 25 – Balanço hídrico climatológico da estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	177
Gráfico 26 – Balanço hídrico climatológico da estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	179
Gráfico 27 – Balanço hídrico climatológico da estação EC09 – Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	181
Gráfico 28 – Balanço hídrico climatológico da estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).	183
Gráfico 29 – Balanço hídrico climatológico da BHRP, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	185
Gráfico 30 – BHRP – Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).	188
Gráfico 31 – BHRP –Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), inserindo os dados de temperatura (T). Média histórica de (1991-2021).	189
Gráfico 32 – BHRP – Evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).	189

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais aplicações para o processo de Modelagem Hidrológica.....	46
Tabela 2 – Principais aplicações para o processo de Modelagem Hidrológica (Continuação).	47
Tabela 3 – Relação entre as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica e respectivos modelos.....	48
Tabela 4 – Valores de correção mensal conforme a Latitude, proposto por Thornthwaite e Mather (1955).....	58
Tabela 5 – Chave inicial classificativa dos tipos Climáticos (<i>Rational Classification of Climate</i>), com base no Índice de Umidade (Iu), segundo Thornthwaite.....	64
Tabela 6 – Segunda chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices de aridez (Ia) e umidade (Iu) (OMETTO, 1981).....	65
Tabela 7 – Terceira chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices térmicos (It) (OMETTO, 1981).....	65
Tabela 8 – Terceira chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices térmicos (It) (OMETTO, 1981).....	66
Tabela 9 - Participação das Unidades Federativas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	71
Tabela 10 - Área ocupada pelas classes de solos mais representativas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.....	86
Tabela 11 - Classes de aptidão agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.....	89
Tabela 12 - Classes de aptidão agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.....	100
Tabela 13 - Relação das Estações Climatológicas (INMET) utilizadas para a análise da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.	105
Tabela 14 – Categorização Pluviométrica de acordo com a metodologia dos Anos-Padrão.	110

Tabela 15 – Proposta para classificação do índice tendencial de acordo com o modelo de Mann-Kendall para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.....	114
Tabela 16 – Médias mensais pluviométricas para as estações climatológicas (1991-2021).	123
Tabela 17 – Desvio padrão com relação à precipitação média anual (1991-2021), para as estações climatológicas adotadas.....	129
Tabela 18 – Valores de dispersão entre as médias anuais (1991-2021) das estações climatológicas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.....	132
Tabela 19 – Distribuição quantitativa e percentual dos anos secos, habituais e chuvosos, conforme a análise quartílica para as estações climatológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.	134
Tabela 20 – Distribuição quantitativa e percentual dos anos secos, habituais e chuvosos, conforme a análise quartílica para as estações climatológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.	137
Tabela 21 - Classificação do índice de tendencial do teste de Mann-Kendall.	141
Tabela 22 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices pluviométricos anuais (1991-2021).	142
Tabela 23 – Aplicação do método de Mann-Kendall para os índices pluviométricos mensais (1991-2021).	143
Tabela 24 –Amplitudes térmicas anuais (°C) das estações climatológicas (1991-2021).	145
Tabela 25 – Dados da amplitude térmica mensal (°C) das estações climatológicas (1991-2021).	146
Tabela 26 – Variabilidade da temperatura média mensal (°C) das estações climatológicas adotadas (1991-2021).	147
Tabela 27 – Análise geoestatísticas das temperaturas média das médias anuais (1991-2021).	150

Tabela 28 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices anuais de temperatura média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).....	151
Tabela 29 – Aplicação do método de Mann-Kendall para os índices de temperatura média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).....	152
Tabela 30 – Variabilidade média da temperatura média mensal (°C) das estações climatológicas adotadas (1991-2021).	153
Tabela 31 – Geoestatísticas das temperaturas máximas médias anuais (1991-2021).	157
Tabela 32 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices de temperatura média das máximas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	157
Tabela 33 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices de temperatura máxima das estações climatológicas avaliadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).	158
Tabela 34 – Variabilidade média mensal da temperatura mínima (°C) (1991-2021).....	159
Tabela 35 – Geoestatística do consolidado de temperaturas mínimas (1991-2021).	163
Tabela 36 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices médios anuais de temperatura mínima da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).....	163
Tabela 37 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	165
Tabela 38 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	167
Tabela 39 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	169
Tabela 40 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC04 - Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	171
Tabela 41 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	173

Tabela 42 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	175
Tabela 43 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	177
Tabela 44 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).....	178
Tabela 45 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC09 Unai, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	180
Tabela 46 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).	182
Tabela 47 – Balanço hídrico climatológico para a BHRP - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	185
Tabela 48 – Quantitativo dos componentes precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).	186
Tabela 49 – Quantitativo de ganho/perda do excedente hídrico da estação EC01 – Brasília, para os cenários propostos pelo IPCC,.....	193
Tabela 50 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC01 – Brasília, para os cenários propostos pelo IPCC.	194
Tabela 51 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC02 - Catalão, para os cenários propostos pelo IPCC.	196
Tabela 52 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC03 - Goiânia, para os cenários propostos pelo IPCC.	198
Tabela 53 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC04 – Ipameri, para os cenários propostos pelo IPCC.	200

Tabela 54 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC05 – Jataí, para os cenários propostos pelo IPCC.	202
Tabela 55 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC06 - Paracatu, para os cenários propostos pelo IPCC.	205
Tabela 56 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.	207
Tabela 57 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.	209
Tabela 58 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.	211
Tabela 59 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC10 – Araxá, para os cenários propostos pelo IPCC.	213
Tabela 60 – Quantitativo de ganho/perda do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.	215
Tabela 61 – Classificação climática para as estações climatológicas do INMET da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.	217

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	239
Anexo 2 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	240
Anexo 3 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	241
Anexo 4 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	242
Anexo 5 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	243
Anexo 6 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	244
Anexo 7 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	245
Anexo 8 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	246
Anexo 9 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	247
Anexo 10 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	248

Anexo 11 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	249
Anexo 12 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	250
Anexo 13 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	251
Anexo 14 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	252
Anexo 15 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC08 – Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	253
Anexo 16 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC08 – Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	254
Anexo 17 – Conjunto de gráficos extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC09 - Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	255
Anexo 18 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC09 - Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	256
Anexo 19 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	257
Anexo 20 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).	258

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

% - Percentual	J ou JUL - Julho
A ou AGO - Agosto	J ou JUN - Junho
AC – Ascensão Capitar	KM – Quilômetro
ALT – Alteração de Armazenamento	KM² - Quilômetro Quadrado
ANA – Agência Nacional de Águas	M ou MAI - Maio
AP – Anos Padrão	M ou MAR - Março
APP – Área de Preservação Permanente	mEc - Equatorial Continental
AR6 – Sexto relatório	MG – Minas Gerais
ARM – Armazenamento	MLT – Média de Longo Termo
ASR – Ano sem registro	Mm - milímetros
BHC – Balanço Hídrico Climatológico	MS – Mato Grosso do Sul
BHN – Balanço Hídrico Normal	MTAC – Massa Tropical atlântica Continentalizada
BHRP – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba	N – Norte
BHS – Balanço Hídrico Sequencial	N ou NOV - Novembro
C - Extremamente chuvoso	NAC – Negativo Acumulado
CAD – Limite máximo a ser armazenado no solo	Nº - Número
CE – Ceará	NW – Noroeste
CMIP6 - Projeto Intercomparação de Modelos Climáticos	O ou OUT - Outubro
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos	°C - Graus Celsius
D ou DEZ – Dezembro	P – Precipitação
DEF – Deficiência Hídrica	PCS – Pontos de Controle
DF – Distrito Federal	P-ETP – Precipitação menos evapotranspiração potencial
DR – Doutor	PR – Paraná
EC – Estação climatológica do INMET	PRHBP – Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paranaíba
ESE – Leste sudeste	RN – Radiação Líquida
ETP – Evapotranspiração Potencial	S - Extremamente seco
ETR – Evapotranspiração Real	S – Sul
EXC – Excedente Hídrico	S ou SET - Setembro
F ou FEV - Fevereiro	SE – Sudeste
GO – Goiás	SP – São Paulo
H - Habitual	SSP(1, 2, 3, 4, 5..) – Cenários de emissões
Ha – Hectare	ST – Sem Tendência
HTC - Habitual levemente tendente a chuvoso	TC - Tendente a chuvoso
HTS - Habitual levemente tendente a seco	TNSA – Tendência não significativa de aumento
IA – Índice de Aridez	TNSQ – Tendência não significativa de queda
IH – Índice Hídrico	TS - Tendente a seco
IM – Índice de Umidade	TSA – Tendência significativa de aumento
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia	TSQ – Tendência significativa de queda
IPCC - Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima	UGHS – Unidades de Gestão Hídricas
J ou JAN – Janeiro	UPHS – Unidades de Planejamento Hídrico

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	30
1.1	Objetivos	34
1.1.1	Objetivo Geral	34
1.1.2	Objetivos Específicos	34
1.2	Estrutura da Tese	35
2	REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL	37
2.1	O Ciclo Hidrológico.....	37
2.2	A importância do Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	39
2.2.1	Balanço Hídrico Climatológico (BHC) e o Setor de Planejamento Agrícola	40
2.2.2	Balanço Hídrico Climatológico e o Setor de Planejamento Urbano	43
2.3	Modelagem Hidrológica.....	45
2.3.1	Modelos hidrológicos	49
2.3.1.1	Classificação dos Modelos Hidrológicos	50
2.4	Balanço Hídrico Climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955)	53
2.4.1	Etapas da elaboração do BHC por Thornthwaite e Mather	56
2.4.2	Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948).....	63
2.5	IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS).	66
3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO	70
3.1	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - BHRP	70
3.2	Características do Embasamento Geológico / Estrutural.	78
3.3	Aspectos Geomorfológicos e Hipsométricos	81
3.4	Tipologias Pedológicas e Aptidão Agrícola	86
3.5	Atributos Fitofisiográficos	91
3.6	Propriedades Climáticas.....	94
3.7	Uso e ocupação dos solos.....	99
4	MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	102
4.1	Materiais	102
4.2	Elaboração do referencial teórico-metodológico-conceitual	103
4.3	Elaboração e organização do banco de dados	104

4.3.1	Seleção de dados pluviométricos e de temperatura (máxima, média e mínima) da rede de monitoramento Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	104
4.3.2	Preenchimento de possíveis falhas	109
4.4	Classificação dos Anos-Padrão (AP)	110
4.5	Análise estatística das séries temporais e/ou históricas (INMET)	111
4.5.1	Análise estatística das séries históricas (INMET) pelo modelo de Mann-Kendall 112	
4.5.2	Medidas estatísticas aplicadas na diagramação dos registros das séries temporais e/ou históricas	114
4.5.2.1	Medidas de tendência central Medida da Média Aritmética (MA) e Média Aritmética Ponderada (MAP)	114
4.5.2.2	Medidas de tendência central – Mediana e Moda	116
4.5.2.3	Medidas de variabilidade – Amplitude	117
4.5.2.4	Separatrizes – Análise Quartílica	117
4.6	Aplicação do Balanço Hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather (1955) ..	118
4.7	Análise Prognóstica de acordo com o sexto relatório (AR6) do IPCC.	120
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	122
5.1	Variabilidade pluviométrica	122
5.1.1	Variabilidade sazonal pluviométrica	122
5.1.2	Valor médio pluviométrico entre as estações chuvosas e secas.	124
5.1.3	Variabilidade anual pluviométrica.....	127
5.1.3.1	Classificação através do Índice de Anos Padrão (AP)	136
5.2	Análise estatística pelo método de Mann Kendall.....	141
5.2.1	Cenário tendencial anual dos índices pluviométricos através da aplicação do método de Mann-Kendall.	142
5.2.2	Cenário tendencial mensal dos índices pluviométricos através da aplicação do método de Mann-Kendall.	143
5.3	Análise da variabilidade de temperatura (máxima, média e mínima).....	144
5.4	Análise dos dados de temperatura média	146
5.5	Análise dos dados de temperatura máxima	152
5.6	Análise dos dados de temperatura mínima.....	158
5.7	Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Análise Pretérta.	164
5.7.1	BHC da estação climatológica EC01 - Brasília.....	164
5.7.2	BHC da estação climatológica EC02 – Catalão.	167

5.7.3	BHC da estação climatológica EC03 – Goiânia.....	169
5.7.4	BHC da estação climatológica EC04 – Ipameri.	171
5.7.5	BHC da estação climatológica EC05 - Jataí.....	173
5.7.6	BHC da estação climatológica EC06 – Paracatu.....	175
5.7.7	BHC da estação climatológica EC07 - Paranaíba.	176
5.7.8	BHC da estação climatológica EC08 – Pirenópolis.	178
5.7.9	BHC da estação climatológica EC09 – Unaí.....	180
5.7.10	BHC da estação climatológica EC10 – Araxá.....	182
5.7.11	BHC da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.....	184
5.7.12	Análise dos componentes precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR).	186
5.8	Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Análise Prognóstica.....	
		192
5.8.1	Análise Prognóstica da estação climatológica EC01 - Brasília.....	192
5.8.2	Análise Prognóstica da estação climatológica EC02 - Catalão.	195
5.8.3	Análise Prognóstica da estação climatológica EC03 - Goiânia.....	196
5.8.4	Análise Prognóstica da estação climatológica EC04 - Ipameri.....	198
5.8.5	Análise Prognóstica da estação climatológica EC05 - Jataí.....	201
5.8.6	Análise Prognóstica da estação climatológica EC06 - Paracatu.....	203
5.8.7	Análise Prognóstica da estação climatológica EC07 - Paranaíba.....	205
5.8.8	Análise Prognóstica da estação climatológica EC08 – Pirenópolis.	208
5.8.9	Análise Prognóstica da estação climatológica EC09 - Unaí.....	210
5.8.10	Análise Prognóstica da estação climatológica EC10 Araxá.....	212
5.8.11	Análise Prognóstica do consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. .	214
5.9	Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Caracterização Climática.	216
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	222
7	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	227
8	ANEXOS.....	239

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na atual conjuntura global, tem aumentado a preocupação quanto aos fatores que atuam direta e indiretamente nas dinâmicas climáticas e, para tanto, o clima deverá ser compreendido como o elemento que catalisa toda a dinâmica natural, reverberando também em toda a dinâmica da sociedade por meio de suas mudanças globais. Por isso, avaliar possíveis impactos frente as mudanças climáticas, acaba tornando-se um grande desafio para a comunidade acadêmico-científica.

Dentre os recursos naturais, o elemento água é o que possui maior significância para as sociedades, pois é um valor que primeiro é estimado devido a sua finitude, e depois passa a ser aplicado devido a sua presença em todas as atividades necessárias para a existência de vida no planeta Terra.

Conforme afirmam Horikoshi; Fisch (2007) e Santos *et al.* (2010), deve-se repensar quanto ao uso consciente dos recursos hídricos, avaliando a sua distribuição espacial e temporal, aferindo parâmetros que sejam capazes de calcular a disponibilidade hídrica e estabelecer ações metodológicas e políticas para gestão hídrica.

Nota-se que o balanço hídrico climatológico, surge como importante ferramenta, capaz de mensurar a disponibilidade hídrica regional. Para tanto, proposta metodológica de Thornthwaite e Mather (1955) acaba ganhando destaque devido a sua usualidade.

A metodologia em questão, parte da premissa de que o armazenamento de água no solo é limitado, e dentro deste contexto, destaca-se a precipitação e a evapotranspiração, visto que

através da sua devida quantificação é possível calcular o balanço hídrico climatológico, o qual pode ser aplicado em regiões de diferentes condições climáticas.

Portanto, o cálculo do balanço hídrico climatológico baseia-se no cálculo da evapotranspiração potencial, que é dividida em duas componentes distintas: a evaporação direta e a transpiração. Estas são determinadas com base na temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento. O balanço hídrico climatológico é, então, calculado pela diferença entre a precipitação e a evapotranspiração.

Vale realçar que para executar a proposta de Thornthwaite e Mather (1955), utiliza-se apenas três variáveis: a quantificação da precipitação (P), a determinação do limite máximo a ser armazenado no solo (CAD), que pode variar de 25 mm a 400 mm e, por último, a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP).

Com os resultados obtidos, o próprio modelo calculará a evapotranspiração real (ETR) e os processos de deficiência, excedente, retirada e reposição hídricas, contemplando assim o período proposto a ser analisado.

Nesse cenário a bacia hidrográfica ganha seu espaço como unidade de análise. As suas características físicas, hidrológicas e hidrográficas permitem partir da delimitação do espaço físico efetuar análises qualitativas e quantitativas das possíveis interações físicas, climáticas e sociais.

Para tanto, a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba foi escolhida como território de estudo da presente tese, e se destaca dentro do contexto nacional como sendo a segunda maior unidade da região hidrográfica do Paraná. Ela abrange aproximadamente 2,6% do território nacional e totaliza uma área de 222.592,5 km². É considerada uma bacia hidrográfica interestadual, que abrange os estados de Goiás com 63,3%, Mato Grosso do Sul com 3,4% e Minas Gerais 31,7%,

além do Distrito Federal com 1,6%, abrangendo aproximadamente 197 municípios, mais o Distrito Federal.

Compreender e monitorar as condicionantes de armazenamento de água nos solos, dentro do contexto da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba justifica a presente tese, pois permite por meio operacional rico em análises geoestatísticas somado a aplicabilidade do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955), resultar indicadores que apontam a disponibilidade hídrica regional.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2022), por meio do sexto relatório (AR6), apresentou uma nova série através de cenários de emissões denominado CMIP6 – Projeto Intercomparação de Modelos Climáticos, na sexta versão. O CMIP6 foi estruturado por meio de cinco cenários, sendo dois cenários correspondentes a baixas emissões SSP1 – 1.9 e SSP1 – 2.6, um referente a médias emissões SSP2 – 4.5 e dois que abrangem as altas emissões SSP3 – 6 e SSP5 – 8.5. Acredita-se que entre 2081 e 2100 a temperatura global irá ser 1,0°C a 1,8°C se comparada ao melhor cenário que ocorreu entre 1850 e 1900 e estará aproximadamente entre 3,3°C a 5,7°C mais elevada se for comparada ao cenário mais alta.

Para tanto, na presente tese, utilizou-se para análises prognósticas de temperatura o cenário do IPCC, denominado cenário intermediário e categorizado como SSP2-4.5.

O cenário intermediário SSP2-4.5, é subdividido em três categorias, sendo a primeira denominada curto prazo compreendendo uma análise prognóstica para o período que abrange 2021 a 2040 e, para tanto, mantém-se estimativa central de 1,5°C, embora estime-se em uma variação muito provável de 1,2 °C a 1,7 °C.

A segunda categoria é denominada médio prazo e abrange uma análise prognóstica que vai de 2041 a 2060 e, para tanto, mantém-se uma estimativa central de 2,0 °C, visto que, poderá ocorrer

uma variação provável entre 1,6 °C e 2,5 °C. A terceira categoria denominada longo prazo, visa uma análise prognóstica que abrange o período que vai de 2081 a 2100, para tanto, utilizar-se-á uma estimativa central de 2,7 °C com uma variação muito provável de 2,1 °C a 3,5 °C.

De acordo com AR6, em todos os cenários e/ou categorias propostas, a marca estabelecida de 1,5°C corresponderá ao limite estabelecido pelo Acordo de Paris, visto que a mesma será ultrapassada entre 2021 e 2040.

Em resumo, nota-se a necessidade em realizar análises comparativas entre o cenário atual, comparando-as com os cenários prognósticos e associando-os a aplicabilidade do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955), para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Sendo assim, deve-se efetivamente atender os seguintes objetivos propostos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

A presente tese tem como objetivo geral aplicar o Balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955) no tempo pretérito e prognóstico, bem como realizar a classificação climática de acordo com o método proposto por Thornthwaite (1948), para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos incidem em:

- Avaliar as variáveis referentes a temperatura (máxima, média e mínima) e pluviometria, obtidas por meio das estações climatológicas do INMET;
- Analisar os cenários tendenciais de forma qualitativa e estatística por meio do método Mann-Kendall, para as dinâmicas pluviométricas e de temperatura da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba;
- Efetuar o cálculo do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), permitindo assim efetuar a análise pretérita do cenário denominado atual (1991-2021), bem como analisar prognosticamente os cenários propostos pelo AR6 do IPCC 2022, sendo estes os cenários: curto prazo (2021-2040), médio prazo (2041-2060) e longo prazo (2081-2100) para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba;
- Aplicar a caracterização climática por meio da proposta de Thornthwaite (1948).

1.2 Estrutura da Tese

A primeira parte, intitulada “Considerações Iniciais”, apresentará pontos relevantes, bem como destacará os objetivos a serem alcançados pela presente tese.

Posteriormente, ficou representado no capítulo 2, intitulado “Referencial Teórico Conceitual”, trazendo a importância do balanço hidrológico e climatológico para os setores de planejamento urbano e agrícola. O presente capítulo destaca os principais aspectos referentes a modelagem hidrológica e suas aplicações voltadas ao trabalho com séries históricas e/ou temporais. Ao final, discute-se a devida importância do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), bem como apresenta os passos necessários para uma possível caracterização tipológica climática de acordo com Thornthwaite (1948).

O capítulo 3 denominado “Caracterização Física da Área de Estudo”, apresenta de forma descritiva a importância da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba para o contexto nacional e regional, pontuando a sua localização, seus aspectos físicos como geologia, geomorfologia, pedologia etc., bem como os aspectos climatológicos e de uso e ocupação dos solos.

Os materiais e procedimentos metodológicos foram dispostos no capítulo 4, que aponta as metodologias utilizadas para atingir os objetivos propostos, bem como a seleção de dados climatológicos, destacando todas as etapas para a consolidação e validação.

Posteriormente o referido capítulo é dedicado ao modelo estatístico adotado (Mann-Kendall) que foi aplicado nas séries temporais e/ou históricas adotadas e, para concluir os procedimentos metodológicos dedicar-se-á a aplicabilidade pretérita e prognóstica da proposta de Thornthwaite e Mather (1955) para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

O Capítulo 5, denominado “Resultados e Discussões”, traz as principais análises feitas e, consigo, os resultados encontrados, tendo as principais análises sobre os principais elementos climáticos abordados no balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), buscando assim, representar o cenário presente, viabilizando assim avaliar cenários de projeções futuras.

Nas “Considerações Finais”, apresentam-se os pontos relevantes e de destaque que foram detectados durante as análises e resultados obtidos durante todo o desenvolvimento da presente tese.

O penúltimo capítulo 7, foi denominado “Referencial Bibliográfico” que tem a função de apresentar toda a base teórico e conceitual importantes para as etapas metodológicas.

Por fim, o último capítulo 8, denominado Anexos, trará gráficos com informações importantes das estações climatológicas que foram utilizadas sinteticamente na presente tese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL

Esse capítulo apresenta a revisão teórico conceitual sobre o tema escolhido. Destacam-se aspectos importantes quanto ao Balanço Hídrico Climatológico que serviram como base sólida para o desenvolvimento da presente tese e auxiliou na discussão dos resultados obtidos.

2.1 O Ciclo Hidrológico

A abrangência quanto as dinâmicas que compõe o ciclo hidrológico, trazem a afirmativa adequada quanto a evolução constante dos avanços técnicos e científicos capazes de estabelecer parâmetros qualitativos e quantitativos cada vez mais eficientes, almejando assim, uma melhor análise das partes constituintes. Todavia é indiscutível não considerar que a água principalmente líquida é extremamente limitada e, é o recurso natural indispensável para a manutenção da vida terrestre (VICTORINO, 2007).

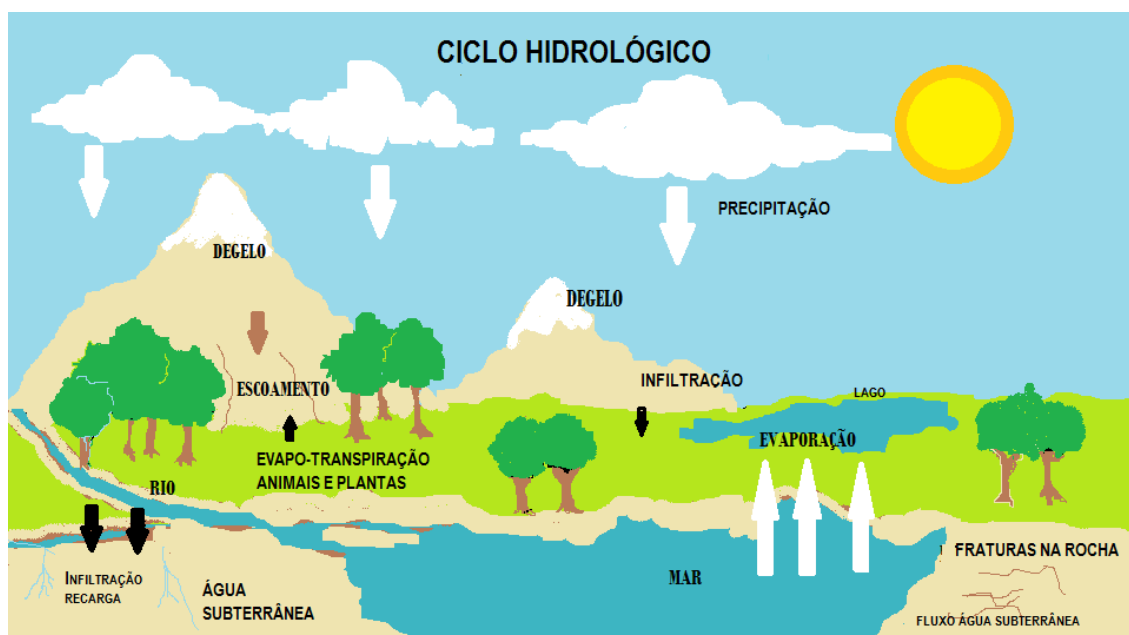
É compreendido que a água existente no planeta Terra se encontra distribuída em três reservatórios (atmosfera, oceanos e continentes), o que faz com que o seu movimento seja dinâmico e constante. Esse movimento dinâmico e constante tem sua origem na energia radiante do sol e, concomitantemente, é apoiado pela ação da gravidade e do movimento de rotação da Terra (SILVEIRA, 2013).

Esse sistema é denominado ciclo hidrológico e/ou ciclo da água, conforme apresentado na figura 1, fazendo assim jus ao movimento natural de massas de água, sabendo que esses se encontram em diversos estados físicos (sólido, líquido e gasoso), e são distribuídos na superfície e na atmosfera terrestre (SILVA, 2002).

Sendo assim, de acordo com Rodrigues e Menciondo (2013, 77), os processos que englobam o ciclo hidrológico podem ser exemplificados da seguinte forma:

A evaporação, que através da energia solar eleva a água presente nos continentes e oceanos para a atmosfera; a condensação, onde o vapor de água forma nuvens que ficam suspensas no ar; a precipitação, que é definida, na sua forma habitual, como a chuva, onde através da gravidade a água condensada cai sobre a superfície terrestre; o escoamento, que pode ser superficial, escoando a água para os rios ou sobre a superfície do solo, ou subterrâneo, através da infiltração recarregando as águas subterrâneas nos aquíferos; a infiltração, que ocorre em superfícies porosas, em que a água é drenada através dos vazios; e a evapotranspiração.

Figura 1 – Processos do Ciclo Hidrológico e/ou Ciclo da Água.



Fonte: Adaptado de Observatório Histórico Geográfico (2018).

A evapotranspiração, conforme abordada por Carvalho e Silva (2006), e por Tucci (2012), é compreendida como a etapa que fecha a dinâmica do ciclo hidrológico. Portanto, é qualificada por meio da transpiração da vegetação, visto que a transpiração vegetal somente é possibilitada mediante a absorção da água que se encontra infiltrada nos solos por meio das raízes devolvendo-a à atmosfera.

Por isso, o ciclo hidrológico e as diversas fases que o compreendem deverão ser vistas como sendo um processo totalmente natural e dotado de continuidade, sendo assim, impossível apontar o seu início e/ou fim (FACCO, 2008).

Uma característica não menos importante do ciclo hidrológico foi apresentada por Tundisi (2003) e pauta-se nos padrões de mobilidade e instabilidade do volume de água estão presentes em qualquer um dos diversos reservatórios superficiais e/ou subsuperficiais.

Diante o que já foi exposto, a água, bem como a sua disponibilidade, vem constantemente sofrendo influências severas, estas são acentuadas principalmente quanto a emergente demanda desse recurso nos diversos sistemas naturais ou antropizados.

É então necessário o gerenciamento efetivo dos recursos hídricos, pois tende a colaborar quanto a redução dos processos de escassez e de mitigação de conflitos. Desta forma, os níveis que compõe o ciclo hidrológico correlacionados às atividades antrópicas merecem ser avaliados minuciosamente, pois podem fornecer subsídios decisivos quanto a tomadas de decisões (SANTOS *ET AL.*, 2021).

2.2 A importância do Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

Nota-se que a demanda da humanidade frente aos recursos hídricos tem aumentado exponencialmente e, na atualidade, chama atenção para a necessidade de adoção de processos metodológicos que realmente auxiliem o desenvolvimento técnico e científico, que sejam mitigadores quanto ao uso eficiente dos recursos hídricos.

Diante desse contexto emergencial tem-se observado o surgimento de diversas metodologias e, no entanto, a proposta do balanço hídrico climatológico (BHC), acaba sendo uma importante ferramenta que irá auxiliar os diversos setores de planejamento (HORIKOSHI E FISCH, 2007).

Para que possamos melhor compreender o balanço hídrico climatológico (BHC), considera-se significativamente as características edafoclimáticas, ou seja, as características físicas regionais como o relevo, a geologia, pedologia, cobertura dos solos etc., associando-as às características climáticas regionais como a temperatura, a precipitação, a radiação solar, a direção dos ventos, entre outros (LOPES; MELO; LEAL, 2017).

Desta forma, Tucci (2012) propõem que o balanço hídrico climatológico (BHC) seja compreendido:

Como sendo a diferença entre as componentes de entrada e saída do ciclo hidrológico, sendo esses: precipitação, infiltração, movimento de água no perfil do solo (ascendente ou descendente), deflúvio total (escoamento superficial: direto, subsuperficial e subterrâneo), evaporação e transpiração.

Portanto, o balanço hídrico climatológico (BHC) necessita, então, ser avaliado de forma qualitativa e principalmente quantitativamente, uma vez que tal análise permitirá a proposição de estimativas reais do que tende a entrar e a sair de água num determinado espaço de tempo em um volume aparente de solo (AGUIAR *ET AL.*, 2009; AQUINO, 2013).

Os resultados obtidos por meio do balanço hídrico climatológico (BHC), vão subsidiar qualquer setor de planejamento rural e/ou urbano, que devidamente estejam contemplando as dinâmicas dos recursos hídricos (SILVA, 2019).

2.2.1 Balanço Hídrico Climatológico (BHC) e o Setor de Planejamento Agrícola

Conforme afirma Aguiar (2004), o setor de planejamento agrícola devido ao seu crescimento será o setor que mais se beneficiará quanto a aplicabilidade do balanço hídrico climatológico (BHC).

Tucci e Beltrame (2009), evidenciam que para o setor de planejamento agrícola é primordial conseguir prever as entradas e as saídas de água, considerando que as entradas são provenientes da precipitação em suas diversas formas (orvalho, granizo, neve etc.), e as saídas ocorrem por meio do escoamento superficial e/ou subsuperficial e por meio da evapotranspiração.

O balanço hídrico climatológico (BHC) e sua aplicabilidade efetuada de forma efetiva, conforme aponta D'Angiolella *et al.* (2005), possibilitará estimar os valores da precipitação/evapotranspiração gerando estimativas quanto à quantidade de água que se encontra disponível para as plantas durante um ano hidrológico.

Medeiros *et al.* (2012), por sua vez, consideraram que vale acrescentar aos componentes do balanço hídrico climatológico os processos artificiais de irrigação, como mais uma forma de entrada de água no sistema, vindo então, a proporcionar melhores condições para a estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo.

Neste contexto, outro fator importante para o setor de planejamento agrícola está na delimitação dos períodos caracterizados como períodos de déficit hídricos e de excessos hídricos (cheias e secas) e, utilizando-se do BHC, poderá vir a adequar as etapas que englobam a cadeia produtiva (MORANDO *et al.*, 2014).

Holanda *et al.* (2021) apresentam a relação entre o BHC e períodos de déficits e excessos hídricos:

O balanço hídrico climatológico, sobre o déficit de água ou o aumento, pode reduzir a produção e/ou a qualidade do produto, enquanto o excesso de irrigação, além das perdas de água e energia, pode contribuir para a lixiviação dos nutrientes e agroquímicos para as camadas inferiores do solo ou atingir o lençol freático. Em regiões áridas e semiáridas, o uso inadequado da irrigação pode levar também à salinização do solo. Por outro lado, através do planejamento e manejo adequado, pode-se determinar a quantidade de água de uma cultura, isso implica em estudos de levantamentos de solos, clima e fatores culturais.

Todavia, todo o setor de planejamento agrícola viverá sempre à mercê do clima e dos elementos climáticos que o compõem, uma vez sabendo que ele é extremamente sensível as variabilidades climáticas, pois afetam direta e indiretamente os demais setores de planejamento, sejam naturais, sociais e econômicos (MIRO *Et Al.*, 2012).

Dantas *et al.* (2007), reforça a importância que há entre a relação cultura/clima com a aplicabilidade do BHC, o que resultará em uma melhor adequação do cultivo frente as condições climáticas.

Por tanto, o zoneamento agroclimático, os projetos de irrigações, o dimensionamento de reservatórios, as avaliações de padrões de drenagem e etc., esperam que as correlações cultura/clima e balanço hídrico sejam estabelecidas de acordo com padrões sustentáveis que priorizem cada vez mais a qualidade, produção e conservação e/ou preservação dos recursos naturais (WUTKE *ET AL.*, 2000).

Nesse sentido, vários pesquisadores têm utilizado o BHC, correlacionando-o com o setor de planejamento agrícola, tais como os estudos desenvolvidos por Souza e Frizzzone (2007) que buscaram aferir a simulação do BHC para o cultivo do cafeeiro nas regiões de Lavras e Uberlândia no estado de Minas Gerais. Carvalho (2008) também associou o BHC aplicando-o ao uso eficiente de água na produção cafeeira na região de Piracicaba/SP. Ferreira (2014) fez uso do BHC no município de São domingos das Dores/MG, aplicando-o à produção de café. Facco (2008) avaliou o BHC em uma microbacia hidrográfica que desenvolvia o plantio de eucalipto em Viçosa/MG. Em Ponta Grossa/PR, Moraes & Galvani (2012) aplicaram o balanço hídrico climatológico (BHC) para o planejamento agrícola e hidrológico. Maia (2016) utilizou o balanço hídrico climatológico (BHC) como ferramenta de suporte na adoção de decisões na restauração florestal na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba. Quirino *et al.* (2017) aplicou o balanço hídrico climatológico (BHC) associando-o ao uso do sensoriamento remoto na cultura

de cana-de-açúcar em Santo Antônio de Goiás. Pereira *et al.* (2019) aplicaram o balanço hídrico climatológico (BHC) para avaliar o planejamento agroclimático do município de Rio Verde no estado de Goiás. Rodrigue *et al.* (2019) avaliaram o cultivo do Feijão-Caupi sob a influência do controle do processo de irrigação associada ao balanço hídrico climatológico (BHC). O trabalho proposto por Silva *et al.* (2020) utilizou o balanço hídrico climatológico (BHC) para a elaboração do planejamento agropecuário da região de Sobral no Ceará. Matos *et al.* (2020) estimou o balanço hídrico climatológico normal (BHN) e sequencial (BHS) no município de Barbalha/CE, visando a disponibilizar informações para o planejamento agrícola da região. Finalmente, Vale (2021) avaliou extremos climáticos e balanço hídrico climatológico (BHC), destacando seus reflexos na produção agrícola para o estado do Rio Grande do Norte.

Conforme apresentado além dos autores referendados, há várias outras publicações disponíveis física e digitalmente que validam ainda mais o emprego do balanço hídrico climatológico (BHC) no setor de planejamento agrícola.

2.2.2 Balanço Hídrico Climatológico e o Setor de Planejamento Urbano

Ao se tratar do o balanço hídrico climatológico (BHC), bem como relacionar a sua aplicabilidade ao setor de planejamento urbano, deve-se inicialmente ter a consciência de que qualquer possível transformação do meio natural pelo meio antrópico, inserindo elementos como estradas, construções, edificações, alterações nos relevos, mudanças nas capacidades hidrológicas (desvio e canalização dos rios), impermeabilização dos solos etc., tendem a efetuar complexas modificações na dinâmica do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, afeta direta e indiretamente a sua aplicabilidade (CARVALHO, 2016).

Ciente de tal premissa Rutkowski (1999), afirma que o comportamento dinâmico do ciclo hidrológico é um fator determinante para avaliar como cada região se mantém sustentando as atividades antrópicas que dependem diretamente dos recursos hídricos.

Percebe-se que grande parte dos recursos hídricos em ambientes antropizados são captados superficialmente, sendo a água que se encontra em subsuperfície, geralmente utilizada industrialmente e/ou para fins de abastecimento (BENINI; MEDIONDO, 2015).

Monteiro *et al.* (2020), acrescenta que reflexo da crescente urbanização pode ser vislumbrado pelo aumento de água que escoar superficialmente e, também pela redução na quantidade de água que se infiltra, resultando em impactos significativos como: enxurradas, alagamentos e falta de abastecimento nos aquíferos.

Ainda de acordo com o mesmo autor *op cit.*, todos os fenômenos que afetam direta ou indiretamente os processos hidrológicos em uma região considerada urbanizada crescerão de forma exponencial devido à falta e/ou ausência de um planejamento urbano adequado.

Desta forma, a ausência de implantação de planos de infraestrutura adequados faz com que ocorra um processo de crescimento urbano e de ocupação do meio natural de forma desordenada, vindo a comprometer ainda mais as características e os recursos naturais existentes (AMORIM, 2013).

Sant'Anna Neto (2013), aponta que o setor de planejamento urbano também se encontra à mercê das condições climáticas originárias das possíveis articulações existentes entre os processos físicos-naturais e os processos socioeconômicos. O que Amorim (2013) e Gomes *et al.* (2020) caracterizaram como sendo clima antrópico demonstra que o meio urbano é capaz de gerar o próprio clima em escala local.

Percebe-se então, que o uso do balanço hídrico climatológico (BHC) será de fundamental importância na adoção de análises prognósticas, pautadas na prevenção e/ou minimização das constantes alterações oriundas das dinâmicas urbanas (YOSHIMOTO; SUETSUGI, 1990).

Sendo assim, de acordo com Carvalho *et al.* (2011) há uma emergente necessidade de se adotar o balanço hídrico climatológico (BHC) como ferramenta capaz de auxiliar o setor de planejamento urbano na tomada de decisões pautadas na prevenção de riscos de forma a permitir a mitigação de alagamentos, inundações, deslizamentos entre outros.

2.3 Modelagem Hidrológica

O ciclo hidrológico é dotado de grande complexidade, principalmente quando se atém à quantidade de processos que o compõe, diuturnamente estão sob a influência de diversos fatores como: uso e ocupação do solo, variabilidades climáticas, aspectos vegetacionais, diversidades topográficas e entre outros (FILHO *et al.*, 2012).

Conforme expresso por Gayathri, Ganasri e Dwarakish (2015), deve-se levar em consideração que na atualidade temos um processo de expansão descontrolada da urbanização, fator que tem gerado impasses na compreensão dos processos hídricos e hidrológicos.

Visando a suprir tais impasses a modelagem hidrológica busca retratar sistematicamente a realidade e, para tanto, descreve e analisa o comportamento espacial de variável(is) e/ou fenômeno(s). Todavia, se devidamente for aplicada poderá compor um conjunto de ações importantes na tomada de decisões que envolvam as questões ambientais (SONG, *et al.*, 2015).

Categorizada como sendo “uma proposição simplificada da natureza a modelagem hidrológica tem o intuito de trazer o conhecimento de um fenômeno”, ressaltando-se que existe uma diversidade de modelos que têm auxiliado o trabalho efetivo, visto que, os fenômenos naturais

são dotados de uma quantidade imensurável de incertezas (BATCHELOR, 1994; SINGH et al., 1995).

Considerando então uma abordagem genérica quanto a modelagem hidrológica, nota-se que ela permitirá o ordenamento de ações pautadas nas reproduções de cenários pretéritos e também irá permitir a realização de análises prognósticas desses cenários, permitindo assim correlações entre o passado, presente e futuro (MORAES, 2003).

Nesse contexto, Lou (2010) e Filho *et al.* (2012) defendem que a modelagem hidrológica surge com o intuito de também promover o preenchimento de lacunas existentes, bem como permear a avaliação das propostas metodológicas existentes e, se necessário, propor novas e adequadas metodologias.

Para tanto, os mesmos autores *op cit.*, elencam na tabela 1, as principais aplicabilidades para a modelagem hidrológica.

Tabela 1 – Principais aplicações para o processo de Modelagem Hidrológica

APLICAÇÕES	DESCRIÇÃO
ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA E PREENCHIMENTO DE FALHAS	Devido à facilidade de operação e custo, é normal existirem séries mais longas de precipitação do que de vazão. Portanto, através do modelo é possível, após o ajuste, estender a série de vazão com base na precipitação. O modelo também é utilizado para analisar a consistência da curva-chave, dos níveis e precipitações observados, além de permitir a verificação de alterações no rio e na bacia;
PREVISÃO DE VAZÃO	O controle de cheia, a operação de obras hidráulicas, a navegação, entre outros, depende do conhecimento antecipado da ocorrência da vazão. Esse tipo de estimativa da vazão pode ser obtido com base na precipitação conhecida, na vazão de um posto de montante ou na correspondente combinação. As características da simulação para esse objetivo são diferentes das demais, no entanto, modelos semelhantes podem ser utilizados, mas com estruturas computacionais diferentes. O modelo de previsão em tempo atual deve buscar utilizar ao máximo as informações disponíveis no momento da previsão, atualizando parâmetros e/ou variáveis.

Tabela 2 – Principais aplicações para o processo de Modelagem Hidrológica (Continuação).

DIMENSIONAMENTO E PREVISÃO DE CENÁRIOS DE PLANEJAMENTO:	Conhecida a precipitação, e o risco de sua ocorrência, é possível estimar a vazão resultante para cenários de uso e modificação da bacia, visando ao dimensionamento ou planejamento de alternativas de desenvolvimento do sistema. Nesse caso, os modelos hidrológicos utilizados podem ter algumas limitações, quanto à simulação de certos cenários de desenvolvimento diferentes daquele do ajuste, como, por exemplo, a modificação do uso do solo.
EFEITOS RESULTANTES DA MODIFICAÇÃO DO USO DO SOLO	A análise do escoamento resultante da modificação do uso do solo é um problema complexo que requer uma metodologia mais sofisticada que as utilizadas nas aplicações anteriores. Os modelos existentes para modificações do solo são, em sua maioria, conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e logo os parâmetros acabam se relacionando mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia. Mesmo nessas condições, os parâmetros englobam várias características da bacia, o que dificulta qualquer análise quanto ao resultado da modificação de qualquer característica da bacia. Isso ocorre, por exemplo, com o desmatamento de grandes áreas, com a urbanização acentuada da bacia, entre outros. Modelos que representam o processo físico em maior detalhe e com menor empirismo, apresentam sérias limitações devido à heterogeneidade da bacia.

Fonte: Lou (2010). **Adaptado:** Filho *et al.* (2012).

Pode-se observar que a modelagem hidrológica vem se tornando importante ferramenta para qualquer setor de planejamento (urbano e/ou rural), suportando-o conceitual e metodologicamente.

Nesse enfoque, Fayal (2008) e Filho *et al.* (2012) apresentam na tabela (3), as principais áreas de planejamento que são diretamente apoiadas pela aplicabilidade dos modelos que compõem a modelagem hidrológica.

Tabela 3 – Relação entre as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica e respectivos modelos.

ÁREA	FOCO	PRINCIPAIS MODELOS
DESENVOLVIMENTO URBANO	Abastecimento de água: regularização, adução, tratamento e distribuição.	Precipitação-vazão; balanço de reservatório; modelo Hidráulico da rede de condutos.
	Tratamento de esgoto: rede de coleta, tratamento, despejo do afluente, impacto ambiental do afluente em rios, lagos, reservatórios e oceanos.	Hidráulica da rede coletora; qualidade da água de rios, reservatórios, lagos e estuários.
	Drenagem urbana e controle de cheias: redes pluviais, obras hidráulicas e previsão de enchentes.	Precipitação-vazão para dimensionamento e previsão de cheias; amortecimento em reservatório; remanso de rios e canais; qualidade da água de redes pluviais.
ENERGIA	Projeto e operação de hidrelétricas: disponibilidade hídrica, regularização para energia firme, projeto de vertedores, diques, condutos, previsão de afluência de vazões e operação hidráulica dos reservatórios em tempo real.	Precipitação-vazão para extensão de série temporal e previsão em tempo real para operação do sistema ; balanço de reservatórios; hidráulico de rios e canais; modelo de dispositivos hidráulicos.
TRANSPORTE	Navegação: canal de navegação; barragem e eclusa; manutenção dos sistemas; níveis e calados; portos.	Precipitação-vazão para estimar a vazão; modelos de rios para estimativa do calado e de operação de barragem.
CONTROLE DE CALAMIDADES	Rompimento de barragens: eventos críticos.	Modelos hidráulicos de rompimentos de barragens; modelos precipitação-vazão e vazão-vazão em tempo real para estiagens e cheias. Cheias: alerta da população ribeirinha. Estiagens: racionamento para abastecimento urbano e irrigação.
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SISTEMA DE INFORMAÇÕES	Concessão do uso da água. Controle do uso e conservação da água. Cadastro de usuários. Monitoramento de variáveis hidrológicas.	Modelos precipitação-vazão; regionalização de variáveis hidrológicas; modelos de balanço e escoamento em rios.
PRODUÇÃO AGRÍCOLA	Irrigação: disponibilidade hídrica, regularização, necessidade hídrica agrícola e distribuição. Impacto de obras hidráulicas: reservatórios, diques e polders.	Modelos hidrológicos para preenchimento de falhas; precipitação- vazão; estatísticos.
CONTROLE AMBIENTAL	Irrigação: disponibilidade hídrica, regularização, necessidade hídrica agrícola e distribuição. Impacto de obras hidráulicas: reservatórios, diques e polders.	Precipitação-vazão; balanço de reservatório; balanço agrícola; projeto e otimização de rede de canais.
	Impacto devido a despejo de afluentes: efluentes industriais e domésticos. Impacto devido a uso do solo rural e urbano: erosão do solo, impermeabilidade e rede de condutos.	Modelos hidráulicos e de qualidade da água de rios, reservatórios e de cargas difusas; hidráulicos e de qualidade de água de lagos e estuários; precipitação-vazão, erosão e transporte hídrico.

Fonte: Fayal (2008). **Adaptado:** Filho *et al.* (2012).

Conforme observado, conclui-se que a modelagem hidrológica é indispensável para a predição e quantificação de fenômenos naturais, para tanto compreender os modelos hidrológicos, faz-se extremamente importante.

2.3.1 Modelos hidrológicos

Um modelo hidrológico, busca representar de forma simplificada alguma variável e/ou fenômeno que acontece no mundo real. Sendo assim, é importante avaliar todas as suas estruturas, capacidades e limitações. Para tanto, ressalta-se que se essas etapas estiverem devidamente organizadas será possível obter resultados extremamente adequados (SOROOSHIAN *et al.*, 2008).

Outro ponto a ser avaliado é a elaboração de um banco de dados sintético, que será importante nos processos de representação dinâmica das variáveis e/ou fenômenos que podem ocorrer tanto nas camadas superficiais quanto nas subsuperficiais terrestres (MAIDMENT, 1993; SANTOS, 2015).

Portanto, quanto maior o nível de detalhamento do modelo adotado, maior a exigência de informações e dados. Para tanto, é essencial a utilização de dados e/ou informações disponíveis na literatura (MORIASI, 2012; GALVÍNCIO, 2013).

Para Santos (2009) há três grupos de parâmetros importantes que devem ser observados no modelo hidrológico a ser adotado:

- I. Parâmetros que são obtidos através de ensaios em uma área experimental, em laboratórios ou de acordo com as características geométricas dos elementos.
- II. Parâmetros que são obtidos através da literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes.
- III. Parâmetros que precisam de calibração.

Geralmente alguns modelos necessitarão passar por um processo denominado calibração, que busca reajustar, padronizar e adequar os dados trabalhados, objetivando melhor representação do fenômeno modelado, deixando-o cada vez mais próximo de sua realidade (FAGUNDES, 2018).

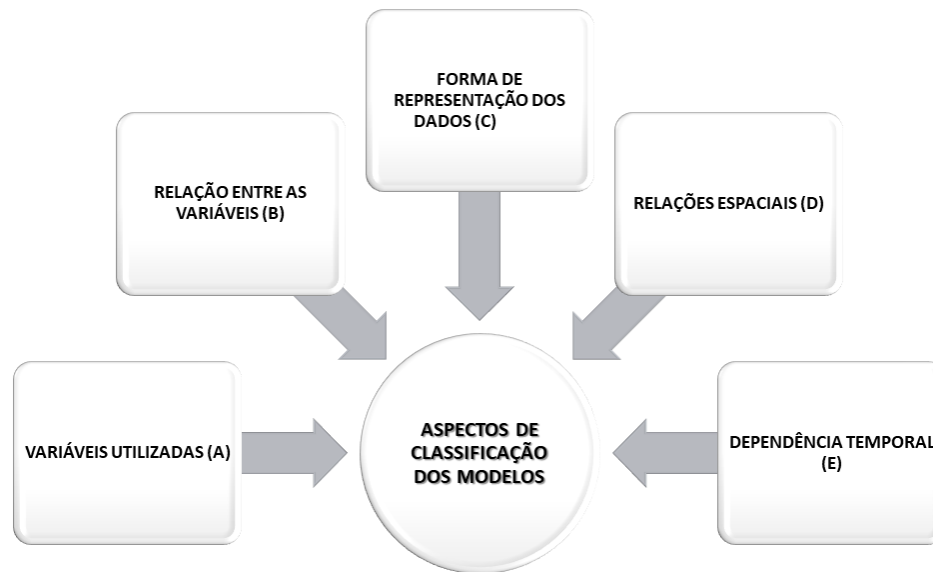
2.3.1.1 Classificação dos Modelos Hidrológicos

Perceber a importância de se classificar um modelo hidrológico, explicitando as habilidades e possíveis limitações que o modelo adotado poderá apresentar. Ressaltando que se deve atentar a uma série de critérios como a probabilidade de ocorrência das variáveis e/ou fenômenos avaliados, a sua distribuição espacial e a gama de processos físicos que o envolvem (SONG *et al.*, 2015).

Neste enfoque classificatório, autores como Singh (1955) e Christofolletti (2004), buscaram classificar os modelos hidrológicos como sendo modelos genéricos e/ou distribuídos, em que os genéricos são aqueles que sofrem somente oscilações temporais, enquanto os distribuídos, possuem, além das oscilações temporais, as variações de espacialidade, ou seja, esses modelos se distinguem por possuírem uma base física.

Os modelos hidrológicos, de acordo com Vertessy *et al.* (1993), Tucci e Campana (2008) e Moreira (2005), poderão ser classificados conforme o seu nível de abordagem figura (2), sendo: modelos estacionários ou dinâmicos se houver a existência de dependência temporal; modelos discretos ou contínuos quando se referem à forma de representação dos dados; modelos concentrados ou distribuídos se houver ou não relações de espacialidade; modelos estocásticos ou determinísticos conforme o tipo de variável(eis) empregadas e modelos empíricos ou conceituais quando se avaliam as relações entre a variável e/ou variáveis.

Figura 2 – Aspectos de classificação de modelos hidrológicos.



Fonte: Moreira (2005). **Adaptado:** Filho *et al.* (2012).

Os modelos denominados estocásticos levam em consideração o conceito de probabilidade das variáveis avaliadas, que possuem um comportamento totalmente aleatório, enquanto um modelo determinístico ignora o conceito de probabilidade, ou seja, para cada valor de entrada ocorrerá um único valor de saída (FAYAL, 2008).

Para Tucci (2005), os modelos também podem ser caracterizados como lineares, caracterizando-se pelo princípio da superposição e pela homogeneidade. O princípio de superposição é aquele em que uma determinada entrada no sistema, resultará em uma mesma saída, ou seja, x_1 resultará em y_1 e assim por diante, enquanto a homogeneidade ocorrerá quando houver igualdade entre o número de entradas e o número de saídas.

Fayal (2008) salienta que modelos lineares multivariados podem gerar resultados que erroneamente tendem a ser considerados variáveis aleatórias, configurando-se totalmente caóticos e inconclusivos.

Modelos concentrados tendem a descartar as variabilidades espaciais das variáveis hidrológicas, priorizando o fator tempo como a variável primordial, ou seja, as variáveis de entrada e saída são avaliadas, observando-se a média espacial, tendendo a representar toda a área em estudo. Por sua vez, os modelos distribuídos representam a variabilidade espacial da área em estudo, sendo que as variáveis e parâmetros analisados dependerão de fatores têmporo-espaciais.

De acordo com Cunha (2004), esses modelos utilizam a lei de conservação de massa, aplicando-a regionalmente. Para tanto, há uso de dados de entrada dotados de espessa quantidade de informações capazes de caracterizar fisicamente a área em estudo.

Para denominar modelo estacionário, deve-se atentar na descrição de um fenômeno em um acurado espaço de tempo, observando-se que os parâmetros analisados não apresentarão variabilidade temporal, enquanto os modelos dinâmicos apresentarão parâmetros que tendem a variar no tempo (FILHO *et al.* 2012).

De acordo com Rennó e Soares (2003), o trabalho elaborado mediante o uso de séries temporais pode caracterizar um modelo como discreto e/ou contínuo, sendo que o primeiro objetiva trabalhar com períodos isolados, enquanto o segundo se apropria de séries temporais maiores, compondo, assim, uma base estrutural rica em detalhes, visando à simulação mais acurada do fenômeno estudado.

Tucci (2005), classifica os modelos hidrológicos pautando-se nas estruturas de cada um, denominando-os modelos de comportamento, de otimização e de planejamento. Neste sentido, os de comportamento procuram descrever a dinâmica comportamental de um sistema; os de otimização visam a dinamizar projetos em andamento e os de planejamento pautam na representação de condições globais pertencentes a um sistema maior.

Neste enfoque estrutural, os modelos ainda podem ser classificados como empíricos, fisicamente fundamentados e conceituais. Os empíricos, de acordo com Pinheiro e Naghettini (2010), são caracterizados devido aos ajustes dos dados analisados, mediante o uso de funções matemáticas que não apresentam nenhuma correlação com os fenômenos físicos avaliados.

Segundo Tucci (2005), os modelos fisicamente fundamentados baseiam-se matematicamente em equações de conservação de massas e de quantificação do movimento de energia do sistema, ou seja, buscam aproximar-se da real dinâmica do sistema, enquanto os conceituais buscam correlacionar as dinâmicas processuais existentes

Independentemente do modelo hidrológico adotado, ele deve ser visto como importante meio representativo da área e/ou fenômeno estudado. Para tanto, deve-se avaliar qual o melhor e mais adequado modelo a ser empregado e se suas bases conceituais e comportamentais terão relevância na obtenção de resultados coesos com a realidade.

2.4 Balanço Hídrico Climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955)

É imprescindível medir as condições da disponibilidade hídrica em qualquer tipologia pedológica, visto que, sob a ótica funcional, deve ser avaliada no desenvolvimento de diversas atividades que vão além do suporte ecossistêmico, como, por exemplo, o abastecimento de aquíferos, manejo agrícola, manejo urbano e, também, suporte para a classificação climática (COSTA, 1994)

Sendo assim, a capacidade de armazenamento de água no solo ganhará destaque e poderá ser aferida de duas formas, a primeira, direta ou indiretamente, por meio dos índices de umidade do solo e a segunda opção baliza a aplicabilidade de modelos que permitam estabelecer

correlações entre as propriedades físico-hídricas pedológicas e a quantidade de água que tende a entrar e a sair do mesmo (D'ANGIOLELLA, VASCONCELOS e ROSA, 2005).

Neste contexto, Hillel (1998) indica que é importante avaliar as dinâmicas hídricas sob a camada superficial de qualquer tipologia pedológica durante um período de tempo (Δt), conforme observado na equação 1, respeitando-se o princípio de conservação da massa do solo:

$$\Delta A + \Delta V = (R + I + U) - (E_s + D + E + T) \quad (1)$$

Em que: ΔA = Variação do Armazenamento de água na camada; ΔV = Incremento de água incorporado na biomassa; R = precipitação; I = irrigação; U = ganho hídrico por ascensão capilar; E_s = escoamento; D = drenagem; E = evaporação de água diretamente da superfície e T = transpiração das plantas.

Contudo, atenta-se quanto à utilização de qualquer processo de modelagem hidrológica, visto que pode conter falhas e/ou possíveis imprecisões, pelo fato de haver significativa dependência entre o número de variáveis a serem representadas e a forma como serão organizadas (GETIRANA *et al.*, 2011).

É essencial, então, a consciência de que todo processo de modelagem hidrológica também comungará direta e/ou indiretamente das particularidades intrínsecas à região analisada (ROSSATO, 2011).

Dentre a diversidade de processos de modelagem hidrológica existente, o modelo mais utilizado é o criado por Charles Warren Thornthwaite, em 1948, passando, posteriormente, em 1955, por algumas alterações feitas por John Russ Mather. Dessa forma, ficou popularmente conhecido como o “Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955)”.

Esse modelo vai além da modelagem hidrológica de uma determinada região, pois propõe também metodologias que possibilitam a classificação climatológica da região em estudo. Ele

traz em suas bases metodológicas importantes apontamentos quanto ao excedente hídrico, deficiência hídrica, retirada e reposição de água no solo, fatores fundamentais nas tomadas de decisões, abalimento de análises (pretéritas e prognósticas) e técnicas de manejo e planejamento (urbano e rural) (PEREIRA, ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002)

Thornthwaite e Mather (1955) afirmam que a aplicabilidade do modelo consiste basicamente no entendimento sobre a continuidade de uma unidade de solo, assumindo a água como uma variável incompressível.

A dinâmica hídrica do sistema avaliado pode ser descrita pela equação 2:

$$E - S = \Delta A \quad (2)$$

Em que: E = entrada de água; S = saída de água; ΔA = variação do armazenamento de água neste sistema.

E, considerando a possibilidade de medir o movimento vertical da água, que consiste basicamente na água proveniente somente das precipitações (P), a saída da água do sistema dar-se-á pelo processo de evapotranspiração (ETR) e pela água que percola o sistema radicular das plantas (EXC). Desse modo, pode-se reescrever a equação 2, conforme apresentado na equação 3 e/ou na equação 4:

$$P - (ETR + EXC) = \Delta T \quad 3$$

$$P = ETR + EXC + \Delta T \quad 4$$

Em que: P = precipitação média mensal (mm); ETR = evapotranspiração real média mensal (mm); EXC = excessos hídricos, representando a percolação do sistema radicular (mm); ΔT = alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

Assim, é importante avaliar as etapas que compõem o processo de elaboração do modelo de balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), bem como possíveis aplicabilidades dele, conforme discutido a seguir.

2.4.1 Etapas da elaboração do BHC por Thornthwaite e Mather

Conforme mencionado anteriormente, o balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), buscará aferir os índices de variabilidade de água no solo, para tanto, tende a desprezar os seguintes fatores: irrigação ($I = 0$); ascensão capilar ($AC = 0$).

Permitindo assim, a elaboração dos cálculos das alterações de armazenamento (ALT), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico, também denominado drenagem profunda (EXC), conforme apresentado por Jesus (2015), e representado na equação 5:

$$\pm ALT = P - ETR - EXC \quad (5)$$

Para tanto, conforme apresentado na equação 6, o cálculo do déficit hídrico (DEF) somente é possível por meio dos valores referentes a ETP, da ETR, da ALT e do EXC.

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

Os índices de evapotranspiração potencial (ETP), podem ser considerados um padrão de “chuva ideal”, para tanto, Thornthwaite (1948) propôs algumas equações que visam a aferir esses índices, utilizando apenas a temperatura do ar como uma variável independente. Ressalta-se que os índices de evapotranspiração potencial (ETP), podem ser obtidos pelas estações climatológicas.

O cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) é obtido com o emprego da equação 7, onde:

$$ETP = f \cdot 1,16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{i}\right)^a \quad (7)$$

Em que: ETP = Evapotranspiração Potencial; f = Fator de ajuste de acordo com a latitude e mês do ano; t = temperatura; i = índice de calor anual.

Em seguida é calculado o índice de calor anual (i), com equação 8: (FERNANDES & FOSTER, 2005).

$$i = \sum_1^{12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (8)$$

O cálculo do coeficiente empírico composto “ a ”, é elaborado com a utilização da equação 9, elaborada por Thornthwaite (1948):

$$a = \sum_{j=0}^3 a_j I^j \quad (9)$$

De acordo com Fabres (2008), Thornthwaite, em 1948, utilizou estatisticamente o método de regressão, baseando-se apenas nos valores mensais médios de temperatura, chegando aos seguintes resultados: $a_0 = 0,49239$, $a_1 = 0,01792$, $a_2 = -0,0000771$, e $a_3 = 0,000000675$.

Ainda segundo o mesmo autor *op cit.*, Thornthwaite (1948) buscou também calcular o número de horas de brilho solar (H_j , horas.dia⁻¹), correspondentes ao fotoperíodo, sendo essas horas um coeficiente extremamente necessário para o cálculo da evapotranspiração de referência e, obtido pelo emprego das equações 10 e 11:

$$H_j = \frac{24}{\pi} \arccos [tg^{\alpha} j \cdot tg^{\emptyset}] \quad (10)$$

Em que o coeficiente ϕ indicará a latitude do local (rad) e α corresponderá à declinação solar (rad) no dia mediano do j -ésimo mês:

$$\alpha_j = C_0 + \sum_{j=1}^3 \left[C_j \cdot \sin \left[\frac{2 \cdot i \cdot \pi \cdot d_j}{365} \right] - d_j \cdot \cos \left[\frac{2 \cdot i \cdot \pi \cdot d_j}{365} \right] \right] \quad (11)$$

Visto que d_j indica o dia o número de ordem defasado de 1 dia mediano do j -ésimo mês (número de ordem defasado do dia mediano 16 será 15, p.e.), e C_0, C_1 , e D_1 , indicam os parâmetros empíricos constituintes do modelo, em que, $C_0 = 0,006918$, $C_1 = 0,070257$, $C_2 = 0,000907$, $C_3 = 0,00148$; $D_1 = 0,399912$, $D_2 = 0,006758$, $D_3 = 0,002697$.

Para determinar o (f) correspondente ao fator de ajuste, de acordo com a latitude e mês do ano, utiliza-se a tabela 4.

Tabela 4 – Valores de correção mensal conforme a Latitude, proposto por Thornthwaite e Mather (1955)

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2 N	1,02	0,93	1,03	1,00	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,03	1,00	1,03
0	1,03	0,93	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03
-2 S	1,04	0,94	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,02	0,99	1,03	1,00	1,04
-4 S	1,05	0,95	1,04	1,00	1,02	0,98	1,01	1,02	0,99	1,03	1,01	1,05
-6 S	1,06	0,96	1,05	1,00	1,01	0,98	1,00	1,01	0,98	1,03	1,01	1,06
-8 S	1,07	0,97	1,06	1,00	0,98	0,97	0,99	1,00	0,98	1,03	1,01	1,06
-10 S	1,08	0,97	1,06	1,00	0,97	0,96	0,98	0,99	0,97	1,03	1,02	1,07
-12 S	1,09	0,98	1,07	1,00	0,96	0,95	0,97	0,98	0,97	1,02	1,02	1,08
-14 S	1,10	0,99	1,07	1,01	0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	1,02	1,02	1,09
-16 S	1,12	1,00	1,08	1,01	0,95	0,94	0,95	0,96	0,95	1,02	1,03	1,10
-18 S	1,13	1,01	1,09	1,01	0,94	0,93	0,94	0,95	0,95	1,02	1,03	1,10
-20 S	1,14	1,02	1,09	1,01	0,93	0,92	0,93	0,94	0,94	1,02	1,03	1,11
-22 S	1,15	1,03	1,10	1,01	0,92	0,91	0,92	0,93	0,93	1,02	1,04	1,12
-24 S	1,16	1,04	1,10	1,01	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	1,02	1,04	1,13
-26 S	1,17	1,05	1,11	1,01	0,89	0,89	0,89	0,91	0,92	1,01	1,05	1,14
-28 S	1,90	1,06	1,12	1,01	0,88	0,88	0,88	0,89	0,91	1,01	1,05	1,15
-30 S	1,20	1,07	1,13	1,02	0,87	0,87	0,88	0,88	0,91	1,01	1,05	1,16

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Observado que o número de horas de luz por dia sofre influência da variação da latitude e, de acordo com Fernandes & Foster (2005), há também meses com 28, e 31 dias, sabendo-se que Thornthwaite & Mather (1955) efetuaram seus cálculos para meses com apenas 30 dias, é necessário efetuar correções, utilizando-se o fator de correção (f), representado pela equação 12:

$$f = \left(\frac{h}{12} \right) \cdot \left(\frac{n}{30} \right) \quad (12)$$

Em que: f - Fator de correção; h – Número de horas de luz solar na latitude considerada; n – Número de dias do mês em estudo.

Posteriormente, ter a consciência de que a evapotranspiração real (ETR), consiste basicamente na perda de água em qualquer superfície natural, sendo que essa superfície, se encontra sob qualquer condição de umidade e cobertura vegetal (KUMMEROW *et al.*, 2000).

Dessa forma, a evapotranspiração real (ETR) é obtida pelas equações a seguir, sabendo-se que a equação 13, refere-se ao cálculo da ETR quando não há restrição hídrica e as 14 e 15 são utilizadas em casos de restrição. É preciso salientar que a equação 14 é aplicada a partir do primeiro mês com perda potencial de água, já e que a equação 15, é utilizada no mês que se reinicia a reposição de água no solo, sendo assim:

$$ETR = ETP; \text{ portanto, } ETR \leq ETP \quad (13)$$

$$P - ETP < 0; \text{ portanto, } ETR = P + |\Delta ARM| \quad (14)$$

$$(P - ETP) < 0; \text{ portanto, } ETR = ETP \quad (15)$$

Em que: ETR = evapotranspiração real; ETP = evapotranspiração potencial; P = precipitação; ΔARM = armazenamento.

A evapotranspiração poderá sofrer direta ou indiretamente a influência de diversos fatores de origem climática, como a radiação líquida (R_n), a temperatura, a umidade relativa do ar (UR), o vento, por isso devem ser considerados nas análises propostas (SHUTTLEWORTH, 1988).

Outros fatores relacionados às plantas, como a espécie, o índice foliar, a altura da planta e a profundidade do sistema radicular também exercem influência sobre a evapotranspiração.

Concernente aos cálculos necessários dos índices de precipitação e de temperatura, de acordo com Jesus (2015), esses devem, primeiramente, ser obtidos nas estações climatológicas e/ou nos sítios eletrônicos que disponibilizam acesso remoto às séries temporais e/ou históricas, conforme apresentado no item 4.4, deste estudo.

Pereira *et al.* (2007) e Jesus (2015), indicam que o próximo cálculo para o desenvolvimento do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955), é pautado nos índices de precipitação (P), menos a evapotranspiração potencial (ETP), destacando a relevância dos sinais (+) e (-) nos resultados, ou seja, valores positivos indicam que houve excesso de precipitações, enquanto o sinal negativo é um forte indicador de que houve perda significativa de água.

Para se determinar o negativo acumulado (NAC), bem como o do armazenamento (ARM), deve-se observar o primeiro mês que apresentar o valor de $(P-ETP) < 0$, posteriormente ao sequenciamento de valores positivos de $(P-ETP)$, permite afirmar que se inicia a estação considerada seca.

Já o valor correspondente ao armazenamento (ARM) utilizado para o início do balanço hídrico climatológico acompanhará o último período correspondente à estação úmida, embora, podendo ocorrer que os valores da precipitação subtraídos os valores da evapotranspiração potencial resultarem em valores maiores ou iguais a zero ($P-ETP, \geq 0$), deve-se seguir as condições expressas nas equações 16 e 17 propostas por Jesus (2015):

$$(P - ETP) < 0 \quad (16)$$

1º Calcula-se o NAC – (P-ETP) negativos

2º Calcula-se o ARM = CAD $e^{-(NAC/CAD)}$

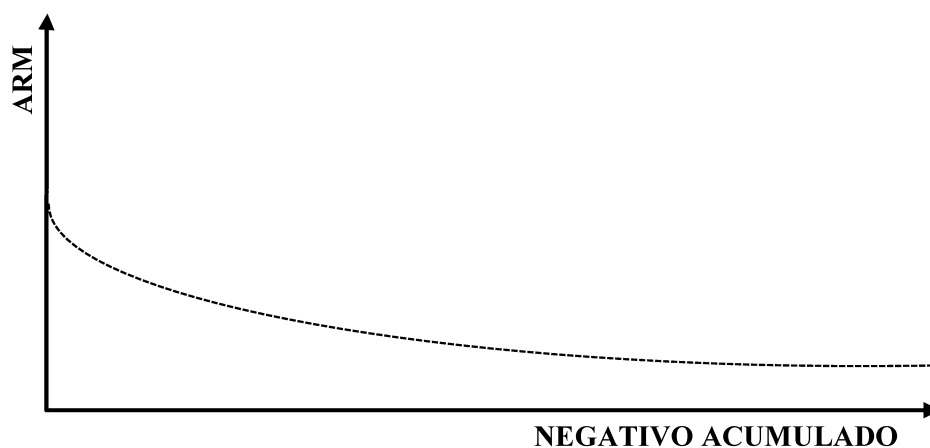
$$(P-ETP) \geq 0 \quad (17)$$

1º Calcula-se o ARM [ARM = ARM anterior + (P-ETP)]

2º Calcula-se o NAC [NAC = CAD* Ln (ARM/CAD)]

Representando graficamente a variação existente entre o armazenamento de água no solo (ARM) e o negativo acumulado (NAC), pode-se perceber que, quanto mais seco for o solo, menor será a variação de armazenamento (ARM).

Figura 3 – Representação da função exponencial para a retirada de água do solo.



Fonte: Sentelhas *et al.* (2009). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Portanto:

A água no solo está sujeita a ação de diversas forças, dentre as quais as mais importantes são: - Tensão superficial, que é responsável pela atração entre as partículas de solo e as moléculas de água; - Força gravitacional, responsável pela percolação da água; - Força de sucção das raízes. Quando o solo está saturado, a força gravitacional é a mais importante, pois predomina sobre as demais, puxando a água para baixo até que cessem os movimentos verticais. Neste instante, diz-se que o solo está à capacidade de campo. A partir daí até o ponto de murcha permanente, o caminho que a água irá tomar será definido pelo balanço entre as forças de tensão superficial e de sucção das raízes. É claro que a força que retém a água no solo é inversamente proporcional à distância entre a molécula de água e a partícula de solo. Uma molécula de água mais próxima à partícula de solo é retida com mais força, enquanto uma mais distante pode ser retirada com facilidade (SENTELHAS *et al.*, 2009).

Após realizar os cálculos propostos acima, e, de acordo com o autor supracitado, deve-se efetuar o cálculo da alteração ($ALT = \Delta ARM$), para tanto, utiliza-se a equação 18 visando a indicar a reposição e/ou retirada de água do solo:

$$ALT = ARM - ARM \text{ anterior} \quad (18)$$

Em que: $ALT > 0$ = reposição de água no solo; $ALT < 0$ = retirada de água no solo.

Por fim, as possíveis conferências para validação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), são feitas aplicando-se as equações 19, 20, 21 e 22:

$$\sum ALT = 0 \quad (19)$$

$$\sum ETP = \sum ETR + \sum DEF \quad (20)$$

$$\sum P = \sum ETR + \sum EXC \quad (21)$$

$$\sum P = \sum ETP + (P - ETP) \quad (22)$$

2.4.2 Classificação climática proposta por Thornthwaite (1948)

Ciente das limitações na proposta de classificação climática apresentada por Köppen, principalmente quanto à base que serviria de subsídio para a adoção de valores referentes à precipitação e temperatura nas diversas zonas climáticas, surge a proposta elaborada, em 1948, por Thornthwaite, denominada “Sistema de Classificação Racional”, através da qual a categorização climática é feita a partir do cálculo do Índice Hídrico (Ih) e do Índice de Aridez (Ia) (VALE, 2021).

Vianello; Alves (1991) ressaltam que a utilização do índice de Aridez (Ia) e do índice Hídrico (Ih), considera os períodos de déficit e excedente hídricos.

Embora esse método represente um passo à frente no sentido de que as fronteiras climáticas não são arbitrárias, esse ainda é empírico sendo um instrumento agrometeorológico útil e prático para caracterizar o fator umidade do clima, sendo sua utilização importante na caracterização climática (VALE, 2021).

Sendo o índice Hídrico (Ih) referente à disponibilidade de água, é obtido através do cálculo da equação 23, enquanto o Índice de Aridez (Ia) é dado através da utilização da equação 24 que corresponde a deficiência hídrica da região avaliada:

$$Ih = \left(\frac{EXC}{ETP} \right) * 100 \quad (23)$$

$$Ia = \left(\frac{DEF}{ETP} \right) * 100 \quad (24)$$

O Excedente Hídrico (EXC), corresponde ao escoamento superficial e indica a capacidade de retenção de água máxima no solo, já a Deficiência Hídrica (DEF) remete-se a menor quantidade de água encontrada disponível no solo e, portanto, é menor que a evapotranspiração potencial (JUNIOR *et al.*, 2018).

Sendo assim, por meio dos índices de excedente hídrico e deficiência hídrica pode-se efetuar o cálculo referente ao Índice de Umidade do solo (Iu), através da equação 25, onde:

$$Iu = Ih - 0,6 Ia \quad (25)$$

Ressalta-se que o modelo classificatório proposto por Thornthwaite, traz consigo conceitos importantes como a evapotranspiração potencial, o balanço hídrico e o índice de umidade, sendo eles utilizados para auxiliar na classificação das unidades climáticas (AYOADE, 1996).

Para que seja possível classificar tipologicamente o clima de uma determinada região, primeiramente deve-se analisar os resultados obtidos por meio do cálculo dos índices de aridez e de umidade.

Somente assim, a posteriori com os resultados em mãos, passa-se por processo comparativo correlacionando-os com as tabelas a seguir (CUNHA & MARTINS, 2009).

A tabela 5, é correspondente ao índice de umidade.

Tabela 5 – Chave inicial classificativa dos tipos Climáticos (*Rational Classification of Climate*), com base no Índice de Umidade (Iu), segundo Thornthwaite.

TIPOS CLIMÁTICOS			ÍNDICE DE UMIDADE			
A	-	Superúmido	100	≤	Iu	
B ₄	-	Úmido	80	≤	Iu	< 100
B ₃	-	Úmido	60	≤	Iu	< 80
B ₂	-	Úmido	40	≤	Iu	< 60
B ₁	-	Úmido	20	≤	Iu	< 40
C ₂	-	Subúmido	0	≤	Iu	< 20
C ₁	-	Subúmido seco	-20	≤	Iu	< 0
D	-	Semiárido	-40	≤	Iu	< -20
E	-	Árido	-60	≤	Iu	< -40

Fonte: Thornthwaite (1948). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Já a tabela 6 busca correlacionar os índices de umidade aridez

Tabela 6 – Segunda chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices de aridez (Ia) e umidade (Iu) (OMETTO, 1981).

CLIMAS ÚMIDOS (A, B ₄ , B ₃ , B ₂ , B ₁ , C ₂)		ÍNDICE DE ARIDEZ (Ia)			
d -	Pequena ou nenhuma deficiência hídrica	0	≤	Ia	< 16,7
s -	Moderada deficiência hídrica no verão (ou a mar)	16,7	≤	Ia	< 16,7
w -	Moderada deficiência hídrica no inverno (abr a set)	16,7	≤	Ia	< 33,3
s ₂ -	Grande deficiência hídrica no verão	Ia ≥ 33,3			
w ₂ -	Grande deficiência hídrica no inverno	Ia ≥ 33,3			
CLIMAS SECOS (C ₁ , D, E)		ÍNDICE DE UMIDADE (Iu)			
d -	Pequena ou nenhum excesso hídrico	0	≤	Iu	< 10,0
s -	Moderada excesso hídrico no verão (ou a mar)	16,7	≤	Iu	< 20,0
w -	Moderada excesso hídrico no inverno (abr a set)	16,7	≤	Iu	< 20,0
s ₂ -	Grande excesso hídrico no verão	Iu ≥ 20,0			
w ₂ -	Grande excesso hídrico no inverno	Iu ≥ 20,0			

Fonte: Thornthwaite (1948). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Enquanto a tabela 7 é referente ao índice térmico.

Tabela 7 – Terceira chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices térmicos (It) (OMETTO, 1981).

TIPO CLIMÁTICO			EP anual (mm)			
A`	-	MEGATÉRMICO	ETP ≥ 1440			
B` ₄	-	MESOTÉRMICO	1440	>	ETP	≥ 997
B` ₃	-	MESOTÉRMICO	997	>	ETP	≥ 855
B` ₂	-	MESOTÉRMICO	855	>	ETP	≥ 712
B` ₁	-	MESOTÉRMICO	712	>	ETP	≥ 570
C` ₂	-	MICROTÉRMICO	570	>	ETP	≥ 427
C` ₁	-	MICROTÉRMICO	427	>	ETP	≥ 285
D`	-	TUNDRA	285	>	ETP	≥ 142
E`	-	GELO PERPÉTUO	ETP < 142			

Fonte: Thornthwaite (1948). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Por último, a tabela 8 trata das ETPs de verão e anuais.

Tabela 8 – Terceira chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseada nos índices térmicos (It) (OMETTO, 1981).

SUBTIPO CLIMÁTICO	CONCENTRAÇÃO DA ETP NO VERÃO ETP (%)				
a`	ETP $\leq$ 48,0				
b` ₄	48,0	<	ETP	$\leq$	51,9
b` ₃	51,9	<	ETP	$\leq$	56,3
b` ₂	56,3	<	ETP	$\leq$	61,6
b` ₁	61,6	<	ETP	$\leq$	68,0
c` ₂	68,0	<	ETP	$\leq$	76,3
c` ₁	76,3	<	ETP	$\leq$	88,0
D	ETP > 88,0				

Fonte: Thornthwaite (1948). **Adaptado:** Silva, G. C. (2022).

Para finalizar, Eloi (2001), exalta que no processo de classificação climática elaborado por Thornthwaite a vegetação assume um papel importante em transportar a água para a atmosfera através da evaporação, sendo esses limites avaliados racionalmente por meio dos índices de precipitação e através da evapotranspiração potencial. Com efeito, o emprego adequado dessas variáveis tende a mitigar os modelos de classificação climáticas precedentes.

2.5 IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), foi instituído por duas agências pertencentes a Organização das Nações Unidas (ONU), sendo elas o Programa Nacional de Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e criado no ano de 1988. Seu objetivo é apresentar informações científicas quanto as mudanças climáticas globais, auxiliando programas políticos entre outros (NETO, 2008).

Mediante as alterações climáticas que estão crescendo exponencialmente e, associadas as intervenções das ações antrópicas, que negativamente tendem a acelerar ainda mais, impactando significativamente nas dinâmicas ambientais, econômicas e sociais. Desta forma, o mesmo autor *op cit.*, afirma que o IPCC foi gerado e com o apoio do corpo acadêmico deveria responder a quatro desafios:

1. Identificar possíveis incertezas quanto as mudanças climáticas e seus impactos;
2. Avaliar todas as ações políticas correspondentes as mudanças climáticas, bem como, as estratégias a serem adotadas;
3. Analisar e revisar as políticas nacionais e internacionais que tratem dos gases de efeito estufa (GEEs);
4. Avaliar como os GEEs, são abordados e encaminhados aos programas ambientais adotados pelos governos e pelas organizações intergovernamentais.

Neste enfoque, vale realçar que as mudanças climáticas são caracterizadas de acordo com o IPCC, como sendo “qualquer mudança no clima ao longo do tempo, quer devido a variabilidade natural ou como resultado da atividade humana”. Desta forma, pode-se concluir que as mudanças climáticas, independente das suas escalas de interação, irão provocar impactos significativos no meio antrópico, seja no espectro social, político, econômico e nas questões de saúde (IPCC, 2014)

Conforme ressalta Masson-Delmotte (2014) o IPCC é organizado em três grupos distintos: o grupo I é pautado em compreender os aspectos físicos do clima, bem como as alterações climáticas. O grupo II busca avaliar e entender os impactos gerados pelas mudanças climáticas nos diversos sistemas, sejam naturais e/ou antrópicos. Finalmente, o grupo III é focado em avaliar os processos que englobam as possíveis mitigações de mudanças climáticas.

Tem-se a consciência de que já foram elaborados diversos relatórios, cada um mais alarmante que o outro, contudo, atualmente tem-se consciência de que os impactos causados pelo meio

antrópico são reais e vem sendo intensificados em um nível assustador. De acordo com Rocha (2021) há um aumento tanto na frequência quanto na intensidade dos eventos climáticos e, esses, irão ser intensificados nas próximas décadas.

A frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos aumentaram na maioria das áreas continentais desde 1950 e irão se agravar nas próximas décadas proporcionalmente ao aquecimento global. Se a temperatura média do planeta aumentar 4,0°C (em relação ao período de 1850-1900) antes de 2100 o número de eventos climáticos extremos em algumas regiões pode se tornar nove vezes maior (IPCC AR6, 2021).

Neste enfoque, tomar-se-á o sexto relatório (AR6, *Sixth Assessment Report*), como base fundamental, visto que sua confecção vem desde o ano de 2018, embora três relatórios especiais já tenham sido apresentados: o primeiro saiu no mês de outubro em 2018 é focado no aquecimento global de 1,5°C; o segundo foi apresentado em agosto de 2019 e trata do tema mudança climática e Terra; por fim, no mês de setembro no ano de 2019, o terceiro e último relatório apresentou a seguinte temática “Oceano e Criosfera em um Clima em Mudança”.

Desta forma, o sexto relatório – AR6, deixa bem claro que não somente o clima médio global tem passado por alterações, chamando assim a atenção quanto aos extremos climáticos, que antes aconteciam raramente, tenderão a ocorrer com maior probabilidade.

Um ou dois graus celsius a mais de temperatura altera profundamente o funcionamento do sistema climático terrestre como um todo. Na verdade, cada meio grau (0,5°C) faz uma diferença muito grande em termos de impactos. As consequências práticas, segundo o IPCC AR6 (2021), são: aumento na ocorrência e intensidade de tempestades, secas, ondas de calor e outros eventos climáticos extremos; derretimento acelerado de geleiras e da calota polar do Ártico; aumento do nível e da temperatura do mar; mudanças drásticas nos padrões de precipitação ao redor do mundo; entre outras. Eventos de seca que, antes da interferência humana no clima, só ocorriam uma vez a cada dez anos poderão ocorrer duas a três vezes no mesmo período num planeta 2,0°C mais quente. Eventos de calor extremo que só ocorriam uma vez a cada 50 anos poderão ocorrer 14 vezes no mesmo período de tempo. Como é evidente se observar, a produção de alimentos, a segurança hídrica, a conservação da biodiversidade, a qualidade de vida nas cidades, a saúde, a produção de energia e inúmeras outras atividades essenciais à sobrevivência dos seres humanos na Terra experimentariam implicações consideráveis (ROCHA, 2021).

Em síntese, percebe-se que o sexto relatório AR6 deixa evidente que se deve preocupar constantemente com as mudanças climáticas, visto que elas tendem a provocar mudanças significativas, vindo a serem consideradas como graves ameaças não só ao meio antrópico mais

a todo o planeta Terra, o que traz uma busca constante de medidas capazes de mitigar, preservar e conservar os recursos naturais.

De acordo com o relatório do Observatório do Clima, que visa trazer uma síntese comentada do AR6, principalmente com relação ao aquecimento global, visto que o aquecimento do planeta Terra irá ultrapassar 1,5°C já na metade do presente século.

O AR6 traz uma composição de cenários para que seja possível avaliar prognósticamente a temperatura, para tanto, os cenários propostos estão divididos em cinco cenários. Dois desses cenários são considerados cenários de baixa emissão (SSP1 – 1.9 E SSP2 – 2.6); um cenário considerado de médias emissões denominadas SSP2 – 4.5; por fim, os dois cenários de emissões restantes foram denominados como sendo cenários de altas emissões (SSP3 – 7 e SSP5 – 8.5).

Pontua-se que cada cenário traz estimativas centrais e de prováveis variações, para todos os cenários curto prazo que abrange o período de 2021-2040, médio prazo contempla o período de 2041-2060 e longo prazo que vai de 2081-2100. Destaca-se que a devida caracterização, bem como os valores correspondentes, serão especificados no item 4.7 da presente tese.

Contudo, algumas variabilidades significativas das mudanças climáticas são apontadas no AR6, chamando atenção ao tratar do aquecimento global, apontando que para cada aumento proposto, traz consigo um conjunto de mudanças significativas nos eventos extremos, como por exemplo: *“...para cada meio grau a mais de aquecimento aumenta a frequência de ondas de calor, tempestades e secas que afetam a agricultura. Mesmo com o aquecimento global estabilizado em 1,5°C, eventos extremos sem precedentes no registro histórico deverão acontecer”*.

Neste enfoque, o AR6, apresenta um conjunto de estimativas regionalizadas visando contemplar os próximos 30 anos prevendo que todas as regiões do planeta Terra se encontrarão

sujeitas as mudanças climáticas, que podem trazer sérios impactos tanto para a agricultura quanto para a saúde humana.

Conforme a nota técnica emitida pelo Observatório de Bioeconomia da Escola de Economia de São Paulo pertencente a Fundação Getúlio Vargas (FGV) deve-se reconhecer que os impactos das mudanças climáticas deverão proporcionar além da busca efetiva de medidas mitigatórias, uma nova reorganização política e econômica capaz de ampliar o desenvolvimento técnico científico em prol do bem-estar social, visto que aproximadamente 3,6 bilhões de pessoas encontram-se vivendo em regiões de vulnerabilidade quanto as mudanças climáticas.

3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

O capítulo presente, fundamenta-se na representação das principais características da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP) e, para tanto, torna-se imprescindível destacá-la, expondo de forma clara e objetiva suas singularidades.

3.1 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - BHRP

Mendes Silva (2015), destacam que de acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que instituiu as 12 regiões hidrográficas brasileiras através da resolução 32 do dia 15 de outubro de 2003 e, nesse contexto pode-se observar a Região Hidrográfica do Paraná.

A Região Hidrográfica do Paraná, tem os principais cursos fluviais formados pelos rios Grande e Paranaíba ocupando aproximadamente 25,4% da área da sua área, apresentando uma área de drenagem de 222.600 km², estando cartograficamente alocada entre os paralelos 15° e 20° sul e os meridianos 45° e 53° oeste, conforme representado na figura 4.

Destaca-se que o Rio Paranaíba é formador da segunda maior bacia hidrográfica denominada Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP), correspondendo a 2,6% do território brasileiro, e ocupa as regiões oeste e sudeste, sendo 1,6% do Distrito Federal (DF), 31,7% de Minas Gerais (MG), 63,3% do estado de Goiás (GO), e 3,4% da região pertencente ao estado de Mato Grosso do Sul (MS) (SILVA, 2017).

Buscando exemplificar, a tabela 9 representa a participação das Unidades Federativas dentro do contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP):

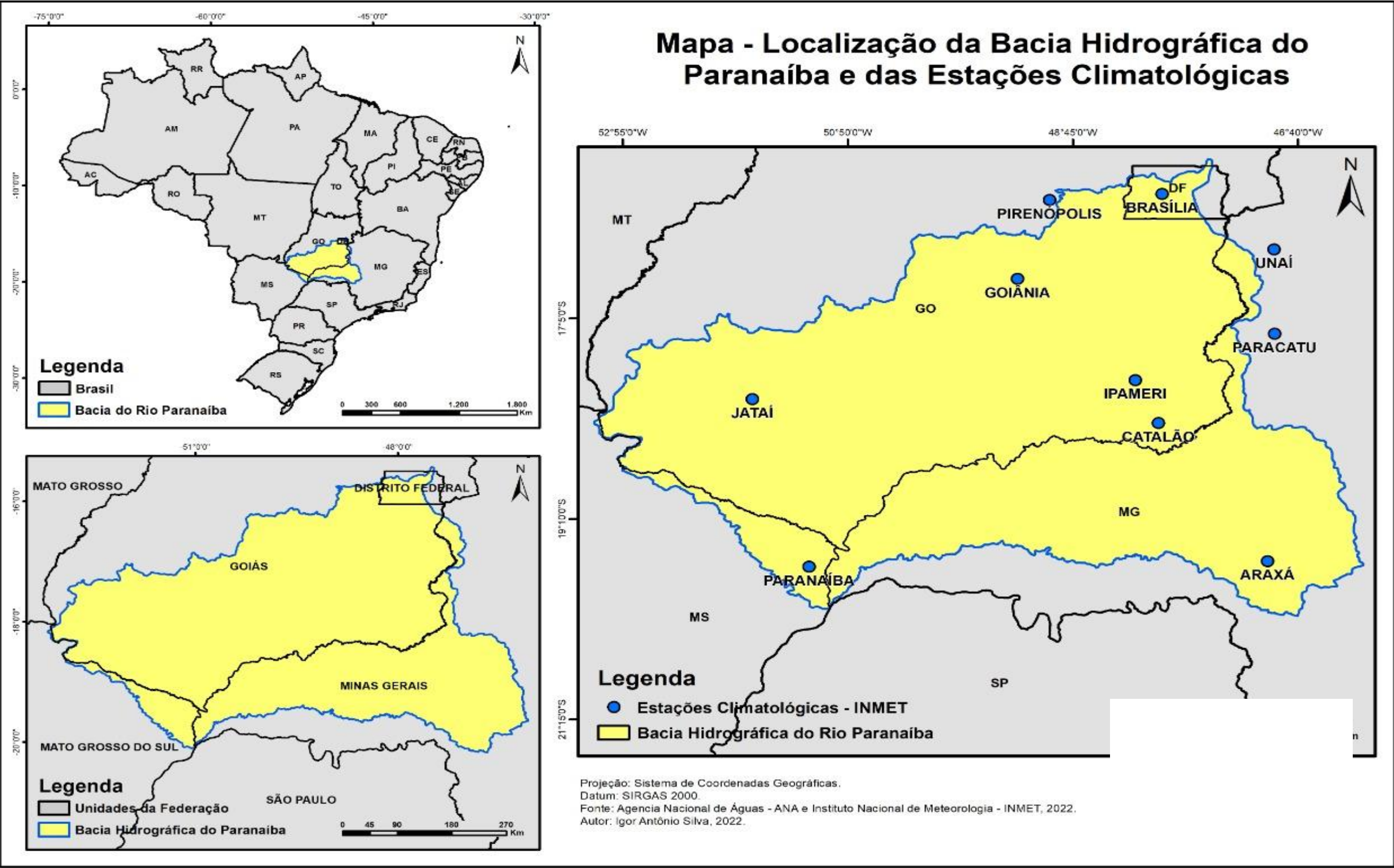
Tabela 9 - Participação das Unidades Federativas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.

UNIDADES FEDERATIVAS	ÁREA DA BACIA		Nº DE MUNICÍPIOS NA BACIA	
	Km ²	%	Total	Com Sede
Distrito Federal	3.665,4	1,6	1	1
Goiás	140.832,3	63,3	137	122
Minas Gerais	70.502,9	31,7	56	44
Mato Grosso do Sul	7.591,9	3,4	4	3
TOTAL	222.592,5	100,0	198	170

Fonte: ANA (2011). **Adaptado** (PRHBP, 2011). **Org.** Silva. G. C (2017).

Representado na tabela 9, pode-se observar que a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP) é composta pelo Distrito Federal e por 197 municípios expressos no quadro 1, permitindo contabilizar 56 municípios no estado de Minas Gerais, 4 em Mato Grosso do Sul, 137 no estado de Goiás e o Distrito Federal (MACIEL, 2016).

Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Localização (2013).



Fonte: ANA (2022); INMET (2022). Org. Silva. G. C (2017).

Quadro 1 - Estados e Municípios constituintes da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP).

ESTADOS	MUNICÍPIOS
DISTRITO FEDERAL	Brasília – DF
MATO GROSSO DO SUL	Aparecida do Taboado, Cassilândia, Chapadão do Sul, Paranaíba.
GOIÁS	Abadia de Goiás, Abadiânia, Acreúna, Adelândia, Água Limpa, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Aloândia, Americano do Brasil, Anápolis, Anhanguera, Anicuns, Aparecida de Goiânia, Aparecida do Rio Doce, Aporé, Araçu, Aragoiânia, Aurilândia, Avelinópolis, Bela Vista de Goiás, Bom Jesus de Goiás, Bonfinópolis, Brazabrantes, Buriti Alegre, Cachoeira Alta, Cachoeira Dourada, Caçu, Caiapônia, Caldas Novas, Caldazinha, Campestre de Goiás, Campo Alegre de Goiás, Campo Limpo, Castelândia, Catalão, Caturai, Cezarina, Chapadão do Céu, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Corumbaíba, Cristalina, Cristianópolis, Cromínia, Cumari, Damolândia, Davinópolis, Edealina, Edéia, Firminópolis, Formosa, Gameleira de Goiás, Goianápolis, Goiandira, Goiânia, Goianira, Goiatuba, Gouvelândia, Guapó, Hidrolândia, Inaciolândia, Indiara, Inhumas, Ipameri, Itaberaí, Itajá, Itarumã, Itauçu, Itumbiara, Jandaia, Jataí, Jesúpolis, Joviânia, Lagoa Santa, Leopoldo de Bulhões, Luziânia, Mairipotaba, Marzagão, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Morrinhos, Mossamedes, Nazário, Nerópolis, Nova Aurora, Nova Veneza, Novo Gama, Orizona, Ouro Verde de Goiás, Ouvidor, Palmeiras de Goiás, Palmelo, Palminópolis, Panamá, Paranaiguara, Paraúna, Perolândia, Petrolina de Goiás, Piracanjuba, Pirenópolis, Pires do Rio, Planaltina, Pontalina, Porteirão, Portelândia, Professor Jamil, Quirinópolis, Rio Quente, Rio Verde, Sancerlândia, Santa Bárbara de Goiás, Santa Cruz de Goiás, Santa Helena de Goiás, Santa Rosa de Goiás, Santo Antônio da Barra, Santo Antônio de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, São João da Paraúna, São Luís de Montes Belos, São Miguel do Passa Quatro, São Simão, Senador Canedo, Serranópolis, Silvânia, Taquaral de Goiás, Terezópolis de Goiás, Três Ranchos, Trindade, Turvânia, Turvelândia, Urutai, Valparaíso de Goiás, Varjão, Vianópolis, Vicentinópolis.
MINAS GERAIS	Abadia dos Dourados, Araguari, Araporã, Araxá, Cachoeira Dourada, Campina Verde, Campo Florido, Campos Altos, Canápolis, Capinópolis, Carmo do Paranaíba, Carneirinho, Cascalho Rico, Centralina, Coromandel, Cruzeiro da Fortaleza, Douradoquara, Estrela do Sul, Grupiara, Guarda-Mor, Guimarães, Gurinhatã, Ibiá, Indianópolis, Ipiacu, Iraí de Minas, Ituiutaba, Iturama, Lagamar, Lagoa Formosa, Limeira do Oeste, Monte Alegre de Minas, Monte Carmelo, Nova Ponte, Paracatu, Patos de Minas, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Prata, Pratinha, Presidente Olegário, Rio Paranaíba, Romaria, Sacramento, Santa Juliana, Santa Vitória, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba, Uberlândia, Unaí, União de Minas, Veríssimo.

Fonte: Baseado em IBGE (2016). **Org.** Maciel, S. A. (2016). **Adaptado:** Silva G. C. (2022).

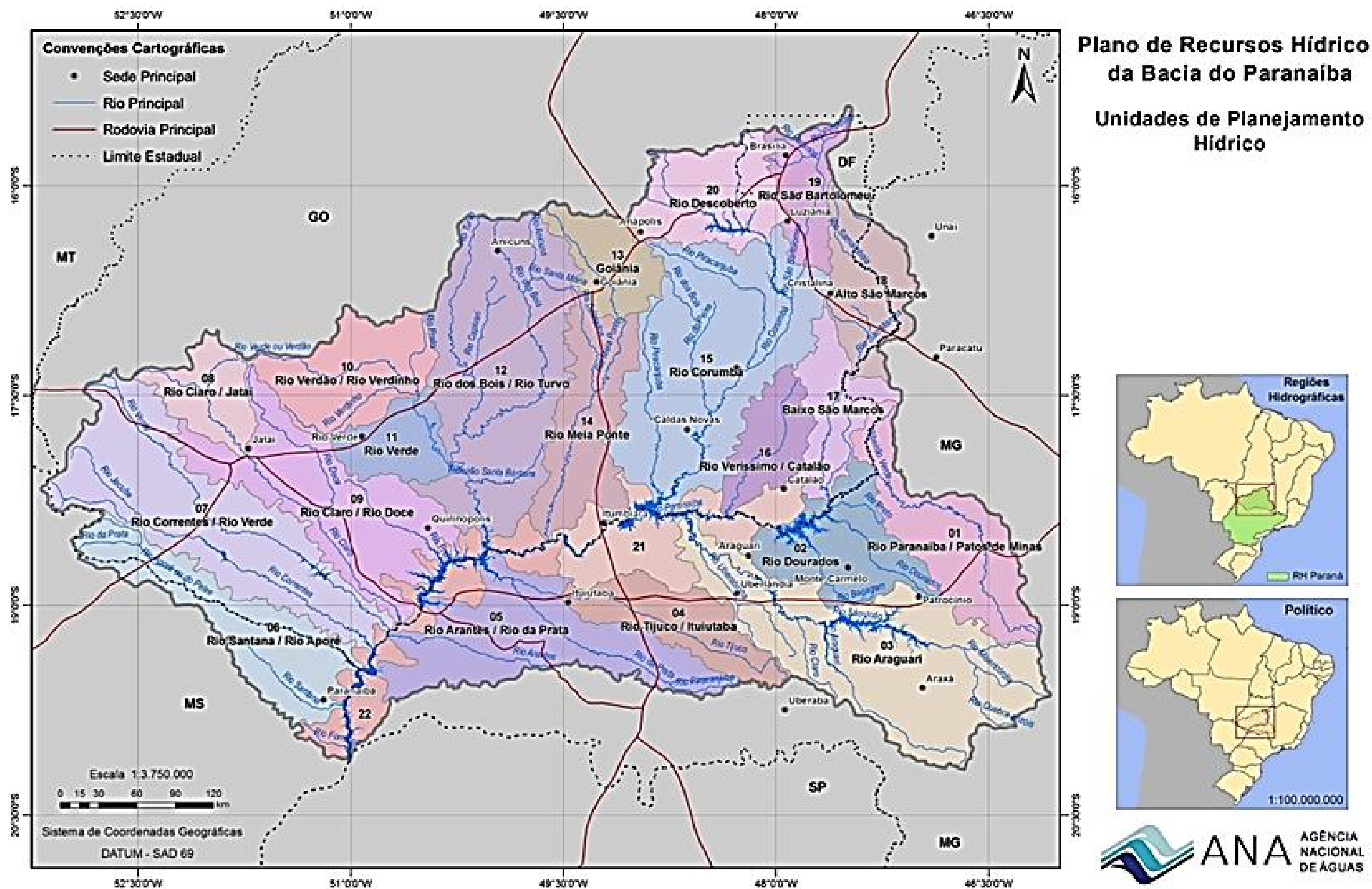
As Unidades de Gestão Hídricas – UGHs, da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP) foram definidas, seguindo os padrões adotados por cada unidade federativa, de acordo com a figura 5, visto que os padrões pré-estabelecidos têm por base primordial as divisões hidrográficas regionais.

De acordo com o PRHBP (2011), o estado de Minas Gerais foi dividido em três unidades de gestão: Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba e Rio Araguari. Já o estado do Mato Grosso do Sul apresentou somente uma UGH, denominada Santana Aporé. No estado de Goiás, as UGHs foram denominadas São Marcos, Corumbá, Meia Ponte, Turvo e dos Bois e Claro, Verde, Correntes e Aporé. Por último, o Distrito Federal foi dividido em Lago Paranoá, Descoberto, Corumbá e São Marcos.

Ainda conforme o PRHBP (2011), objetivando organizar ainda mais a gestão hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, foram criadas as unidades de planejamento hídrico – UPHs, com as bacias e sub-bacias mais relevantes, considerando os aspectos hidrológicos, hidrográficos e os que englobam o manejo e uso da água, como pode ser observado na figura 6.

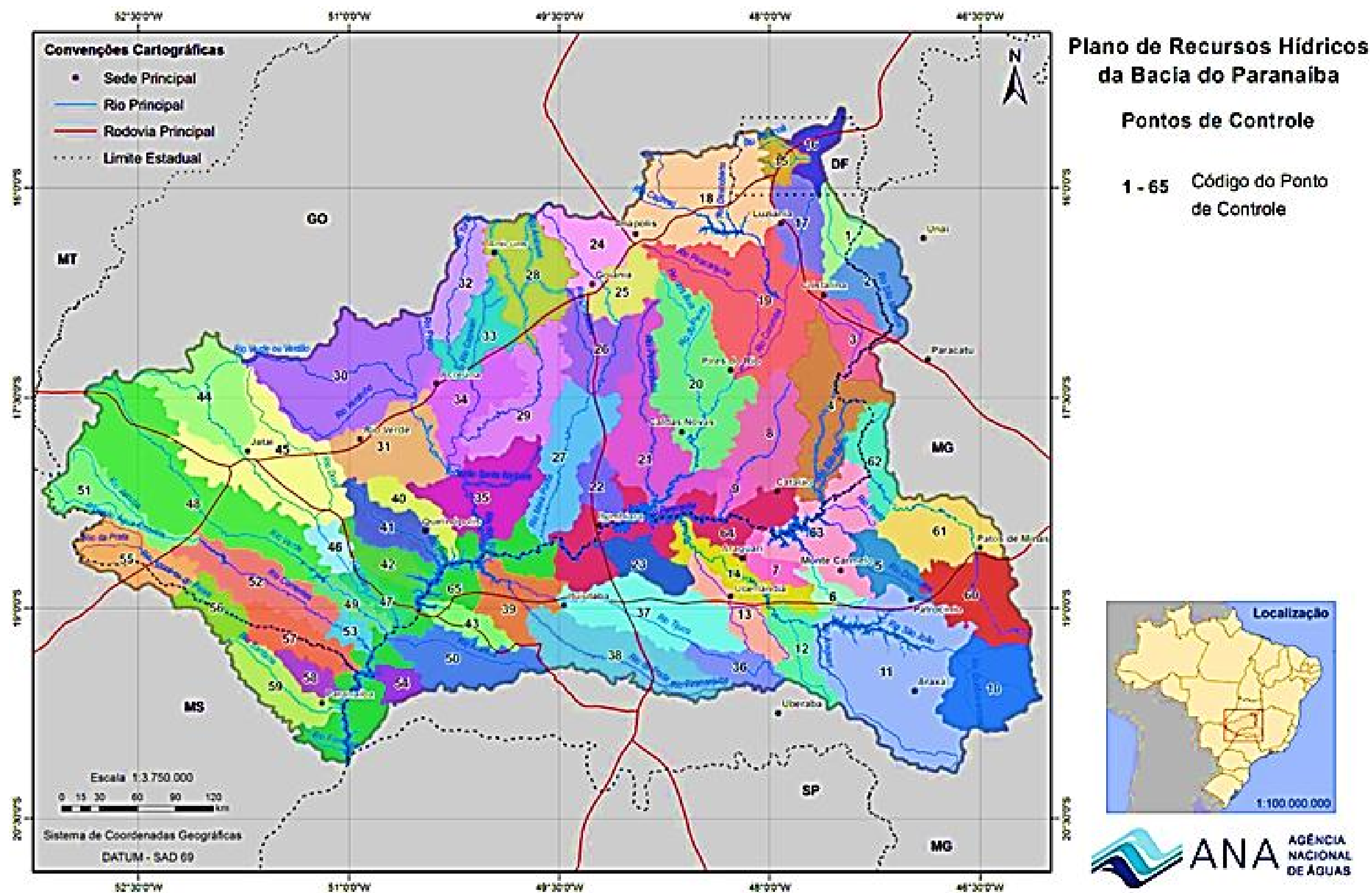
Já a definição dos pontos de controle – PCs, conforme apresentado na figura 7, pautou-se na possibilidade de mensurar e efetuar possíveis correspondências entre a demanda e disponibilidade hídrica.

Figura 6 – Unidades de gestão hídrica (UGHs) da bacia do rio Paranaíba.



Fonte: PRHBP (2011).

Figura 7 – Unidades de gestão hídrica (UGHs) da bacia do rio Paranaíba.



Fonte: PRHBP (2011).

3.2 Características do Embasamento Geológico / Estrutural.

O PRHBP (2011) afirma que as características do embasamento geológico/estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba apontam sua inserção em duas províncias estruturais distintas, a Província do Tocantins e a Província do Paraná, figura 8. O mesmo relatório apresenta uma terceira estrutura geológica nas proximidades regionais dos municípios de Patrocínio e Patos de Minas, categorizada como Bacia Sanfranciscana.

Realça-se que a província do Tocantins é considerada uma estrutura litotectônica gigantesca, tendo sua origem durante a Gondwana e é estruturada na região que fica entre os crátons do São Francisco-Congo e Amazônico (ALMEIDA *et al.*, 1981 e URUNG, 1992).

Para Pimentel *et al.* (2000), Dardenne *et al.* (2000) e Silva (2017), as faixas Araguaia e Paraguai da província do Tocantins fazem fronteira com o Cráton Amazônico a leste, e a oeste limita-se com a faixa Brasília, pertencente ao Cráton do São Francisco.

A Província Tocantins pode ser subdividida em duas sub-províncias lito-estruturais. A primeira compreende o embasamento, constituído por rochas granítico-gnáissicas, de estruturação complexa e comportamento predominantemente dúctil. A segunda sub-província corresponde às sequências supra-crustais, normalmente constituídas por rochas metassedimentares clásticas, pouco deformadas. A área de ocorrência dessa Província corresponde à porção centro-Leste da bacia. A Província Paraná também pode ser subdividida em duas sub-províncias lito-estruturais. A primeira corresponde às sequências sedimentares predominantemente clásticas, com estratificação sub-horizontal e contatos quase que exclusivamente litológicos, sem controle estrutural. A segunda sub-província é formada pelos basaltos da Formação Serra Geral. São rochas magmáticas vulcânicas, decorrentes de derrames sub-horizontais, muito fraturadas, às vezes diaclasadas, que dão origem às coberturas detrítico-lateríticas. Sua área de abrangência está restrita à porção ocidental da bacia hidrográfica. (EPE, 2006).

Conforme Nijishijima (2013), a Província do Paraná compreende os limites tectônicos da Província do Paraná, situada na porção sudeste da América do Sul, tendo sua evolução efetiva durante as eras Mesozoica e Paleozoica. Pela análise sedimentológica, as amostras coletadas

correspondem a depósitos gerados entre os períodos Ordoviciano e Cretáceo (460 a 65 milhões de anos).

Nesse contexto, Riccomini *et al.* (1992) complementa, apontando que toda a litologia se estruturou sob rochas sedimentares e vulcânicas, podendo chegar a 7.000 m na faixa central.

Conforme o PRHBP (2011) a Província do Paraná tende a se destacar:

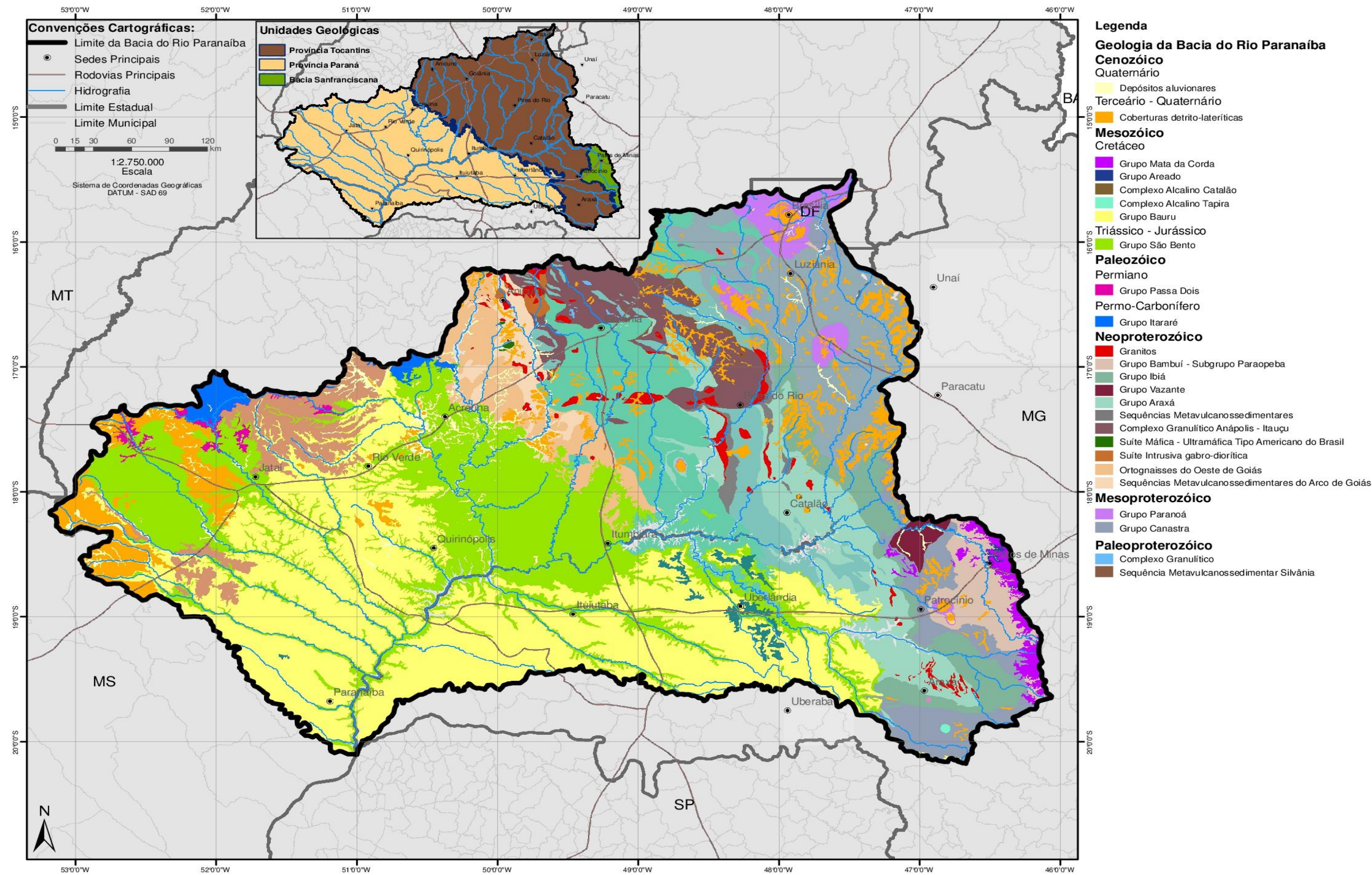
[...] A Província Paraná compreende os limites da bacia tectônica do Paraná, que se caracteriza por ser uma estrutura intracratônica, com cerca de 1750 km de comprimento e largura aproximada de 900 km, abrangendo a parte meridional do Brasil, a metade oriental do Paraguai e parte da Argentina e Uruguai, totalizando 1.600.000 km². Pode também ser subdividida em duas subprovíncias litoestruturais: a primeira corresponde às sequências sedimentares clásticas, com contatos quase que exclusivamente litológicos e estratificação sub-horizontal; a segunda subprovíncia formada pelos basaltos do Grupo São Bento (Formação. Serra Geral), que se caracterizam como rochas magmáticas provenientes de derrames de lava, sendo intensamente fraturadas, por vezes diaclasadas, e que dão origem às chamadas coberturas detrítico-lateríticas. Com relação à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, a sua área de abrangência está restrita à parte ocidental.

Findando o embasamento geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, temos a cobertura que ocorreu no fanerozóico, preenchendo todo o Cráton do São Francisco, denominando-se Bacia Sanfranciscana, com uma depressão seguindo a direção norte-sul, coberta por sedimentos pertencentes aos grupos Areado e Urucuia, Areado e Mata da Corda (HASYU, 1969). Ressalta-se que os estudos realizados por Campos & Dardenne (1997) foram extremamente relevantes, pois afirmam que as atividades vulcânicas ultrabásicas associadas a sedimentos continentais originaram todo o preenchimento dessa bacia.

O PRHBP (2011) assim define a Bacia Sanfranciscana:

[...] A Bacia Sanfranciscana é uma cobertura fanerozóica do Cráton São Francisco que ocorre numa faixa alongada, segundo a direção norte-sul, com cerca de 150.000 km² e que se estende desde o Triângulo Mineiro até o estado do Maranhão. Sua principal característica é a de que esta estrutura geológica forma o divisor de águas das bacias do Paraná e do São Francisco, não sendo, entretanto, detalhada no presente trabalho além de sua descrição no mapa geológico, uma vez que a mesma ocorre de forma diminuta dentro da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, com relação a todos os outros grupos geológicos vinculados às Províncias do Tocantins e do Paraná.

Figura 8 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Embasamento Geológico / Estrutural.



Fonte: PRHBP (2011). Org. Silva. G. C (2017).

3.3 Aspectos Geomorfológicos e Hipsométricos

Os aspectos geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba são importantes e capazes de permitir a orientação quanto ao uso e à ocupação dos espaços existentes e, de acordo com o PRHBP (2011) e Silva (2017), ao tratar de tal caracterização geomorfológica, nos deparamos com dois conjuntos distintos de relevo (figura 8).

O primeiro conjunto é categorizado como Planalto Central Goiano, correspondendo ao Planalto do Distrito Federal e ao Planalto Rebaixado de Goiás, região que apresenta a predominância de rochas metamórficas e metassedimentares.

De acordo com Mendes Silva (2014), o segundo conjunto de relevo é denominado Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, região que abrange os planaltos areníticos e os basálticos interiores, subcategorização no Planalto (Chapadão) do Rio Verde e Planalto Rebaixado da Bacia do Paraná. O quadro 2 sintetiza as principais características geomorfológicas bem como suas subdivisões.

Outro fator que também auxilia na compreensão das características geomorfológicas pauta-se nas condições hipsométricas, visto que todo o modelado morfológico tende a sofrer formas distintas de erosão e modelagem, conforme sua estrutura geológica, pedológica, climatológica entre outros.

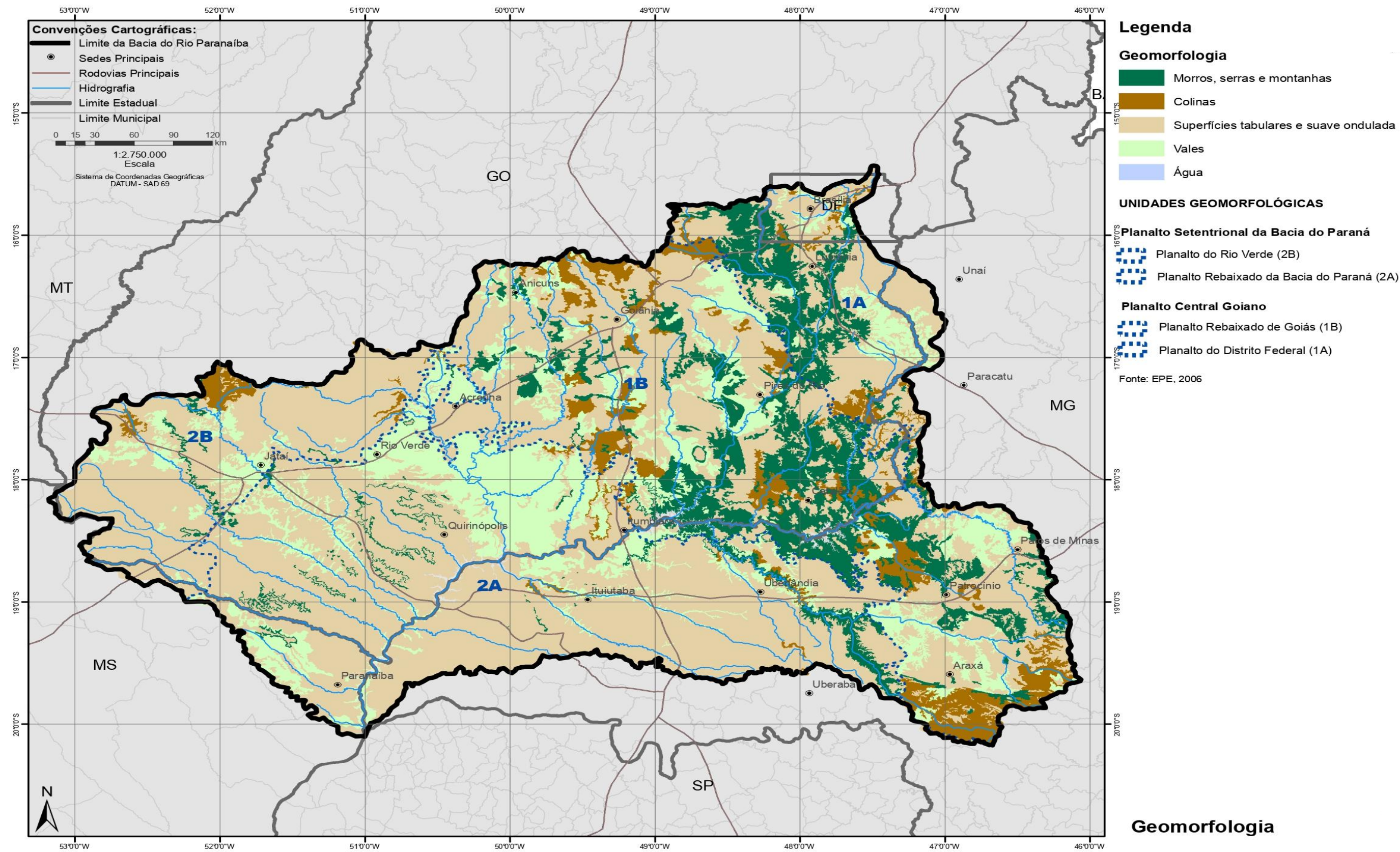
Em consonância com Santos (2016), a região sudoeste da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (Bacia do Paraná) apresenta as menores cotas altimétricas, seguindo o percurso principal do rio Paranaíba, de acordo com a figura 9, bem como o médio e o baixo curso dos principais afluentes da sua margem esquerda, sendo denominada pela ciência Geomorfológica como o Planalto Rebaixado da Bacia do Paraná.

Quadro 2 - Subdivisão Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

SUBDIVISÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PLANALTO CENTRAL GOIANO.	
1A - Planalto do Distrito Federal	1B - Planalto Rebaixado de Goiás
Este compartimento localiza-se na porção extremo-nordeste da bacia, com 69,15% de sua área recobrindo o estado de Goiás, 14,63% no território do Distrito Federal, além de 16,21% em Minas Gerais. Apresenta um conjunto de relevo constituído por superfícies tabulares elevadas (1.200m), e que se unem a patamares rebaixados através de escarpas erosivas, que demonstram desníveis da ordem de 150 metros. As formas tabulares geralmente apresentam superfícies erosivas relacionadas a estruturas representativas do relevo residual e são separadas por vales de fundo plano. Estas superfícies encontram-se recobertas por sedimentos terciários-quaternários. A porção rebaixada do Planalto do Distrito Federal apresenta-se dissecada e é sustentada por rochas do grupo Araxá, predominantemente quartzitos	O Planalto Rebaixado de Goiás limita-se ao norte com o Planalto do Alto Tocantins- Paranaíba, a nordeste com o Planalto do Distrito Federal e a sul-sudeste com o Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, constituindo uma zona de transição entre ambos. Abrange boa parte da porção nordeste da bacia, com 66,26% de sua área localizada no estado de Goiás e 33,73% no estado vizinho, Minas Gerais. A superfície geomorfológica geral desse vasto planalto rebaixado é bastante dissecada sob formas variadas, que vão desde as formas tabulares de relevo até estruturas convexas, geralmente moldadas nas rochas quartzíticas do Grupo Araxá. Apresenta altimetrias entre 650-850 metros, com modelados de dissecação geralmente tabulares e interflúvios amplos. Abriga cursos d'água volumosos, como o Rio Corumbá por exemplo, que se encontram fortemente encaixados e controlados por estruturas geológicas subjacentes.
SUBDIVISÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PLANALTO SETENTRIONAL DA BACIA DO PARANÁ	
2A - Planalto Rebaixado da Bacia do Paraná	2B - Planalto Rebaixado de Goiás
A unidade geomorfológica Planalto Rebaixado da Bacia do Paraná ocorre na porção sul da bacia com 47,34% de sua área inserida no estado de Goiás, 44,76% em Minas Gerais, além de uma pequena porção localizada na região nordeste de Mato Grosso do Sul (7,9%). Compreende dois compartimentos topográficos distintos: o primeiro mais elevado, com altitudes entre 650-1.000 metros; e o segundo mais rebaixado, com cotas altimétricas entre 350-650 metros. Suas formas de relevo, em geral tabulares, são sustentadas pelos derrames basálticos da formação Serra Geral. Os interflúvios são extensos, com caimento predominante em direção ao Rio Paranaíba. Sua paisagem é muito homogênea, devido ao caráter denudacional existente, sendo interrompida por alguns residuais de topos planos e com bordas escarpadas.	O Planalto do Rio Verde localiza-se na porção noroeste da bacia do Rio Paranaíba, com 96,83% de sua área na região sudoeste de Goiás e 3,17% no estado de Mato Grosso do Sul. Corresponde à junção de conjuntos de relevo de feições complexas, apresentando em geral sulcos adaptados às estruturas tectônicas; formas de relevo convexas associadas a formas tabulares mais amplas e com drenagem pouco entalhada e relevos residuais de topos tabulares. É comum também a presença de pavimentos detrítico superficiais recobrindo as vertentes. Em geral é constituído por modelados com feições homogêneas de relevo, que demonstram formas muito amplas e superfícies mais suavizadas. Quando a superfície de aplainamento conservada é muito extensa, apresenta configuração de chapadas, constituindo dispersores de drenagem. Sobre este modelado são observadas feições geomorfológicas locais de aspecto variado, incluindo formas de dissecação tabulares e estruturas geomorfológicas convexas. Litologicamente esta feição do modelado está associada aos arenitos cretáceos do Grupo Bauru, sendo que nas partes mais elevadas predominam as coberturas detrítico- lateríticas.

Fonte: Baseado em PRHBP (2011) **Org.** Silva. G. C (2017).

Figura 9 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Características Geomorfológicas.



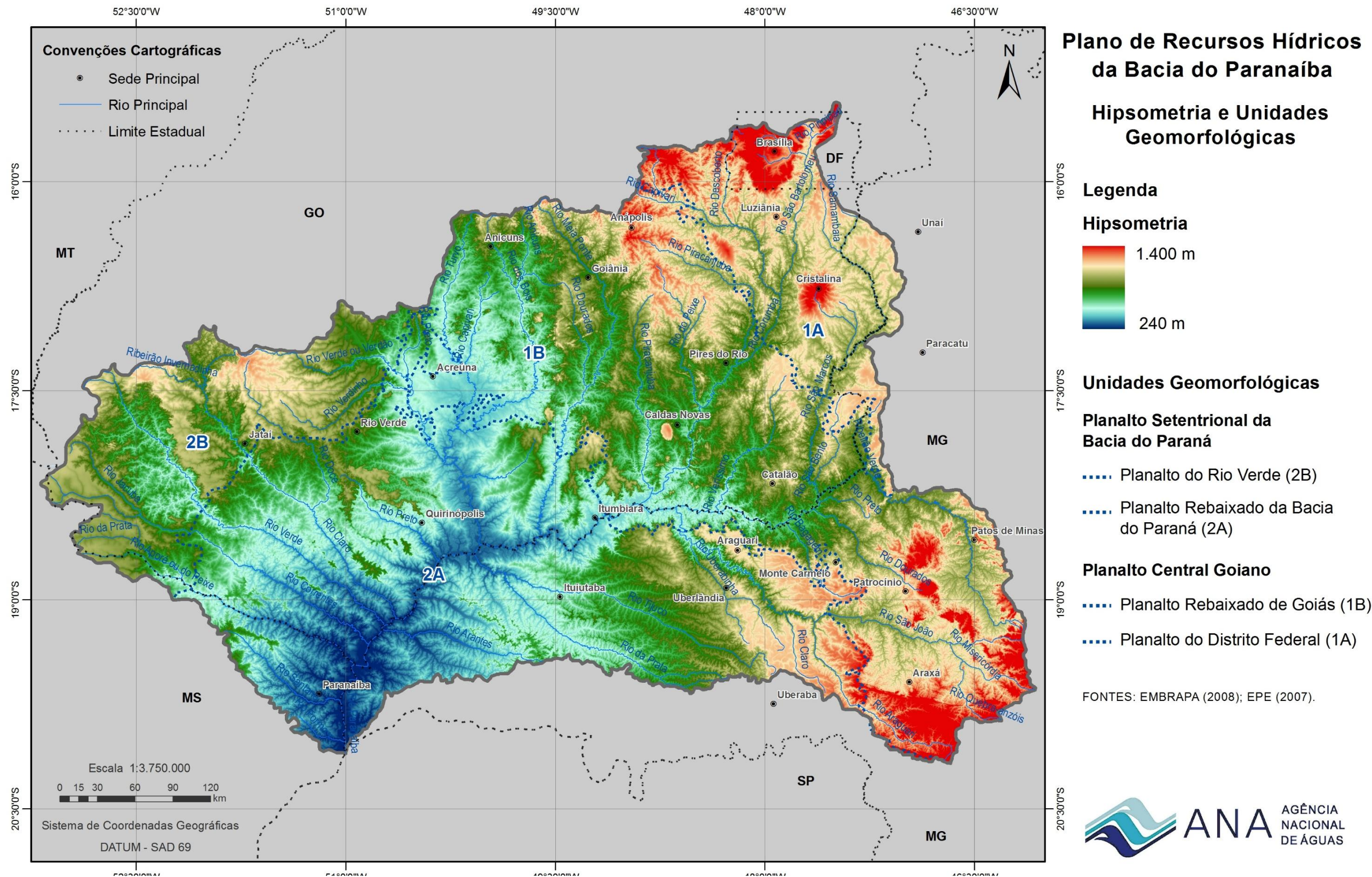
Fonte: EPE (2006). Baseado em: PRHBP (2011). Org. Silva. G. C (2017).

Para o PRHBP (2011), os rios que compõem a margem esquerda bem como seus afluentes encontram-se inseridos na formação do Vale do Rio do Peixe, pertencente ao Grupo Bauru, constituído por rochas areníticas que foram intensamente trabalhadas e erodidas pelos corpos hídricos. O sequenciamento desse baixo topográfico tem sua origem desde o exultório da bacia, seguindo em direção à montante dos rios Turvo e dos Bois, formando, assim, um conjunto de vales, que tem por embasamento geológico rochas provenientes da Formação Serra Geral, pertencentes ao Grupo Bauru.

Para Santos (2016), as maiores cotas altimétricas situam-se na região nordeste da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, conforme pode-se observar na figura 10. Geomorfologicamente é denominada como o Planalto do Distrito Federal (cotas mais elevadas) e, para as cotas mais baixas, tem-se o Planalto Rebaixado de Goiás. A margem nordeste apresenta estruturas dos Grupos Araxá e Paranoá e a leste-sudeste a dos Grupos Canastra e Bauru (Formação Marília).

O PRHBP (2011), aponta que a predominância das maiores cotas altimétricas somente é possível devido a sua base estrutural, que é composta por rochas metamórficas (xistos, quartzitos e filitos) e, também, pela presença de sedimentos ricos em silicatos, característicos da Formação Marília, cujas formações tendem a possuir maior resistência quanto à ação dos agentes intempéricos e erosionais.

Figura 10 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Mapa Hipsométrico.



Fonte: Baseado em PRHBP (2011) Org. Santos D. C. (2016).

3.4 Tipologias Pedológicas e Aptidão Agrícola

Quanto à caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, uma característica relevante se encontra nos levantamentos pedológicos, visto que estes são resultados de uma gama de agentes modeladores.

Tal compreensão permite que medidas de manejo, uso e ocupação sejam melhor abordadas, bem como, qualquer informação que permita a elaboração de um arcabouço de conhecimento qualitativo e quantitativo.

Os levantamentos pedológicos foram apresentados no PRHBP (2011) e conforme representado na tabela 10, onde aproximadamente 63% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba se encontra sobre Latossolos, ou seja, uma área de aproximadamente 13.873.097,20 ha; enquanto 3.940.324,50 ha, correspondente a 18%, sob Cambissolos e 10% correspondente a 2.211.862,10 ha de solos Podzólicos, enquanto outras formações pedológicas como Gleissolos (628.451,10 ha) pouco Húmicos, Litossolos (400.975,60 ha) e Areias Quartzosas complementam os 9% restantes.

Tabela 10 - Área ocupada pelas classes de solos mais representativas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

CLASSES DE SOLOS	ÁREA (ha)
Latossolos	13.873.097,20
Cambissolos	3.940.324,50
Podzolico	2.211.862,10
Solo Litólico	628.451,10
Glei pouco húmico	400.975,60

Fonte: PRHBP (2011). **Adaptado:** Silva. G. C (2017).

Segundo Carvalho (2016), as variações tipológicas de Latossolos na área de estudo (figura 10), são: Latossolo Vermelho - alumínico e distrófico, Latossolo Vermelho distroférico, Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico e distrófico e por fim o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico. (Verificar a nomenclatura e o uso do e.)

De acordo com PRHBP (2011) esses solos são:

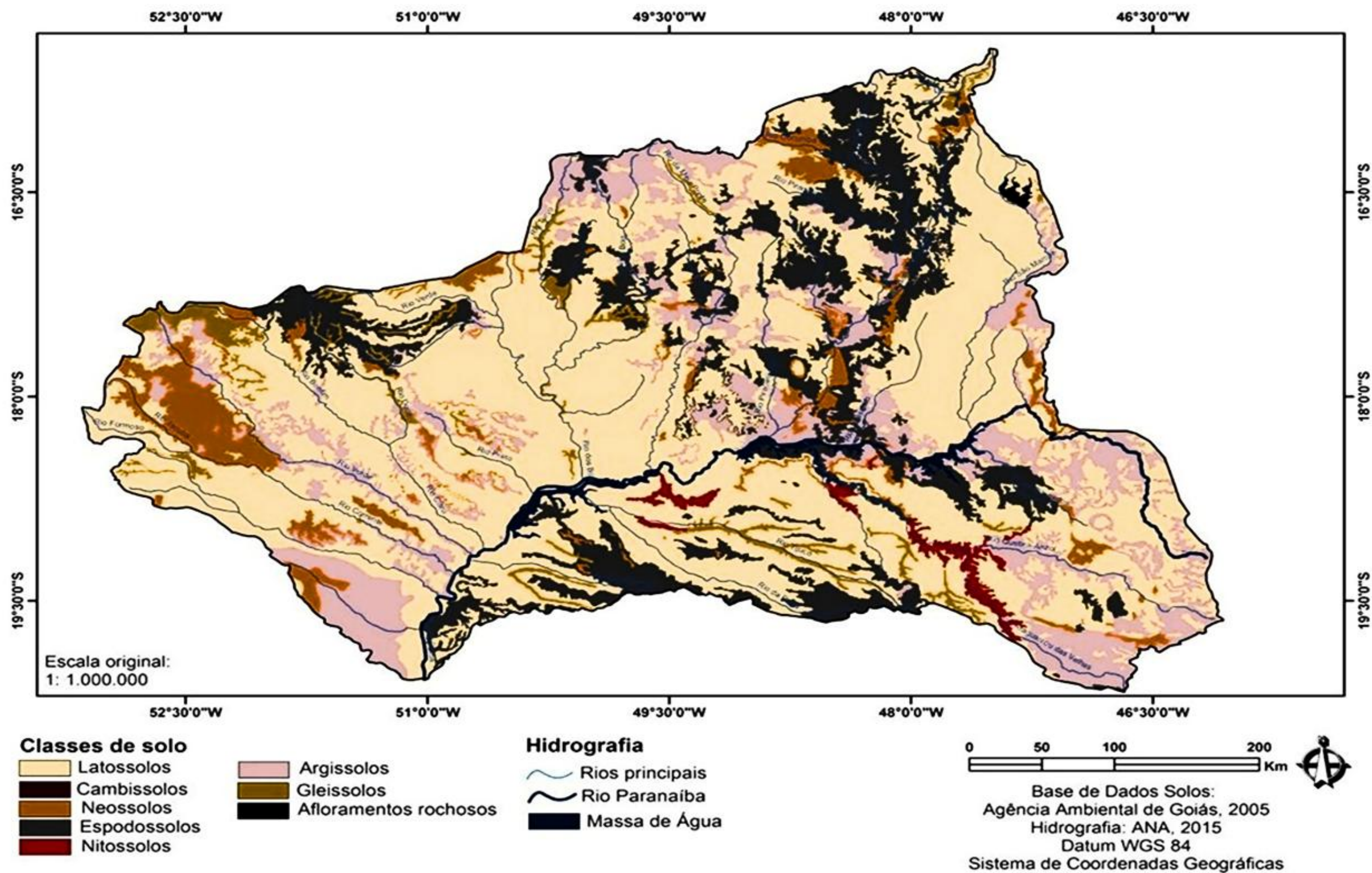
Solos com baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas. Ocorrem em relevos planos e suaves ondulados favoráveis à mecanização agrícola. São aptos para a irrigação por aspersão e estão localizados em toda área central da bacia hidrográfica, incluindo as sub-bacias dos rios dos Bois, Turvo, Verde, Doce, Corrente, Arantes, São Domingos, Prata, margem esquerda dos rios Araguari e Meia Ponte.

Já os Cambissolos são tipologicamente categorizados em: Cambissolo háplico alumínico e distrófico e podem ser agrupados aos Nitossolos Vermelho distróficos e aos Argissolos Vermelhos-Amarelo alumínico e distrófico. Em consonância com Carvalho (2016), as duas últimas tipologias não têm grande ocorrência na bacia em estudo.

Ainda de acordo com o mesmo autor *op cit.*, a variação tipológica dos solos denominados gleissolos melânico e háplico, juntamente com os plintossolos, neossolos quartzarênicos hidromórficos, neossolos flúvicos e os organossolos, caracterizam variações pedológicas que tendem a ocorrer em regiões hidromórficas e aluviais.

Nesse contexto, após apresentar os dados referentes ao levantamento pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, o EPE (2006), pautando-se em dados importantes, como a fertilidade natural, a escassez e/ou excesso hídrico, além de dados referentes às características físicas do solo como permeabilidade, porosidade, susceptibilidade aos processos erosivos, técnicas de manejo, práticas agrícolas, dentre outros, propôs-se a divisão das classes referentes à aptidão agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, representadas nas figuras 11, 12 e na tabela 11:

Figura 11 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Classificação Pedológica.



Fonte: PRHBP (2011). Adaptado: Silva, G. C (2017).

Tabela 11 - Classes de aptidão agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

CLASSES	CARACTERIZAÇÃO
CLASSE BOA	Terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado.
CLASSE REGULAR	Terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado.
APTAS PARA PASTAGEM	Terras que não apresentam limitações para pastagem, necessitando de avaliação posterior, de acordo com os demais mapeamentos realizados na elaboração do diagnóstico.
CLASSE RESTRITA	Terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado.
CLASSE INAPTA	Terras não indicadas para a produção sustentada de culturas de ciclo curto e longo. Em geral, são indicadas para a preservação da flora e da fauna.

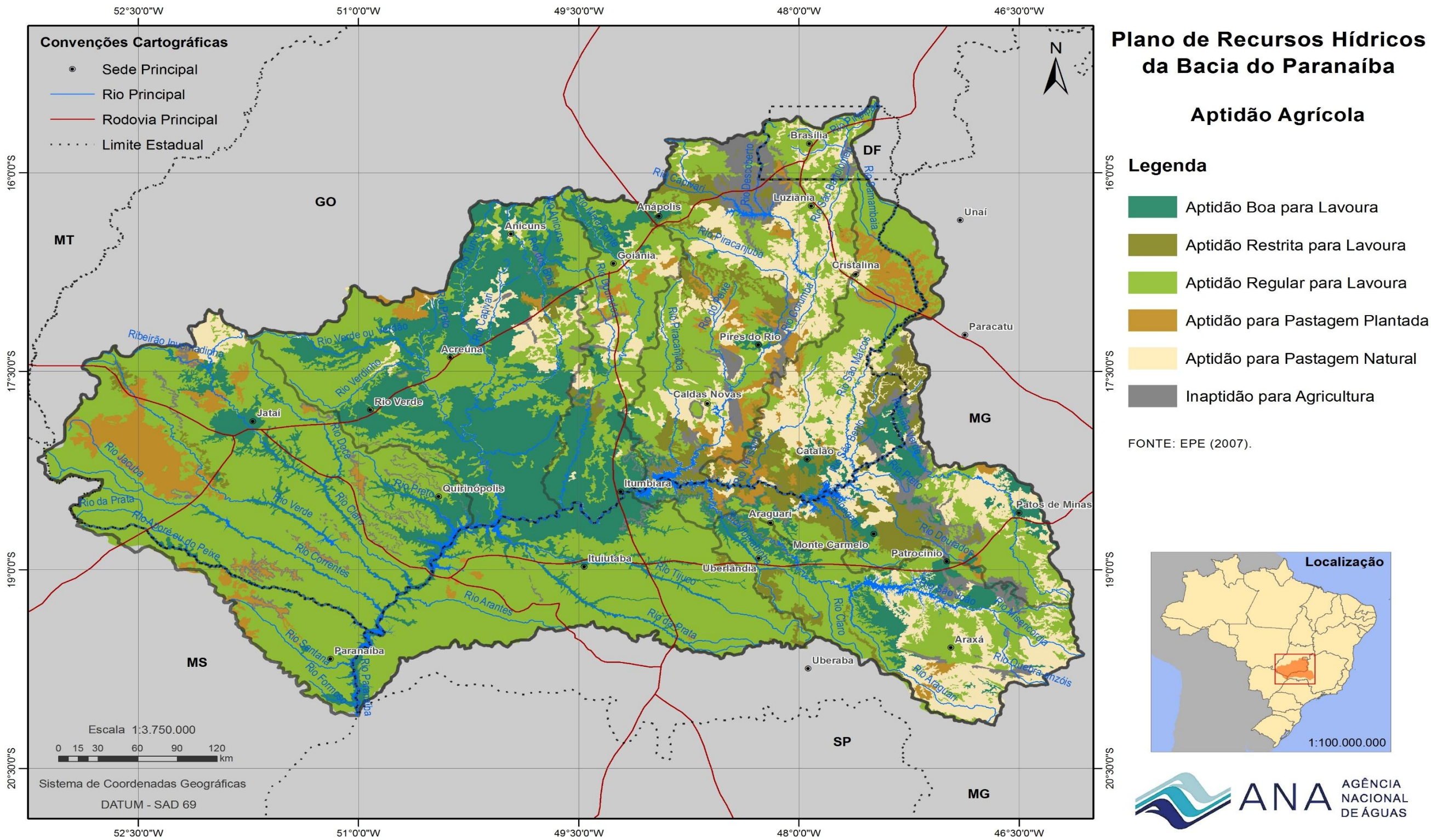
Fonte: PRHBP (2011). **Org.** Silva. G. C (2017).

De posse dessas informações, é indiscutível que a faixa central da bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, configura a região com características de maior produtividade agrícola (figura 10).

O EPE (2006), como apresentado no PRHBP (2011), concluiu que:

[...] A maior parte da bacia do Rio Paranaíba, que corresponde a 52% da superfície, apresenta aptidão regular para lavouras. As terras com aptidão boa para lavoura encontram-se predominantemente na área central e representam 19% da área total da bacia. Terras aptas para pastagem natural (13%) estão localizadas principalmente na porção oriental da bacia e muitas vezes coincidem com áreas de colinas. As terras aptas para pastagem plantada (5% da área total) estão localizadas principalmente em faixas nas partes Leste e oeste da bacia. Também apresentam menor ocorrência as terras inaptas para agricultura (5%) e com aptidão restrita para lavoura (6%).

Figura 12 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Classificação Pedológica.



Fonte: PRHBP (2011). Adaptado: Silva. G. C (2017).

3.5 Atributos Fitofisiográficos

A caracterização fitofisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, representadas nas figuras 12 e 13, apontam que a maior área é coberta pelo bioma Cerrado, enquanto uma pequena faixa que margeia o curso principal e seus afluentes é coberta pelo bioma Mata Atlântica (SILVA, 2017).

De acordo com o PRHBP (2011), no contexto da área em estudo, o Cerrado possui aproximadamente 22,4% de sua cobertura original, enquanto a Mata Atlântica possui somente 14,4%.

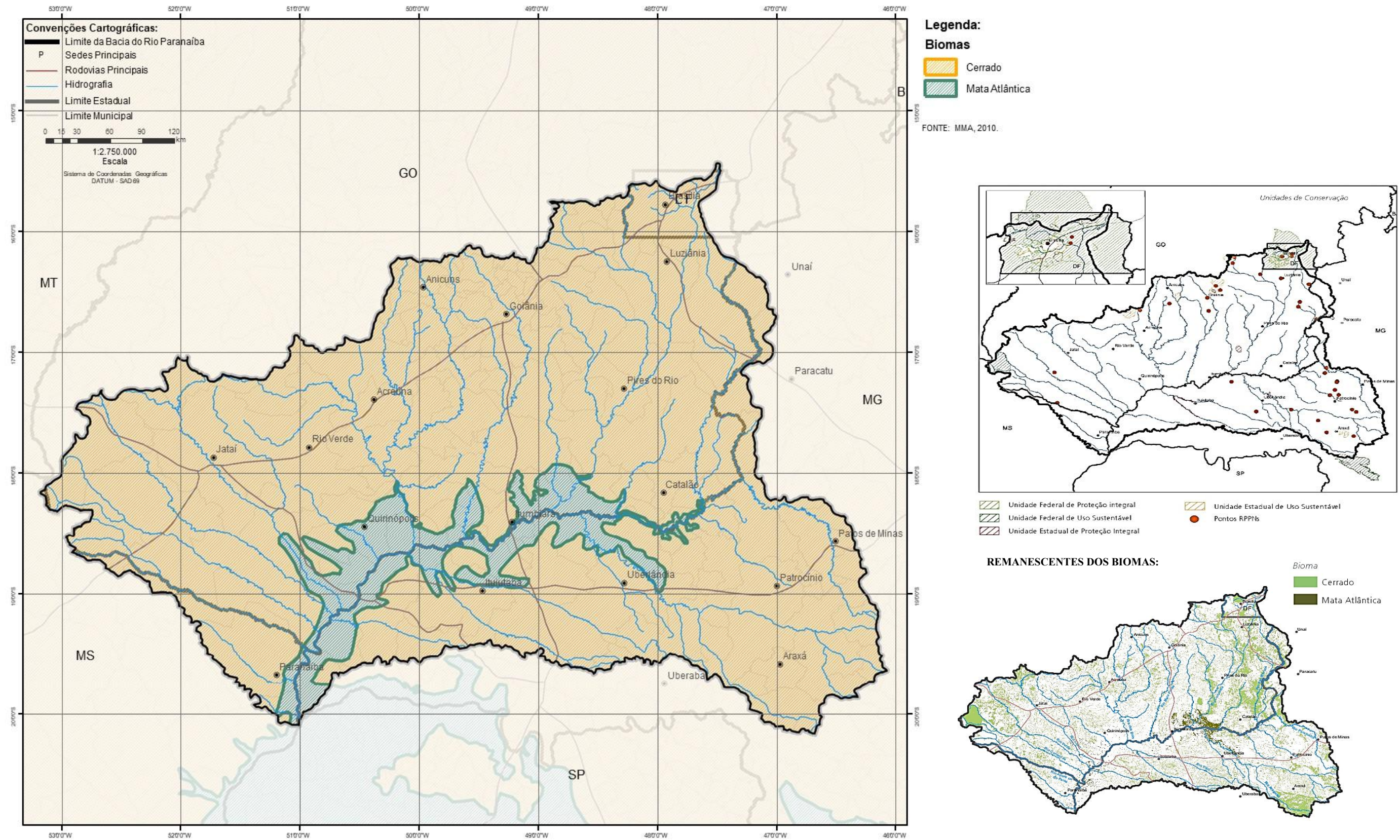
Os remanescentes do Cerrado são mais evidentes próximos às Unidades de Gestão Hídrica (UGHs), Claro, Verde, Correntes, Aporé, Corumbá, São Marcos e Rio Araguari.

Segundo Ribeiro e Walter (2008) é importante destacar algumas variações fitofisionômicas que subdividem o bioma Cerrado:

[...] Mata Ciliar, Mata Seca ou Floresta Estacional Decidual e o Cerradão; as formações savânicas: Cerrado sentido restrito ou Cerrado Típico, Campo Cerrado, Palmeiral e Vereda; e as campestres: Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre. Para Eiten (1993), este Bioma é dividido em quatorze tipos de paisagens diferentes sendo elas: Campo Limpo de Cerrado, Campo Rupestre, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado senso-restrito, Cerradão, Campo de Murundus, Buritizal e Veredas, Campo Úmido, Brejos Permanentes, Pantanal, Floresta Baixa, Floresta Mesofítica decídua e Floresta Mesofítica semidecídua.

O PRHBP (2011) aponta que os aspectos vegetacionais do bioma Cerrado devem ser preservados, visto que o desenvolvimento dessa vegetação se dá em qualquer tipologia pedológica, embora ocorram com maior evidência em solos profundos, ácidos, bem drenados, pobres em nutrientes e com alta saturação de alumínio e ferro.

Figura 13 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Biomas.



Fonte: PRHBP (2011). Adaptado: Silva, G. C (2017).

O PRHBP (2011) considera as seguintes características ao bioma Cerrado:

[...]a vegetação apresenta fenologia marcadamente sazonal, com incremento da biomassa na estação das chuvas outubro a maio e dessecação das partes aéreas na estação seca - junho a setembro o que favorece a ocorrência de incêndios naturais e, também, decorrentes da ação antrópica. Enfatiza-se que vários fatores podem contribuir para que as espécies tenham diferentes níveis de sensibilidade ao fogo. A diferença de sensibilidade ao fogo também tem um importante papel na dinâmica do ecótono Cerrado-mata. Ecótono é a região de transição / contato entre dois biomas (ou zona de formações distintas), normalmente é uma região de alta diversidade biológica.

Outro ponto importante sobre o bioma Cerrado é que as fitofisionomias denominadas Mata Ciliar, Mata de Galeria, Veredas e Campo Úmido, amparadas pela Lei Federal Nº 12.651 de 25 de maio de 2012, foram rigorosamente categorizadas como área de preservação permanente (APP) (SANTOS, 2016).

O autor *op cit.* também descreve o segundo bioma pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, denominado Mata Atlântica, que representa somente 14,4% da sua cobertura original, e seus remanescentes margeiam o Rio Paranaíba e as Unidades de Gestão Hídricas (UGHs) dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, São Marcos e Corumbá.

A caracterização do bioma Mata Atlântica é pautada no decreto Lei n. 750/1993:

O espaço que contém aspectos fitogeográficos e botânicos que tenham influência das condições climatológicas peculiares do mar incluindo as áreas associadas delimitadas segundo o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE,1993) que inclui as Florestas Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas e campos de altitude associados, brejos interioranos e encaves florestais da Região Nordeste (PRHBP, 2011).

Conclui-se, assim, que se deve atentar quanto as diversas formas de intervenções que o meio antrópico e o meio natural têm inferido sobre a bacia e, para tanto, pautados no crescimento acelerado que temos ultimamente evidenciados bem como a adoção de políticas preservacionistas, nos deparamos infelizmente com resquícios destas distintas formações (PRHBP, 2011).

3.6 Propriedades Climáticas

A classificação climática para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba proposta por Köppen (1928) é do tipo “Aw”, ou seja, clima tropical de savana, apresentando período de sazonalidade com duas estações bem definidas, sendo o período seco abrangendo os meses que vão de abril a setembro e o período chuvoso permeando os meses de outubro ao início de abril (AYOADE, 1996).

Para Barros (2003), a variabilidade climática existente associada à sazonalidade pode provocar certos desconfortos no ser humano, uma vez que prevalece a ocorrência de fenômenos de maior intensidade: aumento da temperatura, baixa umidade do ar, estiagens, hidrometria alta, ondas de calor, dentre outros.

Já Flauzino *et al.* (2010) ressalta que a classificação do tipo “Aw” é pautada em fatores como os regimes pluviométricos e de temperatura do ar, sendo que tais variabilidades refletem no tipo de vegetação, visto que a predominância vegetacional apoia-se na ação climática regional.

Neste contexto, Silva (2012) aponta que a região da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba sofre influência direta e indireta dos reflexos das massas Tropical Continental, Equatorial Continental, Tropical Atlântica e Polar Atlântica, que tendem a provocar significativas variações, influenciadas diretamente pela continentalidade e topografias.

Barros (2003), em seus estudos, indica que a massa Equatorial Continental (mEc) segue em direção ao interior do continente brasileiro, atraída pelos sistemas de baixa pressão e, por conseguinte, caminhando no sentido Noroeste (NW) para Sudeste (SE), podendo variar sua direção para Leste/Sudeste (ESE), atingindo, assim, a região Centro-oeste. Tal fenômeno tende

a provocar o aumento da temperatura do ar como também dos índices de precipitação e da umidade relativa do ar.

Já, durante o inverno, ocorrerá a ação de duas massas distintas, sendo elas a Massa Tropical Atlântica continentalizada (mTac), que é caracterizada por apresentar dias com elevados índices de temperatura e com baixa umidade relativa do ar, e a massa Polar Atlântica (mPa), que é diretamente responsável pela queda dos índices de temperatura regional e também pela ocorrência de chuvas durante esse período devido à formação de sistemas frontais (MENDES; QUEIROZ, 2011).

Outro fator climático foi apresentado pelo EPE (2006), caracterizando os níveis de insolação para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, chegando às seguintes considerações:

- Durante os meses que abrangem o período considerado seco, os níveis de insolação (horas/sol) são considerados maiores, mesmo que o período de horas máximo de sol seja considerado curto para esta época do ano e, somente é possível devido as baixas taxas de nebulosidades associadas aos níveis de estabilidade do ar;
- A variabilidade que ocorre sazonalmente referente aos níveis de radiação (insolação), principalmente durante o período considerado seco seguem de acordo com a baixa umidade atmosférica e a ausência de nebulosidade, refletindo na acumulação de calor sensível atenuando o efeito estufa e, por consequência acaba gerando madrugadas mais frias;
- Outro fator importante é que durante o período considerado mais seco e há menor radiação, o que gera um efeito positivo na vegetação (natural e/ou cultivada).

De acordo com PRHBP (2011, p.. 86):

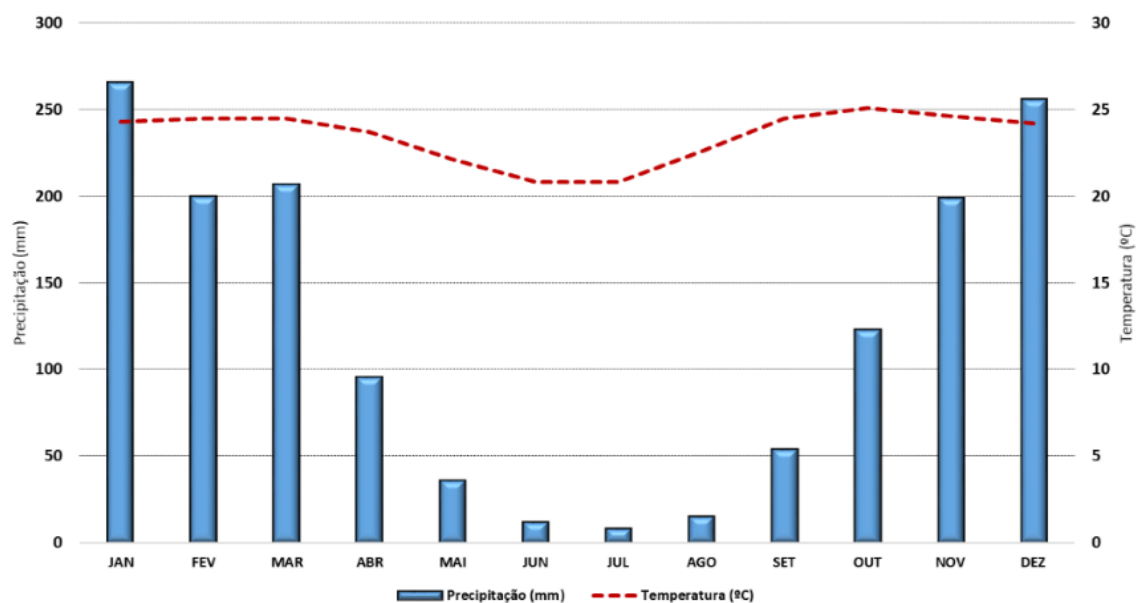
[...] verifica-se que o mês mais quente é outubro, quando é verificada uma maior incidência solar na região, com alta disponibilidade de energia radiante. [...] O mês mais frio é julho, e mesmo neste mês ainda existe umidade no ambiente para consumir o excesso de radiação líquida. Essa análise confirma o caráter tropical do clima regional.

O PRHBP (2011) aponta que os índices de radiação global, associados à localização latitudinal e à topografia da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, são correspondentes à pequena amplitude térmica anual e à pequena variabilidade espacial.

Segundo Mendes Silva (2014), é correto afirmar que quanto maior a cota altimétrica, menor serão os índices de temperatura e maior a média pluviométrica. Sendo assim, constata-se que a porção **leste/norte** da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba corresponde a região que apresenta maior média de precipitação e por conseguinte menor índice de temperatura.

Conforme climograma elaborado pelo autor *op cit.* e apresentado no gráfico 1, **pode-se** observar que o maior índice de precipitação ocorre entre os meses de outubro a março do ano subsequente, representando quase o total anual de precipitação (85%). Silva (2017) corrobora com o autor citado anteriormente ao afirmar que a variabilidade sazonal das precipitações se encontra diretamente ligada aos altos índices de temperatura durante o verão, configurando-se importantes para a quantificação dos índices de evaporação e de umidade relativa do ar.

Gráfico 1 - Climograma da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1973-2011).



Fonte: Mendes Silva (2014). **Org.** Silva. G. C (2017).

O PRHBP (2011), ao abordar os dados referentes à umidade relativa do ar, é unânime ao afirmar que a circulação atmosférica e as dinâmicas que a englobam são extremamente:

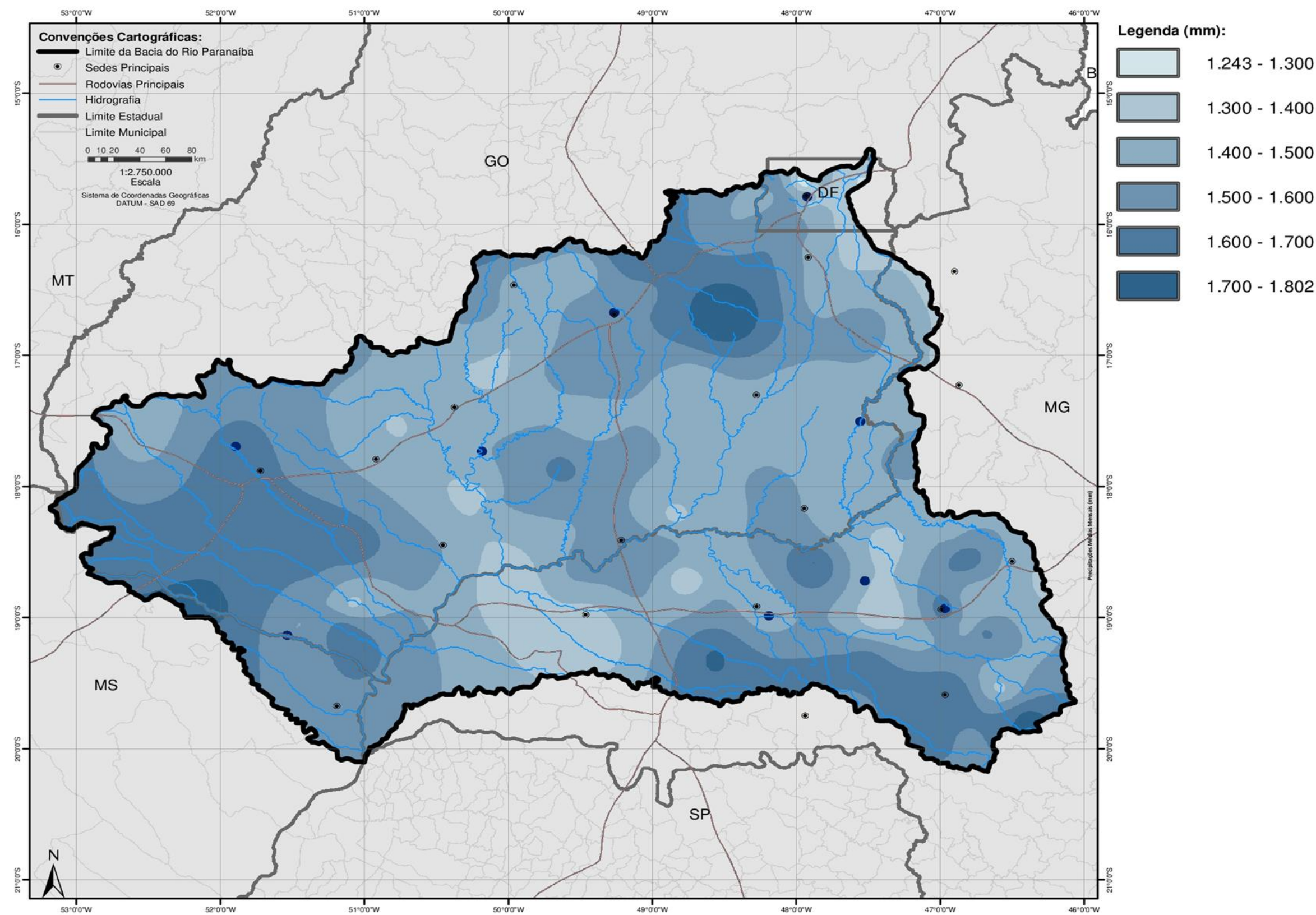
[...]O ar mais seco entre os meses de maio a agosto, associado aos ventos mais intensos do Anticiclone do Atlântico Sul, provocam maior demanda evaporativa da atmosfera junto ao solo. Os menores valores ocorrem no mês de agosto, com médias próximas aos 50%. A maior umidade ocorre quando predomina o sistema de convergência do Atlântico Sul, destacada no período de novembro a abril, encontrando-se acima dos 75%. Esse fato explica em parte a sazonalidade marcante da região e o estado de estabilidade atmosférica, como nos meses de junho a setembro, com umidade geralmente abaixo dos 65%. Os maiores índices de umidade relativa são registrados nos meses de dezembro e janeiro, com valores médios superiores a 80%.

Ao avaliar os índices de temperatura mínima, é perceptível que elas ficam aproximadamente entre 16°C e/ou 18°C, já as máximas identificadas ficam aproximadamente por volta dos 22°C e são predominantes na faixa central da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (MENDES SILVA, 2014). Ao avaliar os índices de precipitação existentes, associando-os aos totais anuais e aos valores totais médios, conforme apresentado na figura 14, **percebe-se** que eles permeiam 1300 mm e os valores máximos chegam a 1800 mm e, de acordo com o PRHPB (2011), a média estimada para toda a bacia permeia a 1500 mm.

De acordo com Mendes Silva e Ferreira (2015), as maiores médias de precipitação são registradas na porção leste/norte e também na porção sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, visto que essa região se destaca devido às maiores cotas altimétricas e por apresentar feições topográficas planas/suavemente onduladas, enquanto o baixo curso do rio Paranaíba apresenta índices elevados de precipitação, que somente ocorrem devido à ação dos sistemas atmosféricos de sul, principalmente a entrada de frentes polares.

Já no período considerado seco e/ou de estiagem, por conseguinte, há quase ausência de precipitações, sendo caracterizado como um período de deficiência hídrica, em que há queda da umidade relativa do ar e maior perda de água do solo, conforme PRHPB (2011).

Figura 14 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Precipitação média anual.



Fonte: Baseado em PRHBP (2011). Adaptado: Santos D. C. (2016).

3.7 Uso e ocupação dos solos

Primeiramente deve-se ressaltar a importância do rio Paranaíba, visto que desde a nascente até sua foz ele:

Percorre cerca de 100 km até a cidade de Patos de Minas/MG, prolongando seu curso por mais 150 km até fazer o limite entre os estados de Goiás e Minas Gerais, onde, nesse ponto estão os limites municipais mineiros de Coromandel e Guarda-Mor, e do município goiano de Catalão. Partindo deste ponto, o Rio Paranaíba faz sua primeira divisão estadual e continua sendo o divisor mineiro e goiano até atingir o município de Paranaíba/MS, onde realiza a sua segunda divisão estadual entre Minas Gerais e Mato Grosso do Sul e, vai seguindo seu curso até confluir com o Rio Grande, formando o rio Paraná (PRHBP, 2011).

Em consonância com os estudos de Mendes Silva (2014), é importante destacar sinteticamente os principais eventos históricos que marcaram toda a dinâmica regional da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

- i. Início do processo de ocupação marcado pela presença das Bandeiras Paulistas, por volta do século XVIII, associado ao ciclo da mineração, descoberto, inicialmente, em Paracatu – MG, e depois se expandindo para outras regiões;
- ii. Avanço do processo de industrialização e a necessidade de abastecimento com alimentos e matérias-primas o mercado em formação;
- iii. Políticas governamentais voltadas à expansão territorial, graças ao processo de modernização da agricultura e da pecuária principalmente na década de 1960;
- iv. Transferência da capital federal para Brasília – DF;
- v. Diversificação das vias de transporte com a expansão das malhas rodoviária, ferroviária e hidroviária;
- vi. Expansão do agronegócio durante a década de 1980;
- vii. Construção e ampliação do setor hidroelétrico, dentre outros.

Cronologicamente, é possível encontrar de forma detalhada nos trabalhos de Diniz (2006), as etapas de expansão na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, seguindo os principais eventos históricos regionais que ocorreram desde a década de 1920 até a atualidade. Assim como também nos apropriar de mais detalhes quanto à expansão no plano de recursos hídricos da bacia do Paranaíba, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) no ano de 2011 – PRHBP (2011).

De posse desses dados, deve-se atentar à realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba na atualidade, ressaltando que o ser humano vai-se apropriando das paisagens conforme suas características e necessidades, de geração em geração, embora, atualmente os processos tenham adquirido padrões ininterruptos e extremamente constantes, tornando, assim, cada vez mais difícil avaliar e perceber tamanhas alterações (SILVA; FERREIRA, 2019).

Nesse enfoque, torna-se cada vez mais crucial compreender as relações entre o uso e ocupação dos solos e os reflexos dessa dinâmica nas bacias hidrográficas.

Silva; Ferreira (2019) avaliaram o uso e ocupação dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, compartimentando-a de acordo com as seguintes classes expressas na tabela 12.

Tabela 12 - Classes de aptidão agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

CLASSES	Mapa 1985 (Km²)	Mapa 2003 (Km²)	Mapa 2013 (Km²)
Corpos D'água	2.195,81	2.350,41	3.516,54
Influência Urbana	1.789,46	2.699,62	2.471,53
Influência Mineral	15,98	13,49	57,56
Silvicultura	2.947,07	1.444,25	2.814,77
Pastagem	102.620,72	106.988,05	91.139,78
Vegetação Natural	73.945,55	58.603,12	63.781,55
Agriculturas	37.846,23	49.261,82	57.579,18
Outros			1.363,61
TOTAL	221.360,82	221.360,76	221.360,91

Fonte: Silva; Ferreira (2019) **Adaptado:** Silva G. C. (2022).

Ao avaliar a evolução entre os anos de 1985, 2003 e 2013, pode-se perceber que, dentre as classes apresentadas, a pastagem e a agricultura se destacam. Também fica evidente que, durante a evolução temporal de uso e ocupação, há uma rotatividade entre elas e os processos de mecanização da agricultura auxiliaram no crescimento da atividade em todo o contexto da bacia avaliada.

A vegetação natural ganhou destaque devido ao decréscimo entre os anos de 1985 a 2003 e, posteriormente, devido às mudanças no embasamento legal vigente, houve um acréscimo significativo durante o período de 2003 a 2013, refletindo não somente a mudança na lei, mas sim, a mudança na forma de pensar e agir quanto ao manejo adequado das regiões agricultáveis.

4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Neste capítulo, buscam-se apresentar as etapas procedimentais metodológicas aplicadas no desenvolvimento da referente tese: Balanço Hídrico Climatológico no Contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP).

Sendo assim, o desenvolvimento do trabalho foi executado de acordo com as seguintes etapas:

- I.** Elaboração do arcabouço teórico-metodológico-conceitual, aquisição de todos os dados de mapeamento, tais como temperatura (máxima, média e mínima) e precipitação (INMET).
- II.** Apresentação de todos os procedimentos necessários o trabalho laboral com os bancos de dados, bem como, às práticas metodológicas cabíveis ao desenvolvimento do Balanço Hídrico Climatológico e as demais variáveis.
- III.** Avaliação dos resultados encontrados, dispostos de diversas formas como: gráficos, planilhas, imagens e ou mapas, com análises e considerações pertinentes a cada um.

Dessa forma, o capítulo em questão foi dividido em subitens que visam a apontar metodologia aplicada, material, técnicas e procedimentos utilizados, de forma a alcançar o objetivo proposto pela pesquisa.

4.1 Materiais

Para a realização do trabalho proposto, foi necessário a utilização dos seguintes equipamentos (*hardwares* e *softwares*), conforme dispostos a seguir:

➤ **Hardwares**

- Notebook: HP PAVILLON 14 NOTEBOOK PC.
- Processador Intel(R) Core (TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz 2.30 GHz;
- RAM: 4,00 GB;
- ID do dispositivo: DE8F2A80-B9F5-46A0-A264-9392833A8B5B;
- ID do Produto: 00327-60000-00000-AA171.

➤ **Softwares**

- Sistema Operacional *Windows® 10 Pro Home Single Language* – Versão: 21H2 - *Windows Feature Experience Pack* 120.2212.4180.0;
- *Microsoft Office® 365*;
- Família ArcINFO /ArcGIS 10.2® *Environmental Systems Research Institute – ESRI*;

➤ **Fontes de Dados**

- Imagens do Satélite LANDSAT 8 (Sensor ETM+) em maio de 2016;
- Cartas Topográficas pertencentes ao Mapeamento Sistemático Brasileiro efetuado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- Arquivos Vetoriais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (hidrografia, limite da Carta, curvas de nível, etc.);
- Outros produtos cartográficos já existentes sobre a área de estudo;
- Acervo de dados de series temporais de temperatura e de precipitação foram fornecidos pelo Governo Federal através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através do sítio online: <https://portal.inmet.gov.br/>.

4.2 Elaboração do referencial teórico-metodológico-conceitual

Para desenvolver o presente estudo, efetuou-se primeiramente, o levantamento de todo arcabouço teórico-metodológico-conceitual necessário. Em seguida, buscou-se avaliar a

abrangência e a relevância da temática proposta, com vistas a destacar o importante papel que a bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba possui no contexto regional, estadual e federal.

Percorridos os passos supracitados, e em consonância com o proposto por Silva e Ferreira (2019), buscou-se o embasamento teórico-metodológico-conceitual do presente estudo em diversos suportes como sítios on-line, livros, revistas, dentre outros. Conseguindo-se, assim, vasta gama de artigos, livros, periódicos, revistas científicas, teses, dissertações, ou seja, qualquer fonte de informação científica que direta e/ou indiretamente abrangesse a temática proposta e/ou que fizesse alguma referência à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

4.3 Elaboração e organização do banco de dados

Para a elaboração e organização do banco de dados necessário ao desenvolvimento da presente tese, priorizaram-se dados oriundos de diversas fontes consideradas fidedignas e que fornecessem dados compatíveis com a proposta desejada, buscando sempre pautar-se nos princípios de homogeneidade e integridade das séries temporais e/ou históricas.

Após esses procedimentos, percebeu-se a necessidade emergente de um banco de dados integrado brasileiro, que possibilite os acessos a dados físicos e sociais, capaz de integrar melhor qualitativamente e quantitativamente as informações, melhorando, assim, o desenvolvimento técnico e científico nacional (MACIEL, 2016).

4.3.1 Seleção de dados pluviométricos e de temperatura (máxima, média e mínima) da rede de monitoramento Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

A seleção das séries históricas referentes à pluviometria e índices de temperatura (máxima, média e mínima) das estações climatológicas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, permite

que seja possível formular as bases necessárias para o preenchimento e aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955).

Sobre a qualidade dos dados, considerou-se que as estações climatológicas, estabelecidas inicialmente algumas condições básicas, como a qualidade dos dados, seriam excluídas as que apresentaram séries temporais e/ou históricas com mais de um mês de falhas.

Após a exclusão das estações climatológicas que não atenderam à primeira condição, optou-se pela homogenia entre as séries temporais e/ou históricas, buscando que o número de anos e demais variáveis sejam iguais entre todas as estações climatológicas adotadas.

Considerou-se também a priorização da **escala temporal de aproximadamente 40 anos**, limitando-se à escala temporal que abrangeria o período correspondente entre 1981 a 2021.

A tabela 13 apresenta as 10 estações climatológicas que atenderam às propostas estabelecidas e, devido à localização geográfica, apresentam extrema relevância para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

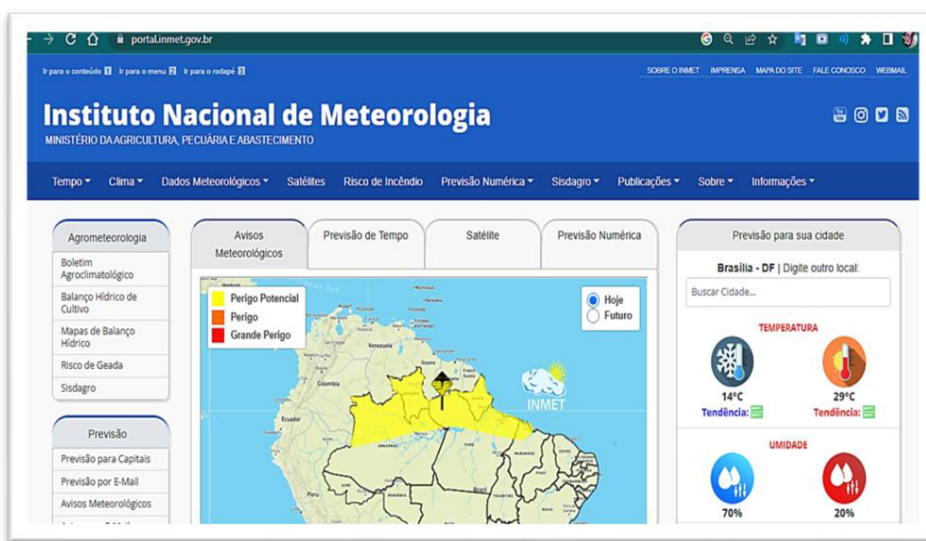
Tabela 13 - Relação das Estações Climatológicas (INMET) utilizadas para a análise da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

COD	NOME	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
EC01	BRASILIA	83377	-15,78972221	-47,92583332	1161,42
EC02	CATALAO	83526	-18,17027777	-47,95805555	857,98
EC03	GOIANIA	83423	-16,67305554	-49,26388888	748,53
EC04	IPAMERI	83522	-17,72444443	-48,17194443	778,14
EC05	JATAI	83464	-17,92361110	-51,71749999	669,84
EC06	PARACATU	83479	-17,24416666	-46,88166666	711,41
EC07	PARANAIBA	83565	-19,66361111	-51,19138888	429,62
EC08	PIRENÓPOLIS	83376	-15,85472222	-48,96611111	766,92
EC09	UNAÍ	83428	-16,36638888	-46,88944444	595,59
EC10	ARAXÁ	83579	-19,60555555	-46,94972221	1018,28

Fonte: INMET (2022). **Org.** Silva. G. C (2022).

Todo o levantamento de séries históricas de precipitação e temperatura (máxima, média e mínima) foi efetuado no sítio eletrônico pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível no endereço (<https://portal.inmet.gov.br/>), conforme apresentado na figura 15:

Figura 15 - Sítio eletrônico do Sistema de informações do INMET utilizado para aquisição dos dados históricos de precipitação e de temperatura (máxima, média e mínima), Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

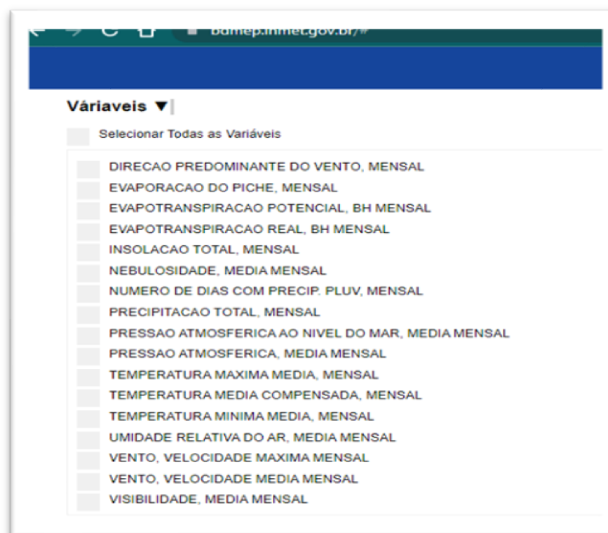


Fonte: INMET (2022). **Org.** Silva. G. C (2022).

Os dados também podem ser solicitados pelo endereço eletrônico (<https://bdmep.inmet.gov.br/>), sendo assim é necessário informar o endereço de e-mail para o qual serão enviados os dados solicitados. Preenchido, devidamente, abrirá uma nova janela que permitirá a delimitação quanto à consistência dos dados, permitindo definir alternativas quanto à pesquisa das séries históricas, quanto ao tipo de dados (horários, mensais e anuais), o tipo de estação climatológica (automáticas ou convencionais), a área de abrangência, podendo se limitar ao território brasileiro como um todo e/ou escolher dados sobre a divisão regional (centro-oeste, norte, nordeste, sul, sudeste). Abre-se também a opção de definir a escala

temporal dos dados (data início e data fim), bem como as variáveis climatológicas desejadas conforme figura 16.

Figura 16 - Sitio eletrônico do Sistema de informações do INMET: variáveis disponíveis para aquisição do banco de dados meteorológico.

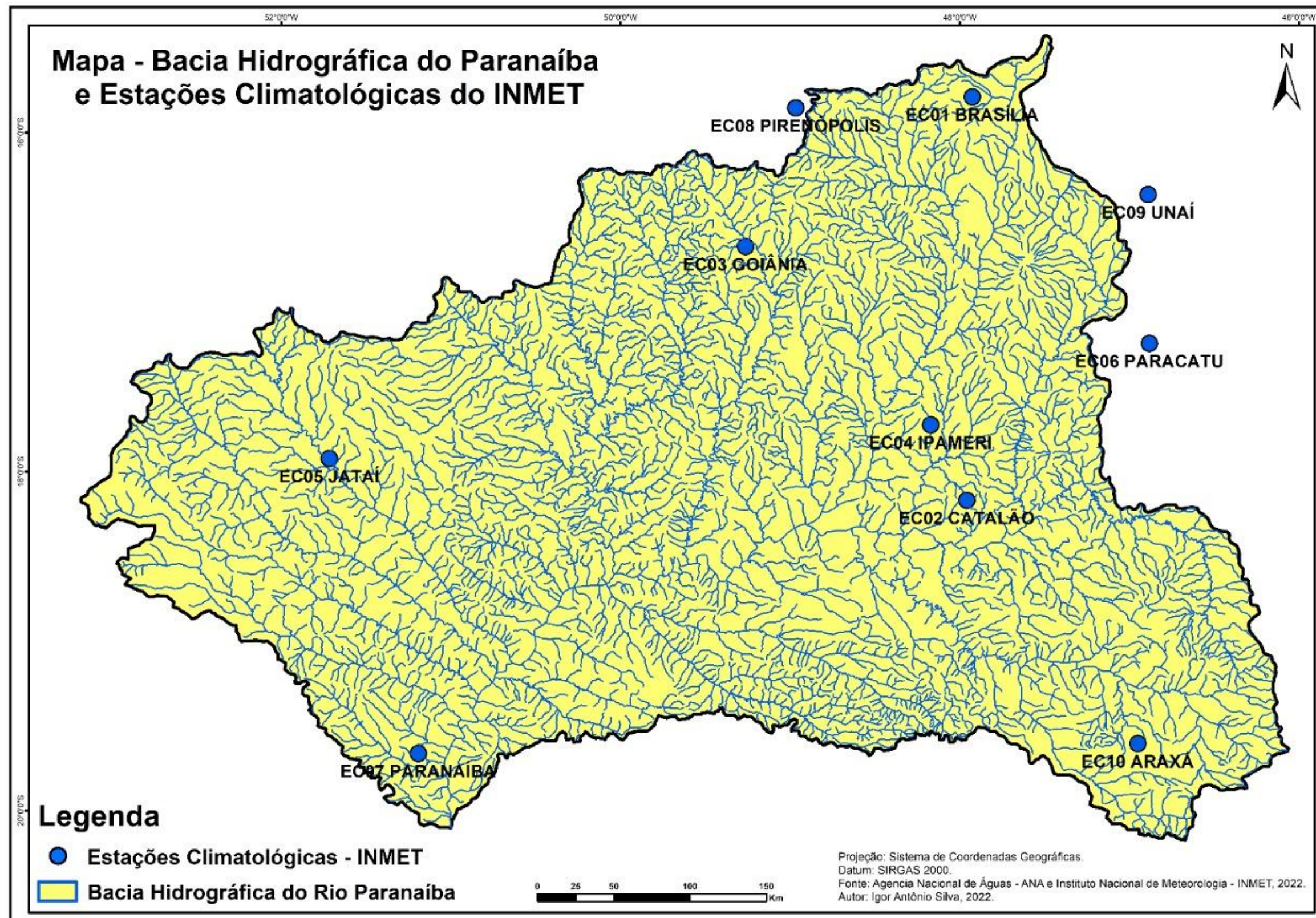


Fonte: INMET (2022). **Org.** Silva. G. C (2022).

Por fim, haverá a apresentação das estações climatológicas que se encontram disponíveis, contudo, é recomendado definir qual o tipo (convencional ou automática) das estações desejadas. Ressalta-se que o número de estações climatológicas tende a variar significativamente das estações do tipo convencional, visto que elas foram instaladas há mais tempo que as estações do tipo automática.

Após todas as etapas propostas para a aquisição das séries históricas, os dados são processados pelo servidor (INMET) e, posteriormente, encaminhados ao endereço de e-mail cadastrado, disponibilizando o *link* de acesso aos dados desejados. Sendo assim, após análise prévia e empírica das séries temporais e/ou históricas, os dados escolhidos foram exportados para o *software* Microsoft Excel® 365, permitindo, assim, uma melhor diagramação e avaliação estatística, o que possibilitou a elaboração de todas as tabelas e gráficos pertinentes aos resultados obtidos. Quanto à espacialização das estações climatológicas, foi elaborada a figura 17.

Figura 17 - Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Localização das estações climatológicas utilizadas.



Fonte: ANA (2016). Org. Silva. G. C (2017).

4.3.2 Preenchimento de possíveis falhas

Após seleção das séries temporais e/ou históricas, uma etapa que antecede à análise e ao processamento dos dados busca possíveis erros grosseiros, conforme considerações feitas no item 4.4.1, preenchendo algumas falhas visando a dar maior consistência e homogeneização aos dados obtidos.

O preenchimento de falhas segue a proposta de Tucci *et al.* (2000), que indica o método de ponderação regional como sendo uma perfeita opção metodológica, expressa pela equação 26:

$$y_c = \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] \cdot y_m \quad (26)$$

No qual: y_c = dados (temperatura e/ou precipitação) do posto y a ser estimada; x_1 , x_2 e x_3 = dados correspondentes ao espaço temporal (dia, mês ou ano) que se deseja preencher, observados em três estações vizinhas; x_{m1} , x_{m2} , x_{m3} = dados médios observados nas estações vizinhas; y_m = dados (temperatura e/ou precipitação) média do posto Y .

Ainda segundo o autor *op cit.*, as estações vizinhas devem-se encontrar independentemente da distância na mesma região climatológica e, após efetuados todos os preenchimentos desejados, avaliar a consistência dos dados no contexto regional.

Para tanto, por meio do método de dupla massa, em que a plotagem gráfica dos resultados acumulados no eixo das abscissas e os resultados acumulados do posto que se deseja averiguar no eixo das ordenadas, a declividade da reta traçada determinará se serão proporcionais aos resultados avaliados (HORIKOSHI, 2007).

4.4 Classificação dos Anos-Padrão (AP)

Buscando avaliar e caracterizar o comportamento pluviométrico ao longo da série temporal e/ou histórica (1991-2021), empregou-se o método de classificação dos Anos-Padrão, objetivando destacar, de acordo com Monteiro (1991) e Santos *et al.* (2022), a existência de “diferentes graus de proximidade do ritmo considerado habitual frente aos anos que sofreram alguma alteração na circulação atmosférica.

Sendo assim, para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, optou-se seguir a proposta classificatória pluviométrica, apresentada por Tavares (1976), em que os índices pluviométricos que apresentaram desvios de até 15% da média foram categorizados como anos habituais; os positivos que contemplaram 15% a 30% foram categorizados como tendentes a chuvoso e chuvoso; os maiores que 30% foram categorizados como extremamente chuvosos; os considerados negativos de 15-30% foram categorizados como tendentes a seco e desvios menores que 30% foram categorizados como seco (SANTOS *et al.*, 2022).

Tabela 14 – Categorização Pluviométrica de acordo com a metodologia dos Anos-Padrão.

CLASSIFICAÇÃO	PADRÕES PLUVIOMÉTRICOS (SIGLAS)	DESVIO (+) OU (-)
Anos Chuvosos	Extremamente chuvoso (C)	>+30%
	Tendente a chuvoso (TC)	+15% a +30%
Anos Habituais	Habitual levemente tendente a chuvoso (HTC)	+5% a +15%
	Habitual (H)	-5% a +5%
	Habitual levemente tendente a seco (HTS)	-5% a -15%
Anos Secos	Tendente a seco (TS)	-15% a -30%
	Extremamente seco (S)	<-30%

Adaptado: Santos *et al.* (2022). Org. Silva. G. C (2022).

Os autores *op cit.* utilizaram a variação de cores na tabela 14 para representar iconograficamente os desvios, facilitando, assim, melhor visualização da metodologia proposta.

4.5 Análise estatística das séries temporais e/ou históricas (INMET)

Primeiramente, destaca-se o entendimento que abrange a série temporal e/ou histórica, pois consiste em analisar variáveis observadas, padronizadas e registradas, distribuídas ao longo do tempo, visto que a escala temporal poderá sofrer variações temporais segundo os níveis de abordagens desejados.

Sendo assim, o estudo de séries temporais e/ou históricas permite então uma melhor compreensão da dinâmica que possa existir entre uma ou mais variáveis avaliadas (WEI, 2006).

Ehlers (2009) aponta que as possíveis relações entre uma ou mais variáveis podem apresentar algumas singularidades e devem ser abordadas como características comportamentais, em que:

- As observações são correlacionadas e requerem técnicas específicas de análise;
- É fundamental considerar a ordem temporal das observações;
- Há possibilidade da existência de fatores complexos, como tendências, variações sazonais ou cíclicas, que deverão ser estimados ou removidos;
- É mais difícil de lidar com falhas nos períodos de observação e de dados discrepantes devido à natureza sequencial.

Para tanto, Ribeiro *et al.* (2009) chama atenção quanto ao manejo dos dados obtidos pelas séries temporais e/ou históricas, pois podem apresentar singelas abstrações, sendo importante a preocupação quanto à qualidade, à diversidade metodológica e ao objetivo a ser atingido.

O tratamento prévio dos dados das séries temporais e/ou históricas adotadas nesta tese é parte indispensável visto que serão devidamente apresentados nos itens que se seguem.

4.5.1 Análise estatística das séries históricas (INMET) pelo modelo de Mann-Kendall

Buscando efetuar o tratamento estatístico dos dados referentes à precipitação e temperatura (máxima, média e mínima), considerou-se a utilização do teste não paramétrico, desenvolvido por Mann (1945), e, a posteriori, modificado por Kendall (1975) (SILVA, 2017).

O método conhecido como Mann-Kendall baseia-se na aferição dos valores pertencentes aos dados das séries temporais e/ou históricas, utilizando o processo de ordenação sequencial (SILVA E FERREIRA, 2019).

Cabe ao método em síntese, contar o número de vezes em que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. Sendo assim, o método tem por base a rejeitar ou aceitar uma hipótese nula (H_0), podendo assim negar ou não a existência de um cenário tendencial na série histórica analisada mediante a aceitação de um nível de significância (α , 95%).

Dessa forma, o método Mann-Kendall aplica o cálculo da variável S para uma determinada série n de dados e, por meio do cálculo dos sinais sgn da diferença, par a par, para os valores da série x_i correlacionando-os a sua representatividade futura x_j .

Salviano *et al.* (2016), conforme expresso nas equações 27 e 28, demonstra os processos necessários para o devido cálculo da variável estatística (S):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (27)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & se \ (x_j > x_i) \\ 0; & se \ (x_j = x_i) \\ -1; & se \ (x_j < x_i) \end{cases} \quad (28)$$

Visto que, se o número de dados $n \geq 10$ compara-se S a uma distribuição normal, para calcular $Var(S)$, a variância é feita com o emprego da equação 29, sendo assim:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (29)$$

Nesse enfoque é perceptível que a variável t_i refere-se ao número de repetições de uma extensão i .

Conforme exemplificado na equação 28, que indica a variabilidade de uma série temporal e/ou histórica dotada de três valores iguais entre si, e possuindo 1 repetição de extensão igual a 3, sendo então expresso da seguinte forma em que $t_i = 1$ e, $i = 3$ (SALVIANO *et al.*, 2016).

O método proposto por Mann-Kendall indica que para se calcular o índice Z_{MK} em uma distribuição normal, em que a média corresponda a 0, visto que os valores positivos (+) indicariam uma tendência considerada crescente e, de forma inversa, os valores considerados negativos (-) indicariam uma tendência decrescente (SILVA, 2017).

Para a variável S , o cálculo do índice Z_{MK} da distribuição normalmente é obtido pela equação 30:

$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S > 0 \\ Z_{MK} &= 0; \text{ para } S = 0 \\ Z_{MK} &= \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S < 0 \end{aligned} \quad (30)$$

Ainda de acordo com o autor *op cit.*, vale ressaltar que:

Para que se fosse possível a rejeição de uma hipótese nula H_0 , seria necessário que o valor total de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha}/2$, ou seja, a variável $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$, considera-se então que a série histórica estudada em seu resultado apresenta uma tendência significativa quanto ao nível de significância de 5% caso ocorra que Z_{MK} seja maior que 1,96.

Para o teste de Mann-Kendall, ao se tratar estatisticamente do teste Z , deve-se sempre buscar uma padronização de forma que siga uma distribuição normal com média 0 e com variância 1.

Para tanto utilizar-se-ão os valores referenciais apresentados na tabela 15:

Tabela 15 – Proposta para classificação do índice tendencial de acordo com o modelo de Mann-Kendall para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

CÓDIGO		DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS
TSA	$>1,96$	TENDÊNCIA SIGNIFICATIVA DE AUMENTO
TNSA	$<1,96$	TENDÊNCIA NÃO SIGNIFICATIVA DE AUMENTO
ST	0	SEM TENDÊNCIA OU TENDÊNCIA NULA
TNSQ	$<-1,96$	TENDÊNCIA NÃO SIGNIFICATIVA DE QUEDA
TSQ	$>-1,96$	TENDÊNCIA SIGNIFICATIVA DE QUEDA

Fonte: Fechine e Galvêncio (2009). **Adaptado:** Silva e Ferreira (2019). **Org.** Silva. G. C (2022).

Sendo assim, optou-se por aplicar o modelo de Mann-Kendall para avaliar tendencialmente todos os registros correspondentes a estações pluviométricas e de temperatura (máxima, média e mínima) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

4.5.2 Medidas estatísticas aplicadas na diagramação dos registros das séries temporais e/ou históricas

Buscando melhor organização dos registros constituintes das séries temporais e/ou históricas, ficou definida a aplicação de algumas medidas estatísticas, que tendem a auxiliar exponencialmente a análise dos dados. Tais medidas foram detalhadas minuciosamente no trabalho de Medri (2011), sendo:

4.5.2.1 Medidas de tendência central Medida da Média Aritmética (MA) e Média Aritmética Ponderada (MAP)

A aferição da média aritmética é obtida pela divisão entre a soma dos valores registrados pelo número de ocorrência e, de acordo com Medri (2011), a média aritmética é vista como um ponto de equilíbrio, ou seja, se todos os valores calculados fossem colocados em uma reta orientada, preservando-se a singularidade de cada valor, a média aritmética seria, então, o ponto em que

todos os valores se equilibrariam no seu entorno.

Dessa forma, a média pode ser representada pela equação 31:

$$\text{Simples: } \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ ou simplesmente } \bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (31)$$

A média ponderada é obtida quando os dados analisados são ajuizados de acordo com a frequência em que ocorrem e divididos pela somatória da frequência. Montgomery (2004), pode ser atribuída a noção de peso e esse não será, necessariamente, um valor discreto.

Morettin (2013) apresenta uma possível definição de Média Aritmética Ponderada, por meio da equação 32:

$$M = \frac{a_1 * P_1 + a_2 * P_2 + a_3 * P_3 + \dots + a_n * P_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N} \quad (32)$$

Para tanto, a variável “n” - números reais finitos, com $n > 1$, ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$), e ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$) pesos (referentes aos reais) associados à ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$), respectivamente, sendo ($a_1 < a_2 < a_3 < \dots < a_n$). Assim é correto afirmar que a Média Aritmética Ponderada é um número real M.

Para Medri (2011), ao se tratar da média aritmética, deve-se atentar a algumas particularidades desejáveis:

- I.** Unicidade. Para um conjunto de dados existe somente uma média aritmética.
- II.** Simplicidade. A média aritmética é fácil de ser interpretada e de ser calculada.
- III.** Todos os valores entram no cálculo da média aritmética, porém os valores extremos afetam o valor calculado e, em alguns casos, pode haver uma grande distorção, tornando a média aritmética indesejável como medida de tendência central.

O autor *op cit.* finda sua análise com a seguinte afirmação: “Como a média é influenciada por valores extremos da distribuição, ela só deve ser utilizada em distribuições simétricas ou levemente assimétricas e em distribuições não heterogêneas”.

4.5.2.2 Medidas de tendência central – Mediana e Moda

De acordo com Morettin (2013), a mediana deve ser compreendida como o valor que se encontra no meio de um conjunto de dados, para tanto, os dados devem ser dispostos crescentemente, ficando, assim, metade dos dados acima e a outra metade abaixo da mediana. E se “n” for ímpar, pode-se afirmar que haverá somente um valor que ficará ao meio dos dados avaliados, enquanto se o “n” for par, haverá na mediana dois números, então utiliza-se a média aritmética simples entre eles para definir o valor da mediana correto.

Por conseguinte, pode-se concluir que ao se avaliar medida de tendência central, a mediana é mais intuitiva se comparada à média aritmética, visto que o valor da mediana não necessita ser um valor que compõe o conjunto de dados avaliados.

E de acordo com Medri (2011), a mediana apresenta algumas propriedades significativas sendo:

- I.** Unicidade. Existe somente uma mediana para um conjunto de dados.
- II.** Simplicidade. A mediana é fácil de ser calculada.
- III.** A mediana não é tão afetada pelos valores extremos como a média aritmética, por isso, diz que a mediana é uma medida robusta.

Já a moda, de acordo com Bolfarine; Bussab (2005), é uma forma plausível e que permite a representatividade do que é considerado como “típico”, ou seja, a moda indica o valor que aparece mais vezes dentro de um conjunto de dados e, para tanto, não há dependência quanto ao nível de mensuração da variável e pode ser aplicado tanto para fenômenos quantitativos

quanto para fenômenos qualitativos.

A moda pode ser unimodal, bimodal e amodal, dependendo do conjunto de dados avaliados.

4.5.2.3 Medidas de variabilidade – Amplitude

De acordo com Bolfarine; Bussab (2005), a amplitude corresponde à média de variabilidade que apresenta maior facilidade em executar os seus cálculos, para tanto, é denominada amplitude total (AT), e o cálculo é efetuado conforme a equação 33:

$$AT = N^{\circ} \text{ Máximo} - N^{\circ} \text{ Mínimo} \quad (33)$$

Ao observar a equação acima, pode-se concluir que a amplitude total é extremamente limitada, visto que, para que seu cálculo seja feito corretamente, haverá uma dependência apenas dos valores extremos. Mas, de forma positiva, a amplitude pode auxiliar nos cálculos que buscam avaliar a dispersão em um grupo de dados (MEDRI, 2011).

4.5.2.4 Separatrizes – Análise Quartílica

A análise dos quartis foi empregada nas séries temporais e/ou históricas de dados avaliando a variabilidade de precipitação e de temperatura (máxima, média e mínima), o emprego da análise Quartílica é extremamente importante, pois, por meio dela é possível efetuar a divisão da série temporal e/ou histórica dos dados em 4 partes iguais, ordenando-as cada parte em 25% dos elementos da série acumulada (BOLFARINE; BUSSAB, 2005).

Dessa forma, mais explicitamente, a divisão dos quartis ocorreu, sendo que o 1º quartil concentra até 25%, enquanto o 2º concentra até 50%, o 3º quartil concentra até 75% e, por fim, o 4º quartil ficará com o restante dos 25%, sendo assim, após essa divisão ter-se-ão os 100% da

amostra analisada (MEDRI, 2011).

Na análise Quartílica pode haver as separatrizes que, em análises futuras ser empregadas. Exemplificando, existem os decis que dividem a série ordenada em 10 partes iguais, concentrando 10% para cada parte, os percentis dividiram a série avaliada em 100 partes, concentrando 1% para cada parte.

4.6 Aplicação do Balanço Hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather (1955)

Primeiramente, para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, foi efetuado o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico anual (1981 – 2021), para todas as estações climatológicas adotadas.

Sendo assim, utilizou-se o balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), devidamente apresentado no item 2.4 deste trabalho, visto que apresenta, de forma clara, a disponibilidade hídrica ao longo do ano, pelo cálculo de excedente (EXC), de deficiência (DEF) e de retirada e reposição (ALT) hídrica no solo, bem como indica uma visão da disponibilidade térmica, pela evapotranspiração potencial ou de referência (ETP) (PEREIRA; ANGELLOCI; SENTELHAS, 2002; MACIEL, 2021).

Todos os cálculos referentes ao balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955) foram executados no *software Microsoft Excel™* 365, pela planilha eletrônica denominada BHídrico GD - 4.0, elaborada por D'Angiolella e Vasconcellos (2004), sendo devidamente adaptada para atender à série temporal e/ou histórica adotada (1981-2021), conforme pode ser observado no modelo de entrada da figura 18.

Figura 18 – Processos do Ciclo Hidrológico e/ou Ciclo da Água.

BHÍDRICO									
Localidade				GD 4.0 - 2004	Método	Thornthwaite, 1948			
Latitude				Altitude			CAD (mm)		
Anemômetro				Período			Bordadura		
Tempo Meses	T. máxima °C	T. mínima °C	T. média °C	Umidade Relativa %	Evaporação mm	Precipitação mm	Insolação horas/dia	Vento m/s	Porcentagem de luz solar (p).
Jan									
Fev									
Mar									
Abr									
Mai									
Jun									
Jul									
Ago									
Set									
Out									
Nov									
Dez									
Média	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total/Ano	-	-	-	-	0,0	0,0	#DIV/0!	-	-
Tempo Meses	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	Disponibilidade Hídrica
Jan	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Fev	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Mar	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Abr	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Mai	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Jun	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Jul	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ago	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Set	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Out	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Nov	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Dez	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Média	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-
Total/Ano	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-
Aferição									
ETP=ETR+DEF	#DIV/0!	P=ETR+EXC	#DIV/0!	P-ETP=EXC-DEF	#DIV/0!	Σ ALT	#DIV/0!	P=ETP+(P-ETP)	#DIV/0!

Fonte: D'Angiolella; Vasconcellos (2004). **Adaptado:** Maciel (2021).

Para tanto utilizou-se o valor de 100 mm para a capacidade de água disponível no solo (CAD). Devido a diversidade pedológica existente na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, optou-se por esse valor, visto que há predominância de latossolos, o que viria a homogeneizar a bacia como um todo, trazendo, assim, um padrão coeso para todas as tipologias pedológicas existentes no contexto avaliado.

Foram considerados também os dados médios mensais de precipitação e temperatura (máxima, média e mínima) bem como a latitude e os anos correspondentes (MACIEL, 2021).

A caracterização climática *será* pautada no mencionado no item 2.4.2, da presente tese. Utilizar-se-á a proposta de Thornthwaite (1948), caracterizada como “Sistema de Classificação

Racional”, visto que a categorização climática é feita mediante o cálculo do Índice Hídrico (Ih) e do Índice de Aridez (Ia) (VALE, 2021).

De acordo com Vianello; Alves (2012) e Maciel (2021), Thornthwaite (1948), ao criar o balanço hídrico climatológico, introduziu o conceito de evapotranspiração potencial comparando-a com os índices de precipitação, buscando obter o índice de umidade.

Uma vez que, tanto o excedente hídrico (EXC) quanto o déficit hídrico (DEF) acontecem durante a variação sazonal em todas as regiões da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, os dois devem compor o cálculo necessário para determinar o índice de umidade (Iu) (VIANELLO; ALVES, 2012).

Findando, em relação às chaves classificatórias propostas por Thornthwaite (1948), elas se encontram detalhadas nas tabelas 5,6 e 7, apresentadas no item 2.4.2.

4.7 Análise Prognóstica de acordo com o sexto relatório (AR6) do IPCC.

Após a obtenção dos resultados do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), utilizar-se-á o sexto relatório AR6, elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), onde, por meio dos cenários prognósticos, pode-se estimar como será a dinâmica hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Para tanto, o sexto relatório AR6, traz cinco possíveis cenários, denominados como SSPs (*the Shared Socio Economic Pathways*), sendo dois cenários considerados de baixa emissão, denominados SSP1-1.9 e SSP1-2.6, um cenário considerado de médias emissões e denominado SSP2-4.5 e por fim, mais dois cenários considerados de altas emissões SSP3-7 e SSP5-8.5.

Tais cenários propostos, foram divididos espacialmente em três períodos distintos sendo estes denominados curto prazo que vai de 2021 a 2040, médio prazo que vai de 2041 a 2060 e o cenário mais crítico denominado longo prazo que vai de 2081 a 2100, conforme apresentado no quadro 3, que traz as projeções de temperatura conforme os cenários prognósticos, em graus Celsius (°C).

Quadro 3 – Projeções de temperatura de acordo com o cenário, em graus Celsius (°C).

CENÁRIOS		SSP1 - 1.9	SSP1 - 2.6	SSP2 - 4.5	SSP3 - 7	SSP5 - 8.5
CURTO PRAZO	ESTIMATIVA CENTRAL	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
	VARIAÇÃO MUITO PROVÁVEL	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
		a 1,7	a 1,8	a 1,8	a 1,8	a 1,9
MÉDIO PRAZO	ESTIMATIVA CENTRAL	1,5	1,7	2	2,1	2,4
	VARIAÇÃO MUITO PROVÁVEL	1,2	1,3	1,6	1,7	1,9
		a 2	a 2,2	a 2,5	a 2,6	a 3
LONGO PRAZO	ESTIMATIVA CENTRAL	1,4	1,8	2,7	3,6	4,4
	VARIAÇÃO MUITO PROVÁVEL	1	1,3	2,1	2,8	3,3
		a 1,8	a 2,4	a 3,5	a 4,6	a 5,7

Fonte: Sexto Relatório AR6 (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Mediante os cenários propostos, optou-se em efetuar as análises prognósticas, tendo por base o cenário considerado médio de emissões SSp2 – 4.5, onde, para o cenário curto prazo adotou a estimativa central de 1,5°C, para o cenário médio prazo utilizou a estimativa central de 2,0°C e para o cenário longo prazo, utilizou a estimativa central de 2,7°C.

Após efetuado os cálculos necessários, volta a estipular o balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), para cada cenário proposto e, para tanto, repete-se os passos apresentados no item 4,6 denominado “Aplicação do Balanço Hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather (1955)”, permite-se assim, elaborar todos os levantamentos necessários para que seja possível efetuar todas as análises comparativas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

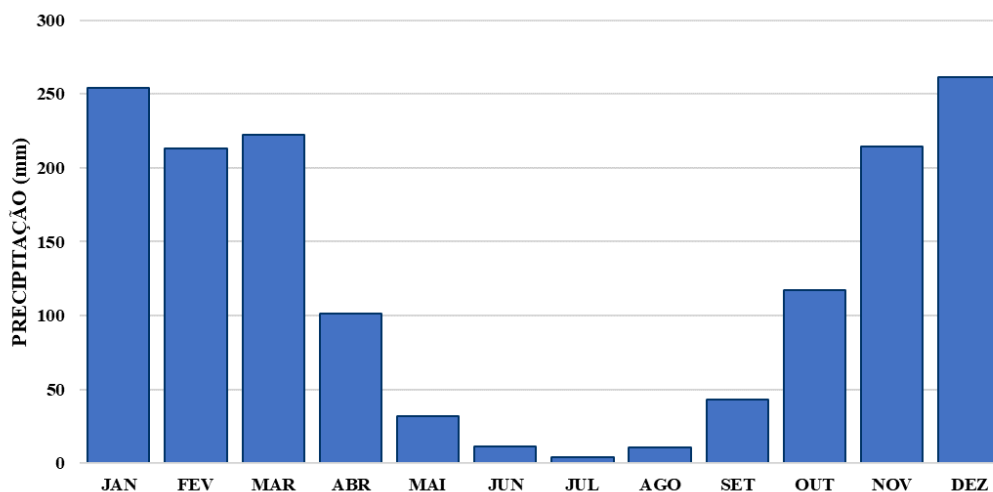
5.1 Variabilidade pluviométrica

A dinâmica pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, contemplou a série histórica e/ou temporal avaliada abrange de 1991 a 2021, para as estações climatológicas que vão de EC01 – Brasília até a EC09 – Unaí. Vale destacar que a EC10 – Araxá que visou contemplar a parte sul da bacia e utilizou o período que vai de 1991 a 2017, sendo assim, a soma total dos dados pluviométricos totalizou 412.697,0 mm.

5.1.1 Variabilidade sazonal pluviométrica

Inicialmente, faz-se necessário destacar a importância da vasta diversidade existente entre as cotas altimétricas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, pois acabam sendo um elemento importante na compreensão da variabilidade pluviométrica (SANTOS, 2016). Pode-se evidenciar que a variabilidade pluviométrica tem seu início no mês de outubro, podendo estender-se até o mês de abril do ano subsequente, conforme representado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Distribuição da precipitação média mensal na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com o gráfico 2, a variabilidade sazonal da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba apresenta, no mês de janeiro, uma média de 254,2 mm que se mantém até o mês de abril, quando apresenta significativa queda, chegando a aproximadamente 101,6 mm, caracterizando, assim, o fim da estação chuvosa e o início da estação seca, que se estende durante os meses de maio (32,2 mm), junho (11,1 mm), julho (4,2 mm), agosto (10,5 mm) e setembro (42,9 mm). A estação chuvosa tem seu início no mês de outubro, quando volta a registrar média pluviométrica em torno de 117,2 mm, chegando ao final do ano, no mês de dezembro, com a média pluviométrica de 261,6 mm.

Objetivando apontar a variabilidade espacial das médias mensais pluviométricas, para cada estação climatológica adotada no presente estudo, foi elaborada a tabela 16, com dados que abordam a série temporal e/ou histórica (1991-2021), representando a variação entre as médias correspondentes às estações secas e chuvosas bem como a amplitude que traz a variação mensal existente entre a maior e menor média.

Tabela 16 – Médias mensais pluviométricas para as estações climatológicas (1991-2021).

ESTAÇÕES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EC01	207,4	189,2	223,6	144,1	26,1	4,0	1,5	15,9	36,5	141,6	255,2	244,3
EC02	273,3	218,9	209,4	77,5	27,6	10,8	3,9	8,2	35,8	101,0	189,4	249,6
EC03	251,8	240,0	259,2	137,5	29,3	8,1	1,4	9,3	44,8	147,2	225,9	278,1
EC04	257,0	215,0	215,6	89,0	27,6	8,0	3,4	6,3	43,2	113,6	219,3	263,2
EC05	228,7	231,9	267,4	110,1	48,0	18,4	7,2	10,0	58,1	137,2	201,8	260,8
EC06	257,7	205,0	206,8	72,3	24,6	5,4	0,9	8,6	29,0	84,8	208,8	293,8
EC07	280,7	196,9	176,1	66,5	46,1	24,4	13,4	16,9	58,6	101,3	143,6	217,7
EC08	280,7	241,4	255,3	152,2	23,3	7,1	1,8	10,8	36,3	135,2	247,4	278,3
EC09	201,2	182,3	200,3	88,0	19,6	6,3	0,6	7,6	25,2	93,8	246,6	245,5
EC10	303,2	211,9	213,5	79,2	49,6	18,8	7,8	11,7	61,1	116,7	206,3	284,6
MÉDIA	254,2	213,3	222,7	101,6	32,2	11,1	4,2	10,5	42,9	117,2	214,4	261,6
MÁXIMO	303,2	241,4	267,4	152,2	49,6	24,4	13,4	16,9	61,1	147,2	255,2	293,8
MÍNIMO	201,2	182,3	176,1	66,5	19,6	4,0	0,6	6,3	25,2	84,8	143,6	217,7
AMPLITUDE	102,0	59,1	91,2	85,8	30,0	20,3	12,8	10,6	35,9	62,5	111,6	76,0
DESVIO PADRÃO	31,4	19,4	27,6	30,4	10,6	6,5	3,9	3,3	12,1	20,9	31,4	21,8

Observação: EC01 – BRASÍLIA, EC02 – CATALÃO, EC03 – GOIÂNIA, EC04 – IPAMERI, EC05 – JATAÍ, EC06 – PARACATU, EC07 – PARANAÍBA, EC08 – PIRENÓPOLIS, EC09 – UNAI e EC10 - ARAXÁ.

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme a tabela 16, os meses que apresentaram maiores amplitudes pluviométricas foram os meses de novembro, com 111,6 mm, ou seja, a diferença entre a média 303,2 mm registrado na estação EC10 – Araxá e 201,2 mm registrado na estação EC09 – Unaí. Outro mês que apresentou uma amplitude elevada foi o mês de janeiro com 102,0 mm, diferença entre os registros de 255,2 mm da estação EC01 – Brasília e EC07 – Paranaíba.

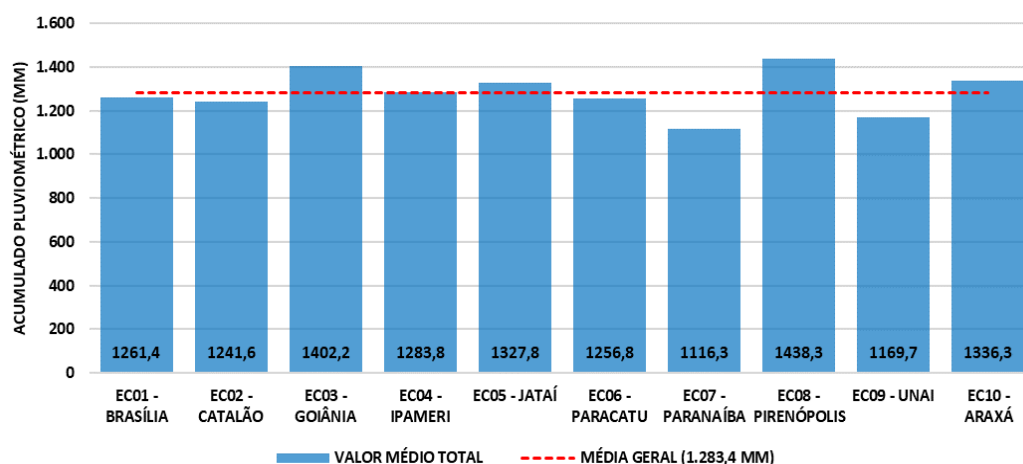
Em contrapartida, as menores amplitudes aconteceram nos meses de agosto, com 10,6 mm e no mês de julho, com 12,8 mm, sendo o primeiro proveniente da diferença entre as estações EC07 – Pirenópolis e EC04 – Ipameri e o segundo entre as estações EC07 – Paranaíba e EC09 – Unaí.

5.1.2 Valor médio pluviométrico entre as estações chuvosas e secas.

De acordo com os dados das estações climatológicas calculou-se a média referente ao valor médio pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, totalizando 1.485,9 mm, sendo que a estação chuvosa, nos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro, atingiu um valor médio no acumulado pluviométrico de 1.283,4 mm, correspondendo a aproximadamente 86,4% das precipitações anuais, enquanto os meses que abrangem a estação seca apresentaram a média correspondente a 202,6 mm, representando 13,6% das precipitações anuais.

A estação chuvosa, conforme o gráfico 3, indica que o maior índice do valor médio pluviométrico foi de 1.438,3 mm apontado na estação climatológica EC08 – Pirenópolis, já o menor registro, 1.116,3 mm, foi observado na estação climatológica EC07 – Paranaíba.

Gráfico 3 – Valor médio total da estação chuvosa de cada estação climatológica adotada comparados a média geral (1.283,4 mm) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

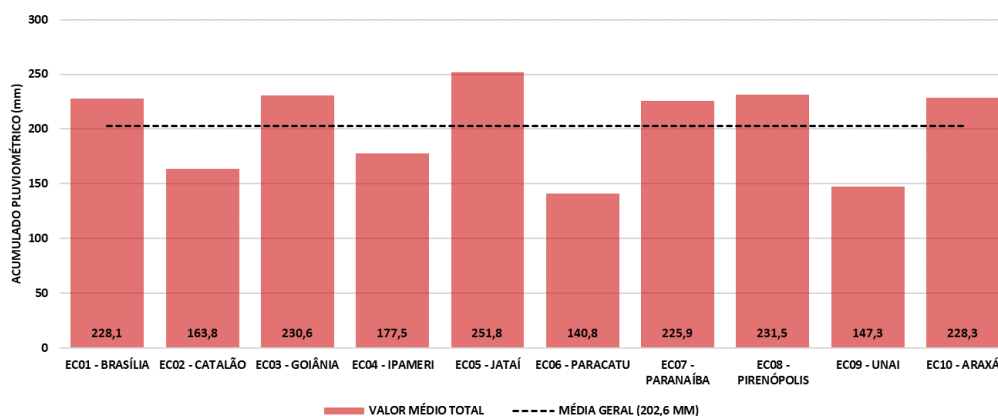


Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com o gráfico 3, observa-se que a média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba para a estação chuvosa foi de 1.283,4 mm e, conforme representado, pode-se avaliar que as estações EC01 – Brasília (1.261,4 mm), EC02 – Catalão (1.241,6 mm), EC06 – Paracatu (1.256,8 mm), EC07 – Paranaíba (1.116,3 mm) e EC09 – Unai (1.169,7 mm) mantiveram-se abaixo da média geral.

Ao se avaliar a estação seca, que contempla os meses de abril a setembro, percebe-se, conforme representado no gráfico 4, que o maior índice, 231,5 mm, foi o registrado na estação EC08 – Pirenópolis e, o menor, 140,8 mm, na estação EC06 – Paracatu.

Gráfico 4 – Valor médio total da estação seca de cada estação climatológica adotada comparados a média geral (202,6 mm) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

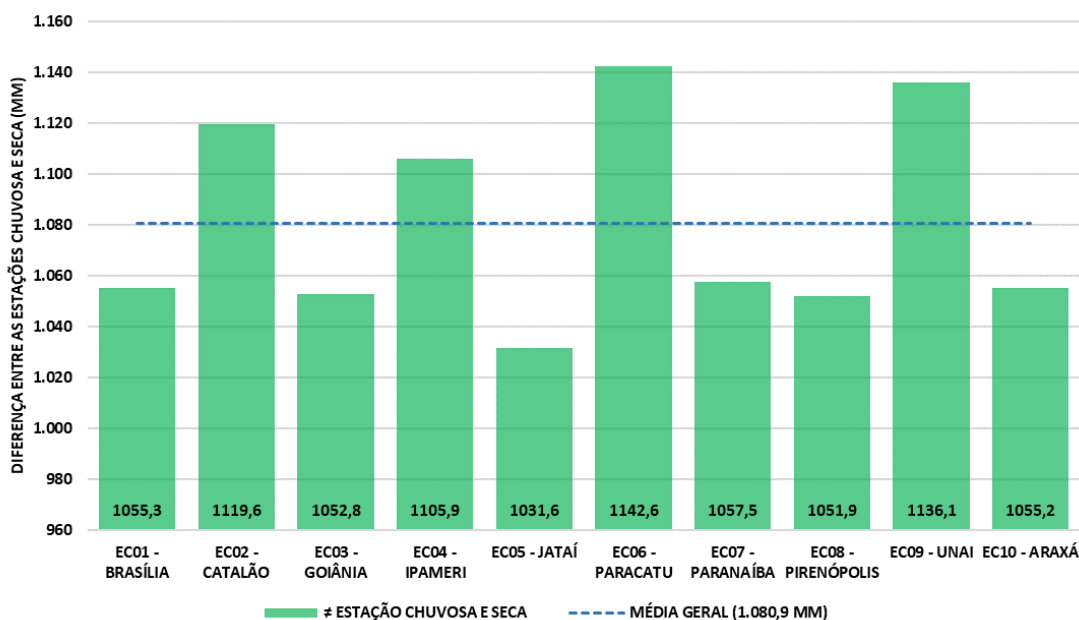


Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda segundo o gráfico 4, ao se comparar com a média geral do valor médio pluviométrico (202,6 mm), percebe-se que as estações EC02 – Catalão (163,8 mm), EC04 – Ipameri (177,5 mm), EC06 – Paracatu (140,8 mm) e EC09 – Unaí (147,3 mm) mantiveram-se abaixo da média geral.

O gráfico 5 buscou representar a diferença do valor médio pluviométrico entre as estações chuvosas e secas, perfazendo um total médio de 1.080,9 mm. Sendo assim, foi possível observar que a maior diferença entre os dados avaliados corresponde a 1.136,1 mm na estação climatológica EC09 – Unaí, enquanto o menor registro, 1.052,8 mm, é o da estação climatológica EC03 – Goiânia.

Gráfico 5 – Média dos acumulados pluviométricos em cada estação (seca e chuvosa) de cada estação climatológica na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme o gráfico 6, pode-se observar que as estações EC02 – Catalão (1.119,6 mm), EC04 – Ipameri (1.105,9 mm), EC06 – Paracatu (1.142,6 mm) e EC09 – Unaí (1.136,1 mm) foram as

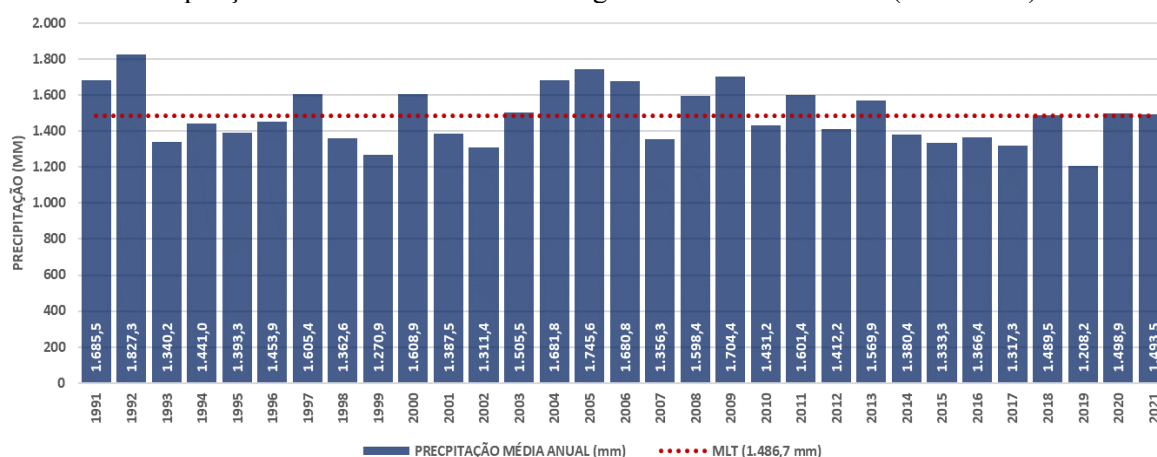
estações que apresentaram registros acima da média geral (1.080,9 mm).

5.1.3 Variabilidade anual pluviométrica

Inicialmente, pode-se verificar que a variação média encontrada nas estações climatológicas pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, representada no gráfico 6, aponta que o ano de 1992 apresentou a maior altura anual, correspondente à precipitação média de 1.827,3 mm, ultrapassando em 340,6 mm o valor da média de longo termo (MLT) de 1.486,7 mm.

Para a série temporal e/ou histórica adotada (1991-2021), destaca-se a sobreposição do valor de 1.486,7 mm correspondente à média de longo termo (MLT), sendo assim, somente os anos de 1991, 1992, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2011, 2013, 2018, 2020 e 2021, correspondentes a 48,4% da série temporal e/ou histórica avaliada, foram capazes de tamanha sobreposição, conforme apresentado no gráfico 6.

Gráfico 6 –Precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



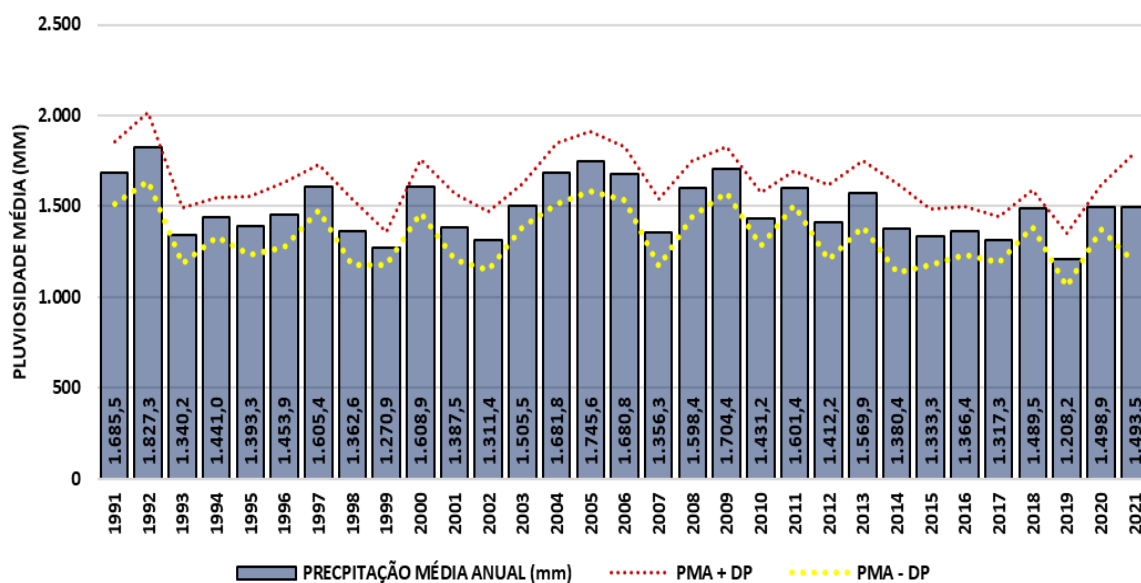
Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

De acordo com Carvalho e Ferreira (2017), foi organizado o gráfico 7, que apresenta a variabilidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, pautando-se no

entendimento que:

O cálculo do desvio padrão, é obtido por meio da raiz quadrada da variância, indicando como os dados se comportam em torno da média. A figura 4 apresenta a média das alturas pluviométricas anuais de cada posto (barras). Foi calculada a média somada e subtraída ao desvio padrão. A linha amarela representa a média da pluviosidade por posto subtraída do desvio padrão médio e a linha vermelha indica a média de chuvas somada aos valores de desvio padrão médio.

Gráfico 7 – Comparativo entre a pluviosidade anual e o desvio padrão.



Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

De acordo com gráfico 7, é possível compreender que há simetria entre a precipitação média anual e o desvio padrão médio, não havendo disparidades entre a somatória e/ou subtração da média anual com o desvio padrão médio.

Dessa forma, ao avaliarmos a variabilidade pluviométrica anual correlacionando-a à média anual para os 306 registros, conforme disposto na tabela 17, pode-se constatar que houve simetria entre os índices positivos e os índices negativos, sendo 153 ocorrências positivas e 153 ocorrências negativas.

Tabela 17 – Desvio padrão com relação à precipitação média anual (1991-2021), para as estações climatológicas adotadas.

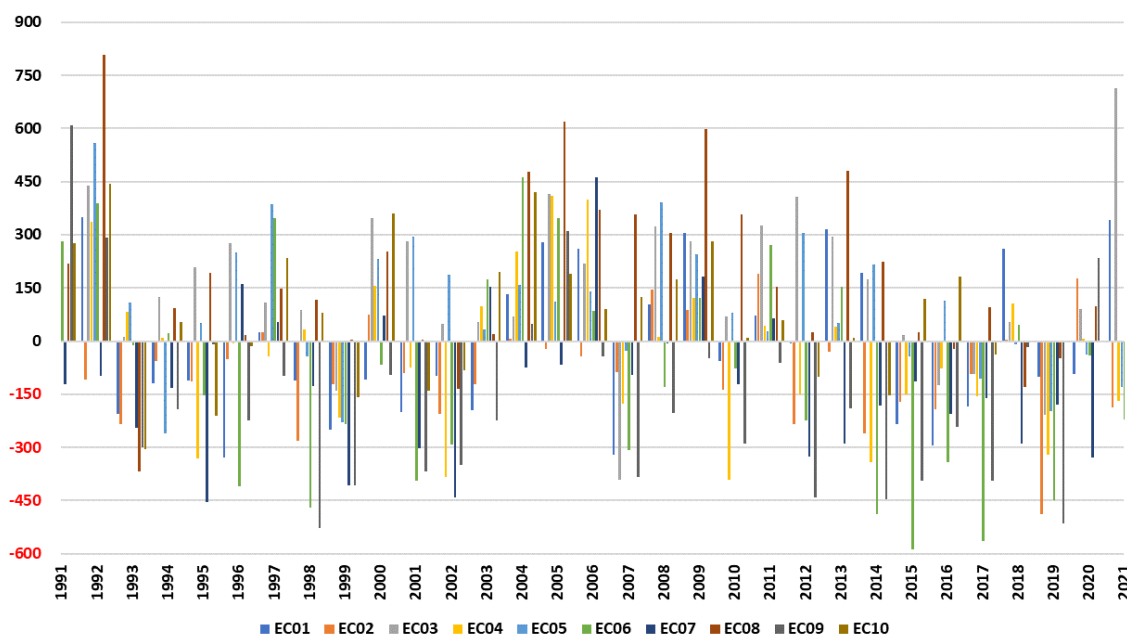
ANO	EC01	EC02	EC03	EC04	EC05	EC06	EC07	EC08	EC09	EC10
1991	461,6	106,9	47,3	93,3	16,8	282,3	-122,9	217,4	607,8	277,4
1992	350,3	-107,7	437,6	336,0	558,6	387,6	-99,4	808,0	291,4	443,7
1993	-205,6	-234,8	11,4	83,1	109,2	-11,1	-244,2	-368,6	-299,9	-304,4
1994	-119,3	-56,9	123,7	8,6	-260,2	21,6	-131,3	93,5	-191,1	54,8
1995	-110,9	-114,1	207,6	-331,5	50,5	-152,2	-454,9	191,5	-9,8	-210,4
1996	-329,6	-50,2	276,4	-7,6	251,2	-410,6	161,9	17,4	-222,8	-14,4
1997	25,3	24,0	109,4	-43,3	387,1	346,4	54,0	148,5	-98,4	234,1
1998	-111,5	-281,4	87,7	32,2	-42,0	-469,7	-126,6	117,4	-526,6	79,9
1999	-250,0	-122,7	-139,2	-214,8	-229,6	-234,9	-407,3	5,2	-407,3	-157,4
2000	-109,4	75,0	346,8	155,8	231,3	-67,4	71,8	251,8	-94,4	360,5
2001	-201,2	-89,9	280,2	-75,6	293,6	-393,9	-302,5	4,1	-367,0	-139,7
2002	-97,2	-205,2	49,7	-384,5	186,3	-291,4	-440,5	-135,8	-350,7	-83,7
2003	-194,5	-121,6	54,3	98,3	33,8	173,6	152,1	20,6	-223,2	194,8
2004	132,3	5,4	69,2	252,7	159,3	461,8	-74,7	477,5	48,3	419,3
2005	278,0	-20,9	415,9	409,1	111,6	346,6	-67,7	618,1	309,0	188,8
2006	260,7	-42,4	218,4	399,4	140,1	84,2	463,3	370,3	-42,2	89,6
2007	-319,7	-86,9	-391,5	-175,6	-27,4	-307,0	-94,9	356,5	-382,7	124,8
2008	102,4	145,9	322,6	12,5	392,5	-128,9	-5,7	305,8	-204,0	174,1
2009	306,2	87,1	281,2	122,9	246,0	122,0	181,2	598,5	-49,2	280,8
2010	-55,1	-137,4	69,2	-390,4	79,2	-77,0	-122,1	356,3	-288,4	10,3
2011	72,1	189,8	325,9	42,4	27,7	272,2	64,6	154,3	-61,0	58,9
2012	-7,5	-234,4	407,4	-150,1	305,5	-222,9	-326,5	25,6	-441,3	-100,7
2013	314,6	-30,8	295,4	40,2	50,1	153,3	-289,8	479,6	-190,5	10,1
2014	193,7	-261,7	175,3	-340,7	216,9	-488,4	-182,5	225,1	-446,7	-154,2
2015	-234,0	-171,0	16,7	-151,7	-42,3	-587,9	-112,7	24,2	-395,0	119,4
2016	-293,8	-193,3	-124,7	-76,9	115,2	-341,6	-206,1	-21,7	-243,1	183,1
2017	-183,5	-94,0	-92,4	-155,3	-106,3	-565,1	-159,9	95,1	-394,3	-38,4
2018	261,3	3,9	53,3	106,1	-9,2	45,4	-288,0	-130,8	-16,5	ADR
2019	-99,7	-488,4	-209,1	-319,7	-198,4	-449,4	-178,5	-48,0	-514,9	ADR
2020	-91,8	175,7	89,5	6,8	-36,9	-39,5	-328,0	98,9	235,0	ADR
2021	341,3	-188,0	714,5	-169,7	-130,7	-220,3	-313,7	319,8	-291,9	ADR

Observação: Dados negativos foram destacados na cor vermelha ADR – AUSÊNCIA DE REGISTRO, EC01 – BRASÍLIA, EC02 – CATALÃO, EC03 – GOIÂNIA, EC04 – IPAMERI, EC05 – JATAÍ, EC06 – PARACATU, EC07 – PARANAÍBA, EC08 – PIRENÓPOLIS, EC09 – UNAI e EC10 - ARAXÁ.

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda com a utilização da tabela 17 e objetivando iconograficamente representar a distribuição dos índices negativos e positivos, foi elaborado o gráfico 8 e, assim, foi possível constatar que o maior registro positivo se deu no ano de 1992, na estação climatológica EC08 – Pirenópolis (808,0 mm), seguido pelas estações climatológicas EC03 – Goiânia, em 2021, totalizando 714,5 mm, enquanto o maior registro negativo se deu na EC06 – Paracatu, com 587,9 mm, em 2015, e 565,1 no ano de 2017.

Gráfico 8 – Desvio padrão com relação à precipitação média anual (1991-2021).

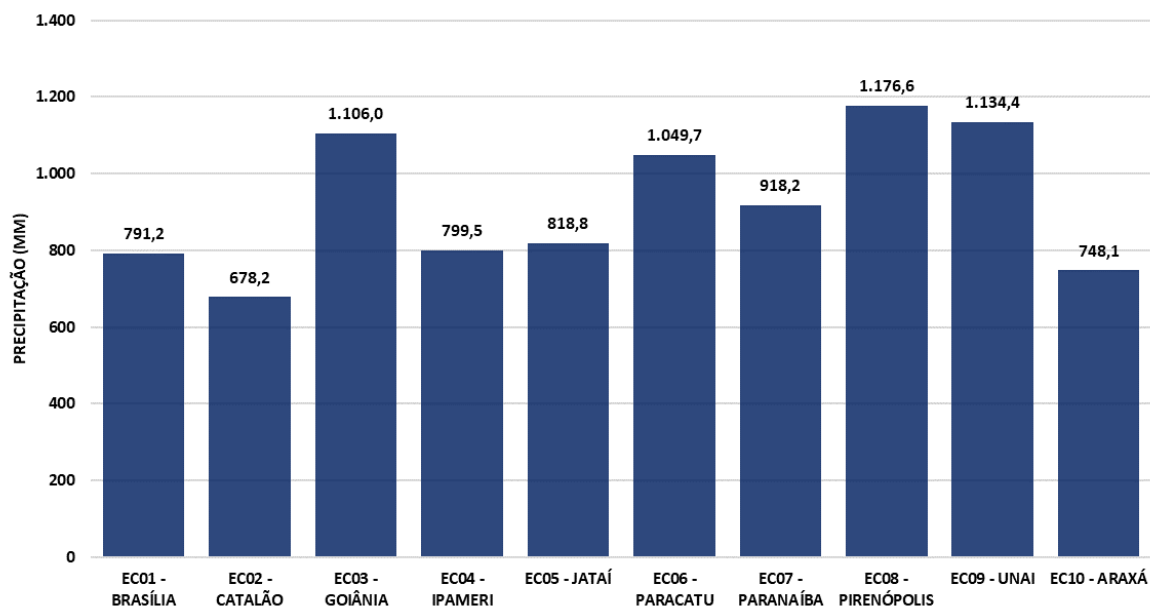


Observação: EC01 – BRASÍLIA, EC02 – CATALÃO, EC03 – GOIÂNIA, EC04 – IPAMERI, EC05 – JATAÍ, EC06 – PARACATU, EC07 – PARANAÍBA, EC08 – PIRENÓPOLIS, EC09 – UNAI e EC10 - ARAXÁ.

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Concomitantemente, avaliaram-se os índices referentes à amplitude, ou seja, a diferença entre o valor máximo menos o valor mínimo da série temporal e/ou histórica, representados no gráfico 9:

Gráfico 9 – Amplitudes da precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda avaliando o gráfico 9, constatou-se que as maiores amplitudes pluviométricas foram aferidas nas estações climatológicas EC08-Pirenópolis (1.176,6 mm), EC09-Unai (1.134,4 mm), EC03-Goiânia (1.106,0 mm) e EC06-Paracatu (1.049,7), enquanto as estações climatológicas restantes obtiveram dados de amplitude abaixo de 950,0 mm.

Seguindo a proposta avaliativa, elaborou-se a tabela 18, que visa a apresentar a análise da variabilidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, realizada por meio do coeficiente de variação (CV), buscando, assim, apontar os diferentes graus de dispersão entre as diversas distribuições de frequência.

Tabela 18 – Valores de dispersão entre as médias anuais (1991-2021) das estações climatológicas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

ANO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1991	1.685,5	207,1	0,123	12,3%
1992	1.827,3	261,8	0,143	14,3%
1993	1.340,2	167,3	0,125	12,5%
1994	1.441,0	120,7	0,084	8,4%
1995	1.393,3	201,2	0,144	14,4%
1996	1.453,9	220,2	0,151	15,1%
1997	1.605,4	152,8	0,095	9,5%
1998	1.362,6	219,6	0,161	16,1%
1999	1.270,9	119,1	0,094	9,4%
2000	1.608,9	166,8	0,104	10,4%
2001	1.387,5	228,4	0,165	16,5%
2002	1.311,4	188,9	0,144	14,4%
2003	1.505,5	142,9	0,095	9,5%
2004	1.681,8	188,6	0,112	11,2%
2005	1.745,6	199,6	0,114	11,4%
2006	1.680,8	169,8	0,101	10,1%
2007	1.356,3	227,3	0,168	16,8%
2008	1.598,4	186,4	0,117	11,7%
2009	1.704,4	164,1	0,096	9,6%
2010	1.431,2	196,4	0,137	13,7%
2011	1.601,4	113,0	0,071	7,1%
2012	1.412,2	253,6	0,180	18,0%
2013	1.569,9	222,7	0,142	14,2%
2014	1.380,4	270,7	0,196	19,6%
2015	1.333,3	200,7	0,151	15,1%
2016	1.366,4	163,1	0,119	11,9%
2017	1.317,3	176,2	0,134	13,4%
2018	1.489,5	143,3	0,096	9,6%
2019	1.208,2	162,3	0,134	13,4%
2020	1.498,9	156,9	0,105	10,5%
2021	1.493,5	340,3	0,228	22,8%

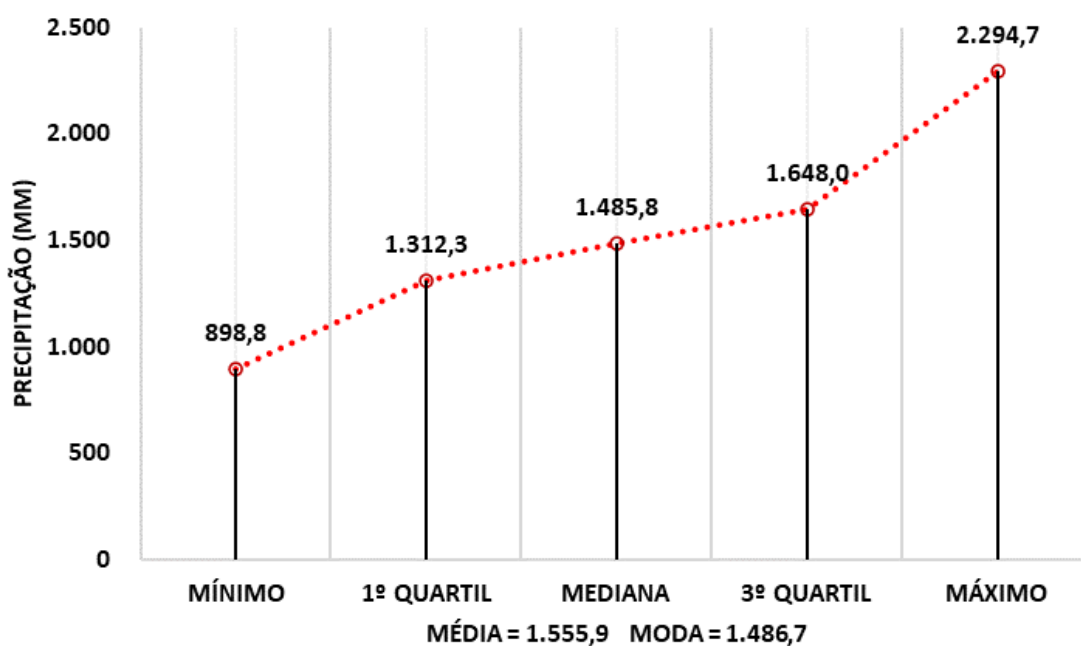
Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme representado na referida tabela 18, pode-se constatar que o maior grau de dispersão representando, 22,8%, correspondente ao ano de 2021, que possui um total médio pluviométrico anual de 1.493,5 mm e um desvio padrão em relação à média de 340,3, enquanto o menor grau de dispersão foi encontrado no ano de 1994, representando 8,3%, de um total pluviométrico de 1.441,0 mm e um desvio padrão de 120,7.

Pela análise dos desvios quartílicos anuais pluviométricos, objetivou-se, por meio do cálculo da mediana, estipular o quartil superior correspondente a 25% dos dados analisados e categorizados como os anos chuvosos. O quartil inferior, também 25% dos dados analisados, são categorizados como secos e, para findar a amplitude entre o primeiro e terceiro quartil, 50% dos dados analisados, categorizados como os anos chuvosos.

Com o gráfico 10 buscou-se apontar os valores encontrados por meio da análise quartílica, sendo:

Gráfico 10 – Média, mediana, moda, 1º quartil, 3º quartil e valores mínimo, médio e máximo das precipitações anuais que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme observado no gráfico 10, é possível destacar o valor mínimo de 898,8 mm e o valor máximo de 2.294,7 mm, valores extremos de ocorrência para o período analisado. Portanto, analisando a amplitude entre os valores extremos encontrados, 1.395,9 mm, percebe-se que o intervalo interquartílico correspondente a 50% dos dados analisados oscilou entre 1.312,3 mm e 1.648,0 mm. Enquanto o valor médio foi igual a 1.486,7 mm (moda) e a média, 1.555,9 mm.

Após a análise quartílica dos dados, foi possível proceder a elaboração do quadro 3, utilizando-se a cor vermelha para os anos categorizados como secos, a amarela para os anos categorizados como habituais e a azul escura para os considerados chuvosos. Os quadros em branco e com a sigla ASR, corresponde a “ano sem registro”, utilizada nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 para a estação climatológica EC10 – Araxá, visto que série temporal e/ou histórica desta estação vai de 1991 a 2017, lembrando que foi adotada contemplando a parte sul da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Pela tabela 19, que expressa a distribuição quantitativa e percentual de acordo com a análise quartílica, lembrando que a série temporal e/ou histórica apresentou 306 registros totais e, seguindo a proposta, percebeu-se o maior número de registros nos anos habituais, totalizando 152 registros, equivalendo a 49,7%, no entanto, destaca-se a igualdade de 77 registros para os anos secos e chuvosos, ou seja, 25,2% para ambos.

Tabela 19 – Distribuição quantitativa e percentual dos anos secos, habituais e chuvosos, conforme a análise quartílica para as estações climatológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

ESTAÇÕES	ANOS SECOS		ANOS HABITUAIS		ANOS CHUVOSOS	
	QTDE	(%)	QTDE	(%)	QTDE	(%)
EC01 - BRASÍLIA	9	11,7%	13	8,6%	9	11,7%
EC02 - CATALÃO	8	10,4%	21	13,8%	2	2,6%
EC03 - GOIÂNIA	2	2,6%	15	9,9%	14	18,2%
EC04 - IPAMERI	7	9,1%	20	13,2%	4	5,2%
EC05 - JATAÍ	3	3,9%	18	11,8%	10	13,0%
EC06 - PARACATU	13	16,9%	11	7,2%	7	9,1%
EC07 - PARANAÍBA	13	16,9%	15	9,9%	3	3,9%
EC08 - PIRENÓPOLIS	1	1,3%	16	10,5%	14	18,2%
EC09 - UNAI	19	24,7%	8	5,3%	4	5,2%
EC10 - ARAXÁ	2	2,6%	15	9,9%	10	13,0%
TOTAIS	77	100%	152	100%	77	100%

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Quadro 4 – Proposta classificatória por meio da análise quartílica dos dados da série histórica e/ou temporal (1991-2021) em Secos, Habituais e Chuvosos

ANO	EC01 - BRASÍLIA	EC02 - CATALÃO	EC03 - GOIÂNIA	EC04 - IPAMERI	EC05 - JATAÍ	EC06 - PARACATU	EC07 - PARANAÍBA	EC08 - PIRENÓPOLIS	EC09 - UNAI	EC10 - ARAXÁ
1991										
1992										
1993										
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										
2018										ASR
2019										ASR
2020										ASR
2021										ASR

LEGENDA

ANOS SECOS

ANOS HABITUAIS

ANOS CHUVOSOS

ANOS SEM REGISTROS

ASR

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Pela análise da tabela 19, percebe-se que em relação aos anos categorizados como secos (77 registros), destacou-se entre as demais estações a EC09 – Unaí, com 19 registros, correspondendo a 24,7%. Outras estações que se destacaram foram as EC06 – Paracatu e EC07-Paranaíba, ambas com 13 registros, totalizando 16,9% para cada estação. Por fim, houve um único registro na estação EC08 – Pirenópolis, correspondendo a 1,3%.

Quanto aos anos considerados habituais (152 registros), destacaram-se entre as EC02 – Catalão e EC04 – Ipameri, sendo 21 e 20 registros, correspondendo a 13,8% e 13,2%. As demais estações mantiveram-se entre os percentuais de 7,2% a 11,8%, com exceção da EC09 – Unaí, que apresentou o menor número de registros, apenas 8, correspondendo a 5,3%.

E, por fim, considerando os anos categorizados como chuvosos, apresentaram maiores valores, 14 registros cada, as estações EC03 – Goiânia e EC08 – Pirenópolis, correspondendo a 18,2%. Também houve igualdade nas estações EC05 – Jataí e EC10 – Araxá, com 10 registros, correspondendo a 13,0%, enquanto as demais estações mantiveram-se entre 2 e 9 registros (2,6% e 11,7%).

5.1.3.1 Classificação através do Índice de Anos Padrão (AP)

Conforme apresentado, optou-se por classificar também os anos secos habituais, pelo índice de anos padrão (AP), dividindo-se a série temporal e/ou histórica em 7 classes: as denominadas extremamente seco (S) e tendente a seco (TS), referentes aos anos secos; as classes correspondentes aos anos habituais, denominadas habitual tendente a seco (HTS), habitual (H) e habitual tendente a chuvoso (HTC) e, para finalizar, as classes correspondentes aos anos chuvosos, denominadas extremamente chuvoso (C) e tendente a chuvoso (TC).

As classes categorizadas HTS, H, HTC representaram aproximadamente 59,2% dos registros,

lembrando que a o número total de registros é de 306. Sendo assim, as classes que compõem o padrão habitual juntas somaram aproximadamente 181 registros.

Já as classes consideradas excepcionais, que abrangem os anos categorizados como secos (S, TS), representaram aproximadamente 18,0%, ou seja, um total de 55 registros, enquanto as classes categorizadas chuvosas (TC e C) totalizaram 70 registros, representando, aproximadamente, 22,9%, demonstrando indícios de que as variáveis climáticas que atuam formando os anos chuvosos e os anos secos são bem singulares entre si.

Posteriormente, por meio da tabela 20 e do gráfico 11, pôde-se então destacar o número de ocorrências entre as classes correspondentes aos anos secos, habituais e chuvosos, sendo a classe (S) com maior destaque a EC09 – Unai, com 13 registros, enquanto a classe (TS) apresentou igualdade entre as estações climatológicas, ficando entre 0 e 2 registros.

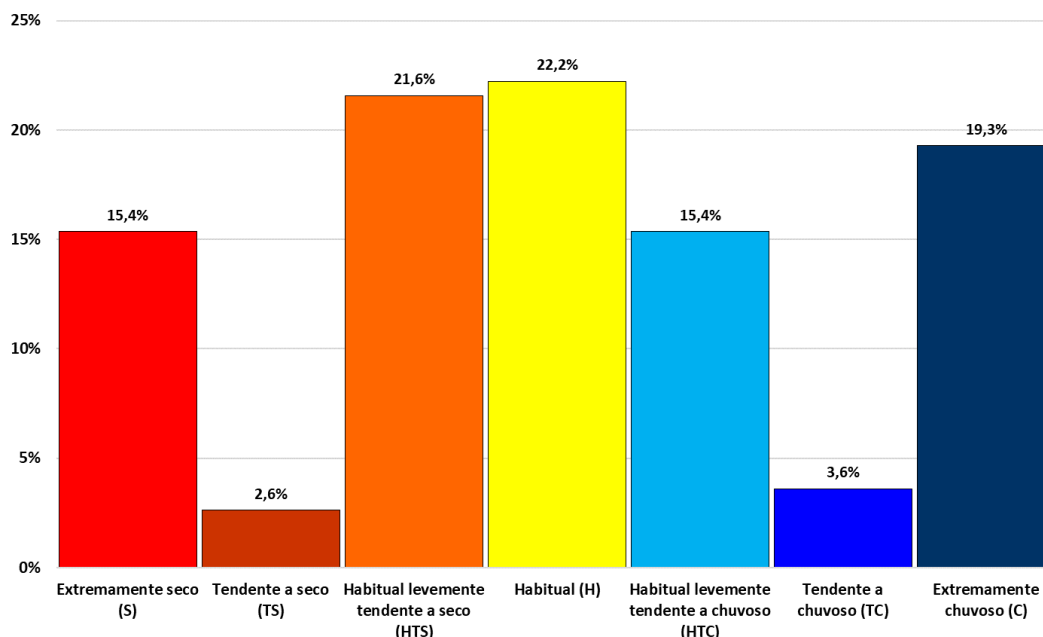
Tabela 20 – Distribuição quantitativa e percentual dos anos secos, habituais e chuvosos, conforme a análise quartílica para as estações climatológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

ESTAÇÕES	CLASSES CORRESPONDETES AOS ANOS						
	SECOS		HABITUAIS			CHUVOSOS	
	(S)	(TS)	(HTS)	(H)	(HTC)	(TC)	(C)
EC01 - BRASÍLIA	3	2	11	3	4	0	8
EC02 - CATALÃO	3	2	12	8	6	0	0
EC03 - GOIÂNIA	1	0	4	6	8	1	11
EC04 - IPAMERI	5	0	6	10	6	0	4
EC05 - JATAÍ	1	1	3	10	7	2	7
EC06 - PARACATU	10	1	4	6	4	0	6
EC07 - PARANAÍBA	9	1	11	5	4	0	1
EC08 - PIRENÓPOLIS	1	0	2	8	7	2	11
EC09 - UNAI	13	1	7	6	0	1	3
EC10 - ARAXÁ	1	0	6	6	1	5	8
TOTAL	47	8	66	68	47	11	59
(%)	15,4%	2,6%	21,6%	22,2%	15,4%	3,6%	19,3%

Observação: Extremamente Seco (S) – Tendente a Seco (TS) – Habitual Tendente a Seco (HTS) – Habitual (H) – Habitual tendente a Chuvoso (HTC) – Extremamente Chuvoso (C).

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Gráfico 11 – Histograma das classes adotadas segundo o método Anos-Padrão (AP) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Observação: Extremamente Seco (S) – Tendente a Seco (TS) – Habitual Tendente a Seco (HTS) – Habitual (H) – Habitual tendente a Chuvoso (HTC) – Extremamente Chuvoso (C).

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Dando sequência, analisando a tabela 20 e o gráfico 11, percebe-se que a categoria (HTS) possuiu igualdade entre as estações EC01 – Brasília e EC07 – Paranaíba, com 11 registros, enquanto o maior destaque ficou para a EC02 – Catalão, com 12 registros. A classe (H), também apresentou igualdade de registros entre as estações climatológicas EC04 – Ipameri e EC05 – Jataí, totalizando 10 registros para cada, enquanto a classe (HTC) apresentou o maior registro para EC03 – Goiânia, totalizando 8 registros.

Percebe-se também que a classe (TC) apresentou características, em relação ao número de registros, bem semelhantes à classe (TS), e a classe (C) apresentou registros igualitários, totalizando 11 registros para cada uma das estações climatológicas EC03 – Goiânia e EC08 – Pirenópolis.

Por fim, optou-se por também representar iconograficamente, por meio do quadro 4, a

distribuição das classes adotadas, sendo o vermelho correspondente à classe extremamente seco (S), marrom claro, tendente a seco (TS), enquanto as cores laranja, amarelo e azul claro foram atribuídas, respectivamente, às classes habitual tendente a seco (HTS), habitual (H) e habitual tendente a chuvoso (HTC), e as cores azul correspondente à classe denominada extremamente chuvoso (C) e azul-escuro à classe tendente a chuvoso (TC).

Ressalta-se que se houver análise comparativa entre os quadros 3 e 4, mesmo havendo variabilidade quanto à adoção de classes para a categorização, é perceptível a dinâmica de variação entre as classes do padrão pluviométrico, embora ambos sejam singulares quanto à máxima representatividade da(s) classe(s) que corresponde(m) aos anos habituais.

Quadro 5 – Proposta classificatória por meio da análise Anos-Padrão dos dados da série histórica e/ou temporal (1991-2021).

ANO	EC01 - BRASÍLIA	EC02 - CATALÃO	EC03 - GOIÂNIA	EC04 - IPAMERI	EC05 - JATAÍ	EC06 - PARACATU	EC07 - PARANAÍBA	EC08 - PIRENÓPOLIS	EC09 - UNAI	EC10 - ARAXÁ
1991										
1992										
1993										
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										
2018										ASR
2019										ASR
2020										ASR
2021										ASR

ANOS SECOS		ANOS HABITUAIS		ANOS CHUVOSOS	
Extremamente seco (S)		Habitual levemente tendente a seco (HTS)		Tendente a chuvoso (TC)	
Tendente a seco (TS)		Habitual (H)		Extremamente chuvoso (C)	
Habitual levemente tendente a chuvoso (HTC)		Ano sem registro (ASR)			

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

5.2 Análise estatística pelo método de Mann Kendall.

Destaca-se que historicamente e, principalmente nas últimas décadas, a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba tem passado por diversos níveis de interações de ordem antrópica e de ordem natural, o que viabiliza ainda mais a adoção de metodologias eficazes capazes de propor, além do conhecimento adquirido, a aplicação de medidas que propiciem manejo adequado, mitigando assim impactos futuros.

Nesse enfoque, buscando auxiliar quanto à categorização dos índices de tendências nas séries históricas e/ou temporais avaliadas, utilizou-se a tabela 21, propondo estabelecer padrões qualitativos, visando, assim, a validar ainda mais a aplicação do método estatístico não paramétrico de Mann-Kendall:

Tabela 21 - Classificação do índice de tendencial do teste de Mann-Kendall.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
TSA	Tendência significativa de Aumento ($>1,96$)
TNSA	Tendência não significativa de Aumento ($<1,96$)
ST	Tendência Nula ou Sem Tendência (0)
TNSQ	Tendência não significativa de queda ($<-1,96$)
TSQ	Tendência significativa de queda ($>-1,96$)

Fonte: Silva. G. C (2017).

Pontua-se que o método não paramétrico proposto por Mann-Kendall é uma importante ferramenta para auxiliar a detecção de possíveis tendências presentes nas séries históricas e/ou temporais, acentuando a possibilidade de haver ou não cenários tendenciais no regime pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

5.2.1 Cenário tendencial anual dos índices pluviométricos através da aplicação do método de Mann-Kendall.

Pela análise dos possíveis cenários tendenciais anuais, utilizando-se do método não paramétrico de Mann-Kendall, pode-se verificar, de acordo com os dados apresentados na tabela 22, que somente uma única estação climatológica apresentou um valor positivo de Z (0,918), categorizando a presença do cenário tendencial TNSA (tendência não significativa de aumento), a estação climatológica EC01 – Brasília, em contrapartida a EC10 – Araxá apresentou valor de Z característico de um cenário de queda, ou seja, um valor de Z correspondente a -2,142, categorizando como TSQ (tendência significativa de queda), as demais estações climatológicas apresentaram também um valor negativo de Z , categorizando-as como cenário tendencial TNSQ (tendência não significativa de queda).

Tabela 22 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices pluviométricos anuais (1991-2021).

ESTAÇÃO	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-valor	Z	Tendências
EC01 - BRASÍLIA	0,118	55	3.461,667	0,362	0,918	TNSA
EC02 - CATALÃO	-0,049	-23	3.461,667	0,711	-0,374	TNSQ
EC03 - GOIÂNIA	-0,039	-18	3460,667	0,760	-0,289	TNSQ
EC04 - IPAMERI	-0,191	-89	3.461,667	0,136	-1,496	TNSQ
EC05 - JATAÍ	-0,230	-107	3.461,667	0,072	-1,802	TNSQ
EC06 - PARACATU	-0,217	-101	3.461,667	0,090	-1,700	TNSQ
EC07 - PARANAÍBA	-0,140	-65	3.461,667	0,280	-1,088	TNSQ
EC08 - PIRENÓPOLIS	-0,045	-21	3.461,667	0,736	-0,340	TNSQ
EC09 - UNAI	-0,174	-81	3.461,667	0,176	-1,360	TNSQ
EC10 – ARAXÁ	0,001	-127	3.461,667	0,0323	-2,142	TSQ

Observação: TSA - Tendência significativa de Aumento ($>1,96$), TNSA - Tendência não significativa de Aumento ($<1,96$), ST - Tendência Nula ou Sem Tendência (0), TNSQ -Tendência não significativa de queda ($<-1,96$), TSQ - Tendência significativa de queda ($>-1,96$)

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Mediante os resultados dos cenários tendenciais pautados nos totais anuais acima apresentados, busca-se avaliar também os cenários tendenciais pautados nos totais mensais da série histórica

de 1991 a 2021, objetivando, assim, conforme apresentado na tabela 22, descrever de forma detalhada os possíveis cenários tendenciais que possam ocorrer discretamente nas estações avaliadas que, ao serem contemplados anualmente de forma conjunta, mantêm-se discretos, não aparecendo neste nível de abordagem.

5.2.2 Cenário tendencial mensal dos índices pluviométricos através da aplicação do método de Mann-Kendall.

Com a aplicação do método de Mann-Kendall, destacou mensalmente os cenários tendenciais mensais que contemplam a série temporal e/ou histórica de 1991 a 2021 para a maioria das estações, ressaltando que a estação EC10 – Araxá contempla a série temporal e/ou histórica de 1991 a 2017, conforme representado na tabela 23.

Tabela 23 – Aplicação do método de Mann-Kendall para os índices pluviométricos mensais (1991-2021).

MESES	CENÁRIOS TENDENCIAIS (MANN-KENDALL)					Nº ESTAÇÕES
	TSA	TNSA	ST	TNSQ	TSQ	
JAN	0	6	1	23	0	10
FEV	0	4	1	5	0	10
MAR	0	0	1	9	0	10
ABR	0	6	2	2	0	10
MAI	0	4	0	5	1	10
JUN	0	4	0	5	1	10
JUL	0	3	0	6	1	10
AGO	0	1	0	8	1	10
SET	0	0	1	7	2	10
OUT	0	3	1	5	1	10
NOV	0	8	0	1	1	10
DEZ	0	2	0	7	1	10
TOTAL	0	41	7	83	9	10
(%)	0,00%	29,29%	5,00%	59,29%	6,43%	100,00%

Observação: TSA - Tendência significativa de Aumento ($>1,96$), TNSA - Tendência não significativa de Aumento ($<1,96$), ST - Tendência Nula ou Sem Tendência (0), TNSQ - Tendência não significativa de queda ($<-1,96$), TSQ - Tendência significativa de queda ($>-1,96$)

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda conforme a tabela 23, o mês de janeiro com relação ao cenário tendencial TNSQ (tendência não significativa de queda), totalizou 23 ocorrências, ou seja, 27,7% das 83 ocorrências registradas, enquanto os demais meses apresentam ocorrências que variam entre 5 e 9 registros, enquanto o mês de abril apresentou 2 ocorrências e o mês de novembro com totalizou somente uma ocorrência.

O cenário tendencial TNSA (tendência não significativa de aumento), foi o segundo cenário tendencial em destaque, contemplando um total de 41 ocorrências, sendo assim, o mês que mais se destacou entre os demais foi novembro apresentando 8 registros correspondendo a 19,5%, enquanto os demais mantiveram-se com certa proximidade, variando entre 4 e 6 ocorrências, nota-se que os meses de agosto e dezembro, apresentaram 1 e 2 ocorrências.

Por conseguinte, o cenário tendencial TSA, não apresentou nenhuma ocorrência, enquanto cenário tendencial TSQ apresentou 9 ocorrências registrada, destacando o mês de setembro com 2 registros, enquanto os meses de maio a agosto e, de outubro a dezembro apresentaram apenas 1 registro.

Findando a análise o cenário tendencial denominado ST que corresponde a tendência nula e/ou sem tendência, apresentou somente 2 registros para o mês de abril, e 1 registro para os meses de janeiro, fevereiro, março, setembro e outubro. Após a análise dos padrões pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, é de suma importância dar enfoque aos padrões correspondentes a temperatura (máxima, média e mínima).

5.3 Análise da variabilidade de temperatura (máxima, média e mínima).

Busca-se compreender e analisar a dinâmica de variabilidade de temperatura, tendo por base as séries temporais e/ou históricas (1991-2021, 1991-2017), onde pode-se examinar a diferença

entre os níveis de amplitude térmica para as estações climatológicas adotadas, conforme exibido na tabela 24:

Tabela 24 –Amplitudes térmicas anuais (°C) das estações climatológicas (1991-2021).

ESTAÇÕES	TEMPERATURA			AMPLITUDE TÉRMICA
	MÁXIMA	MÉDIA	MÍNIMA	
EC01 - BRASÍLIA	27,1	21,4	17,0	10,1
EC02 - CATALÃO	29,4	23,3	18,4	11,0
EC03 - GOIÂNIA	31,4	24,5	18,6	12,8
EC04 - IPAMERI	29,6	22,9	17,7	11,9
EC05 - JATAÍ	31,0	22,8	17,1	13,9
EC06 - PARACATU	30,1	23,6	18,4	11,7
EC07 - PARANAÍBA	31,3	24,7	19,4	11,9
EC08 - PIRENÓPOLIS	31,1	23,4	17,9	13,2
EC09 - UNAI	31,1	24,6	18,4	12,7
EC10 - ARAXÁ	30,2	23,5	18,1	12,1

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Avaliando a tabela 24, pode-se ressaltar que a estação EC05 – Jataí apresentou a maior amplitude térmica anual com 13,9°C e uma variação média de temperatura que varia entre os 17,1°C e 31,0°C, enquanto a menor amplitude térmica anual foi registrada na EC01 – Brasília, com amplitude térmica anual com 10,1°C, e uma variação média de temperatura que varia entre os 17,0°C e 27,1°C, sendo assim, as demais estações apresentaram uma variabilidade de amplitude térmica de mais ou menos 2°,0C e, apresentando variação média de temperatura de 17,9 °C a 31,4 °C, as demais estações mantiveram suas amplitudes entre 11,0°C e 13,2°C.

Foi elaborada a tabela 25, que apresenta as amplitudes térmicas mensais e, ao observarmos as amplitudes térmicas mensais, nitidamente evidencia-se a diferença entre os meses chuvosos e secos. Nos meses que contemplam o período considerado seco, ou seja, os meses que vão de abril a setembro, as amplitudes térmicas mensais apresentaram as médias mensais das amplitudes que vão de 11,2°C a 15,0°C, tendo os maiores índices nos meses de julho, agosto e setembro, sendo 14,5°C, 15,0°C e 14,0°C.

Já ao avaliarmos os meses considerados chuvosos e ainda pautados na tabela 25, pode-se

perceber uma mínima diferença entre as médias mensais de amplitudes sendo estas variando entre 10,1°C e 10,5°C, com exceção do mês de outubro que apresentou uma média de 12,4°C.

Tabela 25 – Dados da amplitude térmica mensal (°C) das estações climatológicas (1991-2021).

ESTAÇÕES	EC01	EC02	EC03	EC04	EC05	EC06	EC07	EC08	EC09	EC10	MÉDIA MENSAL
JAN	8,7	9,5	10,5	9,8	10,6	10,3	10,7	11,0	11,2	9,3	10,2
FEV	9,0	9,7	11,0	10,2	11,0	10,5	10,7	11,2	11,8	9,9	10,5
MAR	8,8	9,7	11,0	10,0	11,2	10,2	10,6	11,2	11,5	9,6	10,4
ABR	9,1	10,1	11,8	11,2	12,5	10,9	11,1	12,3	12,2	10,4	11,2
MAI	10,4	11,2	13,3	12,6	14,6	12,1	11,3	14,3	13,6	10,9	12,4
JUN	11,2	12,1	14,7	14,3	16,6	13,0	11,8	15,7	15,4	11,2	13,6
JUL	11,8	12,9	15,8	15,0	18,4	13,7	13,2	16,7	16,1	11,6	14,5
AGO	12,2	13,4	16,1	15,3	19,0	14,2	14,4	16,6	16,8	12,4	15,0
SET	11,7	12,7	14,8	13,8	16,4	13,3	13,9	15,2	15,9	12,2	14,0
OUT	10,5	11,4	12,9	12,0	13,5	12,1	13,2	13,3	13,9	11,2	12,4
NOV	8,8	10,0	10,9	9,9	11,6	10,3	11,6	10,9	11,4	9,7	10,5
DEZ	8,6	9,6	10,5	9,6	10,7	9,9	11,2	10,6	11,1	9,4	10,1

Observação: EC01 – BRASÍLIA, EC02 – CATALÃO; EC03 – GOIÂNIA, EC04 – IPAMERI, EC05 – JATAÍ, EC06 – PARACATU, EC07 – PARANAÍBA, EC08 – PIRENÓPOLIS. EC09 – UNAI E EC10 – ARAXÁ.

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

5.4 Análise dos dados de temperatura média

Buscando compreender a dinâmica das temperaturas médias, foi elaborado a tabela 26 que conjuntamente o gráfico 12, que nos permitiu observar que entre as 10 estações climatológicas abordadas durante o período de (1991-2021), foi de 23,2°C e, ficou nitidamente constatado que houve pouca variabilidade entre os meses.

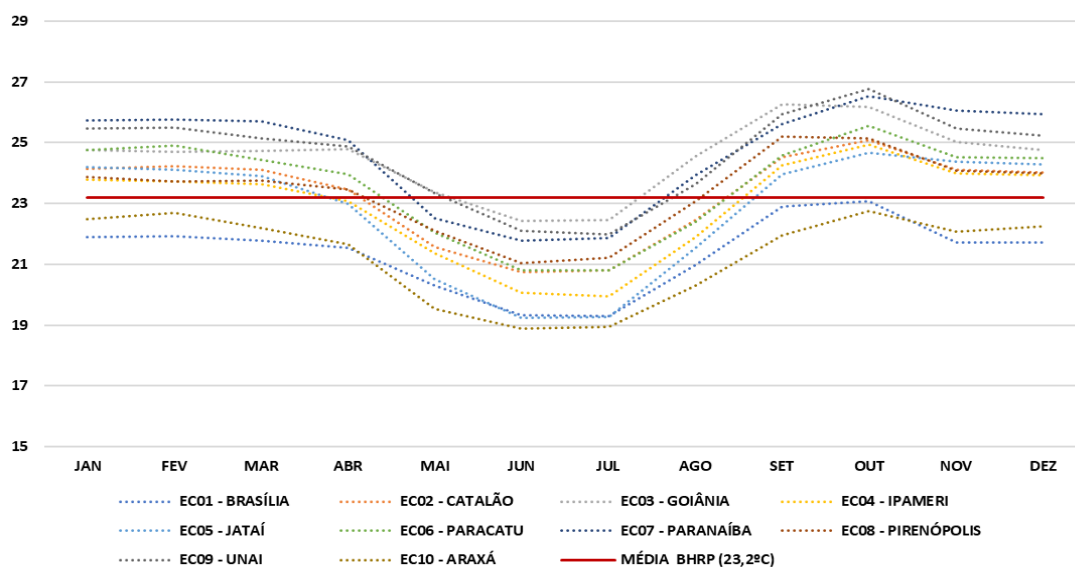
Seguindo a proposta acima, destaca-se que o mês de setembro apresentou a média de 24,5°C e o mês outubro 25,1°C, ou seja, as maiores médias foram detectadas nesses meses, porém, outro fator importante a ser ressaltado foi a singularidade entre as médias dos meses janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, onde ambos obtiveram a média 24,1°C, já os meses junho e julho apresentaram as médias 20,6°C e 20,7°C, sendo estas as menores médias.

Tabela 26 – Variabilidade da temperatura média mensal (°C) das estações climatológicas adotadas (1991-2021).

ESTAÇÕES	J	F	M	S	M	J	J	A	S	O	N	D
EC01 - BRASÍLIA	21,9	21,9	21,8	21,6	20,3	19,3	19,3	21,0	22,9	23,1	21,7	21,7
EC02 - CATALÃO	24,1	24,2	24,1	23,5	21,6	20,7	20,8	22,5	24,5	25,1	24,1	24,0
EC03 - GOIÂNIA	24,8	24,7	24,7	24,8	23,4	22,4	22,5	24,6	26,3	26,2	25,0	24,8
EC04 - IPAMERI	23,8	23,7	23,6	23,1	21,4	20,1	20,0	21,9	24,2	24,9	24,0	23,9
EC05 - JATAÍ	24,2	24,1	23,9	23,0	20,5	19,2	19,3	21,6	24,0	24,7	24,4	24,3
EC06 - PARACATU	24,7	24,9	24,4	24,0	22,1	20,8	20,8	22,4	24,6	25,6	24,5	24,5
EC07 - PARANAÍBA	25,7	25,8	25,7	25,1	22,5	21,8	21,9	23,9	25,6	26,5	26,1	25,9
EC08 - PIRENÓPOLIS	23,9	23,7	23,8	23,5	22,1	21,0	21,2	23,1	25,2	25,1	24,1	24,0
EC09 - UNAI	25,5	25,5	25,2	24,9	23,3	22,1	22,0	23,6	26,0	26,8	25,5	25,2
EC10 - ARAXÁ	22,5	22,7	22,2	21,7	19,5	18,9	18,9	20,3	21,9	22,8	22,1	22,2
MÉDIA	24,1	24,1	23,9	23,5	21,7	20,6	20,7	22,5	24,5	25,1	24,1	24,1

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 12 – Variação das temperaturas médias mensais nas estações climatológicas comparadas a média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Conforme o gráfico 12, a distribuição mensal das temperaturas médias (°C) e, assim, pode-se observar que as estações climatológicas EC01 – Brasília e EC10 - Araxá durante todos o ano, estas se mantiveram abaixo da média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (23,2°C).

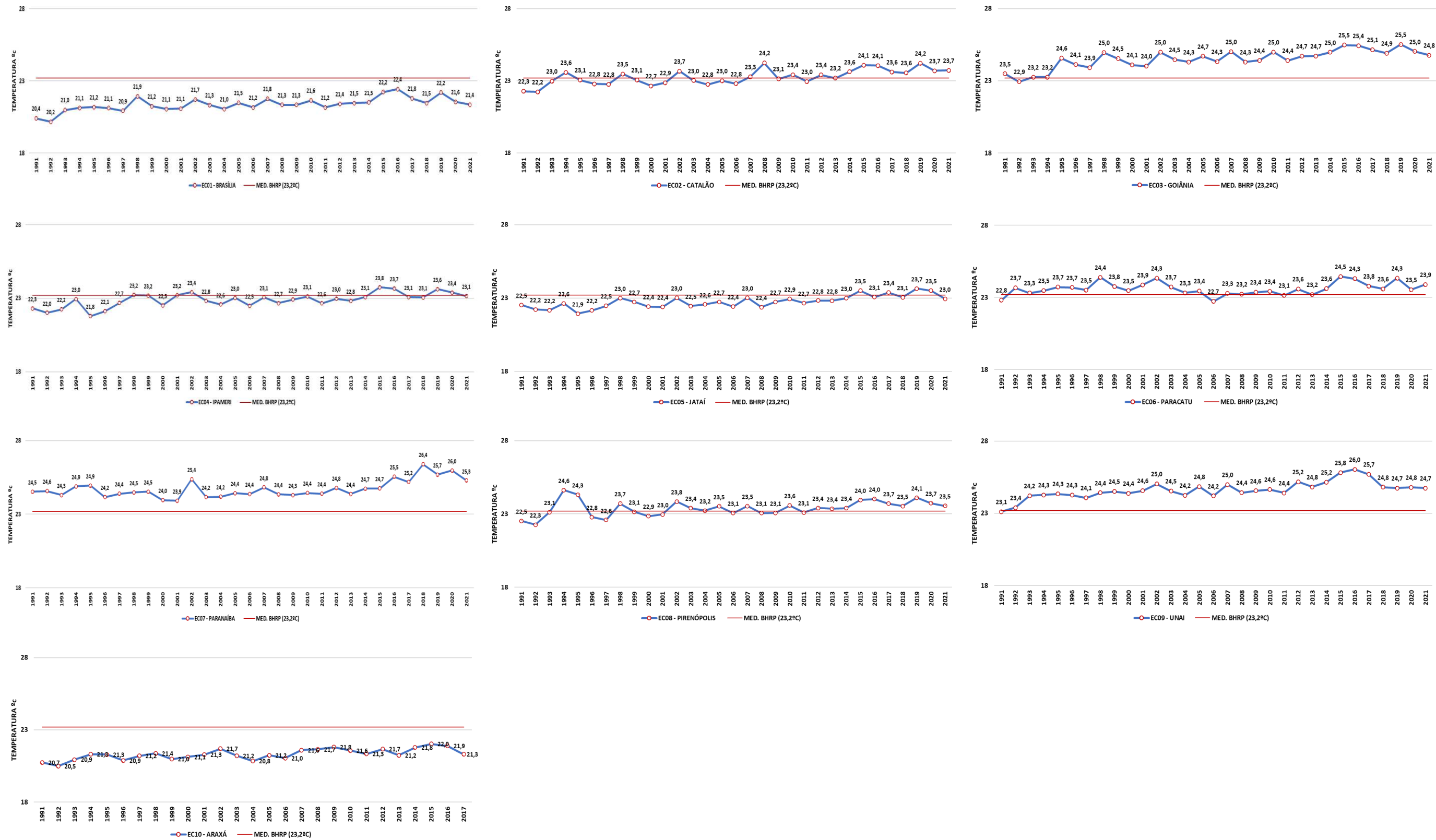
Ressalta-se que a estação EC01 Brasília apresentou uma variabilidade de temperatura durante

o ano, sendo que a menor média ocorreu durante os meses de junho e julho, registrando de 19,3°C, já a maior média ocorreu durante o mês de outubro com 23,1°C.

A estação EC10 – Araxá, apresentou também a menor média nos meses de junho e julho com 18,9°C e a maior média também no mês de outubro totalizando 18,9°C.

Posteriormente, buscou representar a variabilidade da temperatura média, para tanto, foi elaborado a figura 19, que apresenta um conjunto de gráficos de todas as 10 estações climatológicas simbolizando a variabilidade das médias ao longo do ano.

Figura 19 – Conjunto de Gráficos da variação média anual das médias nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Conforme apresentado no mosaico constituinte do gráfico 13, vale apontar que média utilizada como média geral ou de longo termo foi 23,2°C correspondente a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Portanto é perceptível que as estações climatológicas EC01 – Brasília e EC10 – Araxá se mantiveram durante toda a evolução temporal abaixo da média geral e inversamente proporcional, pode-se constatar se mantendo acima da média observamos as estações EC03 – Goiânia, EC07 - Paranaíba e EC09 – Unaí, as demais estações mantiveram-se oscilando sobre a média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Posteriormente, após a análise da variabilidade da temperatura média, objetivamos avaliar geoestatisticamente as medidas de tendência central para os dados consolidados das 10 estações climatológicas e, para tanto, foi organizado na tabela 27 onde:

Tabela 27 – Análise geoestatísticas das temperaturas média das médias anuais (1991-2021).

MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL			MEDIDAS DE DISPERSÃO		
MÉDIA	MODA	MEDIANA	AMPLITUDE	VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO
23,2	#N/D	23,2	6,2	1,6	1,3

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

E, nesta abordagem, de acordo com tabela 27, foi possível constatar que os índices referentes a média e a mediana foram os mesmos, ou seja, 23,2°C e, posteriormente ao se tratar da moda esta não foi constatado nenhum valor que contemplasse e, por conseguinte foi tratado geoestatisticamente as medidas de dispersão, onde obtivemos o desvio padrão de 1,3 °C caracterizando homogeneidade amostral, sendo posteriormente calculada a variância registrando 1,6°C e, buscando findar efetuou-se o cálculo do índice de amplitude, sendo esse 6,2°C.

Após as análises geoestatísticas, foi utilizado o método de Mann-Kendall, visando detectar a

presença de possíveis tendências nas séries temporais e/ou históricas. Para tanto, os resultados obtidos foram dispostos sinteticamente na tabela 28, sendo esses:

Tabela 28 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices anuais de temperatura média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

ESTAÇÕES	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-valor	Z	Tendência
EC01 - BRASÍLIA	0,523	243	3461,7	<0,0001	4,113	TSA
EC02 - CATALÃO	0,497	231	3461,7	<0,0001	3,909	TSA
EC03 - GOIÂNIA	0,583	271	3461,7	<0,0001	4,589	TSA
EC04 - IPAMERI	0,424	197	3461,7	0,001	3,331	TSA
EC05 - JATAÍ	0,557	259	3461,7	<0,0001	4,385	TSA
EC06 - PARACATU	0,118	55	3461,7	0,362	0,918	TNSA
EC07 - PARANAÍBA	0,338	157	3461,7	0,007	2,651	TSA
EC08 - PIRENÓPOLIS	0,363	169	3461,7	0,004	2,855	TSA
EC09 - UNAI	0,557	259	3461,7	<0,0001	4,385	TSA
EC10 - ARAXÁ	0,886	67	2301,0	0,16885	1,375	TNSA

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Desse modo, conforme disposto na tabela 28, pode-se perceber que as estações EC06 – Paracatu e EC10 – Araxá, foram as únicas que apresentaram índices tendenciais positivos correspondentes a TNSA – Tendência não significativa de aumento (<1,96), já as demais estações apresentaram índices tendenciais também positivos só que indicam TSA – tendência significativa de aumento, caracterizando assim, possíveis aumentos nos índices referentes a temperatura média.

Nesta abordagem, ampliando ainda mais a gama de conhecimentos, avaliou-se os índices de aumento da temperatura média, conforme apresentado na tabela 29 e, chegou-se à conclusão de que o índice correspondente a média entre os dados das estações climatológicas adotadas foi de 1,0°C.

Tabela 29 – Aplicação do método de Mann-Kendall para os índices de temperatura média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

ESTAÇÕES	AUMENTO DAS MÉDIAS (°C)
EC01 - BRASÍLIA	1,0
EC02 - CATALÃO	1,4
EC03 - GOIÂNIA	1,3
EC04 - IPAMERI	0,8
EC05 - JATAÍ	0,4
EC06 - PARACATU	1,1
EC07 - PARANAÍBA	0,7
EC08 - PIRENÓPOLIS	1,0
EC09 - UNAI	1,6
EC10 – ARAXÁ	0,6
MÉDIA BHRP	1,0

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Ainda contemplando a tabela 29, e avaliando individualmente os índices das estações climatológicas, pode-se perceber que há singularidade entre os dados referentes ao aumento da temperatura média, embora os menores índices foram detectados nas estações EC05 – Jataí 0,04°C, EC10 – Araxá com 0,4°C, EC07 – Paranaíba 0,7 °C e EC04 – Ipameri com 0,8°C, já as demais estações mantiveram as médias entre 1,0°C e 1,6°C.

Destaca-se que o acompanhamento da variabilidade desses índices, se fazem extremamente importantes, visto que, os mesmos podem nos alertar e orientar quanto a adoção de medidas que visem a mitigação.

5.5 Análise dos dados de temperatura máxima

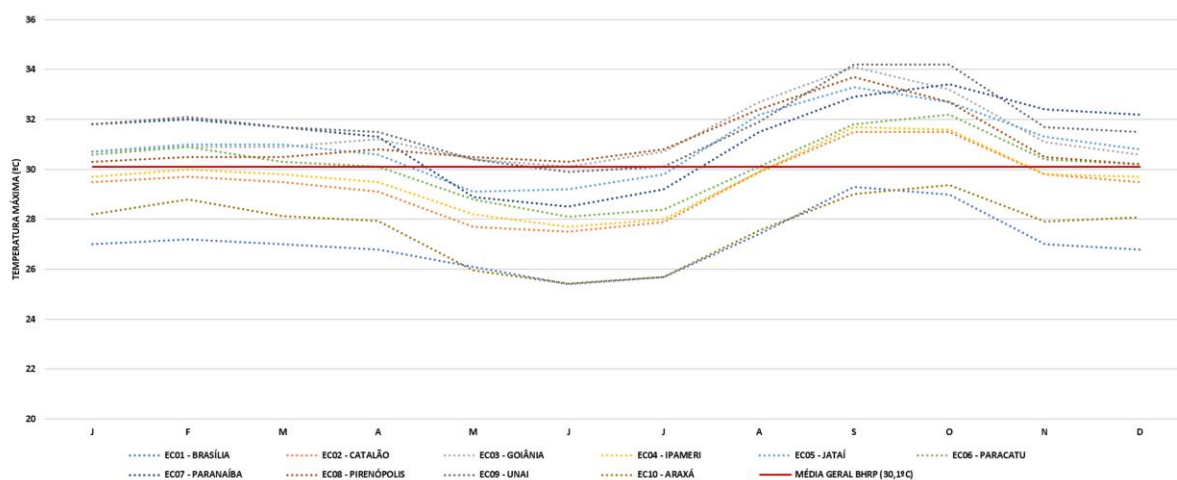
Após compreender e avaliar os dados correspondentes a temperatura média, optou-se por avaliar os índices referentes as médias da temperatura máxima, conforme disposto na tabela 30 e no gráfico 14.

Tabela 30 – Variabilidade média da temperatura média mensal (°C) das estações climatológicas adotadas (1991-2021).

ESTAÇÕES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EC01 - BRASÍLIA	27,0	27,2	27,0	26,8	26,1	25,4	25,7	27,4	29,3	29,0	27,0	26,8
EC02 - CATALÃO	29,5	29,7	29,5	29,1	27,7	27,5	27,9	29,9	31,5	31,5	29,8	29,5
EC03 - GOIÂNIA	30,7	30,9	30,9	31,2	30,4	30,1	30,7	32,7	34,1	33,2	31,1	30,6
EC04 - IPAMERI	29,7	30,0	29,8	29,5	28,2	27,7	28,0	29,9	31,7	31,6	29,8	29,7
EC05 - JATAÍ	30,7	31,0	31,0	30,6	29,1	29,2	29,8	32,2	33,3	32,7	31,3	30,8
EC06 - PARACATU	30,6	30,9	30,3	30,1	28,8	28,1	28,4	30,1	31,8	32,2	30,4	30,2
EC07 - PARANAÍBA	31,8	32,0	31,7	31,3	28,9	28,5	29,2	31,5	32,9	33,4	32,4	32,2
EC08 - PIRENÓPOLIS	30,3	30,5	30,5	30,8	30,5	30,3	30,8	32,4	33,7	32,7	30,5	30,2
EC09 - UNAI	31,8	32,1	31,7	31,5	30,4	29,9	30,1	31,9	34,2	34,2	31,7	31,5
EC10 - ARAXÁ	28,2	28,8	28,1	27,9	26,0	25,4	25,7	27,6	29,0	29,4	27,9	28,1
MÉDIA MENSAL	30,0	30,3	30,1	29,9	28,6	28,2	28,6	30,6	32,2	32,0	30,2	30,0

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 13 – Variação média mensal das temperaturas máximas nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Na tabela 30 e no gráfico 14, pode-se perceber que os meses de maio, junho e julho, apresentaram registros de 28,6 °C, 28,2 °C e 28,6°C, caracterizando-os como sendo os meses que apresentaram menor índice. Já os maiores registros foram obtidos nos meses de setembro e outubro, sendo eles 32,2 °C e 32,0 °C, enquanto os demais meses apresentaram registros de temperatura máxima entre 29,9 °C e 30,6 °C que correspondem aos meses de abril e agosto.

Destaca-se que a temperatura média das máximas, dentro do contexto avaliado foi de 30,1°C, valor esse registrado no mês de março.

Já o gráfico 14, indica que houve singularidade quanto ao comportamento da temperatura média ao longo do ano, e pode-se perceber que as estações EC01 – Brasília e EC10 – Araxá, mantiveram-se durante todo o ano abaixo da média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (30,1°C), enquanto as demais estações mantiveram seu ciclo anual oscilando sazonalmente entre a média geral da bacia.

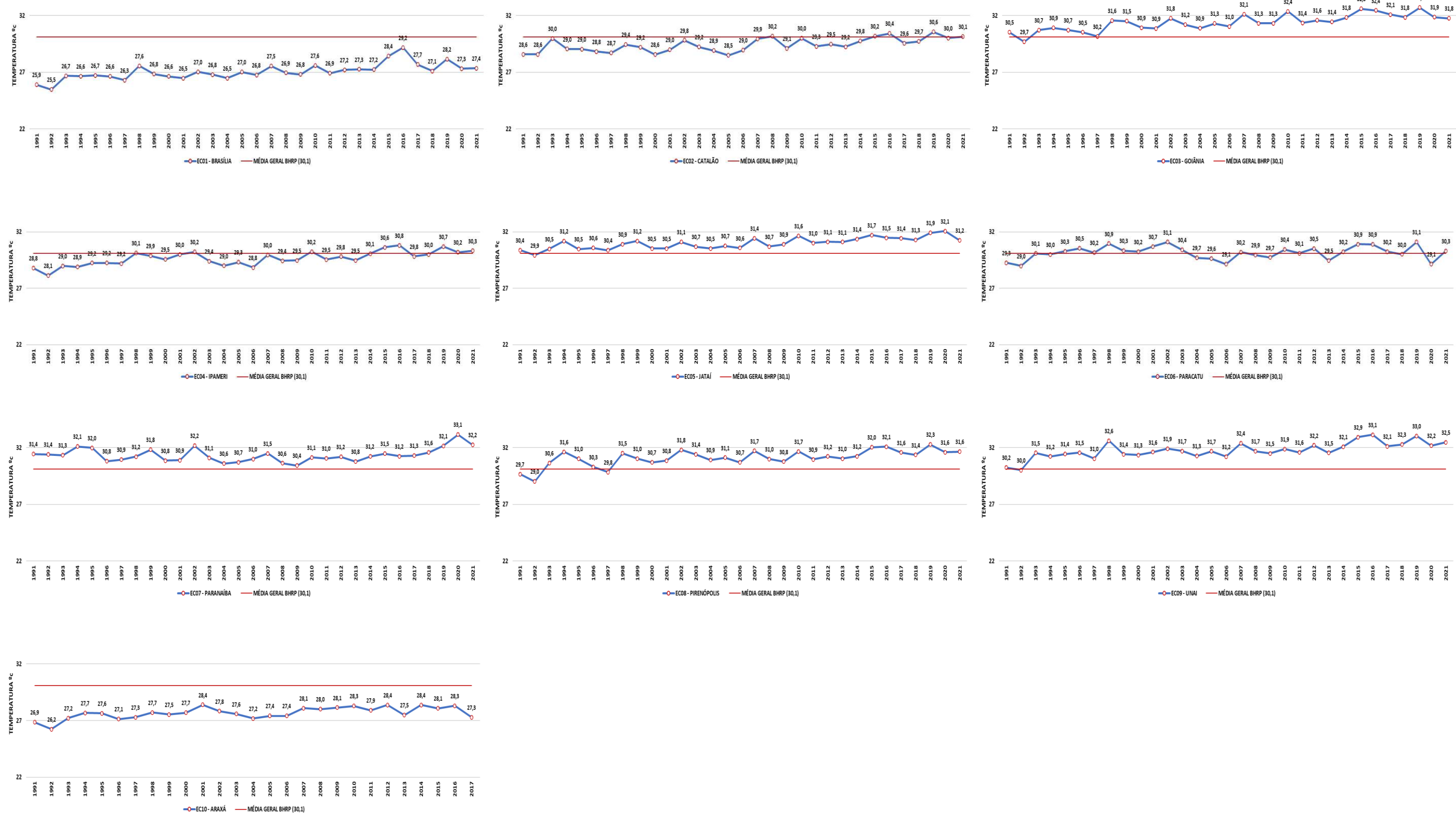
Neste enfoque, buscando exemplificar a dinâmica de cada estação climatológica, optou-se em elaborar a figura 20, que é composto por um conjunto de gráficos que trazem a evolução das médias da temperatura máxima durante o período de 1991 a 2021.

Pode-se observar que a estação EC01 Brasília, manteve-se bem abaixo da média durante quase todo o período avaliado, oscilando basicamente entre 3,0°C e 6,0°C, com ressalva para o ano de 2016 em que a temperatura máxima se aproximou a média geral da bacia registrando 29,2°C.

Por conseguinte, a estação EC02 – Catalão, apresentou a média anual da temperatura máxima, bem próxima a média geral da bacia, destacando os anos de 2008, 2015, 2016, 2019 e 2021 que sutilmente conseguiram sobrepor a média geral da bacia em aproximadamente 0,5°C.

Já a estação EC03 – Goiânia, sobrepôs a média geral da bacia, com exceção do ano de 1992 que se manteve 0,4°C abaixo da média geral, enquanto a estação EC04 – Ipameri, foi similar ao comportamento da estação EC02 – Catalão, ressaltando que os anos de 1998, 2002, 2010, 2014, 2015, 2016, 2019 e 2020 foram os anos que conseguiram sobrepor a média geral da bacia.

Figura 20 – Conjunto de gráficos da variação média anual das máximas nas estações climatológicas comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com o gráfico 15, percebe-se que a estação EC05 – Jataí, apresentou comportamento singular ao comportamento da estação EC03 – Goiânia, com exceção de 1992, todos os outros anos permaneceram acima da média da bacia.

Já a estação EC06 – Paracatu, foi a estação que mais oscilou diante a média geral da bacia, visto que somente os anos de 1991, 1992, 1994, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2013, 2018 e 2020, mantiveram-se abaixo da média geral da bacia, contudo, observa-se que mesmo sobrepondo a média geral da bacia, os valores da temperatura máxima permaneceram bem próximos a média geral 30,1°C.

Observa-se que a estação EC07 – Paranaíba, possuiu registros acima da média geral da bacia, variando entre 0,5°C a 3,0°C, enquanto a estação EC08 – Pirenópolis apresentou somente os anos 1992 e 1997, abaixo da média geral da bacia, visto que seus registros foram semelhantes aos registros avaliados na estação EC07 - Paranaíba.

Diante das estações avaliadas a estação EC09 – Unaí, apresentou o ano de 1991 com o registro 0,1°C acima da média geral da bacia e no ano de 1992 o registro foi 0,1°C abaixo da média geral da bacia. Nota-se também que os demais anos avaliados permaneceram acima da média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Analisando a estação EC10 – Araxá, constata-se que durante toda a variabilidade da temperatura máxima, apresentou registros bem abaixo da média geral da bacia, equiparando-a a estação EC01 – Brasília.

Geoestatisticamente, analisando a variabilidade da temperatura máxima, foi elaborada a tabela 31, que traz as medidas de tendência central e as medidas de dispersão. Desta forma, constatou que as medidas de tendência central apresentaram média de 30,1°C, mediana de 30,5°C, não havendo valor correspondente (#N/D) para a moda, enquanto as medidas de dispersão

apresentaram uma amplitude de 7,7°C, com uma variância de 2,7°C e um desvio padrão de 1,6°C.

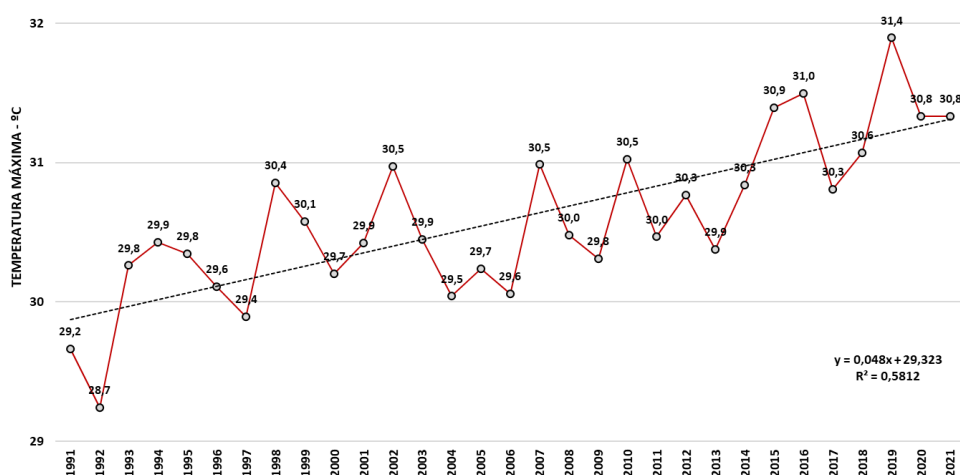
Tabela 31 – Geoestatísticas das temperaturas máximas médias anuais (1991-2021).

MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL			MEDIDAS DE DISPERSÃO		
MÉDIA	MODA	MEDIANA	AMPLITUDE	VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO
30,3	#N/D	30,6	7,7	2,3	1,5

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Seguindo as análises geoestatística, foi confeccionado o gráfico 16, correspondente as médias anuais da temperatura máxima, onde indubitavelmente se percebe claramente uma possível existência de tendência para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).

Gráfico 14 – Variação média anual das temperaturas máximas (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

O gráfico 16, buscou categorizar qual o tipo de tendência existente para o consolidado das médias anuais da temperatura máxima e, para tanto, utilizou o método proposto por Mann-Kendall, conforme representado na tabela 32.

Tabela 32 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices de temperatura média das máximas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

Tau de Kendall	S	Var(S)	p-valor (bilateral)	Z
1,154	257	2301,07	<0,0001	5,33

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Conforme disposto na tabela 32, percebemos que para um valor de Z equivalente a 5,33, indicativo que há tendência positiva, categorizada como TSA – tendência significativa de aumento.

Através do que foi apresentado na tabela 32, optou-se em elaborar a tabela 33, que traz os índices tendenciais das 10 estações climatológicas.

Tabela 33 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices de temperatura máxima das estações climatológicas avaliadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

ESTAÇÕES	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-valor	Z	Tendência
EC01 - BRASÍLIA	0,578	269	3461,7	1,3E-06	4,555	TSA
EC02 - CATALÃO	0,488	227	3461,7	6,6E-05	3,841	TSA
EC03 - GOIÂNIA	0,634	295	3461,7	5,1E-08	4,997	TSA
EC04 - IPAMERI	0,544	253	3461,7	6,5E-06	4,283	TSA
EC05 - JATAÍ	0,604	281	3461,7	3,3E-07	4,759	TSA
EC06 - PARACATU	0,110	51	3461,7	4,0E-01	0,850	TNSA
EC07 - PARANAÍBA	0,131	61	3461,7	3,1E-01	1,020	TNSA
EC08 - PIRENÓPOLIS	0,471	219	3461,7	1,3E-04	3,705	TSA
EC09 - UNAI	0,540	251	3461,7	7,9E-06	4,249	TSA
EC10 – ARAXÁ	1,000	39	2301,0	0,42825	0,792	TNSA

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Com a Aplicação do método de Mann-Kendall, pode-se perceber que não houve nenhum valor de Z negativo, mas, com exceção das estações EC06 – Paracatu, EC07 – Paranaíba e EC10 – Araxá que apresentaram TNSA – tendência não significativa de aumento.

As demais estações apresentaram valores de Z bem acima de 1,96, sendo esses correspondentes a categoria tendencial de TSA – tendência significativa de aumento, fator esse que chama atenção quanto ocorre visto que pode indicar riscos ambientais.

5.6 Análise dos dados de temperatura mínima

Após efetuar a análise dos dados correspondentes a temperatura máxima, optou-se em avaliar os dados correspondentes as temperaturas mínimas e, inicialmente constatou-se que há um

padrão diferente das temperaturas médias e máximas.

Sendo assim, conforme representado na tabela 34, observa-se que as estações climatológicas avaliadas mantiveram certa singularidade quanto a sua evolução, apresentando os menores registros nos meses de maio (16,2°C), junho (14,6°C), julho (14,1°C) e agosto (15,5°C)

Tabela 34 – Variabilidade média mensal da temperatura mínima (°C) (1991-2021).

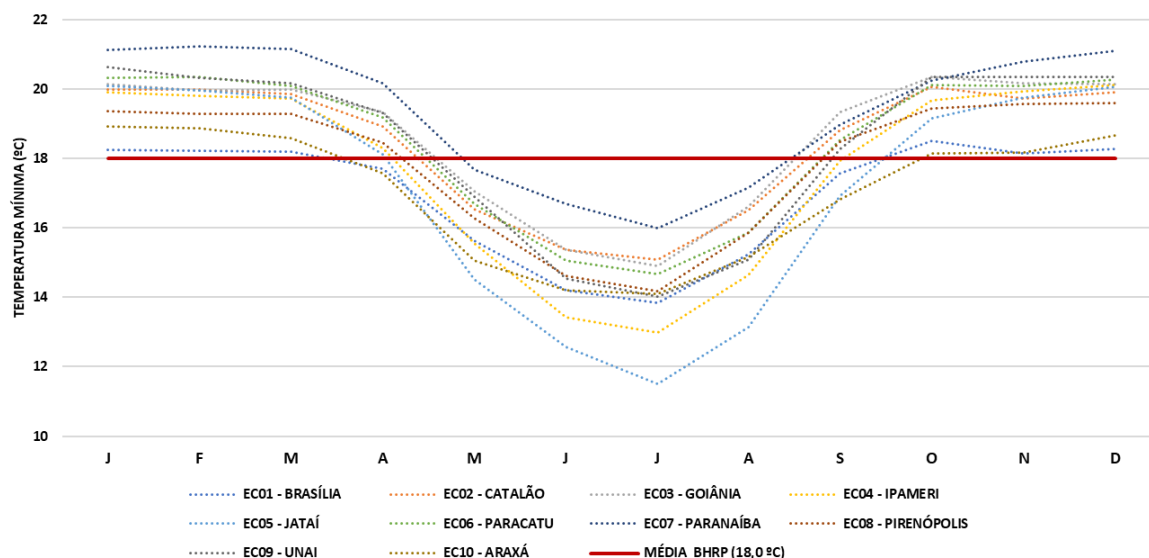
ESTAÇÕES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EC01 - BRASÍLIA	18,3	18,2	18,2	17,7	15,6	14,2	13,8	15,2	17,6	18,5	18,2	18,3
EC02 - CATALÃO	20,0	20,0	19,8	18,9	16,5	15,4	15,1	16,5	18,8	20,1	19,7	19,9
EC03 - GOIÂNIA	20,1	20,0	20,0	19,3	17,1	15,4	14,9	16,6	19,3	20,3	20,2	20,1
EC04 - IPAMERI	19,9	19,8	19,7	18,3	15,5	13,4	13,0	14,6	17,9	19,7	19,9	20,1
EC05 - JATAÍ	20,1	20,0	19,8	18,1	14,5	12,6	11,5	13,1	16,9	19,1	19,7	20,1
EC06 - PARACATU	20,3	20,3	20,1	19,2	16,7	15,1	14,7	15,9	18,5	20,1	20,1	20,3
EC07 - PARANAÍBA	21,1	21,2	21,2	20,2	17,7	16,7	16,0	17,2	19,0	20,2	20,8	21,1
EC08 - PIRENÓPOLIS	19,4	19,3	19,3	18,5	16,3	14,6	14,2	15,9	18,5	19,4	19,6	19,6
EC09 - UNAI	20,6	20,3	20,2	19,3	16,9	14,5	14,0	15,1	18,3	20,3	20,3	20,3
EC10 - ARAXÁ	18,9	18,9	18,6	17,6	15,0	14,2	14,1	15,2	16,8	18,1	18,2	18,7
MÉDIA	19,9	19,8	19,7	18,7	16,2	14,6	14,1	15,5	18,2	19,6	19,7	19,8

Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a tabela 34, nota-se que os meses de janeiro a março apresentaram temperaturas mínimas que variaram de 19,9°C a 18,7°C, com uma amplitude média de 1,2°C, e o mesmo padrão se repete nos meses de setembro a dezembro apresentando temperatura média das mínimas que variam entre 18,2°C a 19,8°C, indicando uma amplitude média de 1,6°C.

Nesse enfoque representativo, optou-se em elaborar o gráfico 17, representando a distribuição da temperatura mínima mensalmente, sendo assim, a primeira constatação foi que há uma distribuição sazonal que acompanha os períodos considerados chuvosos e os períodos considerados secos e, conforme observado no período seco ocorre as menores temperaturas mínimas, aferidas na estação EC05 – Jataí com 11,5°C, no mês de julho e, no entanto, o maior registro foi catalogado no período chuvoso e ocorreu na estação EC07 – Paranaíba 21,2°C, nos meses de fevereiro e março.

Gráfico 15 – Variação mensal da temperatura mínima (°C) (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

No entanto, as 10 estações climatológicas avaliadas apresentaram algumas singularidades, para tanto, foi elaborado a figura 21, constituída de um conjunto de gráficos da variabilidade anual da temperatura mínima, onde pode-se destacar que as estações EC01 – Brasília e EC10 – Araxá, mantiveram-se durante toda a série temporal e/ou histórica abaixo da média geral de 18,0°C, padrão esse singular aos registros de temperatura média e máxima.

Nesse mesmo enfoque ao avaliar a estação EC02 – Catalão, percebemos que somente os anos de 1991, 1992, 1993, 2000, mantiveram-se bem próximos variando entre 0,1 a 0,5°C da média geral da bacia, porém, seus registros mantiveram-se abaixo da média geral da bacia, enquanto a estação EC03 – Goiânia, inicia a série temporal e/ou histórica, 1991, 1992, 1993, 1994, bem abaixo da média geral da bacia, variando entre 3,1°C a 1,4°C, sendo o ano de 1993 com o registro de 14,9°C.

Já ao avaliarmos a estação EC04 – Ipameri, os seus registros permanecem abaixo da média geral da bacia, embora os anos de 2002, 2005, 2015, 2016 e 2019 ultrapassem a média entre 0,1 °C e 0,3°C, o mesmo, quase acontece com a estação EC05 – Jataí, que permanece abaixo da

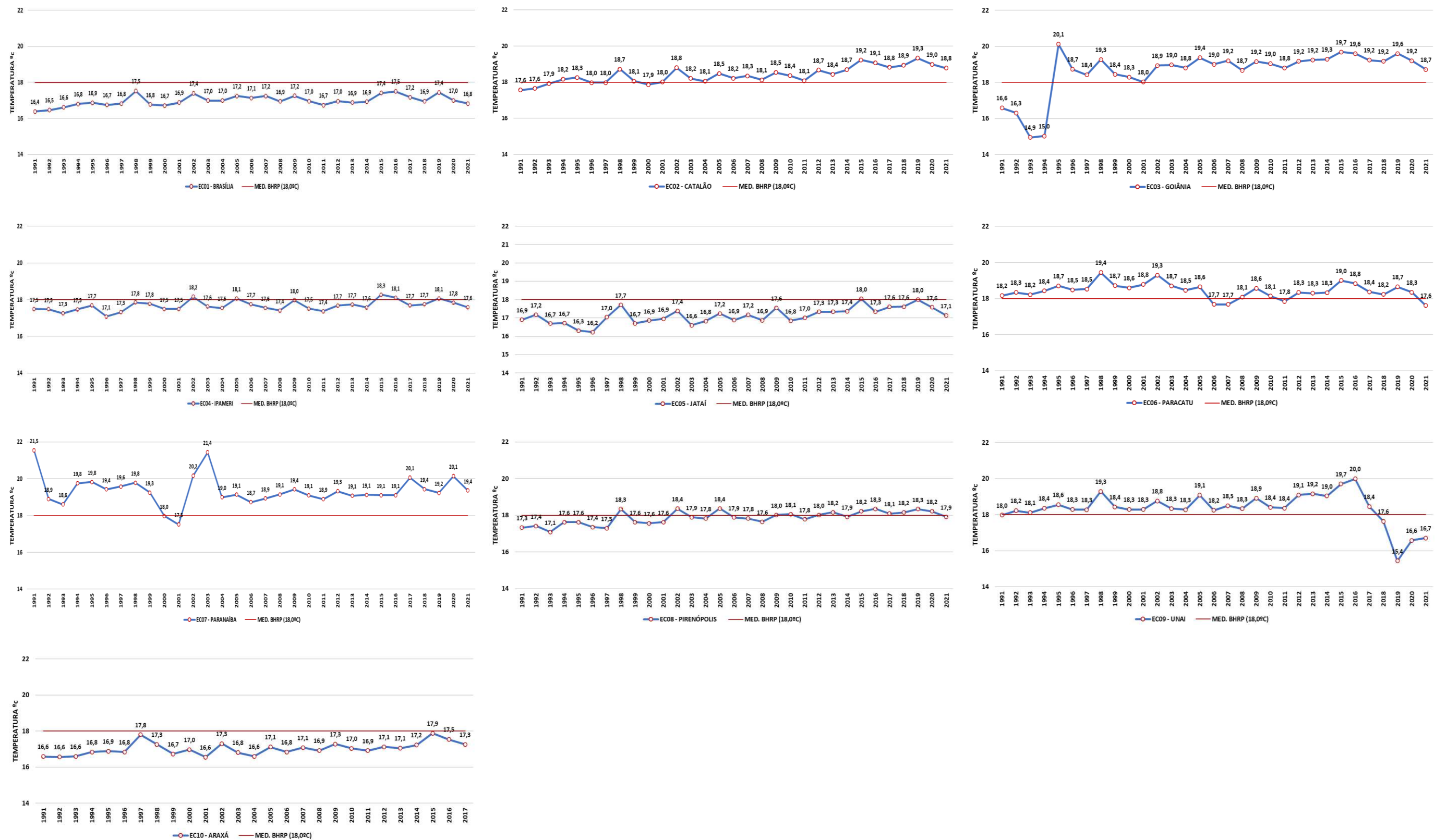
média geral da bacia, mas, equipara-se a média geral da bacia, ou seja, 18,0°C, nos anos de 2015 e 2019.

Para a estação EC06 – Paracatu, sua evolução é bem semelhante a estação EC02 – Catalão, embora somente os anos de 2006, 2007, 2011 e 2021 ficaram abaixo da média geral da bacia, já a estação EC07 – Paranaíba, apresenta algumas particularidades, sendo que a mesma apresenta os maiores registros de temperatura mínima, ocorrendo picos de 21,5 °C no ano de 1991, 21,4°C em 2003 e, vale também destacar que somente no ano de 2001 houve o único registro abaixo da média geral da bacia, sendo esse, 17,5°C.

Pode-se analisar que na estação EC08 – Pirenópolis, houve uma evolução bem próxima a média geral da bacia, e que somente os anos de 1998, 2002, 2010, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 apresentaram registros que sobrepueram a média geral da bacia, porém vale destacar que tal sobreposição não foi mais que 0,4°C.

Findando a análise individual das estações climatológicas, percebe-se que a estação EC09 – Unaí, também se difere das demais, visto que durante o período de 1991 a 2017, todos os seus registros foram iguais, ou maiores que a média geral da bacia, mas, a partir de 2018 a 2021, todos os registros foram abaixo da média geral da bacia, destacando o ano de 2019 que apresentou o menor valor (15,4°C).

Figura 21 – Conjunto de gráficos da variação média anual das temperaturas mínimas apresentadas individualmente e comparadas a média da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).



Fonte: INMET (2022). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Por conseguinte, foi elaborada a tabela 35, que visa representar a análise geoestatística do consolidado das estações climatológicas adotadas, para tanto, representou-se as medidas correspondentes a tendência central, onde foi verificado que não houve valor representativo para a moda, já os valores referentes a média e mediana foram idênticos, ou seja, 18°C.

Tabela 35 –Geoestatística do consolidado de temperaturas mínimas (1991-2021).

MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL			MEDIDAS DE DISPERSÃO		
MÉDIA	MODA	MEDIANA	AMPLITUDE	VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO
18,0	#N/D	18,0	6,6	0,9	1,0

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a tabela 35, as medidas correspondentes a dispersão, destacam uma amplitude térmica de 6,6°C, com índice de variância de 0,9°C e desvio padrão 1, caracterizando um padrão de homogeneidade amostral.

Pautou-se avaliar a presença ou não de tendências para as temperaturas mínimas, manteve-se análise pautada na aplicação do método de Mann-Kendall, conforme a síntese apresentada na tabela 36.

Tabela 36 – Aplicação o método de Mann-Kendall para os índices médios anuais de temperatura mínima da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1991-2021).

ESTAÇÕES	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-valor	Z	Tendência
EC01 - BRASÍLIA	0,0968	171	3461,7	0,004	2,88939	TSA
EC02 - CATALÃO	0,6387	293	3461,7	0,000	4,96295	TSA
EC03 - GOIÂNIA	0,0237	209	3461,7	0,000	3,53525	TSA
EC04 - IPAMERI	1,0000	157	3461,7	0,008	2,65144	TSA
EC05 - JATAÍ	0,0495	215	3461,7	0,000	3,63723	TSA
EC06 - PARACATU	0,3204	-45	3461,7	0,455	-0,74784	TNSQ
EC07 - PARANAÍBA	0,3032	7	3461,7	0,919	0,10198	TNSA
EC08 - PIRENÓPOLIS	1,0000	251	3461,7	0,000	4,24910	TSA
EC09 - UNAI	0,1871	59	3461,7	0,324	0,98579	TNSA
EC10 – ARAXÁ	-0,0370	47	2301,0	0,337	0,95895	TNSA

Fonte: INMET (2022). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

De acordo com a tabela 36, pode-se observar que somente a estação EC06 – Paracatu, apresentou valor de Z negativo (-0,74784), valor esse correspondente ao nível tendencial TNSQ – tendência não significativa de queda, sendo a única estação que apresentou tal nível tendencial $<-1,96$. No entanto, com nível tendencial positivo e $<1,96$, denominado TNSA – tendência não significativa de aumento, tivemos as estações EC07 – Paranaíba, EC09 – Unaí e EC10 – Araxá, já as demais estações apresentaram nível tendencial positivo $>1,96$, categorizado como TSA – tendência significativa de aumento.

5.7 Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Análise Pretérita

Mediante aos dados abordados, indiscutivelmente faz-se necessário avaliar a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba por meio da proposta de Thornthwaite e Mather (1955), por meio do balanço hídrico climatológico, onde pode-se identificar a dinâmica sobre os períodos correspondentes a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica.

Nesse enfoque, buscar-se-á, utilizar o balanço hídrico climatológico, para todas as 10 estações climatológicas adotadas, abrangendo o período de 1991 a 2021, para as nove primeiras estações e, para a estação EC10 – Araxá, conforme já mencionado nas propostas metodológicas, opta-se pelo período de 1991 a 2017.

Por fim, visto que os latossolos são predominantes na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba e eles apresentam CAD aproximada a 100mm, tal valor foi adotado padronizando assim toda a aplicação do balanço hídrico climatológico (BHC).

5.7.1 BHC da estação climatológica EC01 - Brasília

O balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather para a estação climatológica do INMET, sob o código 83377, denominada Brasília e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -15,78972221 S e longitudinal -47,92583332 W, na altitude de 1.161,42m.

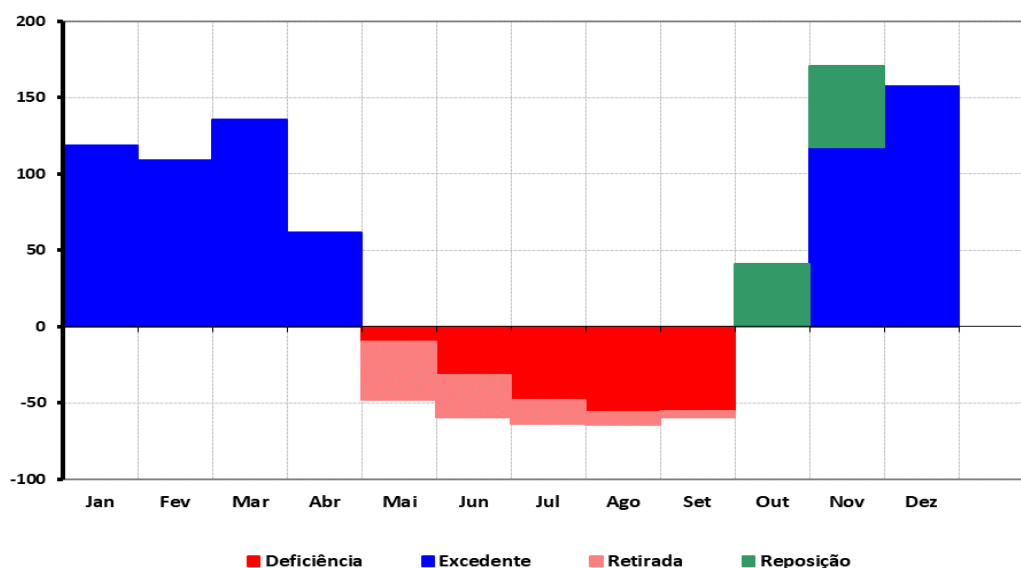
Nesse enfoque busca-se representar iconograficamente o balanço hídrico climatológico da estação EC01 – Brasília e, auxiliando assim, uma melhor visualização dos dados da tabela 37, foi elaborado o gráfico 19, que visa representar o excedente hídrico, bem como a deficiência hídrica, a retirada e a reposição, anualmente.

Tabela 37 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	21,9	207,4	88,7	118,7	0,0	100,0	0,0	88,7	0,0	118,7
Fev	21,9	189,2	80,3	108,9	0,0	100,0	0,0	80,3	0,0	108,9
Mar	21,8	223,6	87,7	135,8	0,0	100,0	0,0	87,7	0,0	135,8
Abr	21,6	144,1	82,7	61,4	0,0	100,0	0,0	82,7	0,0	61,4
Mai	20,3	26,1	73,9	-47,8	-47,8	62,0	-38,0	64,1	9,8	0,0
Jun	19,3	4,0	63,4	-59,3	-107,1	34,3	-27,8	31,8	31,6	0,0
Jul	19,3	1,5	65,3	-63,8	-170,9	18,1	-16,2	17,6	47,6	0,0
Ago	21,0	15,9	79,9	-64,1	-235,0	9,5	-8,6	24,4	55,5	0,0
Set	22,9	36,5	95,7	-59,1	-294,2	5,3	-4,3	40,8	54,9	0,0
Out	23,1	141,6	100,7	41,0	-77,2	46,2	41,0	100,7	0,0	0,0
Nov	21,7	255,2	84,3	171,0	0,0	100,0	53,8	84,3	0,0	117,2
Dez	21,7	244,3	87,1	157,2	0,0	100,0	0,0	87,1	0,0	157,2
TOTAIS	256,5	1489,5	989,6	499,8				790,2	199,4	699,3
MÉDIAS	21,4	124,1	82,5	41,7				65,8	16,6	58,3

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Gráfico 16 – Balanço hídrico climatológico da estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme observado na tabela 37 e no gráfico 19, os períodos considerados chuvosos e secos ficam bem apresentados, destacando então que os meses que ocorrem o excedente hídrico vão de janeiro a abril e de novembro a dezembro totalizando 699,3 mm e, durante esse período os meses de maior destaque são dezembro com 157,2 mm, e março com 135,8 mm.

Já a deficiência hídrica, totalizou -199,4 mm, período esse considerado seco, tem seu início no mês de maio e se estende até o mês de setembro e, assim pode-se apontar que os meses de agosto e setembro apresentaram os maiores registros sendo -55,3 mm e -54,9 mm.

Ressalta-se que durante o período de deficiência hídrica, também acontece o processo de retirada, totalizando -94,72 mm, e o mesmo ocorre de forma mais acentuada durante o mês de maio com -37,9 mm. Todavia, destaca-se que durante o período que abrange os meses de outubro e novembro aconteceu o processo de reposição e, sendo esse mais acentuado no mês de novembro com 53,8 mm.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC01- Brasília, encontra-se nos Anexos 1 e 2.

5.7.2 BHC da estação climatológica EC02 – Catalão

Com a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, para a estação climatológica do INMET, sob o código 83526, denominada Catalão e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -18,17027777 S e longitudinal -47,95805555 W, na altitude de 857,98 m, conforme representado na tabela 38, ressalta-se que todos os componentes do balanço hídrico climatológico também foram calculados considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

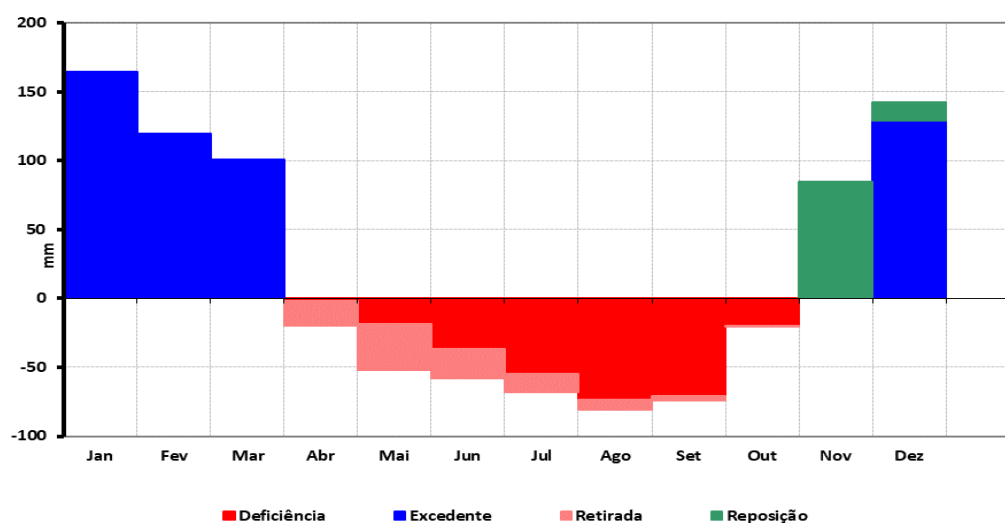
Tabela 38 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	24,1	273,3	109,0	164,3	0,0	100,0	0,0	109,0	0,0	164,3
Fev	24,2	218,9	99,4	119,6	0,0	100,0	0,0	99,4	0,0	119,6
Mar	24,1	209,4	108,4	101,0	0,0	100,0	0,0	108,4	0,0	101,0
Abr	23,5	77,5	97,5	-20,0	-20,0	81,9	-18,1	95,6	1,9	0,0
Mai	21,6	27,6	79,5	-51,9	-72,0	48,7	-33,2	60,8	18,8	0,0
Jun	20,7	10,8	69,0	-58,1	-130,1	27,2	-21,5	32,3	36,7	0,0
Jul	20,8	3,9	71,8	-67,9	-198,0	13,8	-13,4	17,3	54,5	0,0
Ago	22,5	8,2	89,1	-81,0	-278,9	6,1	-7,7	15,9	73,3	0,0
Set	24,5	35,8	110,1	-74,3	-353,2	2,9	-3,2	39,0	71,1	0,0
Out	25,1	101,0	121,2	-20,2	-373,4	2,4	-0,5	101,6	19,7	0,0
Nov	24,1	189,4	104,9	84,5	-14,1	86,9	84,5	104,9	0,0	0,0
Dez	24,0	249,6	107,4	142,2	0,0	100,0	13,1	107,4	0,0	129,0
TOTAIS	279,2	1405,4	1167,3	238,1				891,5	275,8	513,9
MÉDIAS	23,3	117,1	97,3	19,8				74,3	23,0	42,8

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Como foi apresentado na estação EC01 – Brasília, opta-se por fazer nas demais estações, sendo assim, foi elaborado o gráfico 20 que tem a função de representar iconograficamente o balanço hídrico climatológico da estação EC02 – Catalão e, com o auxílio da tabela 38, haverá uma melhor interpretação dos dados, onde:

Gráfico 17 – Balanço hídrico climatológico da estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com o gráfico 20 e com o auxílio da tabela 38, pode-se apontar inicialmente que o total precipitado foi de 1405,4 mm, o que representaria uma média mensal de 117,1 mm, desta forma, pode-se então afirmar que há certa distinção entre os períodos considerados chuvosos dos períodos considerados secos.

O excedente hídrico totalizou aproximadamente 513,9 mm, com média mensal de 42,8 mm, destacando assim, o mês de janeiro que totalizou 164,3 mm, sendo esse, o maior registro e, contudo, vale destacar que houve apenas mais 3 meses que apresentaram excedente hídrico, sendo esses os meses de fevereiro, março e dezembro.

Ao tratar dos processos de deficiência hídrica e de reposição que se estendem durante o período considerado seco, para a presente estação foi de abril a outubro. A deficiência hídrica totalizou

aproximadamente 275,8 mm, o que representaria uma média mensal de 23,0 mm e, durante esse processo o maior registro foi encontrado no mês de agosto com 73,1 mm. Já a retirada foi de - 97,61 mm, com destaque para o mês de maio que ocorreu o maior índice 33, 16 mm.

Outro constituinte do balanço hídrico climatológico que mais chamou a atenção para a presente estação foi a reposição hídrica que ocorreu basicamente no mês de novembro com 84,49 mm, enquanto somente 13,12 mm ocorreu no mês de dezembro. Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC02 - Catalão, encontra-se nos Anexos 3 e 4.

5.7.3 BHC da estação climatológica EC03 – Goiânia.

A aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83423, denominada Goiânia e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -16,67305554 S e longitudinal - 49.26388888 W, na altitude de 748,53 m, foi devidamente representado na tabela 39 e, padronizado para todas as estações, destaca-se que todos os índices foram calculados considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

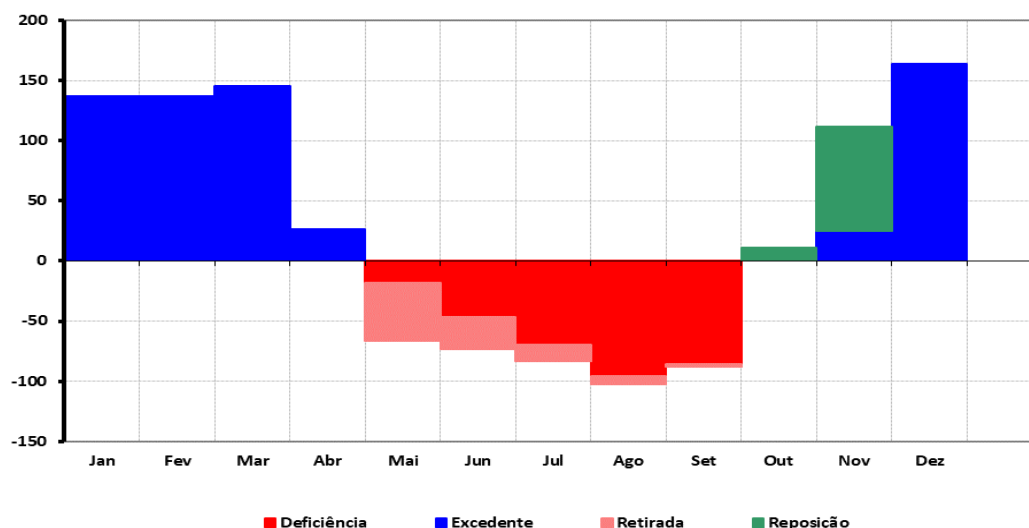
Tabela 39 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	24,8	251,8	114,5	137,2	0,0	100,0	0,0	114,5	0,0	137,2
Fev	24,7	240,0	102,7	137,3	0,0	100,0	0,0	102,7	0,0	137,3
Mar	24,7	259,2	113,9	145,3	0,0	100,0	0,0	113,9	0,0	145,3
Abr	24,8	137,5	111,2	26,3	0,0	100,0	0,0	111,2	0,0	26,3
Mai	23,4	29,3	95,8	-66,5	-66,5	51,4	-48,6	77,9	17,9	0,0
Jun	22,4	8,1	81,5	-73,4	-139,9	24,7	-26,7	34,9	46,6	0,0
Jul	22,5	1,4	84,7	-83,2	-223,1	10,7	-14,0	15,4	69,3	0,0
Ago	24,6	9,3	111,6	-102,2	-325,3	3,9	-6,9	16,2	95,3	0,0
Set	26,3	44,8	132,8	-88,0	-413,3	1,6	-2,3	47,1	85,7	0,0
Out	26,2	147,2	135,8	11,4	-204,0	13,0	11,4	135,8	0,0	0,0
Nov	25,0	225,9	114,4	111,5	0,0	100,0	87,0	114,4	0,0	24,5
Dez	24,8	278,1	114,4	163,7	0,0	100,0	0,0	114,4	0,0	163,7
TOTAIS	294,1	1632,8	1313,3	319,5				998,4	314,9	634,4
MÉDIAS	24,5	136,1	109,4	26,6				83,2	26,2	52,9

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

E com base na tabela 39, foi elaborado o gráfico 21, que auxilia iconograficamente a compreensão do balanço hídrico climatológico da estação EC03 – Goiânia.

Gráfico 18 – Balanço hídrico climatológico da estação EC03 - Goiânia segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Sendo assim, pode-se observar inicialmente que o período de excedente hídrico totalizou aproximadamente 634,4 mm, o que representaria uma média mensal de 52,9 mm, para tanto, deve-se ressaltar que os meses de janeiro e fevereiro, praticamente tiveram o mesmo excedente hídrico, sendo janeiro com 137,2 mm e fevereiro com 137,3 mm, embora o mês de dezembro apresentou maior índice sendo 163,7 mm.

Ainda de acordo com o gráfico 21, pode-se avaliar o período de deficiência hídrica totalizou 314,9 mm, valor esse que indica uma média mensal de 26,2 mm, tal período abrange os meses que vão de maio a setembro, sendo os meses de agosto e setembro, com os maiores índices sendo o primeiro com 95,3 mm e o segundo com 85,7 mm, já o processo de retirada totalizou - 98,4 mm, com destaque para o mês de maio com -48,6 mm o período de reposição hídrica ocorreu uma pequena parte no mês de outubro com 11,4 mm e o restante foi no mês de

novembro com 87,0 mm. Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC03 - Goiânia, encontra-se nos Anexos 5 e 6.

5.7.4 BHC da estação climatológica EC04 – Ipameri.

Indiscutivelmente com a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83522, denominada Ipameri e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -17,72444443 S e longitudinal -48.17194443 W, na altitude de 778.14 m,

Para uma melhor compreensão dos dados referentes ao balanço hídrico climatológico, foi elaborada a tabela 40, onde pode-se perceber que houve aproximadamente 5 meses considerados chuvosos e 7 meses considerados secos, visto que o primeiro ocorre nos meses de janeiro a março e de novembro a dezembro, já o segundo ocorre entre os meses de abril a outubro.

Tabela 40 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC04 - Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

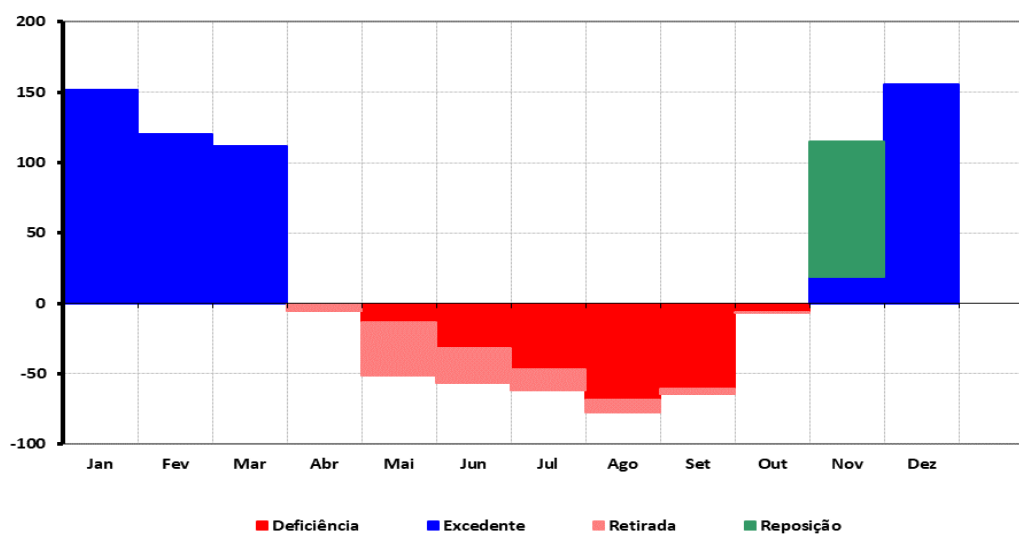
MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	23,8	257,0	105,2	151,7	0,0	100,0	0,0	105,2	0,0	151,7
Fev	23,7	215,0	94,5	120,6	0,0	100,0	0,0	94,5	0,0	120,6
Mar	23,6	215,6	103,5	112,1	0,0	100,0	0,0	103,5	0,0	112,1
Abr	23,1	89,0	94,1	-5,1	-5,1	95,0	-5,0	94,0	0,1	0
Mai	21,4	27,6	78,9	-51,2	-56,4	56,9	-38,1	65,7	13,1	0
Jun	20,1	8,0	64,2	-56,3	-112,6	32,4	-24,5	32,5	31,8	0
Jul	20,0	3,4	65,5	-62,1	-174,7	17,4	-15,0	18,4	47,1	0
Ago	21,9	6,3	84,0	-77,7	-252,4	8,0	-9,4	15,7	68,3	0
Set	24,2	43,2	107,4	-64,3	-316,7	4,2	-3,8	47,0	60,5	0
Out	24,9	113,6	119,9	-6,3	-323,0	4,0	-0,3	113,8	6,0	0
Nov	24,0	219,3	104,5	114,9	0,0	100,0	96,0	104,5	0,0	18,81
Dez	23,9	263,2	107,2	156,0	0,0	100,0	0,0	107,2	0,0	156
TOTAIS	274,6	1461,3	1128,9	332,4				902,0	226,9	559,3
MÉDIAS	22,9	121,8	94,1	27,7				75,2	18,9	46,6

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

E tendo por base a tabela 40, foi extraído os dados referentes a deficiência, retirada, reposição e excedente hídrico, permitindo assim confeccionar o gráfico 22, que traz em sua composição uma melhor representação dos componentes do balanço hídrico climatológico.

Por conseguinte, ao avaliar o excedente hídrico, pode-se perceber que houve um total de 559,3 mm, distribuídos entre os meses considerados chuvosos e, se fossemos distribuir uniformemente durando os doze meses do ano, percebe-se que a média seria de 46,6 mm e, os meses com maiores índices, são os meses de janeiro e dezembro, sendo janeiro com 151,7 mm e dezembro com 156,0 mm.

Gráfico 19 – Balanço hídrico climatológico da estação EC04 - Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Durante o período seco, de abril a outubro, a deficiência hídrica foi de -226,9 mm, tendo o mês de agosto com o maior índice totalizando 68,3 mm, já o processo de retirada totalizou -96,0 mm, com maior índice mensal durante o mês de maio com -38,1 mm, sendo assim, durante o mês de novembro, houve o processo de reposição, onde -96,0 mm foram totalmente repostos.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC04- Ipameri, encontra-se nos Anexos 7 e 8.

5.7.5 BHC da estação climatológica EC05 - Jataí.

Nesse momento, a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83464, denominada Jataí e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -17,9236111 S e longitudinal -51,71749999 W, na altitude de 857,98 m.

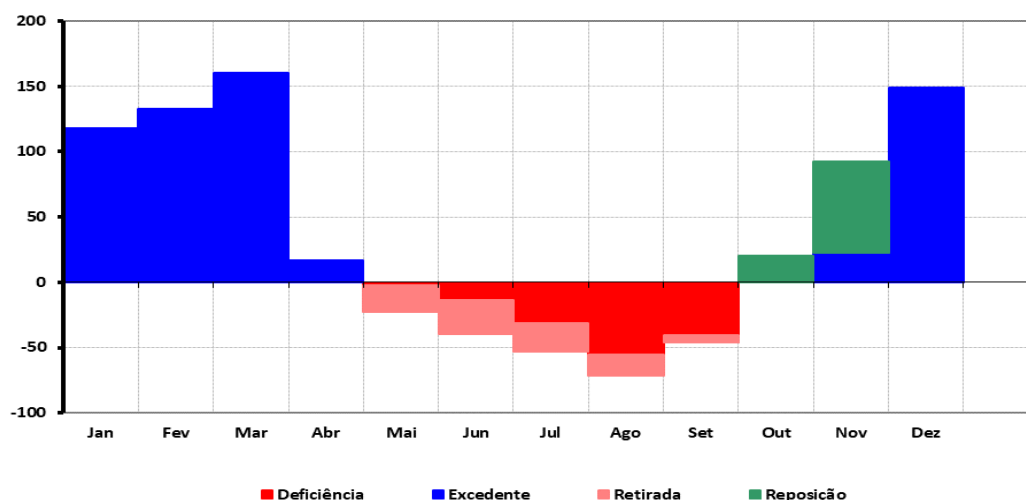
Para tanto, balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather foi representado na tabela 41 e no gráfico 23.

Tabela 41 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	24,2	228,7	110,7	118,0	0,0	100,0	0,0	110,7	0,0	118,0
Fev	24,1	231,9	99,0	132,9	0,0	100,0	0,0	99,0	0,0	132,9
Mar	23,9	267,4	107,2	160,2	0,0	100,0	0,0	107,2	0,0	160,2
Abr	23,0	110,1	93,5	16,5	0,0	100,0	0,0	93,5	0,0	16,5
Mai	20,5	48,0	71,0	-23,0	-23,0	79,4	-20,6	68,6	2,5	0,0
Jun	19,2	18,4	57,9	-39,4	-62,4	53,6	-25,9	44,3	13,5	0,0
Jul	19,3	7,2	60,1	-52,9	-115,3	31,6	-22,0	29,2	30,9	0,0
Ago	21,6	10,0	81,2	-71,2	-186,5	15,5	-16,1	26,1	55,1	0,0
Set	24,0	58,1	104,5	-46,3	-232,8	9,7	-5,7	63,9	40,6	0,0
Out	24,7	137,2	116,6	20,6	-119,2	30,4	20,6	116,6	0,0	0,0
Nov	24,4	201,8	109,4	92,5	0,0	100,0	69,6	109,4	0,0	22,8
Dez	24,3	260,8	111,7	149,1	0,0	100,0	0,0	111,7	0,0	149,1
TOTAIS	273,1	1579,6	1122,7	456,9				980,1	142,6	599,5
MÉDIAS	22,8	131,6	93,6	38,1				81,7	11,9	50,0

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 20 – Balanço hídrico climatológico da estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme apresentado na tabela 41, e no gráfico 23, pode-se perceber que o período de deficiência hídrica totalizou aproximadamente -142,6 mm, e teve seu ápice no mês de agosto com -55,1 mm, enquanto o período considerado de excedente hídrico contabilizou 599,5 mm, com ápice durante o mês de março com 160,2 mm, contudo, se fosse considerar as médias para todos os meses do ano, teria uma média de deficiência hídrica de -11,9 mm e excedente hídrico de 50,0 mm.

Por fim, o período de retirada que ocorre conjuntamente com o período de deficiência hídrica totalizou -90,2 mm e com índice máximo no mês de junho com -25,9 mm, ressaltando que todo o processo de reposição iniciou no mês de outubro com 20,6 mm terminando no mês de novembro com 69,6 mm.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC05- Jataí, encontra-se nos Anexos 9 e 10.

5.7.6 BHC da estação climatológica EC06 – Paracatu.

A utilização do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, contempla agora a estação climatológica do INMET, sob o código 83479, denominada Paracatu e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -17,244166666 S e longitudinal -46,88166666 W, na altitude de 711,41 m.

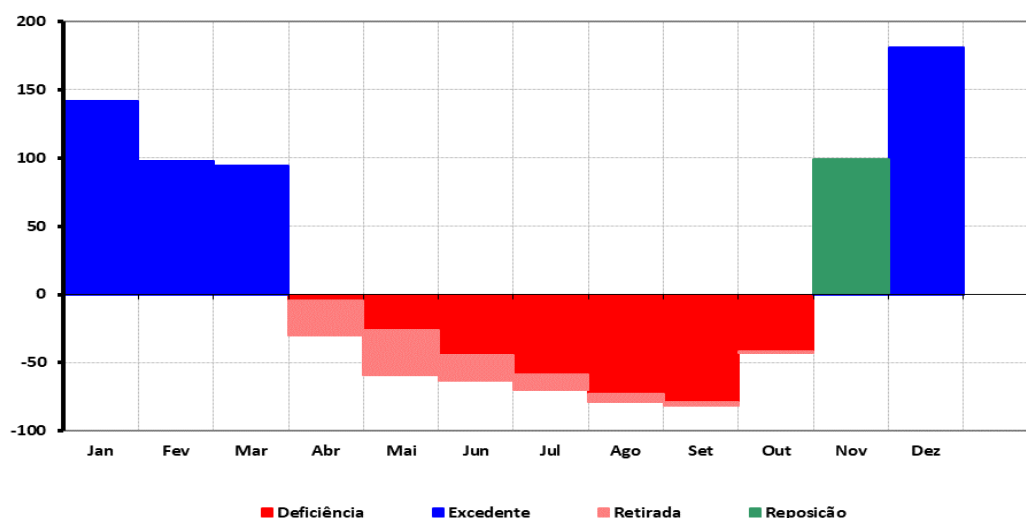
Para tanto, balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather foi representado na tabela 42 e no gráfico 24.

Tabela 42 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	24,7	257,7	116,2	141,5	0,0	100,0	0,0	116,2	0,0	141,5
Fev	24,9	205,0	107,1	97,9	0,0	100,0	0,0	107,1	0,0	97,9
Mar	24,4	206,8	112,0	94,7	0,0	100,0	0,0	112,0	0,0	94,7
Abr	24,0	72,3	102,5	-30,2	-30,2	73,9	-26,1	98,3	4,1	0,0
Mai	22,1	24,6	83,6	-59,0	-89,3	41,0	-33,0	57,5	26,1	0,0
Jun	20,8	5,4	68,6	-63,1	-152,4	21,8	-19,2	24,6	44,0	0,0
Jul	20,8	0,9	70,6	-69,7	-222,1	10,8	-10,9	11,8	58,8	0,0
Ago	22,4	8,6	87,5	-78,9	-301,1	4,9	-5,9	14,5	73,0	0,0
Set	24,6	29,0	110,5	-81,5	-382,5	2,2	-2,7	31,8	78,7	0,0
Out	25,6	84,8	127,4	-42,7	-425,2	1,4	-0,8	85,5	41,9	0,0
Nov	24,5	208,8	109,5	99,3	0,0	100,0	98,6	109,5	0,0	0,7
Dez	24,5	293,8	112,7	181,0	0,0	100,0	0,0	112,7	0,0	181,0
TOTAIS	283,3	1397,6	1208,3	189,3				881,7	326,6	515,9
MÉDIAS	23,6	116,5	100,7	15,8				73,5	27,2	43,0

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 21 – Balanço hídrico climatológico da estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Desta forma conforme já visto anteriormente, pode-se apontar que a estação EC06 – Paracatu, se destaca das estações vistas anteriormente, principalmente devido a ocorrência de somente 4 meses de excedente hídrico totalizando aproximadamente 515,9 mm, apresentando seu ápice no mês de dezembro com 181,0 mm, outro ponto importante está na duração do período de deficiência hídrica conjuntamente com o período de retirada, que abrangem os meses de abril a outubro, onde a deficiência hídrica totalizou -326,6 mm e a retirada -98,6 mm, sendo a reposição total efetuada durante o mês de novembro. Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC06 – Paracatu, encontra-se nos Anexos 11 e 12.

5.7.7 BHC da estação climatológica EC07 - Paranaíba.

Nesse momento, a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83565, denominada Paranaíba e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -19,66361111 S e

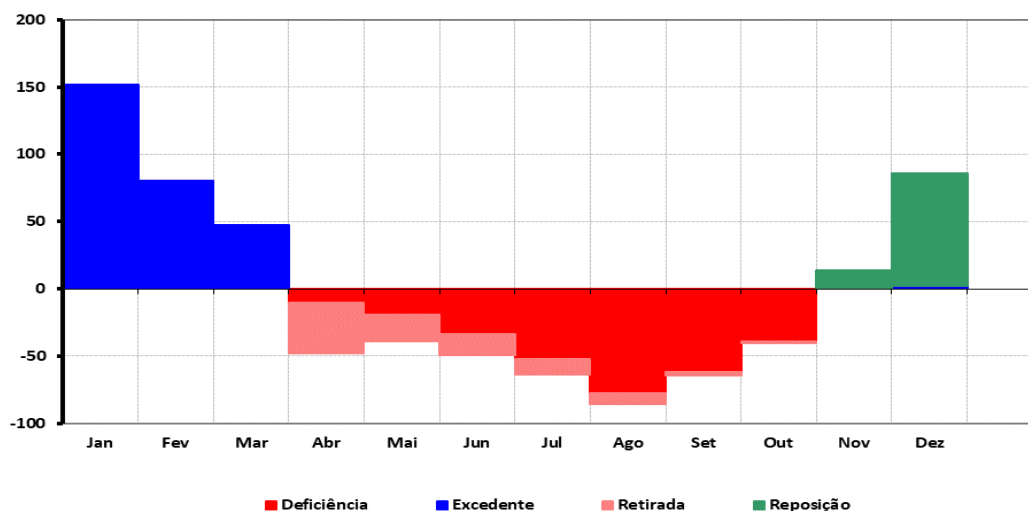
longitudinal -51,19138888 W, na altitude de 429,62 m, conforme representado na tabela 43 e no gráfico 25.

Tabela 43 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	25,7	280,7	128,8	151,9	0,0	100,0	0,0	128,8	0,0	151,9
Fev	25,8	196,9	116,8	80,1	0,0	100,0	0,0	116,8	0,0	80,1
Mar	25,7	176,1	128,4	47,7	0,0	100,0	0,0	128,4	0,0	47,7
Abr	25,1	66,5	114,8	-48,3	-48,3	61,7	-38,3	104,8	10,0	0,0
Mai	22,5	46,1	84,9	-38,8	-87,1	41,9	-19,8	65,9	19,0	0,0
Jun	21,8	24,4	74,0	-49,6	-136,7	25,5	-16,4	40,7	33,3	0,0
Jul	21,9	13,4	77,5	-64,0	-200,8	13,4	-12,0	25,5	52,0	0,0
Ago	23,9	16,9	102,4	-85,5	-286,3	5,7	-7,7	24,6	77,8	0,0
Set	25,6	58,6	122,9	-64,3	-350,6	3,0	-2,7	61,3	61,6	0,0
Out	26,5	101,3	141,7	-40,4	-390,9	2,0	-1,0	102,3	39,4	0,0
Nov	26,1	143,6	129,6	14,0	-183,1	16,0	14,0	129,6	0,0	0,0
Dez	25,9	217,7	131,9	85,8	0,0	100,0	84,0	131,9	0,0	1,8
TOTAIS	296,6	1342,2	1353,6	-11,4				1060,6	292,9	281,6
MÉDIAS	24,7	111,8	112,8	-0,9				88,4	24,4	23,5

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 22 – Balanço hídrico climatológico da estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Tal como a estação EC06 – Paracatu, a estação EC07 – Paranaíba também se difere das demais estações, principalmente com relação ao período de excedente hídrico que totalizou 281,6 mm

com média de 23,5 mm, visto que o mesmo ocorreu durante o primeiro trimestre, enquanto o período de deficiência hídrica se estendeu de abril a outubro, totalizando -292,9 mm, superando o excedente hídrico, outro fator em destaque foi a retirada com aproximadamente -98,0 mm que teve seu ápice durante o primeiro mês de deficiência hídrica, totalizando -38,3 mm, visto que os meses de novembro e dezembro foram basicamente pautados na reposição hídrica. Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC07 – Paranaíba, encontra-se nos Anexos 13 e 14.

5.7.8 BHC da estação climatológica EC08 – Pirenópolis.

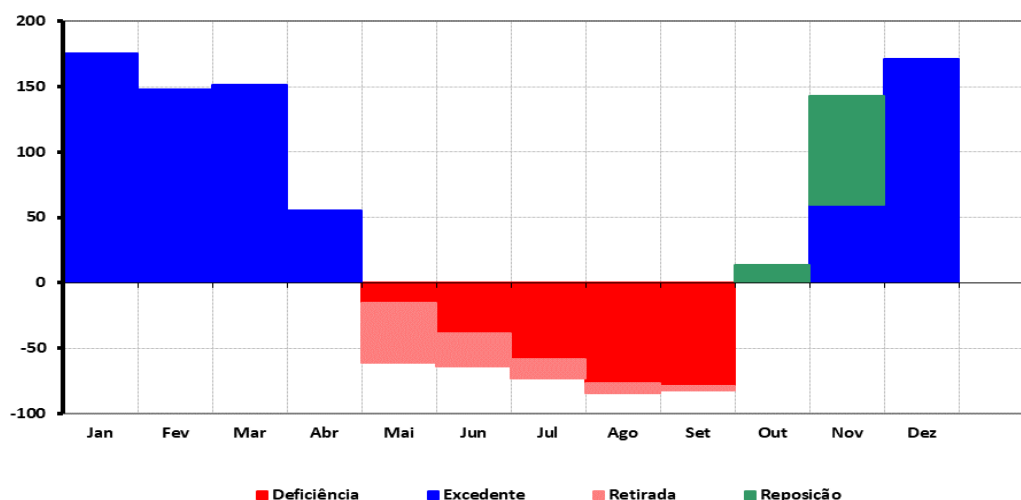
Nesse momento, a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83376, denominada Pirenópolis e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -15,85472222 S e longitudinal -48,96611111 W, na altitude de 766,92 m, conforme representado na tabela 44 e no gráfico 26.

Tabela 44 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	23,9	280,7	105,1	175,6	0,0	100,0	0,0	105,1	0,0	175,6
Fev	23,7	241,4	93,3	148,1	0,0	100,0	0,0	93,3	0,0	148,1
Mar	23,8	255,3	103,7	151,6	0,0	100,0	0,0	103,7	0,0	151,6
Abr	23,5	152,2	96,8	55,4	0,0	100,0	0,0	96,8	0,0	55,4
Mai	22,1	23,3	84,7	-61,4	-61,4	54,1	-45,9	69,2	15,5	0,0
Jun	21,0	7,1	71,3	-64,2	-125,6	28,5	-25,6	32,7	38,5	0,0
Jul	21,2	1,8	75,3	-73,5	-199,1	13,7	-14,8	16,6	58,7	0,0
Ago	23,1	10,8	95,7	-84,9	-284,0	5,8	-7,8	18,6	77,1	0,0
Set	25,2	36,3	118,6	-82,2	-366,2	2,6	-3,3	39,6	79,0	0,0
Out	25,1	135,2	121,7	13,5	-182,6	16,1	13,5	121,7	0,0	0,0
Nov	24,1	247,4	104,2	143,2	0,0	100,0	83,9	104,2	0,0	59,3
Dez	24,0	278,3	106,7	171,6	0,0	100,0	0,0	106,7	0,0	171,6
TOTAIS	280,7	1669,8	1177,0	492,8				908,2	268,8	761,6
MÉDIAS	23,4	139,2	98,1	41,1				75,7	22,4	63,5

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 23 – Balanço hídrico climatológico da estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Desta forma, destaca-se que o período de excedente hídrico totalizou aproximadamente 761,6 mm, com média mensal de 63,5 mm, sendo esta, um dos maiores índices apresentados entre as estações climatológicas avaliadas na presente tese. Outro ponto importante a ser observado é a proximidade entre os dados do excedente hídrico, sendo os meses de janeiro e dezembro com 175,6 mm e 171,6 mm e, os meses de fevereiro e março com 148,1 mm e 151,6 mm.

Esses fatores são fundamentais para o abastecimento contínuo dos solos e diminuindo assim o período de deficiência hídrica, que totalizou aproximadamente -268,8 mm, com média mensal de -22,4 mm, sendo a mesma, inversamente proporcional ao processo de retirada, tendo seu ápice durante o mês de setembro com -79,0 mm, enquanto o processo de retirada totalizou -97,4 mm tendo seu ápice no mês de maio com -45,9 mm e, o processo de reposição se deu inicialmente no mês de outubro com 13,5 mm, terminando no mês de novembro com 83,9 mm.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC08 - Pirenópolis, encontra-se nos Anexos 15 e 16.

5.7.9 BHC da estação climatológica EC09 – Unaí.

Com a utilização do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83428, denominada Unaí e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -16,36638888 S e longitudinal -46,88944444 W, na altitude de 595,59 m.

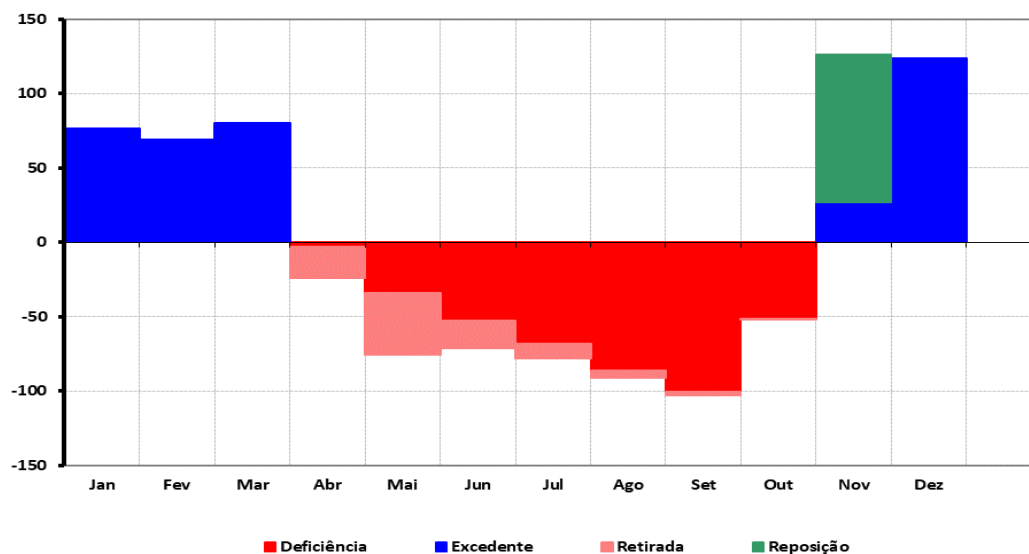
Conforme representado na tabela 45 e no gráfico 27, ressalta-se que todos os componentes do balanço hídrico climatológico também foram calculados considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

Tabela 45 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC09 Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	25,5	201,2	124,6	76,6	0,0	100,0	0,0	124,6	0,0	76,6
Fev	25,5	182,3	113,0	69,3	0,0	100,0	0,0	113,0	0,0	69,3
Mar	25,2	200,3	120,1	80,3	0,0	100,0	0,0	120,1	0,0	80,3
Abr	24,9	88,0	112,2	-24,2	-24,2	78,5	-21,5	109,5	2,7	0,0
Mai	23,3	19,6	95,0	-75,3	-99,5	37,0	-41,6	61,2	33,8	0,0
Jun	22,1	6,3	77,6	-71,3	-170,8	18,1	-18,8	25,1	52,4	0,0
Jul	22,0	0,6	78,8	-78,2	-249,0	8,3	-9,8	10,5	68,4	0,0
Ago	23,6	7,6	99,0	-91,4	-340,4	3,3	-5,0	12,5	86,5	0,0
Set	26,0	25,2	128,0	-102,8	-443,2	1,2	-2,1	27,3	100,6	0,0
Out	26,8	93,8	145,5	-51,7	-494,9	0,7	-0,5	94,3	51,2	0,0
Nov	25,5	246,6	120,5	126,1	0,0	100,0	99,3	120,5	0,0	26,8
Dez	25,2	245,5	121,4	124,1	0,0	100,0	0,0	121,4	0,0	124,1
TOTAIS	295,5	1317,0	1335,5	-18,5				939,9	395,6	377,1
MÉDIAS	24,6	109,7	111,3	-1,5				78,3	33,0	31,4

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 24 – Balanço hídrico climatológico da estação EC09 – Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Desta forma, conforme representado na tabela 45 e no gráfico 27, pode-se ver que o período referente ao excedente hídrico totalizou 377,1 mm tendo uma média mensal de 31,4 mm e, o maior índice registrado foi no mês de dezembro com 124,1 mm. Mas, destaca-se a proximidade entre os registros no primeiro trimestre sendo 76,6 mm para o mês de janeiro, 69,3 mm referente a fevereiro e o mês de março apresentou o segundo maior índice sendo 80,3 mm.

Já com relação a deficiência hídrica com -395,6 mm e, com uma média mensal de 33,0 mm, vindo então a superar o excedente hídrico em 18,5 mm, em contrapartida a retirada totalizou aproximadamente -99,3 mm com ápice no mês de maio – 41,6 mm, sendo que esses valores foram integralmente repostos no mês de novembro.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC09 – Unaí, encontra-se nos Anexos 17 e 18.

5.7.10 BHC da estação climatológica EC10 – Araxá.

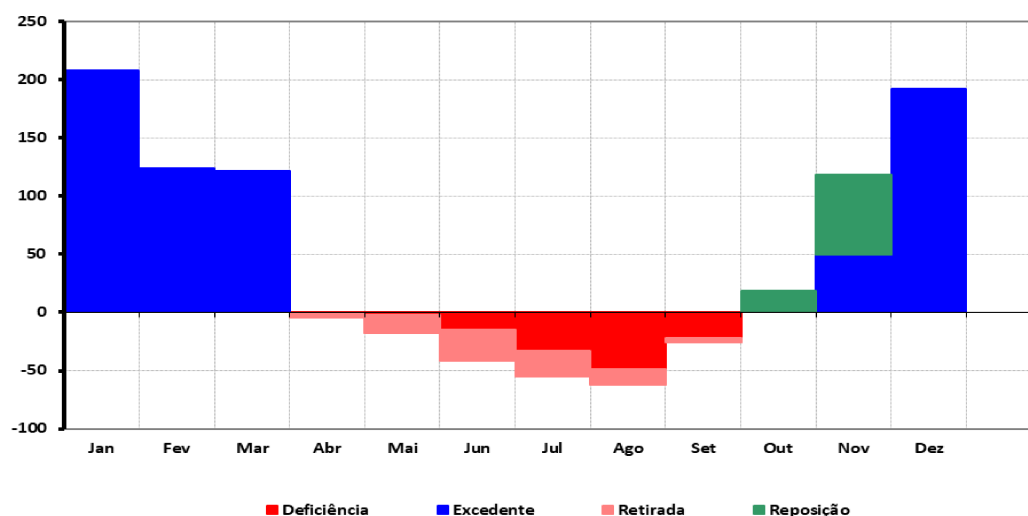
Nesse momento, a aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather, agora é para a estação climatológica do INMET, sob o código 83579, denominada Araxá e, geograficamente localizada sob a coordenada latitudinal -19,60555555 S e longitudinal -46,94972221 W, na altitude de 1.018,28 m, conforme representado na tabela 46 e no gráfico 28.

Tabela 46 – Balanço hídrico climatológico para a estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	22,5	303,2	94,9	208,3	0,0	100,0	0,0	94,9	0,0	208,3
Fev	22,7	211,9	87,6	124,3	0,0	100,0	0,0	87,6	0,0	124,3
Mar	22,2	213,5	92,0	121,5	0,0	100,0	0,0	92,0	0,0	121,5
Abr	21,7	79,2	84,0	-4,7	-4,7	95,4	-4,6	83,8	0,1	0,0
Mai	19,5	49,6	67,8	-18,1	-22,8	79,6	-15,8	65,4	2,3	0,0
Jun	18,9	18,8	60,5	-41,7	-64,5	52,5	-27,1	45,9	14,6	0,0
Jul	18,9	7,8	62,9	-55,1	-119,6	30,2	-22,2	30,0	32,9	0,0
Ago	20,3	11,7	74,4	-62,6	-182,3	16,2	-14,1	25,8	48,6	0,0
Set	21,9	61,1	86,7	-25,6	-207,8	12,5	-3,6	64,8	21,9	0,0
Out	22,8	116,7	97,8	18,9	-116,0	31,4	18,9	97,8	0,0	0,0
Nov	22,1	206,3	88,0	118,3	0,0	100,0	68,6	88,0	0,0	49,7
Dez	22,2	284,6	92,5	192,1	0,0	100,0	0,0	92,5	0,0	192,1
TOTAIS	255,8	1564,5	989,0	575,6				868,6	120,4	695,9
MÉDIAS	21,3	130,4	82,4	48,0				72,4	10,0	58,0

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Gráfico 25 – Balanço hídrico climatológico da estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme proposto, pode-se observar que o balanço hídrico climatológico apresentou ser o mais uniforme quanto a distribuição dos seus constituintes, visto que, os períodos avaliados se mantêm dentro dos padrões normais, onde o período de excedente hídrico totalizou 695,9 mm e, com média mensal de 58,0 mm, com ápice dentre dos meses de janeiro com 208,3 mm e dezembro com 192,1 mm, embora, vale destacar a singularidade entre os meses de fevereiro com 124,3 mm e março com 121,5 mm.

Nesse enfoque, o período correspondente a deficiência hídrica foi de -120,4 mm, com maior índice registrado em agosto com -48,6 mm, se estendeu de abril a setembro, conjuntamente com o processo de retirada que totalizou -79,4 mm, totais esses sendo repostos durante os meses de outubro com 18,85 mm e novembro com 68,64 mm.

Ressalta-se que os gráficos anuais do balanço hídrico climatológico da estação EC10 - Araxá, encontra-se nos Anexos 19 e 20.

5.7.11 BHC da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

O balanço climatológico da bacia hidrográfica conforme representado na tabela 47 e no gráfico 29, foi elaborado mediante a média entre os dados avaliados das 10 estações climatológicas, durante a série temporal e/ou histórica que vai de 1991 a 2021, com a devida ressalva da EC10 – Araxá que tem sua série temporal e/ou histórica que contempla de 1991 a 2017 e, conforme foi feito em todas as estações climatológicas onde todos os componentes do balanço hídrico climatológico foram calculados considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

Sendo assim, para uma melhor contemplação dos dados avaliados, foi elaborada a tabela 47 e o gráfico 29, que tem a função de exemplificar os componentes do balanço hídrico climatológico, bem como seus processos de deficiência, excedente, reposição e retirada hídrica.

Desta forma, ao avaliarmos o processo de excedente hídrico, nos deparamos com um total de 547,3 mm e, com uma média mensal de 45,6 mm, ressaltando que os maiores índices ocorreram nos meses de janeiro com 145,6 mm e dezembro com 153,6 mm.

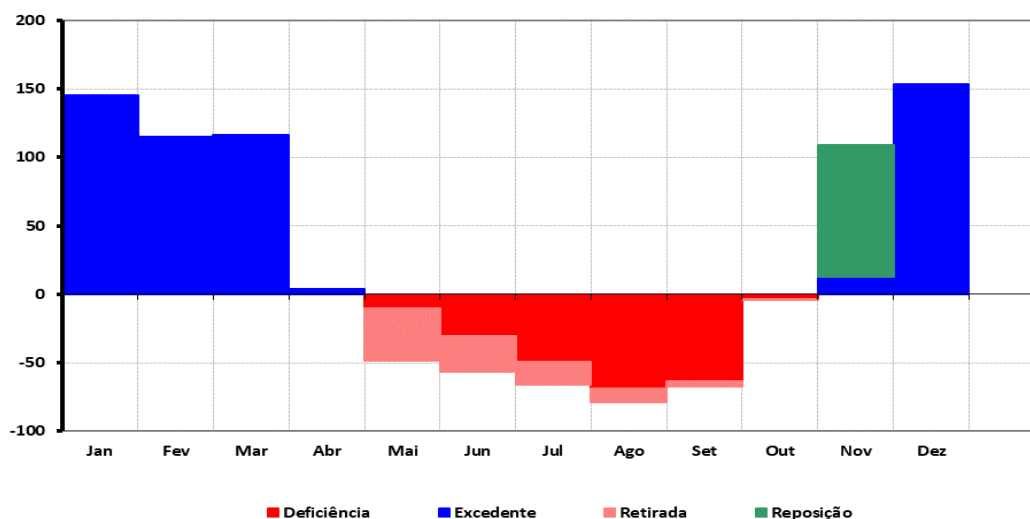
Observa-se que no mês de abril último mês antes do período de deficiência hídrica o excedente totalizou 3,9 mm e, durante o mês de outubro último mês do período de deficiência apresentou 3,7 mm.

Tabela 47 – Balanço hídrico climatológico para a BHRP - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

MESES	T oC	P mm	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	24,1	254,2	108,6	145,6	0,0	100,0	0,0	108,6	0,0	145,6
Fev	24,1	213,3	98,3	115,0	0,0	100,0	0,0	98,3	0,0	115,0
Mar	23,9	222,7	106,5	116,2	0,0	100,0	0,0	106,5	0,0	116,2
Abr	23,5	101,6	97,8	3,9	0,0	100,0	0,0	97,8	0,0	3,9
Mai	21,7	32,2	80,7	-48,5	-48,5	61,6	-38,4	70,6	10,1	0,0
Jun	20,6	11,1	68,2	-57,0	-105,5	34,8	-26,8	37,9	30,2	0,0
Jul	20,7	4,2	70,6	-66,4	-171,9	17,9	-16,9	21,1	49,5	0,0
Ago	22,5	10,5	89,4	-78,8	-250,7	8,2	-9,8	20,3	69,1	0,0
Set	24,5	42,9	110,2	-67,3	-318,0	4,2	-4,0	46,9	63,3	0,0
Out	25,1	117,2	121,1	-3,8	-321,8	4,0	-0,2	117,4	3,7	0,0
Nov	24,1	214,4	105,5	109,0	0,0	100,0	96,0	105,5	0,0	13,0
Dez	24,1	261,6	108,0	153,6	0,0	100,0	0,0	108,0	0,0	153,6
TOTAIS	278,9	1486,0	1164,5	321,5				938,7	225,8	547,3
MÉDIAS	23,2	123,8	97,0	26,8				78,2	18,8	45,6

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Gráfico 26 – Balanço hídrico climatológico da BHRP, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a tabela 47 e gráfico 29, pode-se ainda observar o que a deficiência hídrica totalizou -225,8 mm, com um média mensal de 18,8 mm e, conjuntamente, o processo de retirada totalizou -96,0 mm, apresentando seu maior índice durante o mês de maio com -38,41 mm. No entanto, todo o valor correspondente a retirada é repostado durante o mês de novembro.

5.7.12 Análise dos componentes precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR).

Analisa-se os consolidados das séries temporais e/ou históricas de 1991 a 2021, referentes aos itens precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) das estações climatológicas adotadas, conforme apresentado na tabela 48.

Tabela 48 – Quantitativo dos componentes precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).

ESTAÇÕES	TOTAL ANUAL (MM)				MÉDIA MENSAL (MM)		
	P	ETP	ETR	ETP - ETR	P	ETP	ETR
EC01 - BRASÍLIA	1.489,5	989,6	790,2	199,4	124,1	82,5	65,8
EC02 - CATALÃO	1.405,4	1.167,3	891,5	275,8	117,1	97,3	74,3
EC03 - GOIÂNIA	1.632,8	1.313,3	998,4	314,9	136,1	109,4	83,2
EC04 - IPAMERI	1.461,3	1.128,9	902,0	226,9	121,8	94,1	75,2
EC05 - JATAÍ	1.579,6	1.122,7	980,1	142,6	131,6	93,6	81,7
EC06 - PARACATU	1.397,6	1.208,3	881,7	326,6	116,5	100,7	73,5
EC07 - PARANAÍBA	1.342,2	1.353,6	1.060,6	292,9	111,8	112,8	88,4
EC08 - PIRENÓPOLIS	1.669,8	1.177,0	908,2	268,8	139,2	98,1	75,7
EC09 - UNAÍ	1.317,0	1.335,5	939,9	395,6	109,7	111,3	78,3
EC10 ARAXÁ	1.564,5	989,0	868,6	120,4	130,4	82,4	72,4
BHRP	1.486,0	1.164,5	938,7	225,8	123,8	97,0	78,2

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Os maiores índices de precipitação foram observados nas estações EC08 – Pirenópolis com 1.669,8 mm e 139,2 mm de média mensal, EC03 – Goiânia com o total anual de 1.632,8 mm e, uma média mensal de 136,1 mm, EC05 – Jataí que totalizou 1.579,6 mm com uma média mensal de 131,6 mm, EC10 – Araxá totalizou 1.564,5 com uma média mensal de 130,4 mm e a EC01 – Brasília com 1.489,5 mm e média mensal de 124,1 mm.

Nota-se que as estações climatológicas supracitadas se encontram acima da média geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, que totalizou 1.486,0 mm, com média mensal de 123,8 mm, as demais estações se mantiveram abaixo da média geral da bacia.

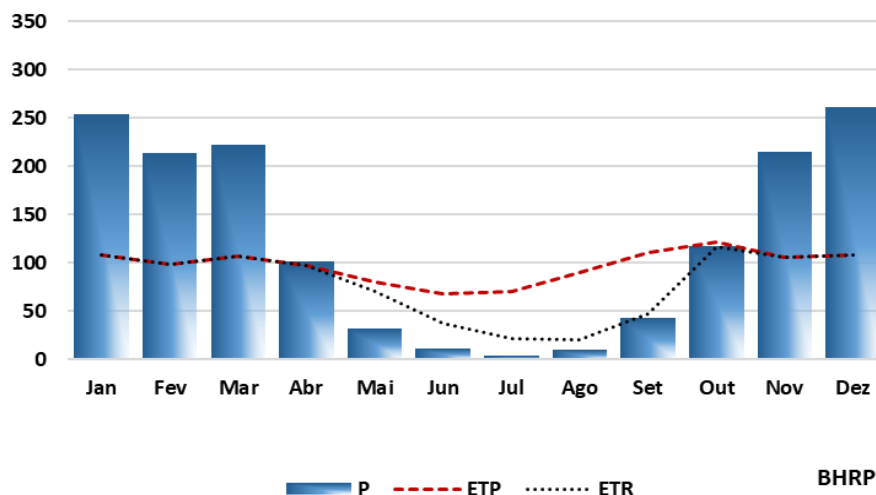
Ao analisar a evapotranspiração potencial (ETP), conforme disposto na tabela 48, percebe-se que há uma alteração quanto aos maiores índices, pois esses mantiveram a seguinte ordem sendo a EC07 – Paranaíba com 1.353,5 mm, EC09 – Unaí com 1.335,5 mm, EC03 – Goiânia com 1.313,3 mm, EC06 – Paracatu com 1.208,3 mm, EC08 – Pirenópolis com 1.177,0 mm e EC02 – Catalão com 1.167,3 mm, onde ambos apresentaram as seguintes médias mensais 112,8 mm, 100,7 mm, 111,3 mm, 93,6 mm, 97,3 mm e 94,1 mm.

Todavia, as demais estações climatológicas apresentaram índices de evapotranspiração potencial (ETP), abaixo do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, sendo que esse totalizou 1.164,5 mm e apresentou uma média mensal de 98,1 mm.

Ao avaliar a evapotranspiração real (ETR), depara-se com o total médio da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba totalizando 938,7 mm e uma média mensal correspondente a 75,7 mm. Sendo que, os maiores índices foram registrados nas estações EC07 – Paranaíba com 1.060,6 mm, EC03 – Goiânia com 998,4 mm, EC05 – Jataí com 980,1 mm, EC09 – Unaí com 939,9 mm. As médias mensais ficaram dispostas da seguinte forma 88,4 mm, 78,3 mm, 83,2 mm, 73,5 mm, já as demais estações climatológicas se mantiveram com índices abaixo do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Nesse enfoque, avaliou-se mensalmente as correlações entre a precipitação (P), a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR), para tanto, optou em elaborar o gráfico 30, que traz além das representações iconográficas o condensado geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, onde:

Gráfico 27 – BHRP – Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).



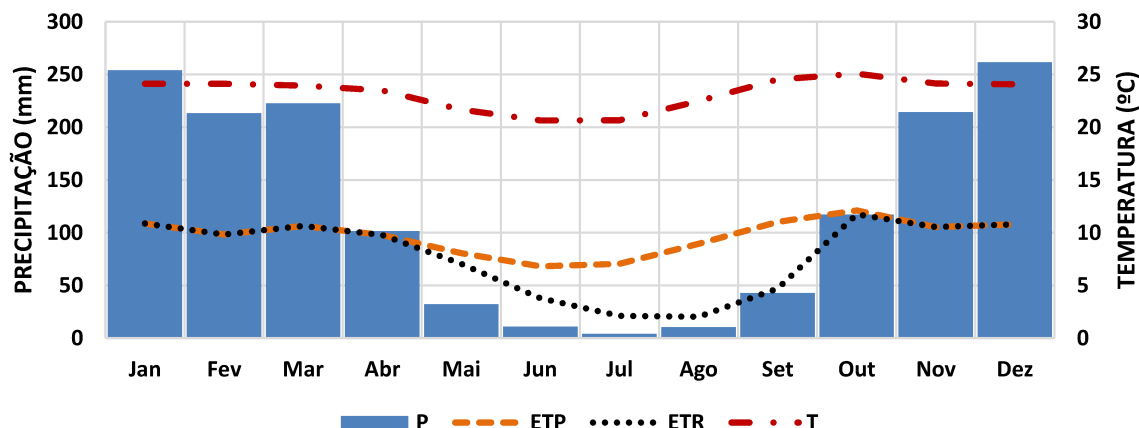
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Conforme disposto no gráfico 30, os meses com índices referentes a precipitação (P) e capazes de sobrepor os índices de evapotranspiração potencial (ETP), seriam considerados os meses em que haveria o processo de reposição de água ao solo.

Nota-se que para o condensado geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, os meses que abrangem o período de janeiro a abril e de outubro a dezembro, são correspondentes aos meses considerados chuvosos e com maiores índices pluviométricos, com destaque para os meses de dezembro com 261,6 mm e janeiro com 254,2 mm e, para o período avaliado apresentou uma média mensal de 123,8 mm.

Outro fator, a ser considerado baseia-se no acréscimo dos dados referentes aos índices médios mensais de temperatura (T), conforme representados no gráfico 31, onde é possível compreender que os meses com maiores índices pluviométricos, também foram os meses que apresentaram os maiores índices de temperatura (T).

Gráfico 28 – BHRP –Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), inserindo os dados de temperatura (T). Média histórica de (1991-2021).

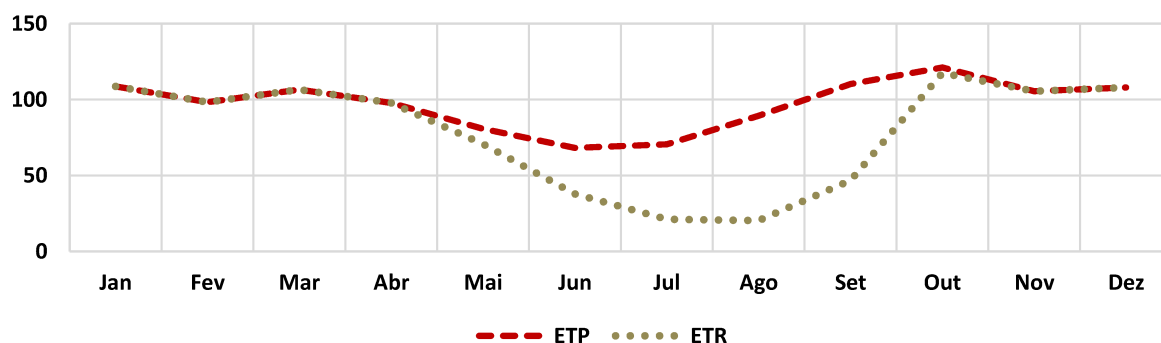


Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Desta forma, ainda de acordo com gráfico 31, correlacionando os índices de temperatura com os índices de evapotranspiração potencial (ETP), pode-se observar que para os meses com maiores índices pluviométricos, ocorreram também os maiores índices de evapotranspiração potencial (ETP), ou seja, quanto maior for a quantidade de água disponível no ambiente, maior também será a sua perda por meio da evapotranspiração potencial (ETP).

Contudo, a dinâmica entre a evapotranspiração potencial (ETP) correlacionando-a com a evapotranspiração real (ETR), foi avaliada conforme apresentado no gráfico 32.

Gráfico 29 – BHRP – Evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).

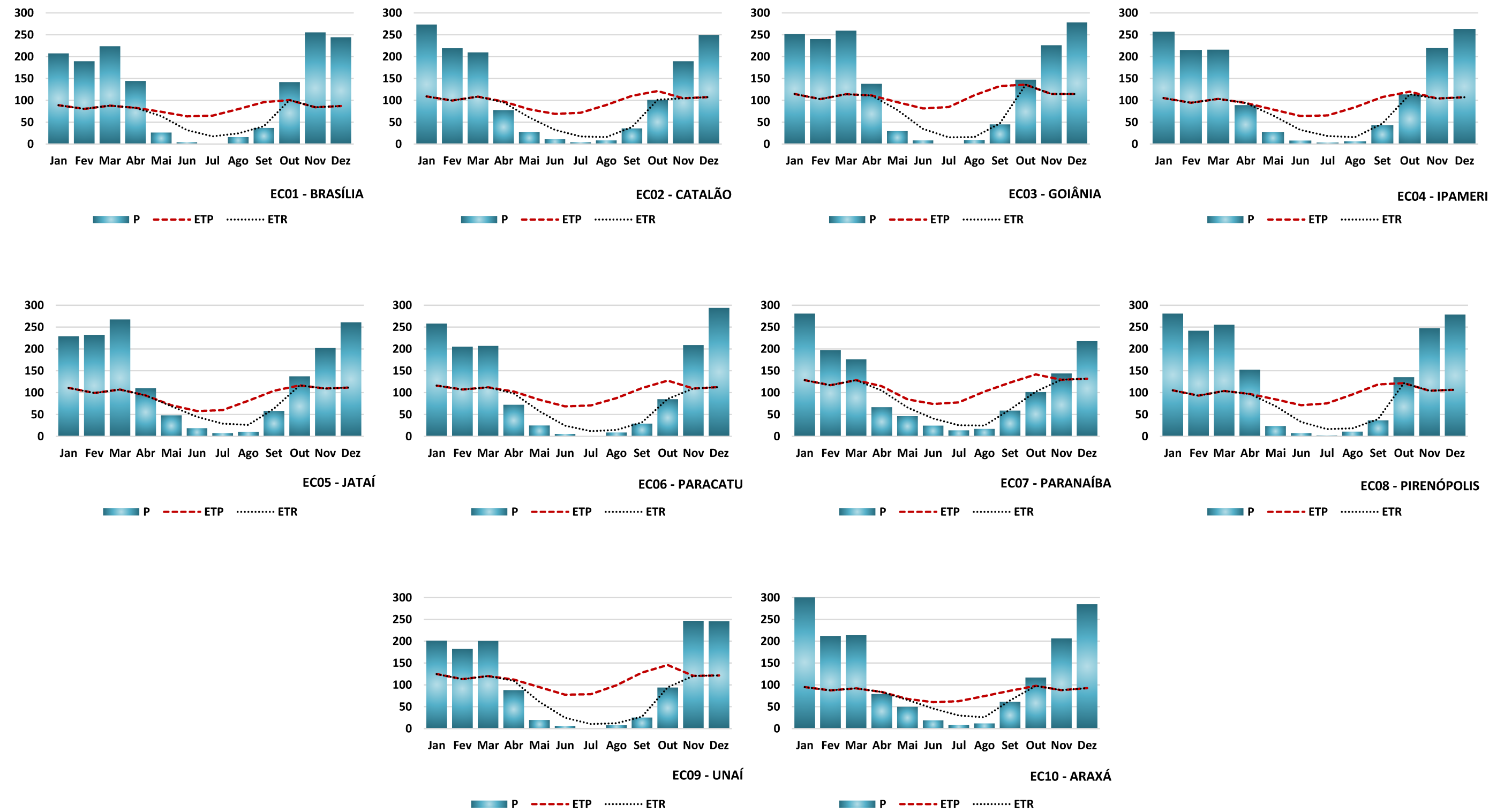


Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

E de acordo com gráfico 32, percebe-se que a evapotranspiração real (ETR) segue conjuntamente com a evapotranspiração potencial (ETP) durante os meses com maiores índices pluviométricos e, posteriormente, tende a se distanciar da evapotranspiração potencial (ETP). suavemente no mês de abril, vindo a ampliar o seu distanciamento nos meses com menores índices pluviométricos, sendo esse período indo de maio a setembro, onde os maiores picos de distanciamento ocorrem nos meses de julho e agosto e, no mês de setembro, ocorre novamente uma aproximação entre ambas, vindo a prosseguir conjuntamente com a evapotranspiração potencial (ETP) durante os meses de outubro, novembro e dezembro.

Por fim, ao avaliarmos as estações climatológicas, verificamos que o padrão do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba se reproduz praticamente em todas, valendo destacar algumas poucas ressalvas e, para tanto, optou-se em elaborar a figura 22, que permite uma melhor visualização através do mosaico com todas as correlações entre a precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), o que nos permite considerar que as pequenas variabilidades supracitadas são condicionadas a fatores que vão desde a variabilidade climática até as condições físicas regionais.

Figura 22 – Conjunto de gráficos das Estações Climatológicas - Precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). Média histórica de (1991-2021).



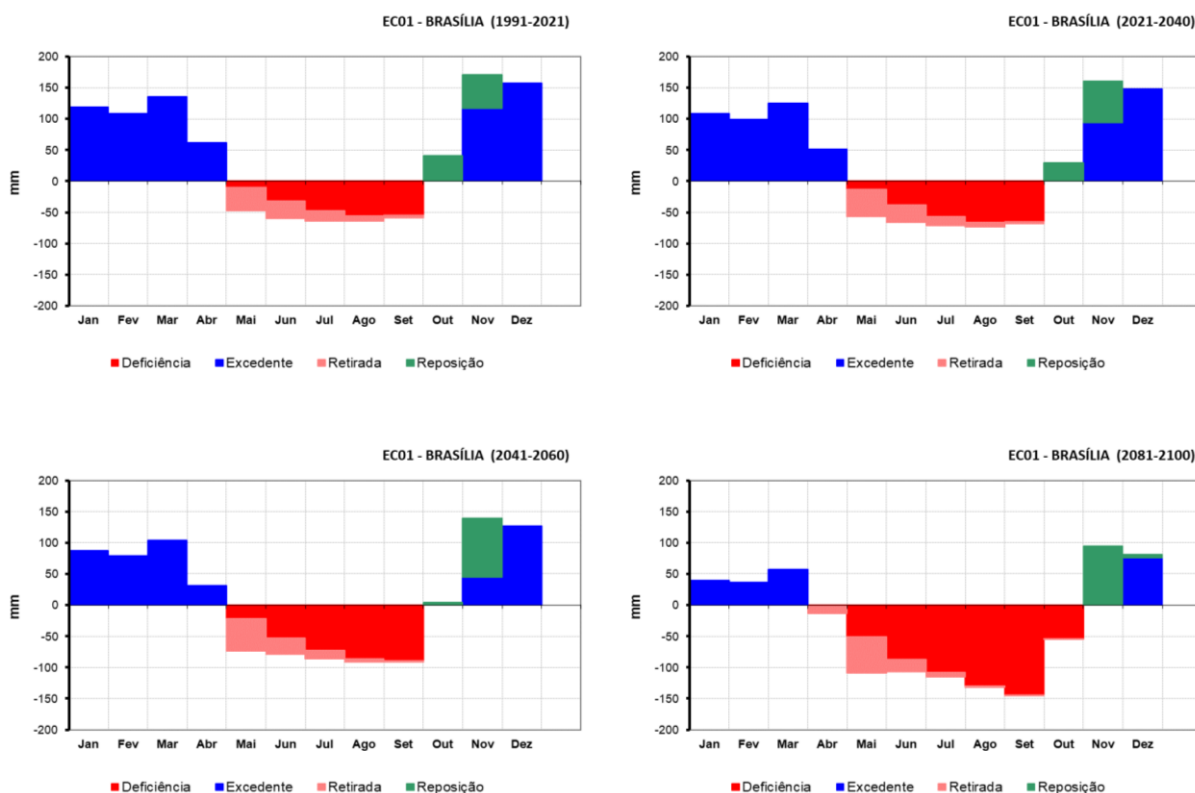
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

5.8 Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Análise Prognóstica.

5.8.1 Análise Prognóstica da estação climatológica EC01 - Brasília.

Nesta perspectiva, avaliou o balanço hídrico climatológico seguindo a proposta do IPCC AR6, conforme a proposta de efetuar a análise prognóstica para as estações climatológicas adotadas., e sendo assim, na estação EC01 – Brasília, pode-se constatar que houve mudanças significativas no balanço hídrico climatológico de 1991-2021, comparando-o com as projeções do IPCC para o cenário atual que vai de 1991 a 2021, o cenário de curto prazo que vai de 2021 a 2040, o cenário de médio prazo que vai de 2041 a 2061 e por fim o cenário de longo prazo que vai de 2081 a 2100, conforme representado iconograficamente na figura 23:

Figura 23 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC01 - Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Nota-se que o excedente hídrico, nas projeções 1991-2021, 2021-2040 e 2041-2060, abrangem os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro, embora apresentou alteração na projeção 2081-2100, indo de janeiro a março e de novembro a dezembro, ou seja, há uma diminuição significativa, conforme apresentado na tabela 49.

Sendo assim, pode-se confirmar que houve perdas significativas no excedente hídrico, visto que do cenário atual até o cenário de longo prazo houve uma perda de aproximadamente 235,3%, ou seja, no cenário atual com 699,3 mm caiu para aproximadamente 208,6 mm no cenário de longo prazo, representando então uma perda de 490,7 mm.

Tabela 49 – Quantitativo de ganho/perda do excedente hídrico da estação EC01 – Brasília, para os cenários propostos pelo IPCC,

EXCEDENTE HÍDRICO				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	699,3	625,2	473,5	208,6
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	-74,1	-151,7	-264,9	-490,7
TOTAL (%)	-11,8%	-32,0%	-127,0%	-235,3%

Observação: Caso ocorra os números na cor vermelha, esses indicam análise de perda.

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a tabela 49, pode-se perceber que as houve perdas acima de 100%, e esta foi perceptível no cenário de longo prazo que totalizou uma perda de 127,0 % comparada ao cenário de curto prazo.

Nota-se que ao avaliar a deficiência hídrica, observa-se uma análise crescente de um cenário para o outro, conforme representado na tabela 50, inicialmente a deficiência hídrica apresentava um total de 199,4 mm no cenário atual, indo evoluindo para 238,8 mm no cenário de curto prazo, passando para 322,9 no cenário de médio prazo e chegando a 574,0 mm no cenário de

longo prazo, ou seja, do cenário atual até o cenário de longo prazo houve um crescimento de aproximadamente 65,3%.

Tabela 50 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC01 – Brasília, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	199,4	238,8	322,9	574,0
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	39,3	84,1	251,1	374,5
TOTAL (%)	16,5%	26,0%	43,8%	65,3%

Observação: Caso ocorra os números na cor vermelha, esses indicarão análise de perda.

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

De acordo com a tabela 50, o crescimento médio de um cenário para o outro foi de aproximadamente 9,6%, subindo para 17,7% e chegando a aproximadamente 21,5%, fatores exponenciais esses que chamam a atenção para os diversos setores de planejamento quanto a demanda e oferta hídrica regional que pode vir a acarretar longos períodos de seca na região.

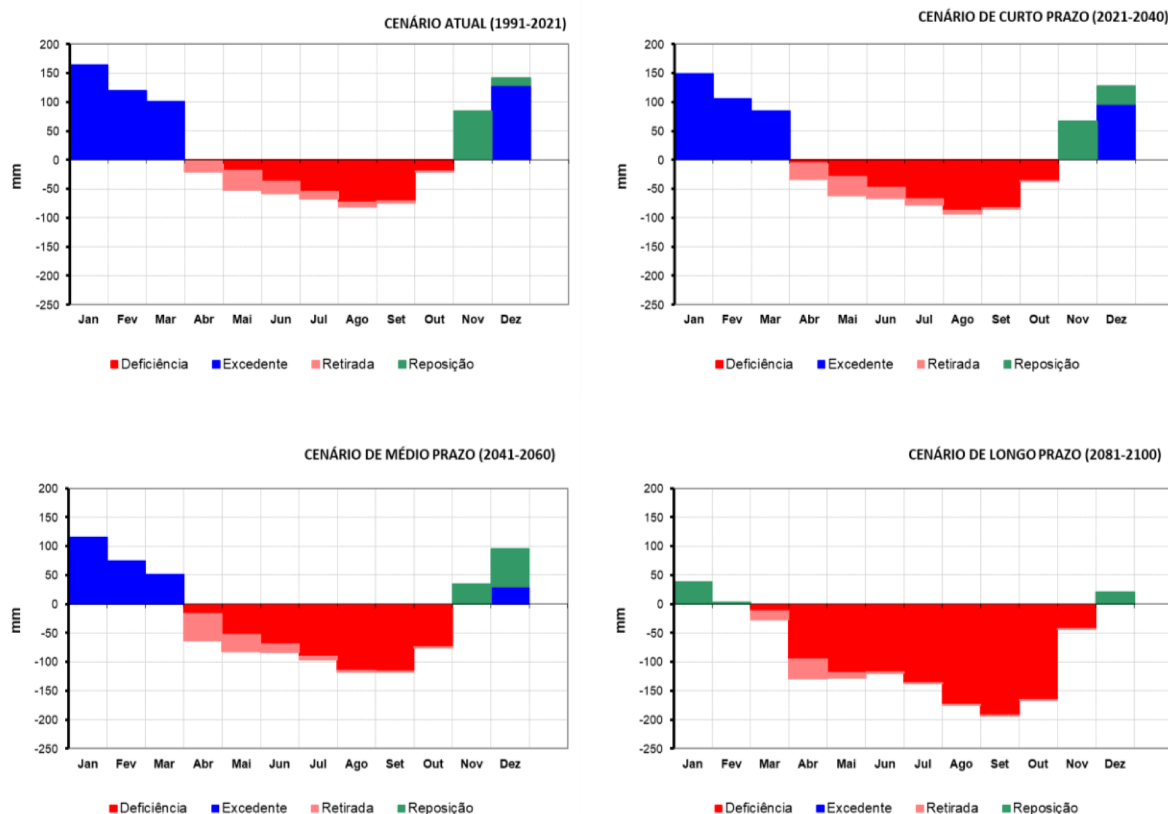
De acordo com a figura 23, a deficiência hídrica, ocorreu no cenário atual indo até o cenário de médio prazo, abrangendo o período que vai de maio a setembro e no cenário de longo prazo, foi de abril a outubro, ou seja, nesta projeção ampliou-se dois meses, o que indica um período de seca bem maior.

Sazonalmente falando, os períodos de retirada e reposição também irão sofrer diretamente com a ampliação do período de seca e com a diminuição dos períodos chuvoso, visto que pra os cenários avaliados o processo de retirada acompanhará o período de deficiência hídrica o que modificará o período de reposição que basicamente ocorreria nos meses de outubro e novembro, passarão a ser repostos no cenário de longo prazo, basicamente que no mês de novembro e uma pequena parcela em torno de 5,5% no mês de dezembro.

5.8.2 Análise Prognóstica da estação climatológica EC02 - Catalão.

Nota-se que a estação EC02 – Catalão, conforme representada na figura 24, apresentou alterações significativas no seu balanço hídrico climatológico, visto que do cenário atual até o cenário de curto prazo os meses de excedente hídrico foram os mesmos, compreendendo os períodos de janeiro a março e o mês de dezembro e, em novembro foi bem ínfimo, pois nesse mês destaca-se o processo de reposição da água no solo.

Figura 24 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Já a deficiência hídrica da estação EC02 – Catalão, ainda de acordo com a figura 24, ocorre nos cenários atual, curto e médio prazo, abrangendo os meses que vão de abril a outubro, enquanto o cenário longo prazo que vai de 2081 até 2100, apresentou uma diferença significativa, pois

nota-se uma perda do excedente hídrico e aumento significativo da deficiência hídrica que agora vai de março a novembro e, também destaca-se os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, pois são nesses meses que ocorrerá o processo de reposição hídrica, que no caso foi insignificante perante a deficiência hídrica, ou seja, em um total de -1.051,7 mm de deficiência hídrica somente houve a reposição de 61,5 mm.

Ainda de acordo com a deficiência hídrica da estação EC02 – Catalão, e representado na tabela 51, houve um crescimento de aproximadamente 74,9% de compararmos o cenário atual com o cenário longo prazo, o que totalizou aproximadamente um aumento de 938,6 mm, pode-se destacar também que o crescimento do cenário longo prazo frente ao cenário médio prazo, foi de aproximadamente 50,4%, ou seja, um total de 631,9 mm.

Tabela 51 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC02 - Catalão, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	314,9	383,6	621,6	1.253,5
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	(1991-2021) CURTO PRAZO	(2021-2040) MÉDIO PRAZO	(2041-2060) LONGO PRAZO	(1991-2021) LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	68,7	238,0	631,9	938,6
TOTAL (%)	17,9%	38,3%	50,4%	74,9%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

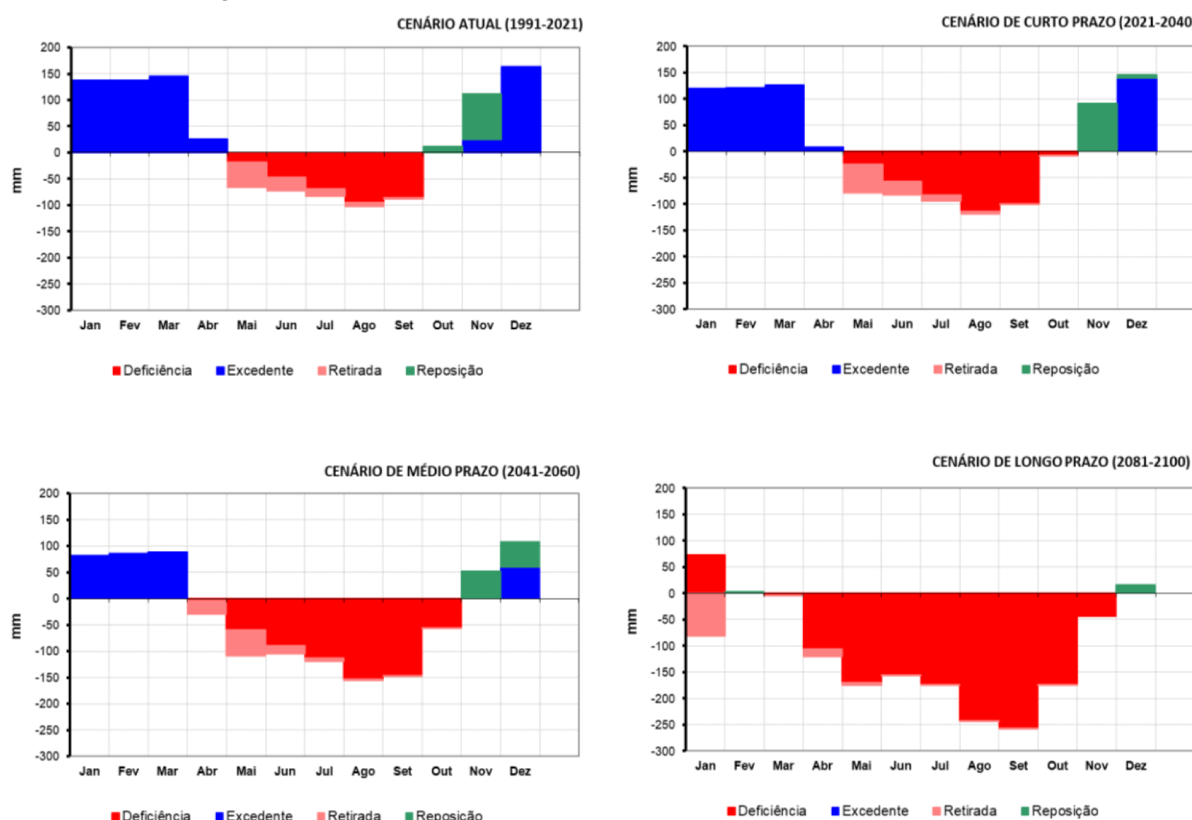
5.8.3 Análise Prognóstica da estação climatológica EC03 - Goiânia.

Para a estação EC03 – Goiânia, e certamente representada na figura 25, pode-se notar que nenhum dos cenários seguiu um padrão, embora o cenário atual e o cenário curto prazo

apresente visualmente iguais, embora sejam diferentes quanto a período do excedente hídrico, sendo que no cenário atual abrange os períodos que vai de janeiro a abril e de novembro a dezembro, enquanto o cenário curto prazo, vai de janeiro a abril e dezembro.

Nota-se o cenário médio prazo, reduz o mês de abril se comparado aos cenários anteriores e mantém o mês de dezembro e, enquanto o cenário longo prazo não apresenta nenhum índice de excedente hídrico, com apenas uma reposição ínfima de 3,6 mm no mês de fevereiro e uma de 16,6 mm no mês de dezembro, enquanto a deficiência totalizou -1.253,5 mm e com retirada de -103,6 mm.

Figura 25 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC02 - Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Tabela 52 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC03 - Goiânia, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	314,9	383,6	621,6	1.253,5
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	68,7	238,0	631,9	938,6
TOTAL (%)	17,9%	38,3%	50,4%	74,9%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Todos esses dados que foram apresentados tanto na figura 25, quanto na tabela 52, são extremamente importantes e chamam a atenção quanto a tomada de decisões econômicas, ambientais e científicas, pois os dados indicam um processo de desertificação o que traria consigo riscos a manutenção da vida, ou seja, o processo de deficiência hídrica acelerada no solo é uma ameaça para a biodiversidade, a saúde humana, a economia e as estruturas social e econômica.

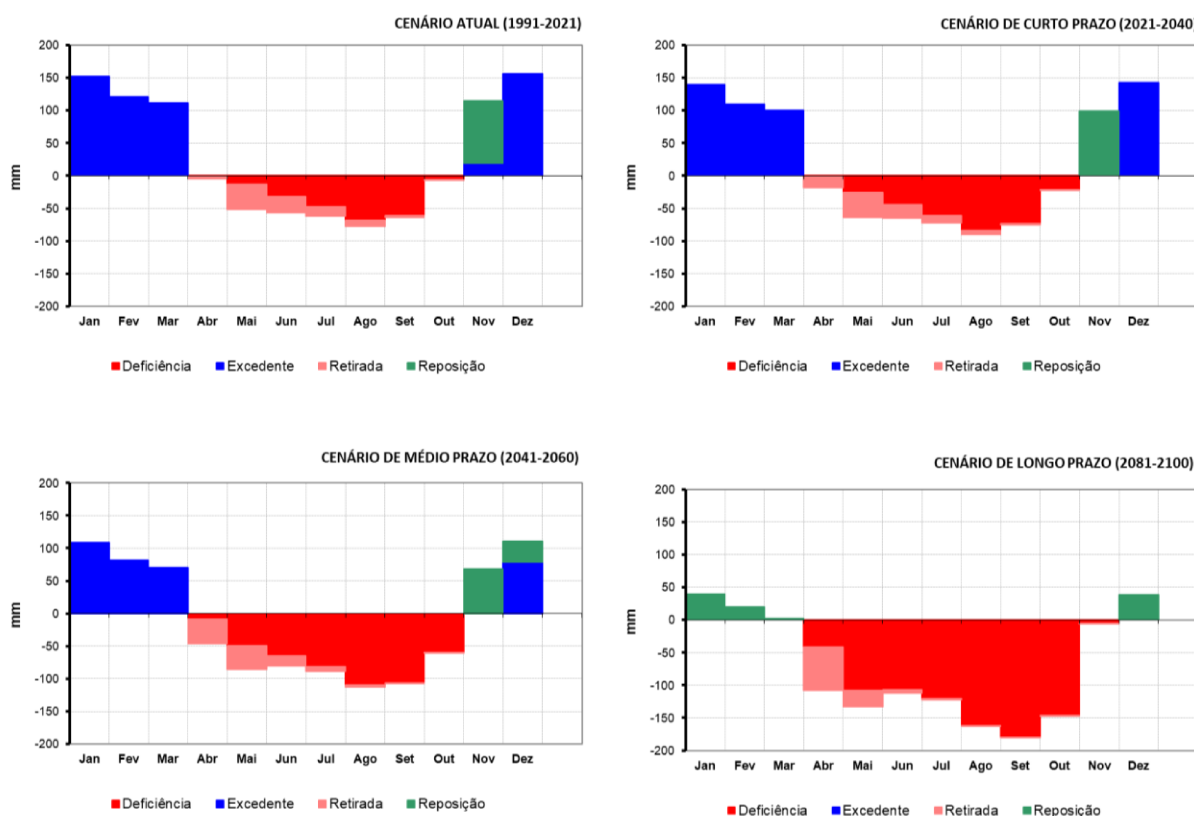
5.8.4 Análise Prognóstica da estação climatológica EC04 - Ipameri.

Seguindo conforme apresentado na figura 26, a estação EC04 – Ipameri, apresenta um padrão bem semelhante ao que foi visto na estação EC03 – Goiânia, para tanto, o excedente hídrico aponta um processo de queda entre os cenários propostos, visto que o cenário atual apresenta um excedente hídrico de 559,3 mm e, no cenário de curto prazo a queda foi -67,0 mm, totalizando 492,3 mm, enquanto no cenário médio prazo a queda foi de 151,9 mm, ou seja, totalizou 340,3 mm e, findando no cenário longo prazo o excedente hídrico apresentou um total de 0,1 mm, valor esse podendo ser considerado insignificante dentro do contexto avaliado.

Pode-se observar que além dos índices quantitativos do excedente hídrico, nota-se que o período de ocorrência também vai sendo alterado, a medida em que se evoluem os cenários. Nesse enfoque é perceptível que o excedente hídrico no cenário atual, abrangia os meses de janeiro a março e retornando em novembro conjuntamente com o período de reposição e se estendendo até o mês de dezembro, enquanto no cenário curto prazo, o período se mantém equiparado ao cenário atual, embora no mês de novembro houve somente reposição hídrica.

No cenário médio prazo, a única mudança que houve foi que o período de reposição que anteriormente ocorreu no mês de novembro, agora abrange os meses de novembro e dezembro, já o cenário longo prazo se destaca indubitavelmente dos demais, visto que há em grande parte a predominância do período de deficiência hídrica, que totalizou aproximadamente -869,6 mm, valor esse que é diretamente atrelado ao processo de retirada que totalizou 100,0 mm

Figura 26 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

A estação EC04 – Ipameri, também apresentou índices representativos de deficiência hídrica, conforme pode-se visualizar através da tabela 53.

Tabela 53 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC04 – Ipameri, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	226,9	309,5	479,4	869,6
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	82,6	169,9	390,3	642,7
TOTAL (%)	26,7%	35,4%	44,9%	73,9%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Notoriamente é perceptível o crescimento dos índices de deficiência hídrica, índices esses que apresentam um crescimento de aproximadamente 73,9%, comparando o cenário atual ao cenário longo prazo, visto que, representou um total final de 642,7 mm.

E, contudo, contando com o apoio da tabela 53 e da figura 26, pode-se concluir que espacialmente há mudanças importantes, principalmente se formos avaliar o cenário longo prazo.

Tal análise nos traz um cenário totalmente caótico, frente aos demais cenários abordados, pode-se então constatar que os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, serão totalmente voltados para a reposição hídrica, sendo esta, um índice totalmente irrisório (100,0 mm) se comparada aos índices de deficiência hídrica.

Os índices de deficiência hídrica da estação EC04 – Ipameri, foi de -869,6, visto que o pico máximo foi no mês de setembro totalizando -179,2 mm, um outro fator importante e que nos

demais cenários o período de deficiência hídrica vai de abril a outubro e, já no cenário de longo prazo abrange o período de abril a novembro.

5.8.5 Análise Prognóstica da estação climatológica EC05 - Jataí.

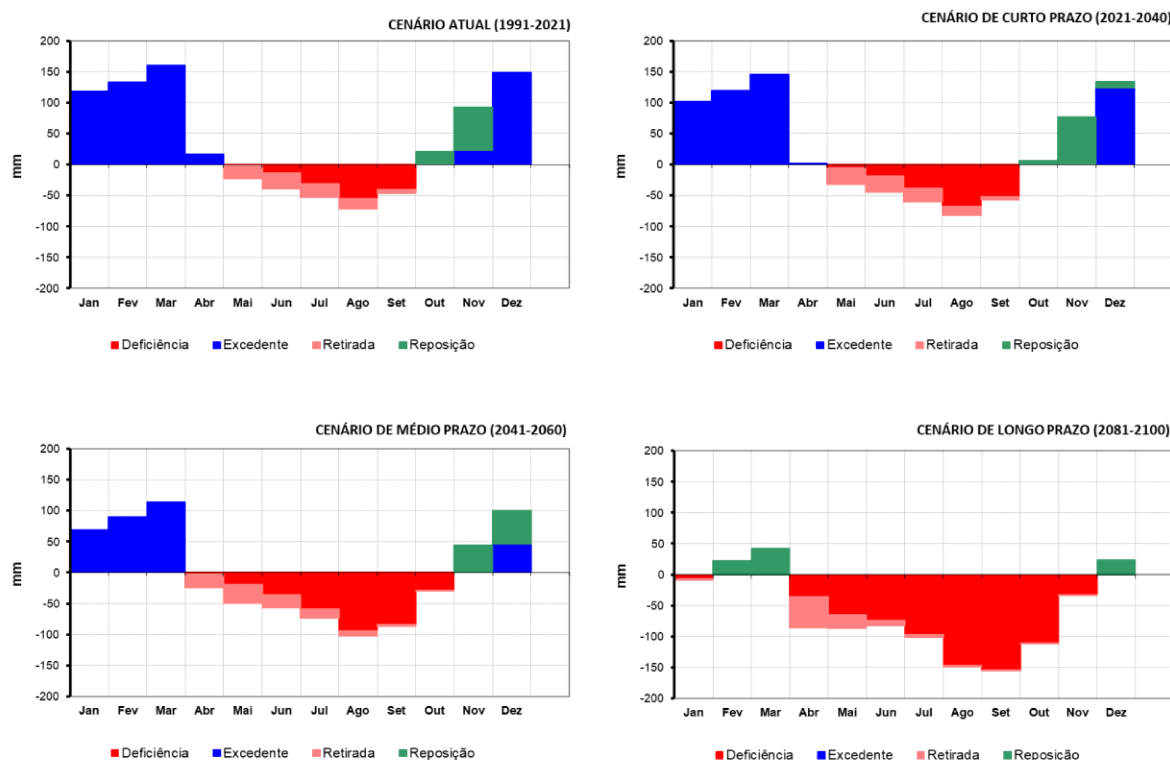
Seguindo a análise, observando a estação EC05 – Jataí. De acordo com a figura 27 e da tabela 54, pode-se perceber que há uma queda dos índices de excedente hídrico, partindo de 599,5 mm no cenário atual, 493,0 mm no cenário curto prazo, 319,2 mm no cenário médio prazo e, 0,0 mm no cenário longo prazo.

Nesse enfoque, mediante a análise sazonal constata-se que há uma redução nos meses considerados chuvosos de excedente hídrico, visto que no cenário atual os meses eram de janeiro a maio e o mês de dezembro, já no cenário de curto prazo vai de janeiro a março e dezembro abrangência esta que se repete no cenário de médio prazo e, para o cenário longo prazo, esse foi categorizado com ausência de excedente hídrico, fator esse que merece devida atenção, para a manutenção da vida em sua totalidade.

Já os aspectos que abrangem a deficiência hídrica, esses nos chamam maior atenção se comparados aos índices de excedente hídrico, visto que do cenário atual, até o cenário longo prazo, houve um aumento significativo de 80,3%, ou seja, saiu de um total de -142,6 mm chegando a -723,6 mm.

Ainda observando a abrangência do período de deficiência hídrica da estação EC05 – Jataí, é perceptível que durante o cenário atual ele vai de maio a setembro, tendo seu maior índice no mês de agosto com -55,1 mm, já o cenário curto prazo, o período se repete e no mês de agosto o índice foi de -67,6 mm, enquanto no cenário médio prazo, o maior índice também foi registrado em agosto com -94,6 mm.

Figura 27 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC05 – Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Tabela 54 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC05 – Jataí, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	142,6	181,9	324,5	723,6
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040)	(2041-2060)	(2081-2100)	(2081-2100)
	-	-	-	-
CENÁRIOS	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	39,3	142,6	399,1	581,0
TOTAL (%)	21,6%	43,9%	55,2%	80,3%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Já o cenário longo prazo, que abrange o período de 2081 a 2100, apresentou ser um cenário alarmante frente aos demais, visto que esta projeção não apresentou excedente hídrico, somente um período de reposição que acontece durante os meses de fevereiro, março e dezembro,

repondo somente 87,6 mm, em um cenário que todos os outros meses ocorreram -723,6 mm de deficiência hídrica.

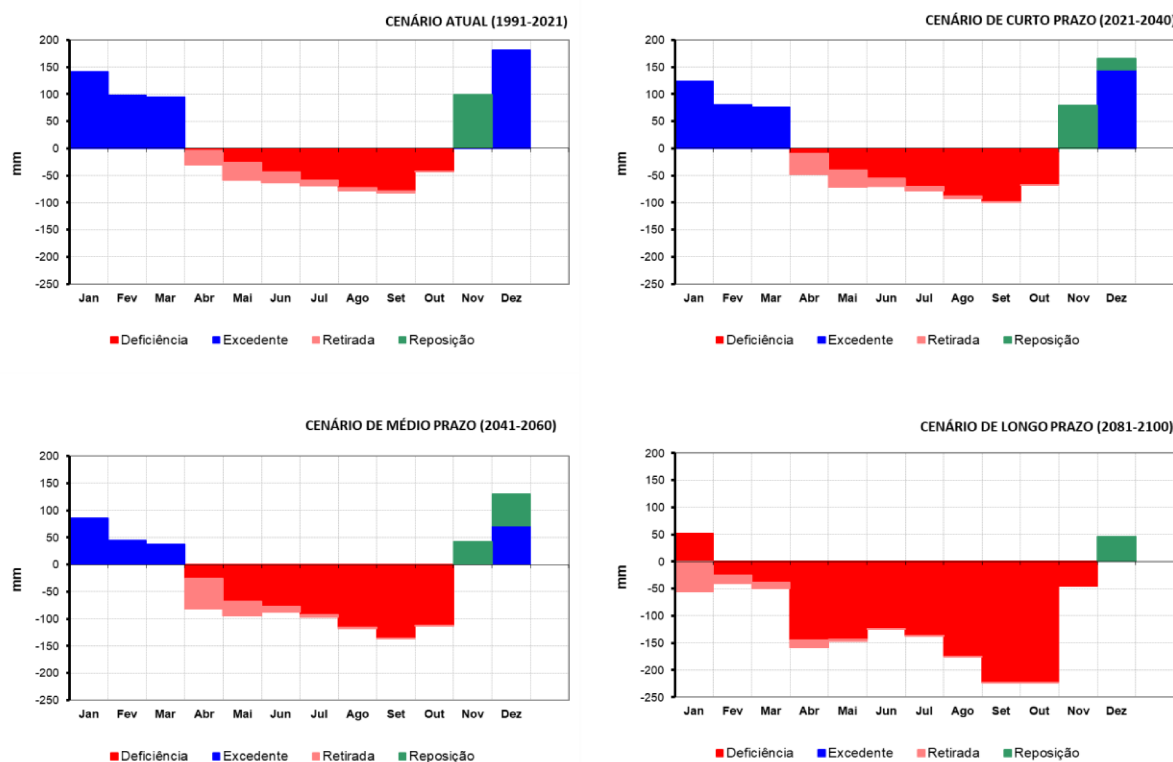
5.8.6 Análise Prognóstica da estação climatológica EC06 - Paracatu.

Conforme já visto anteriormente e, exibido na figura 28, a estação EC06 – Paracatu, apresenta um dos menores índices de excedente hídrico, onde foi 515,9 mm no cenário atual e, para as projeções futuras foi de 425,3 mm no cenário curto prazo, 240,4 mm no cenário médio prazo e no cenário longo prazo houve 0,0 mm.

Sendo assim, ao avaliarmos sazonalmente percebe-se que para o cenário atual tanto quanto para o cenário curto prazo, os meses que abrangem o período de excedente hídrico vão de janeiro a março mais o mês de dezembro que em ambos os cenários apresentou maior excedente hídrico sendo 181,0 mm no cenário atual e 145,2 mm no cenário curto prazo. Vale destacar que o mês de novembro ficou totalmente voltado para a reposição hídrica.

Nesse mesmo enfoque, o cenário médio prazo embora muito parecido sazonalmente com os cenários anteriores, se destaca devido à redução drástica de excedente hídrico no mês de dezembro indo de 145,2 mm para 71,2 mm, ou seja, apresentou uma redução de aproximadamente 49,0%. O cenário longo prazo, esse se difere dos demais devido à ausência de excedente hídrico.

Figura 28 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a figura 28 e apoiados na tabela 55, pode-se avaliar em um primeiro momento o crescimento dos índices referentes a deficiência hídrica, partindo de -326,6 mm chegando a -1.223,7 mm, ou seja, um crescimento de aproximadamente 73,3%.

Nesta mesma análise pode-se perceber que do cenário atual, passando pelo cenário curto prazo e chegando ao cenário médio prazo, o mês que apresentou maior índice foi o mês de setembro, sendo -78,7 mm, -98,1 mm e -135,9 mm.

Tabela 55 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC06 - Paracatu, para os cenários propostos pelo IPCC.

CENÁRIOS	DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)			
	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	326,6	427,9	627,3	1.223,7
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	(1991-2021) CURTO PRAZO	(2021-2040) MÉDIO PRAZO	(2041-2060) LONGO PRAZO	(1991-2021) LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	101,2	199,4	596,4	897,0
TOTAL (%)	23,7%	31,8%	48,7%	73,3%

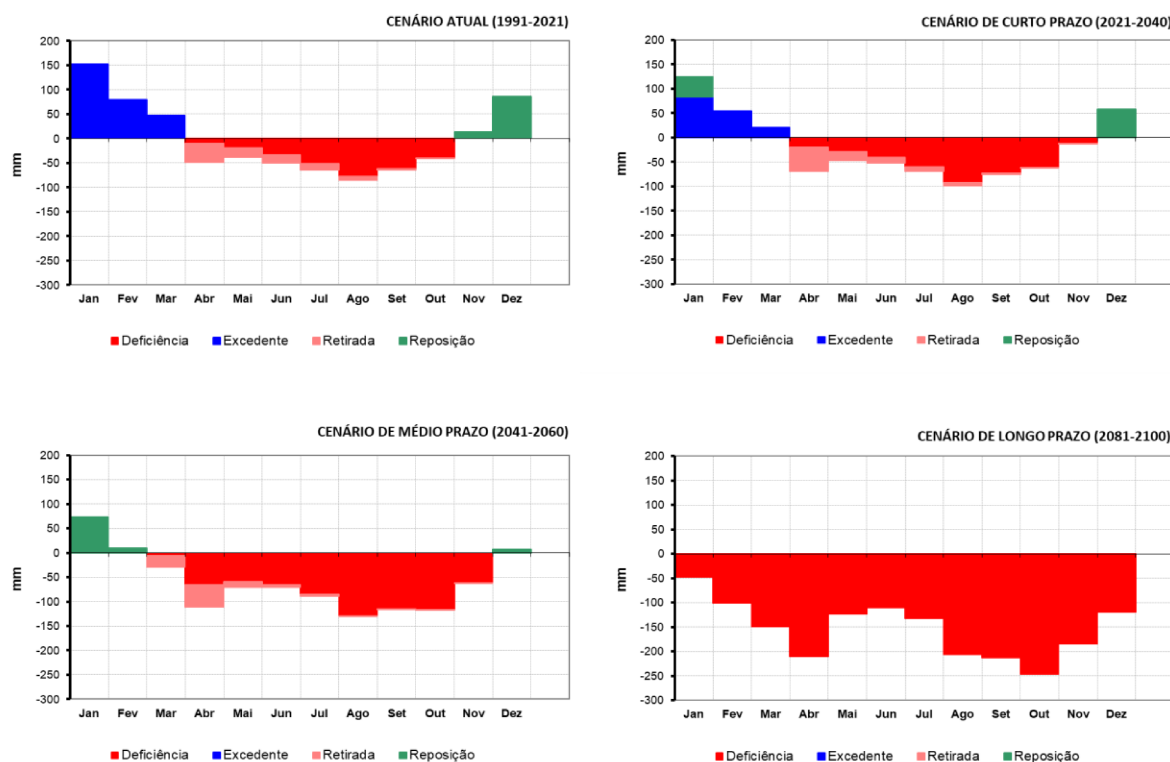
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

O cenário longo prazo da estação EC06 – Paracatu, apresentou índices alarmantes de deficiência hídrica, mesmo que esses índices refletem uma projeção de 2081 a 2100, inicialmente destaca-se que o processo de retirada foi de -100 mm, enquanto a reposição foi de 45,6 mm no mês de dezembro.

5.8.7 Análise Prognóstica da estação climatológica EC07 - Paranaíba.

De todas as estações climatológicas avaliadas, a que mais nos chamou atenção foi a EC07 – Paranaíba, conforme visualizado na figura 29, inicialmente sobre os dados referentes ao excedente hídrico, percebemos que entre os cenários propostos somente os cenários atual e curto prazo, apresentaram índices, sendo 281,6 mm e 159,4, ou seja, uma queda de aproximadamente 76,7%.

Figura 29 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Ainda de acordo com a figura 29, ao abordar sazonalmente observa-se que o excedente hídrico ocorreu em três meses, indo de janeiro a março, sendo o mês de janeiro o mês que apresentou o maior índice, sendo, 151,9 mm no cenário atual e 83,3 mm no cenário curto prazo.

Ao apontar as retiradas de água do solo, percebe-se que somente ocorreram -98,0mm no cenário atual; -99,2 mm no cenário curto prazo; e -89,9 no cenário médio prazo. Constata-se a reposição hídrica nos meses de novembro e dezembro, para o cenário atual. No cenário curto prazo foram os meses de janeiro e dezembro e, finalmente, para o cenário médio prazo foram os meses de janeiro, fevereiro e dezembro.

Seguindo a análise, de acordo com a tabela 56 e com a figura 29, correspondentes a deficiência hídrica da estação EC07 – Paranaíba.

Tabela 56 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	292,9	386,5	705,0	1.843,2
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	93,5	318,6	1.138,1	1.550,2
TOTAL (%)	24,2%	45,2%	61,7%	84,1%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

De acordo com a tabela 56, percebe-se que houve um acréscimo significativo em cada projeção sendo que iniciou no cenário atual com -292,9 mm chegando ao cenário longo prazo com 1.843,2 mm, ou seja, um crescimento de aproximadamente 84,1%.

Sazonalmente falando, observa-se que os períodos de deficiência hídrica variaram de cenário para cenário e, dessa forma, para o cenário atual o período de deficiência hídrica foi de abril a outubro, com o índice máximo no mês de agosto sendo -77,8 mm e, o cenário curto prazo foi de abril a novembro, com -92,8 mm também registrados em agosto.

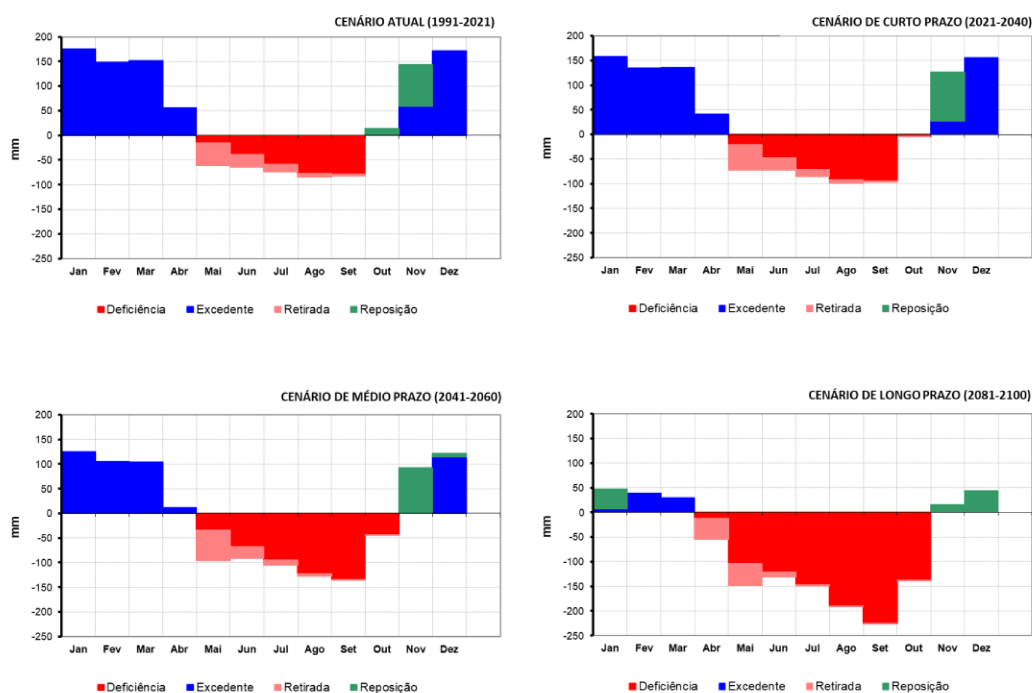
Nesse enfoque, avalia-se que há a existência de dois cenários caóticos sendo o cenário médio prazo que vai de março a dezembro, com o maior índice registrado no mês de agosto sendo -129,4 mm e, por fim, o cenário longo prazo apresentou deficiência hídrica em todos os meses sendo o mês de outubro com -247,1 mm. Pode-se afirmar que com tais cenários caóticos, há a necessidade de um estudo mais detalhado das características climáticas e ambientais principalmente comparando-as com as demais formas de apropriação dos espaços regionais, pois, somente assim, haverá a adoção de ações que possam vir a salvar toda a região em um futuro breve.

5.8.8 Análise Prognóstica da estação climatológica EC08 – Pirenópolis.

Inicialmente pode-se afirmar, conforme visto na figura 30, que a estação EC08 – Pirenópolis, apresenta certa homogeneidade entre os cenários propostos, principalmente quanto a distribuição sazonal dos períodos de deficiência e excedente hídricos.

Sendo assim, observa-se que o excedente hídrico se comparado as estações anteriores, também apresentou uma queda significativa, ou seja, o cenário atual, com o índice de 761,6, sofreu uma queda de aproximadamente 90,0%, para o cenário longo prazo totalizando 75,9 mm.

Figura 30 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC08 - Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Nesse enfoque, de acordo com a figura 30, vê-se que a sazonalidade do excedente hídrico, onde no cenário atual abrange os meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro, tendo seu maior

índice registrado no mês de janeiro com 175,6 mm. No cenário curto prazo, abrange os meses de janeiro a março e de novembro a dezembro, com maior índice 158,1 mm também no mês de janeiro, o cenário médio prazo os meses de abrangência foram de janeiro a abril e o mês de dezembro, com janeiro também registrando o maior índice 124,8 mm. Por fim, no cenário longo prazo, o excedente hídrico contemplou os meses de janeiro a março se diferenciando dos demais, teve seu maior índice 39,0 mm no mês de fevereiro representando aproximadamente 51,4%, total desta projeção.

Visando representar a deficiência hídrica da estação EC08 – Pirenópolis, utilizou a tabela 57, onde pode-se perceber um crescimento de aproximadamente 71,3% entre o cenário atual (268,8 mm) para com o cenário longo prazo (937,5 mm), crescimento esse que traz consigo um alerta significativo quanto a busca por medidas mitigadoras.

Tabela 57 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	268,8	331,4	498,5	937,5
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
CENÁRIOS	CURTO PRAZO (1991-2021)	MÉDIO PRAZO (2021-2040)	LONGO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO - ATUAL (1991-2021)
TOTAL (MM)	62,6	167,1	439,0	668,7
TOTAL (%)	18,9%	33,5%	46,8%	71,3%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Sendo assim, pode-se perceber que os maiores índices foram registrados no mês de setembro em todas as projeções, sendo -78,9mm no cenário atual; -94,8 mm no cenário curto prazo; -134,3 mm no cenário médio prazo; e -225,4 mm no cenário longo prazo.

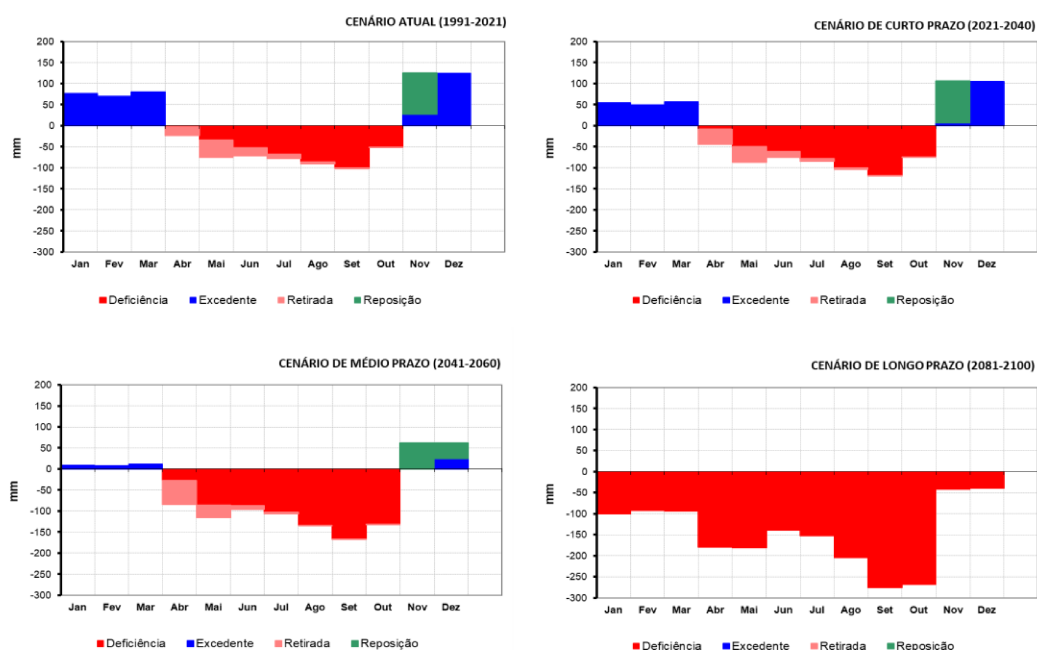
Outro fator que chamou destaque foi o período de reposição hídrica que no cenário atual ocorreu nos meses de outubro e dezembro repondo aproximadamente 97,4 mm. Já no cenário curto prazo

a reposição ocorreu no mês de novembro repondo 98,6 mm; enquanto no cenário médio prazo ocorreu nos meses de novembro e dezembro repondo 99,7 mm. Por fim, no cenário longo prazo, cenário esse considerado o mais crítico, a reposição de 100,0 mm ocorreu nos meses de janeiro, novembro e dezembro.

5.8.9 Análise Prognóstica da estação climatológica EC09 - Unaí.

A estação EC09 – Unaí, conforme representada na figura 31, possui características semelhantes as estações EC06 – Paracatu, primeiramente devido a sua proximidade e EC07 – Paranaíba, ou seja, observa-se que no excedente hídrico há uma queda significativa de 85,8% entre o cenário atual e o cenário médio prazo, visto que o cenário longo prazo não apresentou índice de excedente hídrico. Um total de 3771,1 mm no cenário atual caiu para 53,4 mm no cenário médio prazo.

Figura 31 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC09 - Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Sazonalmente o excedente hídrico contempla os meses que vão de janeiro a março e de novembro a dezembro, com exceção do cenário médio prazo que abrange de janeiro a março e somente o mês de dezembro.

Nesse enfoque, e com apoio da figura 31 e na tabela 58, pode-se averiguar os índices correspondentes a deficiência hídrica, e imediatamente pode-se afirmar que de todas as estações climatológicas avaliadas, esta apresenta os cenários mais críticos até o momento.

Tabela 58 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC07 - Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	395,6	491,7	733,2	1.767,6
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	96,1	241,5	1.034,3	1.372,0
TOTAL (%)	19,5%	32,9%	58,5%	77,6%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Sendo assim, vislumbra que o crescimento da deficiência hídrica foi alarmante, pois sai de 395,6 mm no cenário atual e chega à projeção máxima do cenário longo prazo com 1.767,6 mm, o que indica um crescimento acima de 77,6%.

Os cenários atuais, curto prazo e médio prazo, abrangem os meses de abril a outubro, sendo o mês de setembro apresentando os maiores índices sendo -100,6 mm, -118,9 mm e -165,6 mm, bem como a reposição desses períodos acontece nos meses de novembro nos primeiros cenários e no cenário médio prazo abrange os meses de novembro e dezembro.

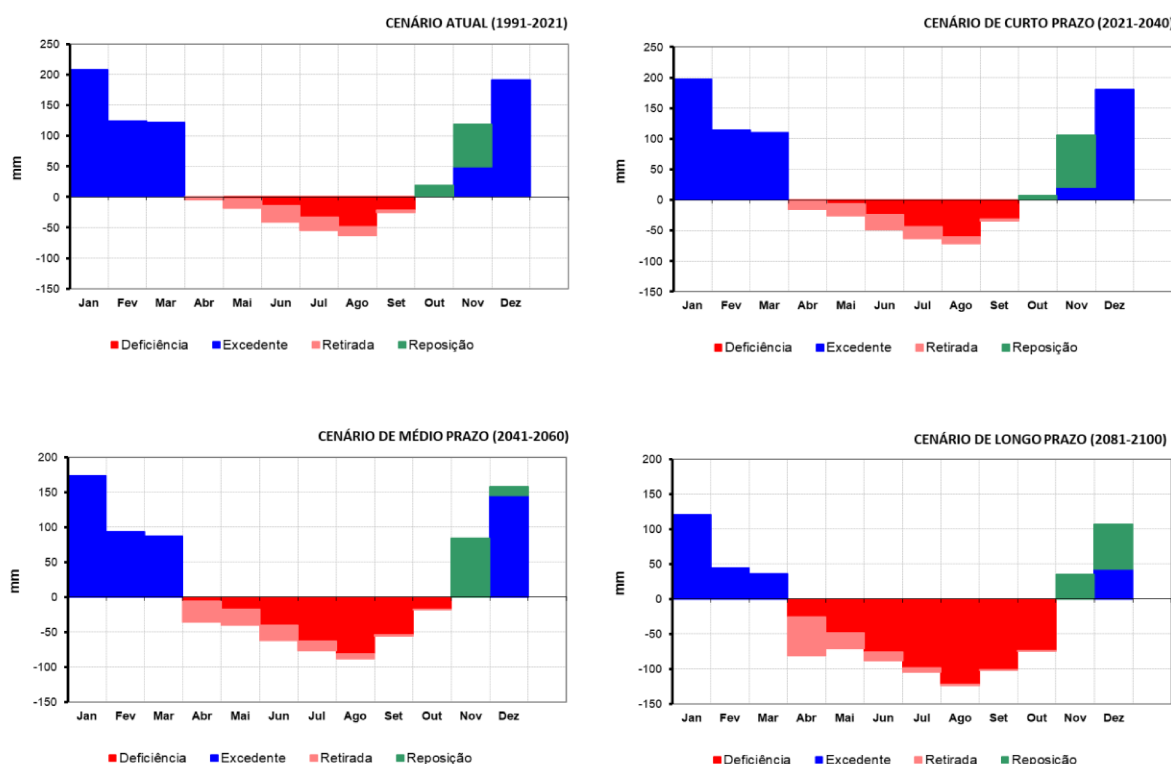
Já o cenário longo prazo da estação EC09 - Unaí, apresentou abrangência de janeiro a dezembro, sendo esse o cenário mais caótico, em que se destaca a deficiência hídrica em detrimento aos demais constituintes do balanço hídrico climatológico, ressalta que os maiores índices

aconteceram nos meses de abril, maio, agosto, setembro e outubro, sendo o mês de setembro com maior índice totalizando -276,1.

5.8.10 Análise Prognóstica da estação climatológica EC10 Araxá.

Conforme já mencionado anteriormente a estação EC10 – Araxá, foi escolhida para contemplar a porção sul da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba e, com isso ampliando e validando ainda mais a análise do balanço hídrico climatológico, conforme representado na figura 32.

Figura 32 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) da estação EC10 - Araxá, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Inicialmente pode-se averiguar que o excedente hídrico, no cenário atual totalizou 695,9 mm e veio decair para 243,8 mm na projeção do cenário longo prazo, ou seja, houve uma queda de

aproximadamente 65% e, observa-se atenciosamente que a queda de índices desde o cenário atual frente aos cenários curto prazo e médio prazo foi de mais ou menos 200,0 mm.

Nesse enfoque, os maiores índices foram apontados no mês de janeiro sendo no cenário atual 208,3 mm, já no cenário curto prazo foi de 197,0 mm, enquanto no cenário médio prazo foi 173,3 mm e, para finalizar, no cenário longo prazo foi 120,4mm.

O excedente hídrico na estação EC10 – Araxá, contemplou os meses de janeiro a março e novembro e dezembro nos cenários atual e curto prazo e, para os cenários médio e longo prazo, abrangeu os meses de janeiro a março e dezembro, bem como a reposição hídrica para os cenários atual e curto prazo foi de 87,5 mm e 92,5 mm será nos meses de outubro, novembro e dezembro e, para os cenários médio e longo prazo, serão de aproximadamente 97,7 mm e 99,8 mm e ocorrerá basicamente no mês de dezembro.

Outra variável do balanço hídrico climatológico a ser analisada é a deficiência hídrica, sendo assim, com o auxílio da figura 32 e da tabela 59, observa-se que há acréscimo entre as projeções, sendo que no cenário atual a deficiência hídrica era de -120,4 mm, passando para -167,0 mm no cenário curto prazo, -278,6 mm no cenário médio prazo e -544,1 mm no cenário longo prazo, ou seja, um crescimento de aproximadamente 77,9%.

Tabela 59 – Quantitativo de ganho/perda da deficiência hídrica da estação EC10 – Araxá, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	120,4	167,0	278,6	544,1
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	46,6	111,6	265,5	423,7
TOTAL (%)	27,9%	40,1%	48,8%	77,9%

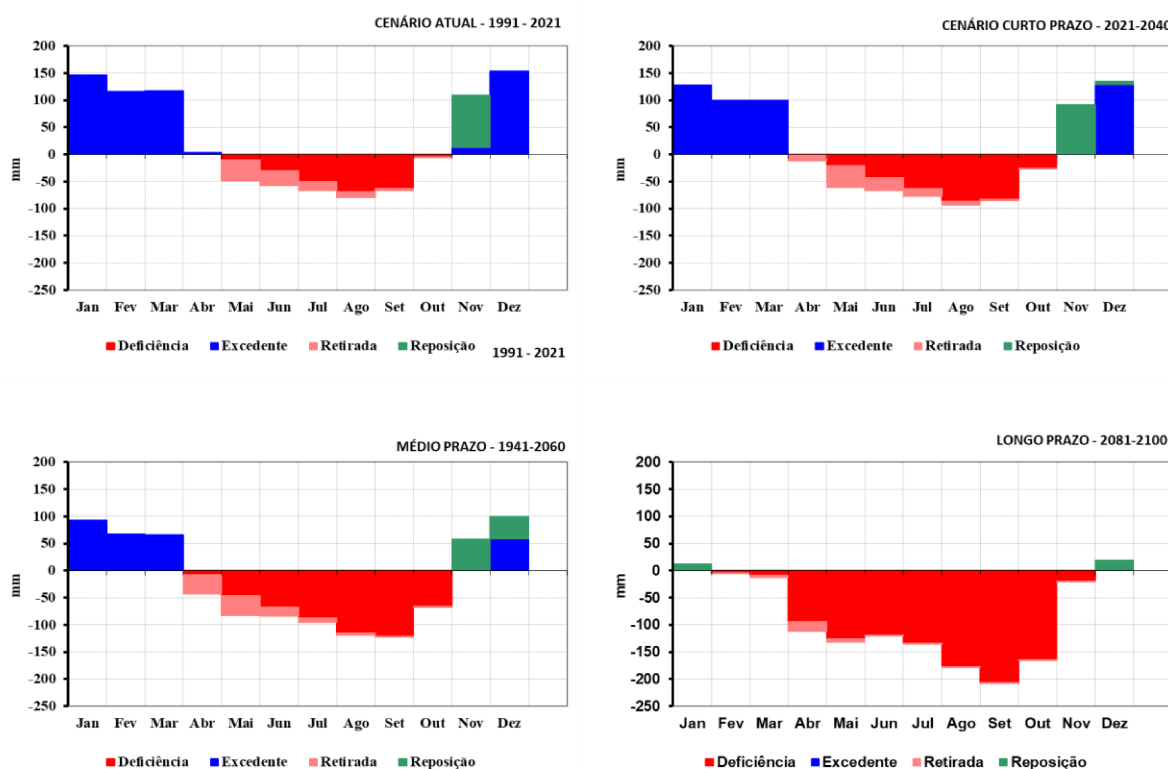
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Nesse contexto, pode-se perceber que os maiores índices de deficiência hídrica foram apontados em todos os cenários no mês de agosto, sendo -48,5 mm no cenário atual, -60,3 mm no cenário curto prazo, -81,2 mm no cenário médio prazo e -121,7 mm no cenário longo prazo.

5.8.11 Análise Prognóstica do consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

Nota-se que é importante avaliar a aplicabilidade do balanço hídrico climatológico, proposto por Thornthwaite e Mather (1955) prognósticamente para o consolidado das estações climatológicas adotadas, conforme representado na figura 33.

Figura 33 – Conjunto de gráficos representando o balanço hídrico climatológico (BHC) do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica de (1991-2017).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Vê-se que o excedente hídrico caiu bruscamente do cenário atual até o cenário longo prazo, sendo que foi de 548,2 mm para 0,0 mm, sendo que no cenário médio prazo o índice foi de 284,9 mm, além da redução quantitativa, ocorreu também a redução dos períodos de ocorrência, visto que no cenário atual a abrangência foi de janeiro a abril e de novembro a dezembro, já no cenário curto prazo a abrangência foi de janeiro a março e dezembro, condição esta que repetiu para o cenário médio prazo.

Nesse enfoque, os índices altos foram contabilizados no mês de dezembro com 153,2 mm para o cenário atual, já o cenário curto prazo 128,3 mm será projetado para o mês de dezembro, enquanto o cenário médio prazo terá um índice de 92,9 mm em janeiro.

Outro fator que chama a atenção no consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, está diretamente relacionado ao crescimento dos índices de deficiência hídrica e, portanto, com o auxílio da figura 33 e da tabela 60, haverá uma melhor compreensão deles.

Tabela 60 – Quantitativo de ganho/perda do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, para os cenários propostos pelo IPCC.

DEFICIÊNCIA HÍDRICA (MM)				
CENÁRIOS	ATUAL (1991-2021)	CURTO PRAZO (2021-2040)	MÉDIO PRAZO (2041-2060)	LONGO PRAZO (2081-2100)
TOTAL (MM)	226,4	321,0	511,1	1.052,7
ANÁLISE DE GANHO / PERDA	(2021-2040) -	(2041-2060) -	(2081-2100) -	(2081-2100) -
	(1991-2021)	(2021-2040)	(2041-2060)	(1991-2021)
CENÁRIOS	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO	LONGO PRAZO - ATUAL
TOTAL (MM)	94,6	190,0	541,7	826,3
TOTAL (%)	29,5%	37,2%	51,5%	78,5%

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Portanto, inicialmente é perceptivo um aumento de aproximadamente 78,5% do cenário atual até o cenário longo prazo, visto que, partiu de um índice de -226,4 mm, chegando a -1.052,7

mm no cenário longo prazo. Contudo, destaca-se que o índice de deficiência hídrica praticamente dobrou do cenário médio prazo (511,1 mm), para o cenário longo prazo.

Ademais, os maiores índices foram registrados no mês de agosto para os cenários atual e curto prazo, sendo -69,3 mm e -85,8 mm, já os cenários médio prazo e longo prazo, apresentaram os maiores índices no mês de setembro, sendo -120,7 mm e -206,3 mm.

E por fim, outro fator a ser destacado está na componente reposição hídrica, pois no cenário atual ocorreu no mês de novembro sendo 96,0 mm, enquanto no cenário curto prazo aconteceu nos meses de novembro e dezembro, totalizando 98,5 mm, já o cenário médio prazo repetiu a abrangência do cenário anterior, totalizando 99,8 mm e, findando, o cenário longo prazo apresentou uma reposição hídrica ínfima de 31,5 mm, abrangendo os meses de janeiro e dezembro.

5.9 Balanço hídrico Climatológico Thornthwaite e Mather – Caracterização Climática.

Com a aplicação da metodologia proposta por Thornthwaite para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, nos deparamos com uma vasta gama de tipologias climáticas, correspondendo a um total de 15 tipologias e, estas estão distribuídas entre as estações climatológicas abordadas, bem como, no cenário atual e nos cenários de projeções futuras, conforme representado pela tabela 61:

Tabela 61 – Classificação climática para as estações climatológicas do INMET da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

ESTAÇÃO	TIPOLOGIA CLIMÁTICA PARA OS CENÁRIOS			
	ATUAL	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO
EC01 - BRASÍLIA	B ₂ sB' _{4a} '	B ₁ sB' _{4a} '	C ₂ sA'a'	C ₁ d ₂ A'a'
EC02 - CATALÃO	C ₂ sA'a'	C ₂ sA'a'	C ₁ wA'a'	D ₂ dA'a'
EC03 - GOIÂNIA	B ₁ sA'a'	C ₂ sA'a'	C ₁ wA'a'	D ₂ dA'a'
EC04 - IPAMERI	B ₁ sB' _{4a} '	C ₂ sA'a'	C ₁ wA'a'	D ₃ dA'a'
EC05 - JATAÍ	B ₁ r ₂ B' _{4a} '	B ₁ r ₂ A'a'	C ₁ wA'a'	D ₃ dA'a'
EC06 - PARACATU	C ₂ sA'a'	C ₁ w ₂ A'a'	D ₃ wA'a'	D ₂ dA'a'
EC07 - PARANAÍBA	C ₁ wA'a'	C ₁ d ₂ A'a'	D ₃ dA'a'	D ₂ dA'a'
EC08 - PIRENÓPOLIS	B ₂ sA'a'	B ₁ sA'a'	C ₁ w ₂ A'a'	D ₃ d ₂ A'a'
EC09 - UNAÍ	C ₁ w ₂ A'a'	C ₁ wA'a'	D ₃ d ₂ A'a'	D ₂ dA'a'
EC10 - ARAXÁ	B ₂ r ₂ B' _{4a} '	B ₂ r ₂ B' _{4a} '	C ₂ sA'a'	C ₁ d ₂ A'a'
BHRP	B₁sA'a'	C₂sA'a'	C₁wA'a'	D₂dA'a'

Observação: O cenário atual (1991-2021), cenário curto prazo (2021-2040), cenário médio prazo (2041-2060) e cenário longo prazo (2081-2100).

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

A Estação EC01 – Brasília sofreu mudança significativa quanto a tipologias climáticas conforme pode-se observar pela tabela 61 passou de um tipo climático úmido e com déficit hídrico moderado durante o verão que contemplava os cenários atual e curto prazo, para um clima subúmido úmido que apresenta também um déficit moderado durante o verão no cenário médio prazo e, chegando a um tipo climático subúmido seco com pequeno excedente hídrico no cenário longo prazo.

Por conseguinte, a estação EC02 – Catalão passou também por alterações tipológicas, sendo que no cenário atual e curto prazo o tipo climático era o subúmido úmido com déficit hídrico moderado no verão, passando no cenário médio prazo para o clima subúmido seco e com excedente hídrico moderado no inverno e, no cenário longo prazo passou para o tipo climático semiárido e com excedente hídrico inexistente, fator esse extremamente preocupante e indicativo de atenção quanto as atuais formas de manejo regional, visto que, com possíveis alterações climáticas futuras, o desenvolvimento e ocupação da região se tornarão impossíveis.

Sendo assim, ao avaliarmos as estações EC03 – Goiânia e EC04 – Ipameri, no deparamos com praticamente a mesma alteração climática da estação EC02 – Catalão, embora cada cenário

apresentou uma tipologia distinta, sendo o cenário atual com tipo climático úmido com déficit moderado no verão. O cenário curto prazo apresentou o tipo climático subúmido úmido com déficit moderado no verão. Já o cenário médio prazo apresentou o tipo climático subúmido seco com excedente moderado no inverno. Por fim o cenário longo prazo apresentou o tipo climático semiárido com excedente inexistente, sendo estas outras regiões também dignas de atenção.

Enquanto a estação EC05 – Jataí não se difere muito das estações vistas anteriormente, sendo que somente no cenário curto prazo, ele manteve o mesmo tipo climático do cenário atual, sendo esse, um clima úmido e apresentando um pequeno déficit hídrico e, os próximos cenários médio e longo prazo se mantem iguais aos das estações EC03 – Goiânia e EC04 – Ipameri.

Nesse enfoque, ao avaliarmos a estação EC06 – Paracatu, nos deparamos com tipologias climáticas distintas para cada cenário, sendo que no cenário atual ocorreu o tipo climático subúmido úmido com déficit hídrico moderado no verão, já no cenário curto prazo houve o tipo climático subúmido seco com excedente hídrico elevado no inverno e, no cenário médio prazo houve tipo climático semiárido com excedente hídrico moderado no inverno e, por fim, tem-se o tipo climático semiárido com excedente hídrico inexistente.

A estação EC07 – Paranaíba, exibiu o cenário atual com o tipo climático subúmido seco com excedente hídrico moderado no inverno; no cenário curto prazo, houve o tipo climático subúmido seco com pequeno excedente hídrico, enquanto no cenário médio prazo houve o tipo climático semiárido com excedente hídrico inexistente e, já o cenário longo prazo apresentou também o tipo climático semiárido com excedente hídrico inexistente.

Já a estação EC08 – Pirenópolis, apresentou um tipo climático para os cenários atual e curto prazo, outro para o cenário médio prazo e outro para o cenário longo prazo, sendo o primeiro tipo climático úmido com déficit hídrico moderado no verão e, o segundo tipo climático

subúmido seco com excedente hídrico elevado no inverno e o último tipo climático semiárido com pequeno excedente hídrico.

Nota-se que a estação EC09 – Unai, apresentou também uma tipologia climática distinta para cada cenário proposto, sendo que, para o cenário atual apresentou o tipo climático subúmido seco com excedente hídrico elevado no inverno.

Já para o cenário curto prazo, este apresentou o tipo climático subúmido seco com excedente hídrico moderado no inverno, enquanto no cenário médio prazo contemplou o tipo climático semiárido com pequeno excedente hídrico e, findando houve o tipo climático semiárido com excedente hídrico inexistente.

Findando a análise das estações adotadas, contemplamos a estação EC10 – Araxá que abrangeu nos primeiros cenários, ou seja, cenário atual e curto prazo, o tipo climático úmido com pequeno déficit hídrico. Já para o cenário médio prazo houve o tipo climático subúmido úmido com déficit hídrico moderado no verão e no cenário longo prazo abrangeu o tipo climático subúmido seco com pequeno excedente hídrico.

Nota-se que se faz importante avaliar o consolidado das estações climatológicas abordadas para o desenvolvimento da presente tese, visto que assim conseguimos projetar o contexto geral da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, caracterizando-a assim climatologicamente.

Sendo assim, o cenário atual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba é caracterizado pela tipológica foi B1sA'a', tipologia esta que correspondente ao tipo climático úmido e com déficit hídrico moderado no verão. Posteriormente, no cenário curto prazo a tipologia muda para C2sA'a', embora ainda corresponda ao tipo climático subúmido úmido e, com déficit hídrico moderado no verão.

Para o cenário médio prazo a tipologia muda bem como a característica climática, sendo a tipologia C_{1wA'a'}, que caracteriza o tipo climático subúmido seco, possuindo excedente hídrico moderado no inverno.

Já ao avaliar o cenário longo prazo, depara-se com a tipologia D_{2dA'a'}, que gera preocupação para o contexto da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, pois referencia-se ao tipo climático semiárido sem a ocorrência de períodos de excedente hídrico.

Desta forma, buscando ainda mais ampliar a análise da caracterização climática da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, foi elaborado o quadro 5, que visa, apontar as estações climatológicas que são singulares a caracterização da bacia.

Quadro 6 – Comparativo dos cenários prognósticos com a tipologia do consolidado da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

ESTAÇÕES	CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO CURTO PRAZO	CENÁRIO MÉDIO PRAZO	CENÁRIO LONGO PRAZO
CONSOLIDADO DA BHRP	B _{1sA'a'}	C _{2sA'a'}	C _{1wA'a'}	D _{2dA'a'}
EC01 - BRASÍLIA				
EC02 - CATALÃO				
EC03 - GOIÂNIA				
EC04 - IPAMERI				
EC05 - JATAÍ				
EC06 - PARACATU				
EC07 - PARANAÍBA				
EC08 - PIRENÓPOLIS				
EC09 - UNAÍ				
EC10 - ARAXÁ				

Observação: O cenário atual (1991-2021), cenário curto prazo (2021-2040), cenário médio prazo (2041-2060) e cenário longo prazo (2081-2100).

Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Para o cenário atual, pode-se constatar que no total de 10 estações climatológicas somente a estação EC03 – Goiânia, foi singular a caracterização tipológica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, ou seja, correspondentes a tipologia B_{1sA'a'}.

Já o cenário curto prazo, apresentou um total de três estações singulares a tipologia da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, ou seja, a tipologia C2sA'a', sendo elas as estações EC02 – Catalão, EC03 – Goiânia e EC04 – Ipameri, fator esse até então justificado devido o estado de Goiás ter um número maior de estações contempladas. Sendo assim, no cenário médio prazo, observamos que as mesmas estações se repetem, embora houve o acréscimo da estação EC05 – Jataí, contemplando assim a tipologia C1wA'a'.

Por fim, o cenário longo prazo, cenário esse, já considerado anteriormente como o mais caótico, obteve um total de 5 estações singulares, para a tipologia climática D2dA'a', sendo estas as estações EC02 – Catalão, Ec03 – Goiânia, EC06 – Paracatu, EC07 – Paranaíba e EC09 – Unaí, vale realçar que ambas apresentaram em todas as análises anteriormente efetuadas características distintas das demais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo não se finda aqui. Espera-se que o conhecimento gerado venha, de alguma forma, contribuir para pesquisas futuras que tenham como objetivo avaliar quaisquer constituintes do balanço hídrico climatológico associando-o ao estudo de bacias hidrográficas, pois com o auxílio da proposta de Thornthwaite e Mather (1955), haverá o desenvolvimento de estratégias com subsídio necessário para intervir em diversos setores de planejamento urbano e/ou rural.

Chama-se a atenção quanto ao número de estações climatológicas disponíveis no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Embora seja um número bem reduzido, as estações climatológicas atenderam aos padrões avaliativos pré-determinados, possibilitando compreender particularmente cada uma das 10 estações climatológicas.

Outro ponto importante foi o fato de que o consolidado de todas as estações climatológicas possibilitou atingir a proposta de avaliar integralmente a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Sendo assim, ao analisar a variabilidade pluviométrica, verifica-se a existência de dois períodos bem definidos, o primeiro período contempla os meses que vão de outubro a abril e é denominado período chuvoso, enquanto segundo período considerado seco abrange praticamente os meses que vão de maio a setembro.

Neste enfoque, de acordo com os dados das estações climatológicas, constatou-se que a média pluviométrica acumulada anualmente na bacia hidrográfica do rio Paranaíba é de 1.485,9 mm, onde o período chuvoso apresentou um valor médio de 1.283,4 mm correspondente a aproximadamente 86,4% da precipitação anual, já os meses que abrangem a estação seca

registraram valor médio correspondente a 202,6 mm, representando assim, 13,6% da precipitação anual.

Por meio de análises geoestatísticas contemplando as séries temporais e/ou históricas pluviométricas, pode-se concluir que entre nas estações climatológicas adotadas a maioria apresentou TNSQ (tendência não significativa de queda, enquanto a estação EC01 – Brasília apresentou TNSA (tendencia não significativa de aumento) e a estação EC10 – Araxá, apresentou TSQ (tendencia significativa de queda). Resultados estes que tendem a indicar que há homogeneidade entre a maioria das estações climatológicas.

Já ao avaliar os dados de temperatura (máxima, média e mínima) concluiu-se que existem diferenças significativas entre as estações climatológicas, ou seja, a maior amplitude térmica foi contabilizada na estação EC05 – Jataí totalizando 13,9°C e a menor foi registrada na estação EC01 - Brasília totalizando 10,1°C.

Outro fator perceptível foi a diferença de aproximadamente 4,3° entre o menor registro de temperatura mínima 17,0°C verificado na estação EC01 – Brasília e o maior registro de temperatura máxima 31,3°C apresentado na estação EC07 – Paranaíba.

Nota-se também que as estações EC03 – Goiânia, EC06-Paracatu, EC07 – Paranaíba, EC08 – Pirenópolis, EC09 – Unaí e EC10 – Araxá, apresentaram temperaturas máximas ultrapassando os 31,0°C, fator este que chama atenção, pois acaba determinando áreas que merecem atenção quanto a impactos ambientais que possam vir a ocorrer.

Já o balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), com capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm, foi primordial pra entender a espacialização de seus elementos constituintes, bem como, compreender o cenário atual.

Por meio do consolidado das estações climatológicas, pode-se estimar como é a dinâmica hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, onde a temperatura manteve uma média mensal de 23,2°C, a precipitação totalizou 1.486,0 mm, a evapotranspiração potencial (ETP) com 1.164,5 mm, a evapotranspiração real (ETR) foi de 938,7 mm, a deficiência hídrica de 225,8 mm e o excedente hídrico de 547,3 mm.

Diante das análises pretéritas do balanço hídrico climatológico (BHC), foi possível efetuar projeções futuras de acordo com os cenários SSP2-4.5, propostos pelo AR6 do IPCC.

Para tanto, o cenário curto prazo que abrange 2021 a 2040, manteve a estimativa central de 1,5°C, já o cenário médio prazo que vai de 2041 a 2060, manteve a estimativa central de 2,0°C e o cenário longo prazo que vai de 2081 a 2100 apresentou a estimativa central de 2,7°C.

Desta forma, conclui-se que futuramente, o excedente hídrico tende-se a diminuir, em contrapartida a deficiência hídrica aumenta, tanto quantitativamente quanto sazonalmente, principalmente no cenário longo prazo.

Vale realçar que mediante a análise prognóstico foi possível constatar que o cenário longo prazo será formado por períodos de deficiência hídrica, fator este que indica uma provável desertificação da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Outro ponto pauta-se na avaliação regional entre as estações climatológicas, onde é perceptível que as regiões que abrangem as estações EC01 – Brasília e EC10 – Araxá, sendo estas regiões as mais propícias para se viver devido à pouca variabilidade do balanço hídrico climatológico se comparado aos cenários prognósticos das demais estações, onde ambos cenários tendem a ser cada vez mais catastróficos.

Mediante a importância da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba possui, a aplicação do balanço hídrico climatológico de acordo com a proposta de Thornthwaite e Mather (1955) permite

concluir que cada vez mais deve-se atentar quanto as intervenções antropogênicas, em qualquer cenário de abordagem, visto que a manutenção da vida está diretamente correlacionada com a disponibilidade de água.

Para tanto, quanto mais racional for a tomada de decisões, melhor será a adoção de práticas de manejo que auxiliem os diversos setores de planejamento, seja ele urbano e/ou rural, visto que em todas as estações climatológicas, apresentaram alguma mudança nos padrões relacionados a disponibilidade hídrica.

E desta forma a disponibilidade hídrica tende a se agravar ainda mais nos cenários médio prazo e longo prazo, ou seja, no cenário atual (1991 a 2021) e para a estação EC10 – Araxá (1991 a 2017), apresentaram somente algumas ocorrências pontuais, agora já nos cenários prognósticos estes apresentaram também aumento da retirada de água do solo, ampliando a deficiência hídrica a níveis alarmantes.

Conclui-se então que é fundamental analisar cenários prognósticos correlacionando-os as mudanças climáticas em diversas escalas temporais, o que permite compreender como ocorreu e ocorrerá transformações significativas nas dinâmicas globais, bem como estas podem interferir causando impactos nas dinâmicas antrópicas, naturais e nas relações estabelecidas entre o meio antrópico e o meio natural.

Utilizando a proposta de classificação de Thornthwaite (1948), foi possível definir a tipologia climática da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, onde o cenário atual é caracterizado com tipo climático úmido e com déficit hídrico moderado no verão. Posteriormente, há mudança no cenário curto prazo sendo o tipo climático subúmido úmido com déficit hídrico moderado no verão. No cenário médio prazo o tipo climático é subúmido seco com excedente hídrico moderado no inverno. Finalmente, constatou-se que no cenário longo prazo o tipo climático é semiárido e não ocorre em nenhum período o excedente hídrico.

Indiscutivelmente diante de todos os resultados alcançados, observa-se um grande passo com relação a análise pretérita e prognóstica de dados principalmente para bacias hidrográficas agrícolas, visto que, a posteriori pode-se efetuar metodologias correlativas entre os resultados aqui obtidos com dados hipsométricos, geológicos, geomorfológicos, ou seja, buscar uma melhor compreensão entre as características climáticas e regionais.

Outro fator a ser considerado extremamente relevante, foi o papel do Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGeo do curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, bem como de onde forneceram todo o apoio necessário para que a tese fosse desenvolvida.

Por fim, é inevitável, concluir que o trabalho de orientação feito pelo professor Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira, foi digno de aplausos e admiração, pois diante todas as dificuldades encontradas durante a execução da presente tese, o mesmo, nunca deixou de acolher e principalmente motivar quando mais precisei, gratidão ao meu eterno mestre e amigo.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ACALMO, J. *The SAS Approach: Combining Qualitative and Quantitative Knowledge in Environmental Scenarios. From Alcamo, J. (Ed.) Environmental Futures: The Practice of Environmental Scenario Analysis*. Netherlands: Elsevier, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00406-7](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00406-7).

AGUIAR NETTO, A. O.; MAGALHÃES, L. T. S.; SOBRAL, F. S. B.; GIACOMELLI, W.; FACCIOLI, G. G. Balanço hídrico na Bacia Hidrográfica do rio Siriri, Sergipe. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de recursos hídricos**, Campo Grande - MS.22 a 26 de novembro de 2009. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/jobs.php?Event=152>. Acesso: 09/08/2022.

AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Castelo do Piauí. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15902>

ALMEIDA F.F.M., HASSUI Y., Brito-Neves B.B., FUCK R.A. 1981. *Brazilian structural provinces: An introduction. Earth Sciences Review*, 17: 1-29. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9).

AMORIM, M. C. T. A. Clima urbano: estrutura térmica e ilhas de calor. In: AMORIM, M. C. T. A.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (Orgs.). **Climatologia urbana e regional**: Questões teóricas e estudos de caso. 1 ed. São Paulo: Outras expressões, 2013. Acesso em 12 abr 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18055/Finis6888>

AQUINO, C. M. S. **Estudo da degradação/desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe - UFSE. São Cristóvão, 2010. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/5430>.

AQUINO, C. M. S. Emprego do Método de Thornthwaite & Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato- Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 06, N. 01, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v06.1.p079-090>.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 322p.

BARROS, J. R. **A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo**. 220 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) – IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/86531>

BATCHELOR, P. *Models as metaphors: The role of modeling in pollution prevention. Water Resources Research*, V.14, N.3, P.243-251, 1994. Acesso: 04 set 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0956-053X\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0956-053X(94)90070-1)

BENINI, R. de M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 211- 222, jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.103114>

BOLFARINE, H. & BUSSAB, W. O. **Elementos de Amostragem**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

BUARQUE, S. C. Metodologia e Técnicas de construção de cenários globais e regionais. **Texto para Discussão nº 939**. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Brasília, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2865>.

CARVALHO, H. P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2008.tde-17072008-144808>

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Biosci. J**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 221-229, mar./abr., 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/8070>

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Escoamento superficial. In: CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: UFRJ Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia, 2006. Cap. 7. p. 1 23. Disponível em: DOI: [10.29327/5334422](https://doi.org/10.29327/5334422)

CARVALHO, J. W. L. T. Configuração urbana e balanço hídrico com aplicação do modelo *Aquacycle* na bacia hidrográfica do Rio Belém – Curitiba/PR. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Pará – UFPR. Curitiba/PR. 2016. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/45836>

CASTRO, F.; FERREIRA, V.; MENDES, P. (2016). **Processo de desertificação no município de Barreiras -BA: tendências pluviométricas e balanço hídrico climatológico**. II Simpósio Mineiro de Geografia e Contemporaneidades, IV Seminário de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Juiz de Fora/ MG. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358043533_PROCESSO_DE_DESERTIFICACAO_NO_MUNICIPIO_DE_BARREIRAS_-BA_TENDENCIAS_PLUVIOMETRICAS_E_BALANCO_HIDRICO_CLIMATOLOGICO

COSTA, M. H. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1995**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola. Engenharia na Agricultura, Caderno didático 19. 22 p. 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 2. ed. São Paulo: 2004, 2004.

CUNHA, L. K. da. Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 239p. 2004. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/672>

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n1p1-11>

D'ANGIOLELLA, G. VASCONCELLOS, V.L.D.; ROSA, J.W.C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 83-90. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.07.17.21/doc/83.pdf> Acesso em: 06 mar 2020.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.

DARDENNE M.A. 2000. **The Brasilia fold belt**. In: CORDANI U.G.; MILANI E.J.; THOMAZ FILHO A. (Eds) *Tectonic Evolution of South America*. In: *International Geological Congress*, 31, Rio de Janeiro. 231p

DUINKER, P. N.; GREIG, A. L. *Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future*. **Environmental Impact Assessment Review**, v.27, p. 206-219, 2007. Acesso: 12 abr 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.11.001>

ELOI, C. M. A. **Enquadramento das 'zonas de vida' de Holdridge na classificação climática de Minas Gerais**. 2001. Tese (Magister Scientiae) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.11.001>

EHLERS, R. S. Análise de Séries Temporais. 5ª ed. 2009. Disponível em: <http://www.icmc.usp.br/~ehlers/stemp/stemp.pdf>. Acesso em 15: ago 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos hidroelétricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2006. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-ambiental-integrada-aa-i>. Acesso em: 13 ago 2022.

FABRES, T. M. **Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS**. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-24062009-091549>

FACCO, A. G. **Modelagem do Balanço Hídrico em Microbacia Hidrográfica com Plantio de Eucalipto**. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. UFV. 2008. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/c4e76cfa-c629-46b9-b27f-ee922ada1f73>.

FAGUNDES, H de O. **Modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias com apoio de dados in situ e sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do

Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre. 2018. 201 f. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/175012>

FAYAL, M. A. de A. 2008. **Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p. Disponível em: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.12169>.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNIO, J. D. Análise das precipitações mensais da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no Semiárido Pernambucano, usando o método de Wards. **Boletim Goiano de Geografia**, v.28, n.2, p.75-88, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/bgg.v28i2.5724>

FERNANDES, D. S., FOSTER, P. R. P. **Cálculo da Evapotranspiração Potencial através do Método de Thornthwaite e Comparação com dados de Reanálise de ETP do NCEP para a Cidade de Pelotas**. Pelotas, 2005. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/152/a79f1be53bbab7a4f6c8f9af06f8d2ad_df4ba78c194b4356ba9b291cbd4bd6ef.pdf

FERREIRA, A. G., **Balanço Hídrico para cultura do café arábica no município de São Domingos das Dores – MG**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto Estadual de Ciências Biológicas. - 2014. Acesso: 21 nov. 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/VRNS-9T5K5F>

FILHO, G. M. M.; ANDRADE, R. S.; JUNIOR, J. C. Z.; FILHO, L. N. L. M. Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais, Canoas**, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012. ISSN: 1981-8858. Acesso: 15 mar 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18316/268>

FLAUZINO, F. S. SILVA, M. K. A. NISHIYAMA, L. ROSA, R.. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1): 75-91, abr. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100006>.

GALVÍNIO, J.D *et al.* LAI Improved to Dry Forest in Semiarid of the Brazil. **International Journal of Remote Sensing Application**, v. 3, n. 4, p. 193, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.14355/ijrsa.2013.0304.04>.

GAYATHRI, K. D.; GANASRI, B. P. DWARAKISH, G. S. *A review on hidrological models*. **Aquatic Procedia**, 2015 v.4 pp. 1001-1007. ISSN: 2214-241X. Acesso: 12 abr 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>

GETIRANA A, ESPINOZA J, RONCHAILE J R (2011) *Assessment of different precipitation datasets and their impacts on the water balance of the Negro River basin*. **Journal of Hydrology** 204(3-4):304-322. Acesso: 12 abr 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.037>

GOMES, F. D. G.; FUZETO, I. M. R.; PRATES, R. P. Análise multitemporal do clima urbano em Palmas, Estado do Tocantins –Brasil. **Colloquium Exactarum**. v. 12, n 2, Abr-Jun. 2020, p.1 –14. Disponível em: <https://doi.org/10.5747/ce.2020.v12.n2.e314>

JESUS, J. B. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju- SE. **Scientia Plena**, v 11, n 5. 2015. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/2161>

HASUI, Y. - 1969 - "O Cretáceo do Oeste Brasileiro" – **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. , 18(1) :39-56, São Paulo-SP . Disponível em: http://boletim.siteoficial.ws/pdf/1969/18_1-39-54.pdf

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998. 757p.

HOLANDA, R. M., MEDEIROS, R. M., SABOYA, L. M. F., FRANÇA, M. V., NETO, W. C. R., ARAUJO, W. R. Variabilidade de capacidade de campo no balanço hídrico na área da unidade acadêmica do cabo de Santo Agostinho – PE, Brasil. **RECIMA21 Revista Científica Multidisciplinar** ISSN 2675-6218, 2(8), e28576. Acesso em: 07 abr 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i8.576>

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v.2, n.2, p.33-46. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.25>

JUNIOR, M.; DUARTE, A.; SILVA SILVEIRA, C.; CHAGAS VASCONCELOS JÚNIOR, F.; GUIMARÃES, S. O.; & COSTA, J. M. F. *Thornthwaite Climate Classification for Brazil Under IPCC-AR5 Climate Change Scenarios*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(4), 647-664, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/66750>

KENDALL, M. G., **Rank Correlation Methods**, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975

KUMMEROW, C., SIMPSON, J., THIELE, O., BARNES, W., CHANG, A. T. C., STOCKER, E., ADLER, R. F., HOU, A., KAKAR, R., WENTZ, F., ASHCROFT, P., KOZU, T., HONG, Y., OKAMOTO, K., IGUCHI, T., KUROIWA, H., IM, E., HADDAD, Z., HUFFMAN, G., FERRIER, B., OLSON, W. S. (2000) *The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit*. **Journal of Applied Meteorology** 39:1965-1982. Acesso em: 05 jun 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<1965:TSOTTR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1965:TSOTTR>2.0.CO;2)

LOPES, I.; MELO, J. M. M.; LEAL, B. G.; Espacialização da temperatura do ar para a região do submédio São Francisco. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 177-193, jan./mar., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p177-193>.

LOU, R. F. 2010. **Modelagem Hidrológica Chuva-vazão e Hidrodinâmica Aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha/RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRJ/COPPE, 174p. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/14335959/modelagem-hidrologica-chuva-vazao-e-ufrrj>

MACIEL, S. A. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil**. 2016. 213 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2017.129>

MAIA, C. B. **Balanço Hídrico Climatológico distribuído como suporte a decisão para ações de restauração florestal na bacia do rio Piracicaba**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/SP. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2016.tde-28042016-141724>

MAIDMENT, D. R. *GIS and hydrologic modeling*. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T.; ed. **Environmental modeling with GIS**. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 14, p. 147-167. Disponível em: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3730/1/RR-94-02.pdf>

MANN, H. B., *Non-parametric test against trend*, *Econometrica*, 13, 245-259, 1945. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1907187>.

MASSON-DELMOTTE, V. *The IPCC; Le GIEC*. França, 2014

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, B. D. B.; BARROS, A. S.; NETO, J. D.; SABOYA, L. M.; F. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.3 (2020) 973-982. Acesso em: 05 abr 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p973-982>.

MEDEIROS, R. M.; BANDEIRA, M. M. Balanço Hídrico Climatológico, em Decorrencia do Aquecimento Global, no Município de Picuí - Semiárido Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.01, p. 59-72. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i1.232757>.

MENDES SILVA, M.; FERREIRA, V. O. Duração da estação chuvosa e ocorrência de veranicos na bacia do Rio Paranaíba. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. V. 29. P 100 a115. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102096>

MENDES, P. C. QUEIROZ, A. T. Caracterização climática do município de Ituiutaba-MG. In: PORTUGUEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Org.). **Geografia do Brasil Central: enfoques teóricos e particularidades regionais**. Uberlândia: Assis Editora, 2011. P. 333-354.

MEDRI, W. (2011) **Análise Exploratória de Dados**. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Londrina, Paraná. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~benitoag/apostilamedri.pdf>

MIRO, J. M. R.; LIMA, V. S.; CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N. O balanço hídrico climatológico como subsídio ao planejamento e gestão da lagoa feia na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Geonorte**, Manaus - BRA, v. 1, n. 5, p. 1060-1069, 2012. Disponível em: [v. 3 n. 8 \(2012\): out./. Edição Especial 2: Climatologia Geográfica](https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p973-982).

MONTEIRO, C. B.; RAMOS, M. F.; ESPÍNDOLA, G. M.; SILVA, C. E.; BEZERRA, A. A. Efeito da urbanização sobre a infiltração e o escoamento superficial na cidade de Teresina – PI. **Anais: XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas**. Porto Alegre, RS. 2020. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7101>

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004

MORAES, S. L. de, & GALVANI, E. Balanço Hídrico Climatológico no Município de Ponta Grossa, Pr: aportes para o Planejamento Agrícola e Hidrológico. **Revista GEONORTE**, 3(9), 987 –. Disponível em: Recuperado de www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/Eee. Acesso em: 04 ago 2021.

MORAES, J. M. 2003. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8(1):61-70. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n1.p61-70>.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; MEDEIROS, M. P. M. A. Déficit hídrico: Efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. Especial, p. 114-129, 2014.

MOREIRA, I. A. 2005. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 81p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/2576>.

MORIASI, D. B.; WILSON, B. N.; DOUGLAS-MANKIN, K. R.; ARNOLD, J. G.; GOWDA, P. H. *Hydrologic and water quality models: use, calibration, and validation*. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, Mich., v. 55, n. 4, p. 1241-1247, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.42265>

MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica**. São Paulo: Saraiva. 2013.

NETO, P. T. **Ecopolítica das Mudanças Climáticas: o IPCC e o Ecologismo dos Pobres**. (Tese de Doutorado). Ciências Políticas. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo/SP. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.8.2008.tde-09102008-175152>

NÓBREGA, R. S. (2010). **Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler**. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, 3, 18-22. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v3i1.232646>

NISHIJIMA P. S. T. **Petrografia e geoquímica dos Kimberlitos Forca e Facão. Província Ígnea do Alto Paranaíba**. Trabalho de Conclusão de Curso do IG UNICAMP, 52p.

OBSERVATÓRIO DE BIOECONOMIA. **IPCC/AR6 – impactos, adaptação e vulnerabilidade**. Fundação Getúlio Vargas (FGV), Escola de Economia de São Paulo (EESP). Disponível em: https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ipcc_-_ar6_-_impactos_adaptacao_e_vulnerabilidade.pdf. Acesso em 23 dez 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. IPCC AR6, WG1: resumo comentado. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6-FACTSHEET_FINAL.pdf. Acesso em 23 dez 2022.

OBSERVATÓRIO HISTÓRICO GEOGRÁFICO. **Ciclo hidrológico**. Disponível em: <http://obshistoricogeo.blogspot.com/2016/02/ciclo-hidrologico-ou-da-aguaomovimento.html>. Acesso em: 04 ago. 2021.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agrônomo Ceres. 440p. 1981.

PEREIRA, A. G. B.; MARASCA, I.; SOLINO, A. J. S.; SANTOS, G. O. Balanço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás. *Científic@ Multidisciplinary Journal* – v.6, n.1, pp 16 – 33. ISSN 2358-260X. 2019..p26-33. Acesso em: 14 nov 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2019v6i1>

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., & SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. **Guaíba**: Agropecuária. 2002.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Edição revisada e ampliada, Piracicaba: USP, p. 191, 2007.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v15n2.p143-156>.

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO PARANAÍBA- PRHBP. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2011. **Rp- 03. Parte A**. Agência Nacional de Águas- ANA contrato nº 012/ANA/2010. Disponível em: <https://www.pirhparanaiba.com.br/>

QUIRINO, D. T.; JÚNIOR, A. J.; CASAROLI, D.; SOUZA, J. M. F.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P. E. Balanço hídrico climatológico da cultura da cana-de-açúcar via sensoriamento remoto em Santo Antônio de Goiás-Go. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017**, Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/balanco-hidrico-climatologico-da-cultura-da-cana-de-acucar-via-sensoriamento-remoto-em-santo-antonio-de-goias-go>. Acesso em: 11 abr. 2022.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte, abr. 2003. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. Sessão Técnica Oral. (no prelo). Disponível em: <http://martesid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35/doc/@sumario.htm>

RIBEIRO, J. F; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. *et al* (Org.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2008, Cap.6, p. 153-205. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/186922/1/CERRADO-Ecologia-e-flora-VOL-1-152-213.pdf>

RICCOMINI, C.; NEVES, F.A.P.S.; TURCQ, B. 1992. Astroblema de Colônia (São Paulo, Brasil): estágio atual de conhecimento. **Congresso Brasileiro de Geologia**, 37. SBG. Roteiro de Excursão v.3. 15 p. Disponível em: <https://sigep.eco.br/sitio116/sitio116.pdf>.

ROCHA, V. M. Um breve comentário a respeito do IPCC AR". Revista: Entre Lugar. V. 13, n.24, 2021-ISSN 2176-9559. REL/DOI 10.30612. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/15253/8471>. Acesso em: 15 fev 2022.

RODRIGUES, D. B. B.; MENDIONDO, E. M. Bacias hidrográficas: caracterização e manejo sustentável. In: CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013. p. 47 74. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002472285>

RODRIGUES, J. S.; SILVA, M. G. G.; SOUSA, J. S. C.; SIMÕES, W. L.; LORENZO, V. P. Tensiometria e balanço hídrico climatológico no manejo de irrigação do feijão-caupi "BRS Pujante. **Revista Semiárido De Visu**, Petrolina, v. 7, n. 3, p. 294-305, 2019. <https://doi.org/10.31416/rsdv.v7i3.79>.

ROSSATO, M. S. (2011). **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. (Tese Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROSENBERG, M.; SYRBE, R.; VOWINCKEL, J.; WALZ, U. *Scenario Methodology for Modelling of Future Landscape Developments as Basis for Assessing Ecosystem Services*. **Landscape Online**, v. 33, p. 1-20, 2014. Acesso: 12 abr 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3097/LO.201433>.

RUTKOWSKI, E. A. **Desenhando a bacia ambiental – Subsídios para o planejamento das águas doces metropolitan(izad)as**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.16.1999.tde-13032012-113801>.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudança, variabilidade e ritmo climático. **Revista Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 51- 63. 2003. Disponível em: https://doi.org/10.62516/terra_livre.2003.325

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE**, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19. Acesso: 12 dez 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v2i3.232624>.

SANTOS, D. P. **Monitoramento e modelagem de processos hidrológicos como base para a gestão de recursos hídricos em região semiárida**. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17400>

SANTOS, V. O. FERREIRA, V. O., ROSOLEN, V. Tendências Fluviométricas e Pluviométricas em Sub-bacias Hidrográficas da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.10, p. 74-94, ago. 2012. Acesso em: 12 jan. 2021.

SANTOS, D. C. **Climatologia da pluviosidade na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.386>.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balanço Hídrico Climatológico no Brasil**. Esalq/Usq – Piracicaba, 2009.

SHUTTLEWORTH, W.J. *Corrections for the effects of background concentrations change and sensor drift in real-time eddy correlations systems*. **Boundary Layer Meteorology**, v.42, p.167-180. 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00123811>.

SILVA, A. L. C. **Estudo do balanço hídrico na bacia do Rio Pajeú utilizando o modelo SWIM**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco – UFPE. Recife/PE, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/37037>

SILVA, L. P. E. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.18764/2446-6549.2019.11617>

SILVA, J. M. A. **Modelo hidrológico para o cálculo do Balanço Hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. UFV. 2002. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/dee13333-41b7-45ef-bf40-af407dc48f09>

SILVA, P. D.; MARTINS, J. V. S.; ARAÚJO, D. B., BORGES, P. F. Balanço Hídrico Climatológico como ferramenta ao planejamento agropecuário na região de Sobral- CE. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, volume 22, nº1. 2020. Acesso em: 12 dez 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i1.3129>

SILVA, G. C. DA. **Mudanças no uso do solo e comportamento das vazões na bacia do Paranaíba – Brasil**. (DISSERTAÇÃO MESTRADO). - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2017.364>

SILVA, G. C. DA; FERREIRA, V. O. (2019). Uso e Ocupação do Solo e Cenário Tendencial de Vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 12. 139-159. 10.26848/rbgf.v12.1.p139-159. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p139-159>.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. Cap. 2. p. 36-51.

SINGH, V. P.; **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publication, 1995, 1130 p.

SONG, X., ZHANG, J., ZHAN, C., XUAN, Y., YE, M. & XU, C. (2015) *Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications*. *Journal of Hydrology*. 523(225), pp. 739–757. Acesso: 14 jun 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.013>.

SOROOSHIAN, S. *et al.* *Hydrological Modelling and the Water Cycle: Coupling the Atmospheric and Hydrological Models*. **Berlin: Springer Science & Business Media**, v. 63, 2008. 291 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77843-1>

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Simulação do Balanço Hídrico para a cultura do cafeeiro nas regiões de Lavras e Uberlândia. *Scientia Agraria*, vol. 8, núm. 3, pp. 291-301. ISSN: 1519-1125. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99516570011>. Acesso em: 15 mar 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rsa.v8i3.9509>

TUCCI, C. E. M.; CAMPANA, N. A., 1993: Simulação Distribuída com IPH II: nova versão. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 10, Gramado-RS. Rio de Janeiro: ABRH, v. 3, p. 495-504, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F.S. Evaporação e evapotranspiração. In: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia, ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p.31-33, out. 2003.

THORNTHWAITE, C. W. (1948) *An approach toward a rational classification of climate*. **Geogr Rev** 381:55–94. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/210739>.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. (1955) *The water balance*, *Publications in Climatology*, vol 88. *Laboratory of Climatology, Climatologic Dresel Institute of Technology*, pp 1–104.

URUNG R. 1992. *The Supercontinent Cycle and Gondwana land assembly: component cratons and the timing of suturing events*. **Journal of Geody Namics**,16:215-240. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(92\)90011-G](https://doi.org/10.1016/0264-3707(92)90011-G).

VALE, T. M. C. **Influência dos extremos climáticos e do balanço hídrico na produtividade agrícola** Tese (Doutorado em Ciências Climáticas). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal/ RN. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/c3e81caf-bc2d-499d-a3c1-84307d10a766>

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449 p.

VERTESSY, R. A.; HATTON, T. J.; SHAUGHNESSY, P. J.; JAYASURIYA, M. D. A.. *Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model*. **Journal Hydrology**, vol. 150, p. 665-700, 1993. Acesso: 12 abr 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90131-R](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90131-R)

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede**. Uma visão analítica na metodologia do uso dos recursos hídricos. Editora: EdiPUCRS. Porto Alegre, 2007. Acesso em: 14 jan. 2021. Disponível em: <https://ebooks.pucrs.br/edipucrs/acessolivro/livros/planetaagua.pdf>

WEI, W. (2006). *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. New York: Addison Wesley. Disponível em: <https://civil.colorado.edu/~balajir/CVEN6833/lectures/wwts-book.pdf>

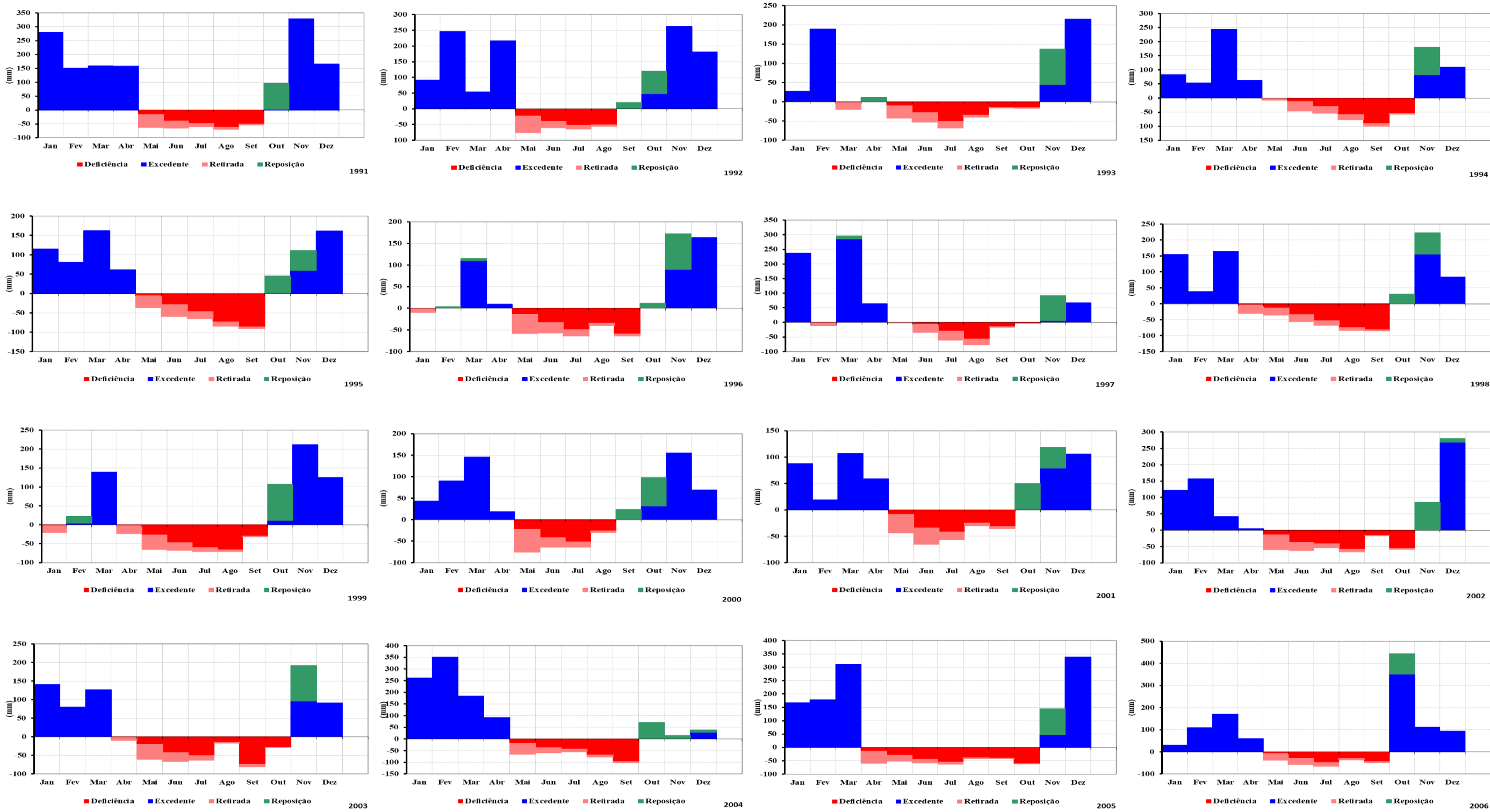
WILKINSON, A.; EIDINOW, E. *Evolving practices in environmental scenarios: a new scenario typology*. **Environmental Research Letters**, p. 1-11, 2008. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/4/045017>. Acesso: 12 abr 2022.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, n. 3, p. 621-33, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300015>

YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T., 1990. *Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan*. In: *Duisberg Symposium, 1988. Hydrological Process and Water Management in Urban Areas*, IAHS, p175-183. International Association Sciences Publication 198.

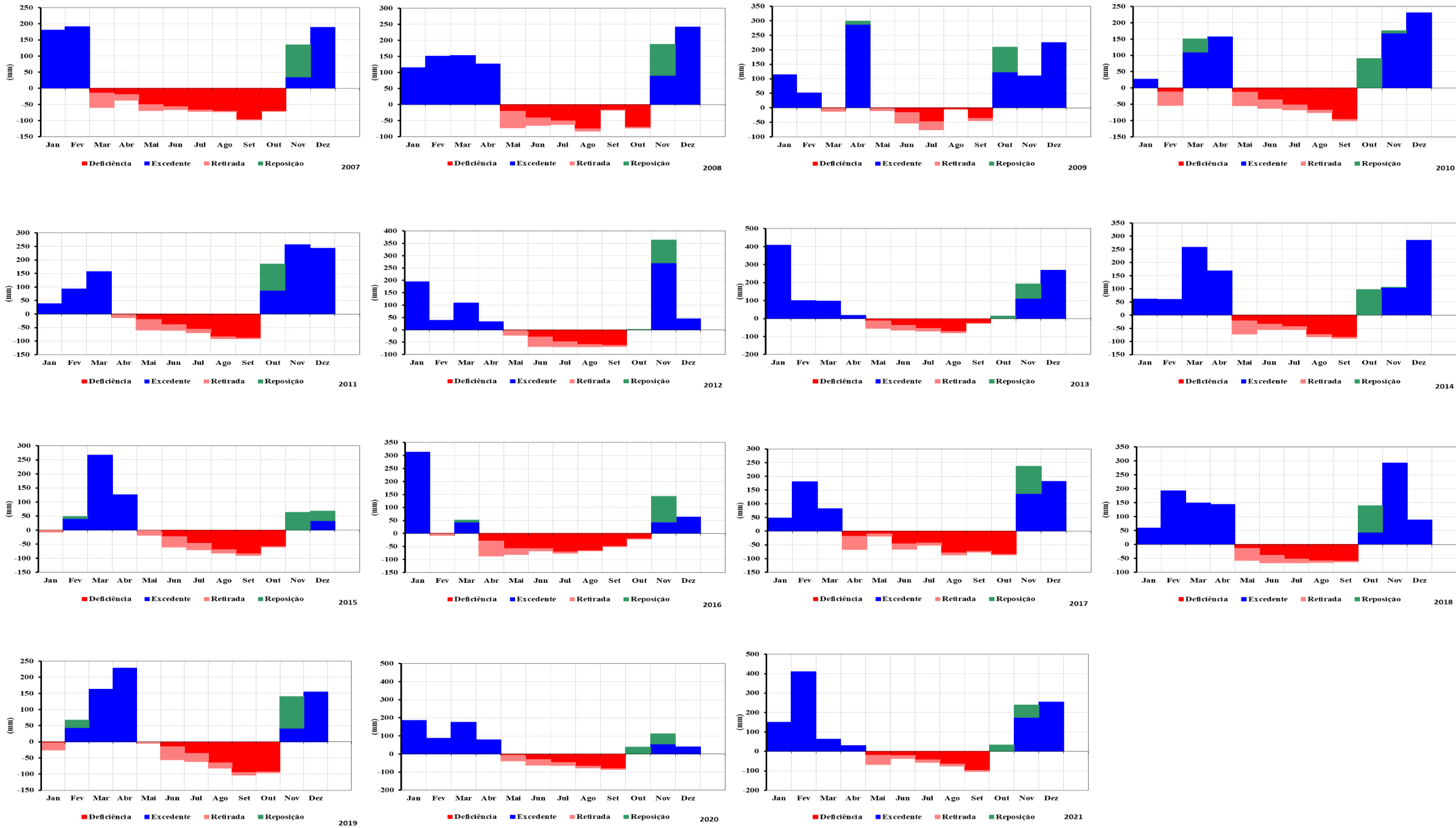
8 ANEXOS

Anexo 1 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



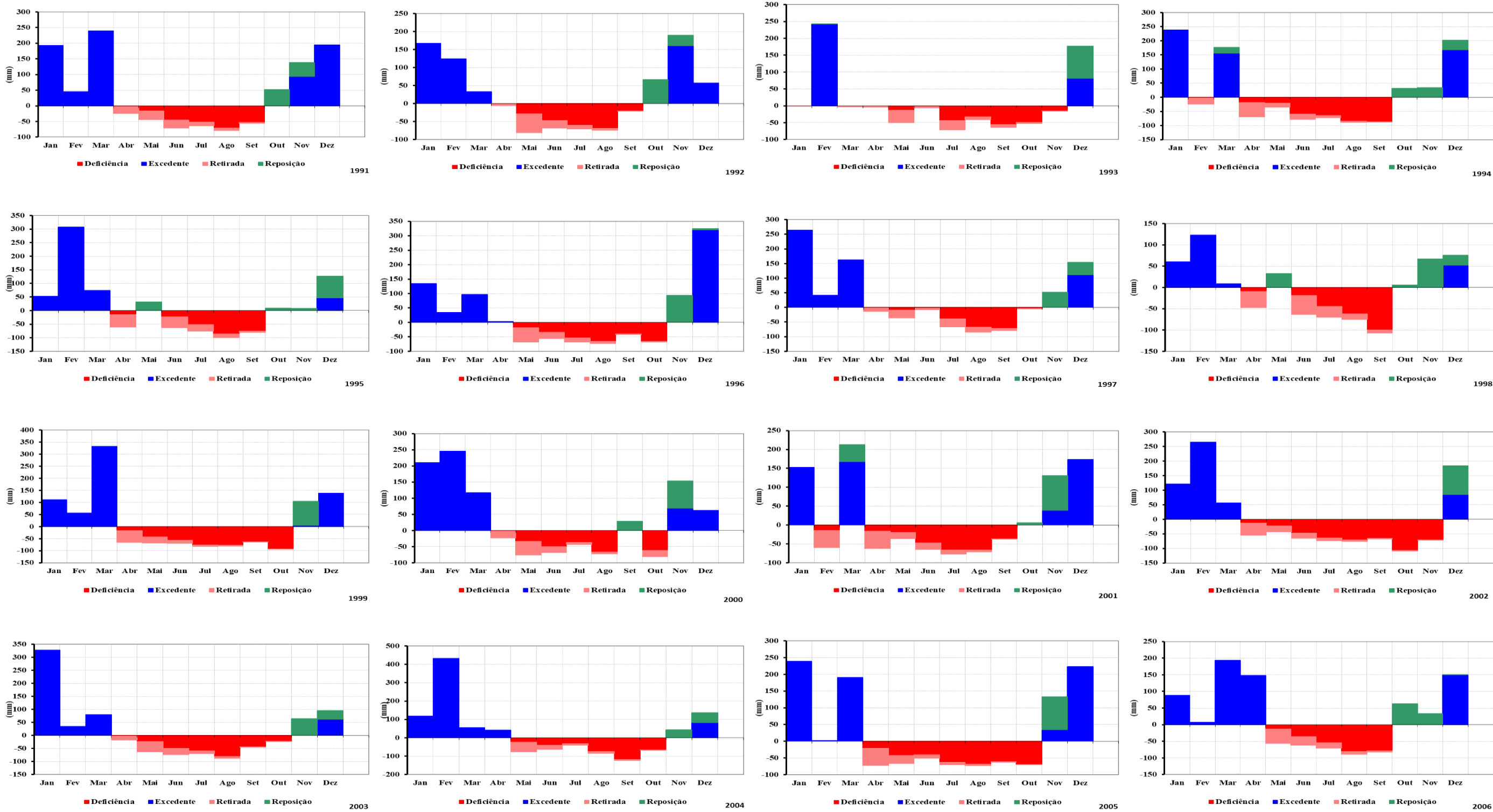
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 2 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC01 – Brasília, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



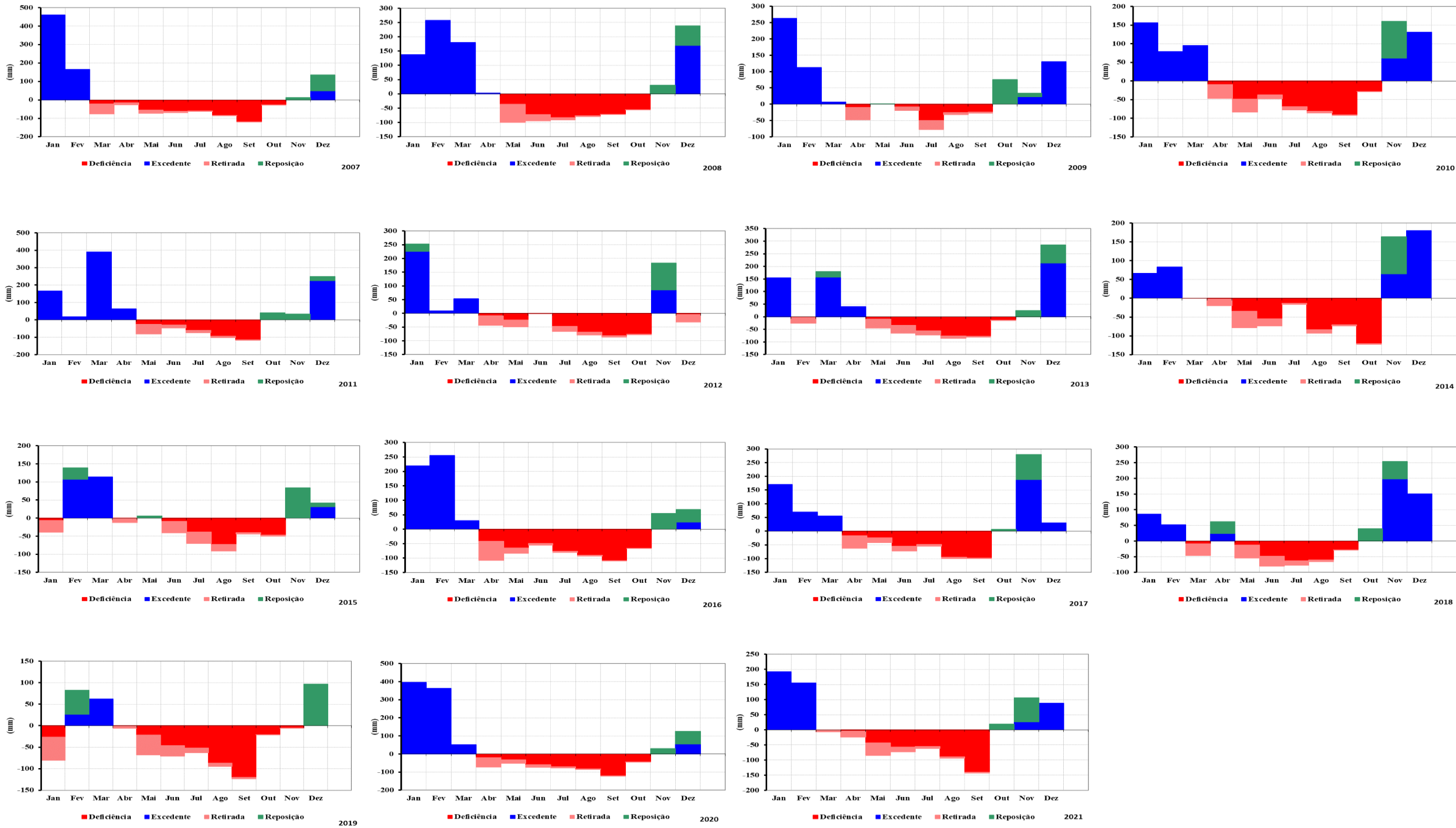
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 3 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



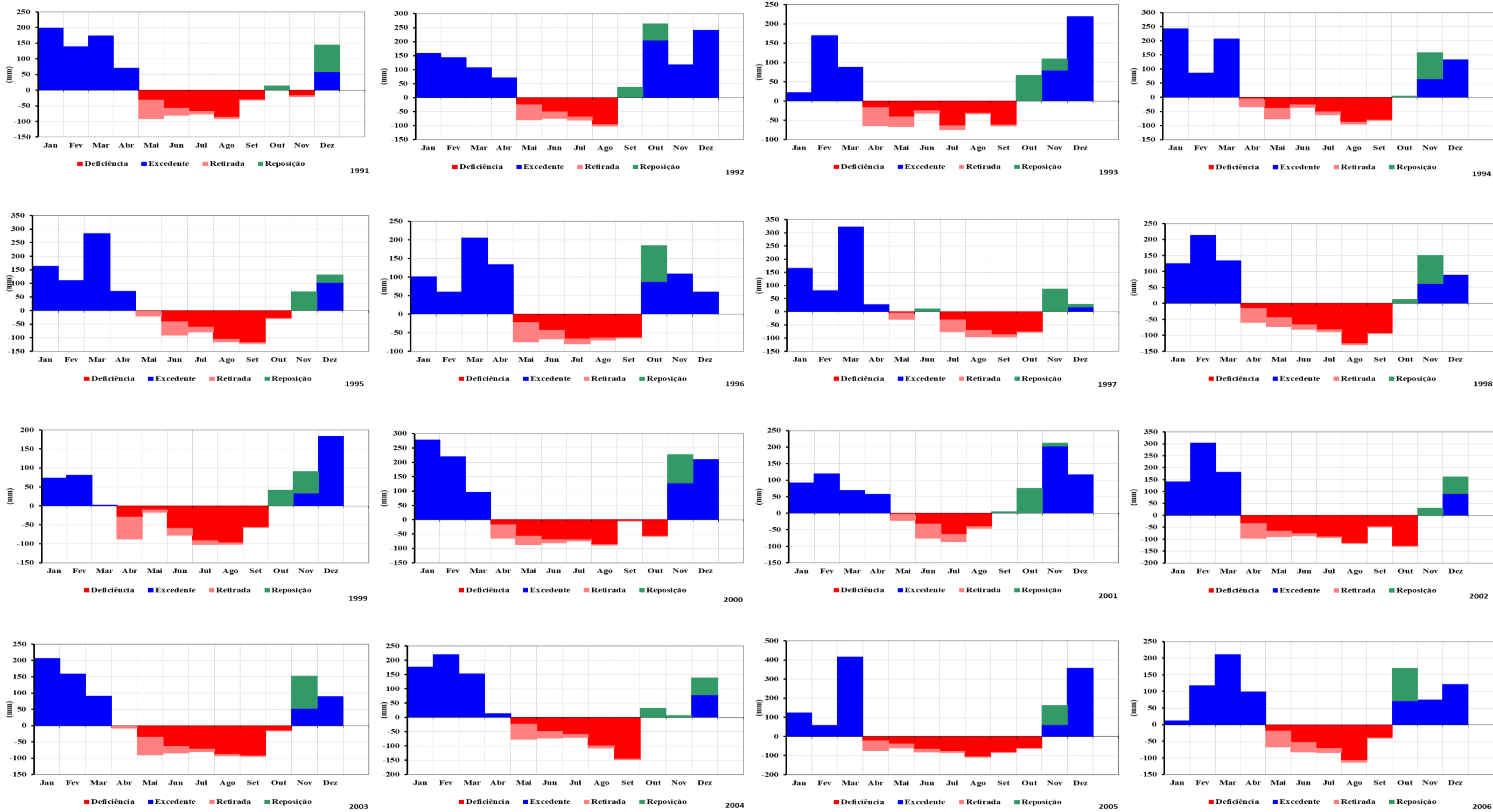
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 4 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC02 – Catalão, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



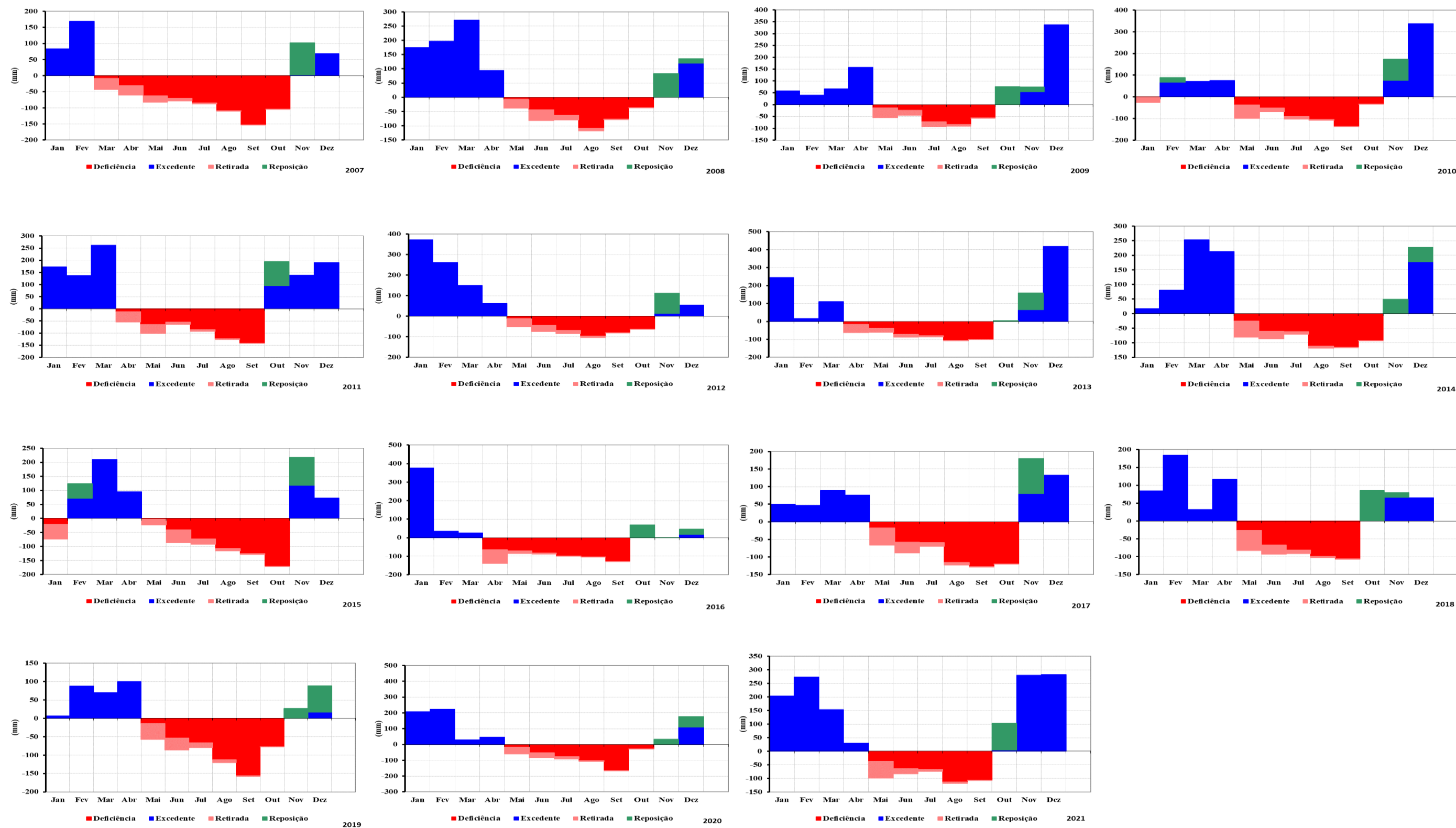
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 5 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



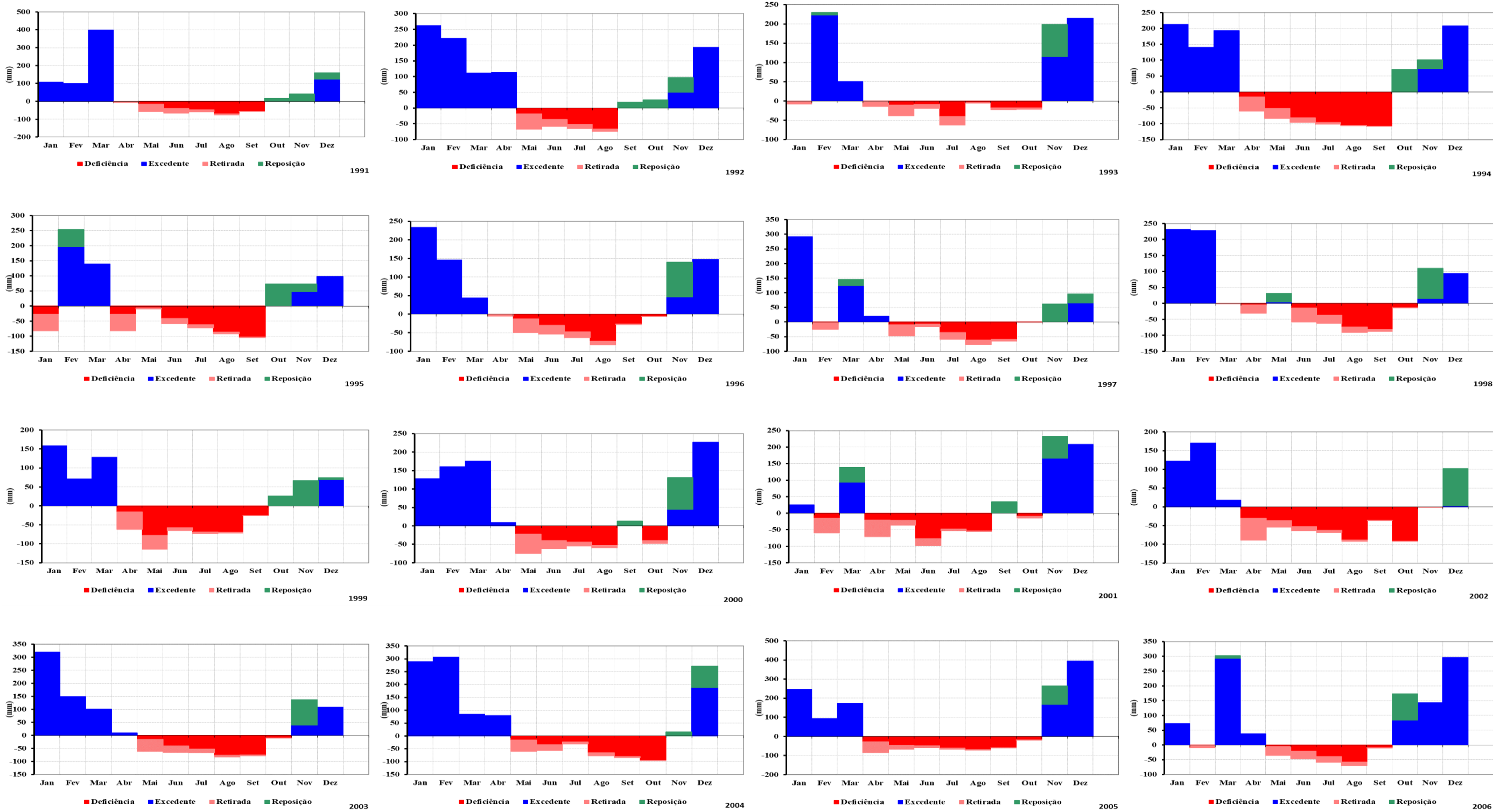
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 6 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC03 - Goiânia, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



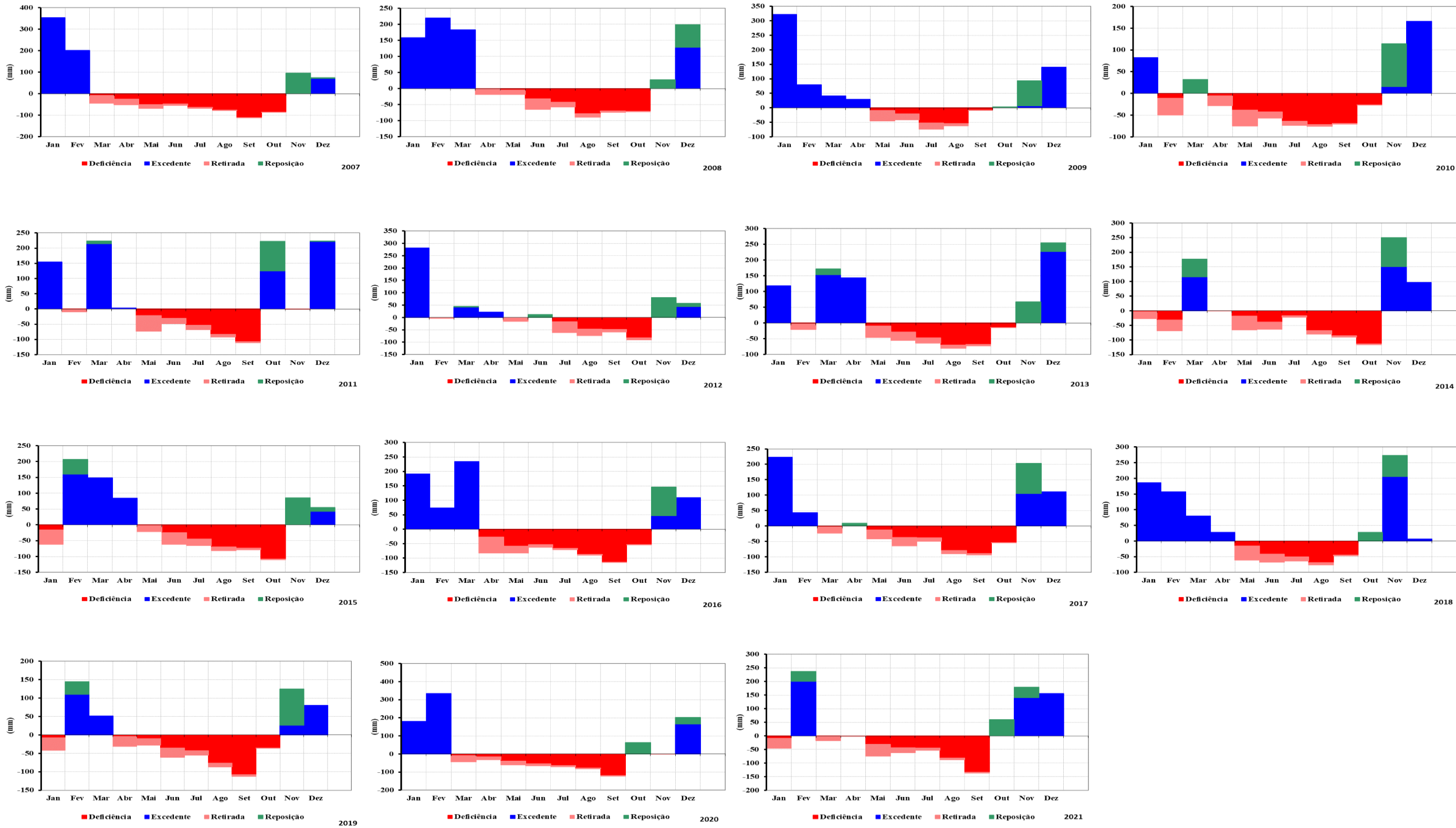
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Anexo 7 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



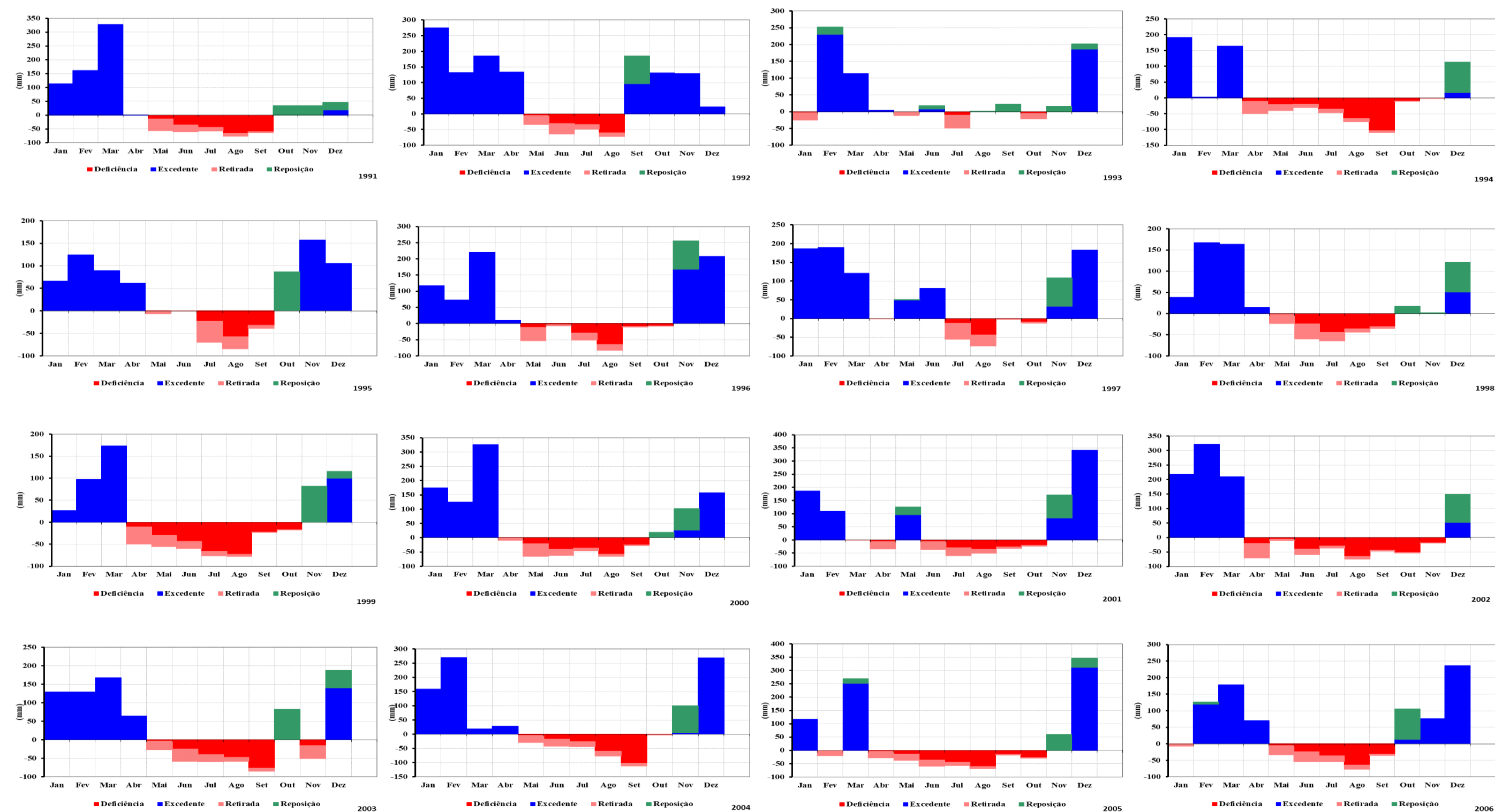
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 8 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC04 – Ipameri, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



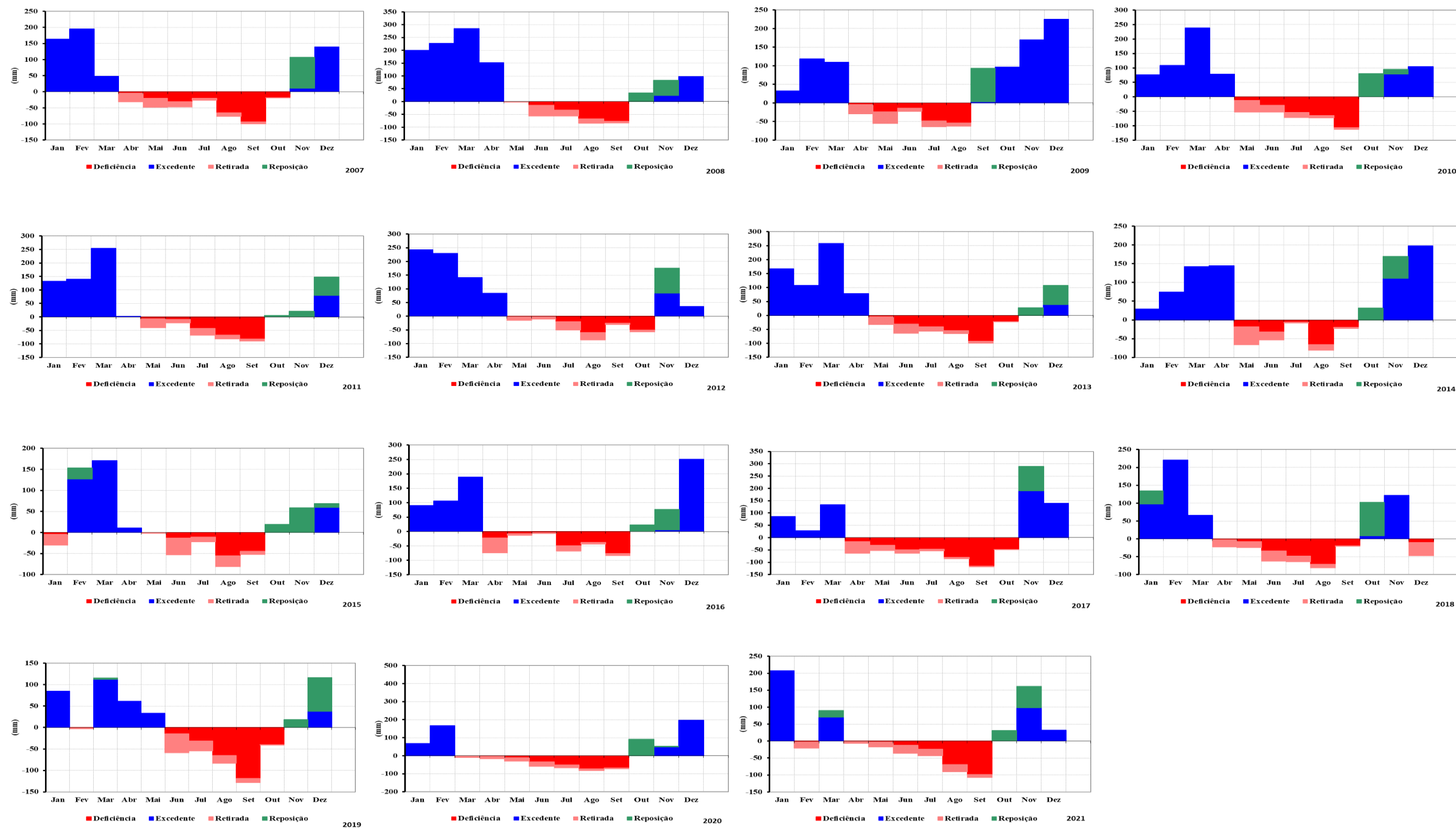
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 9 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



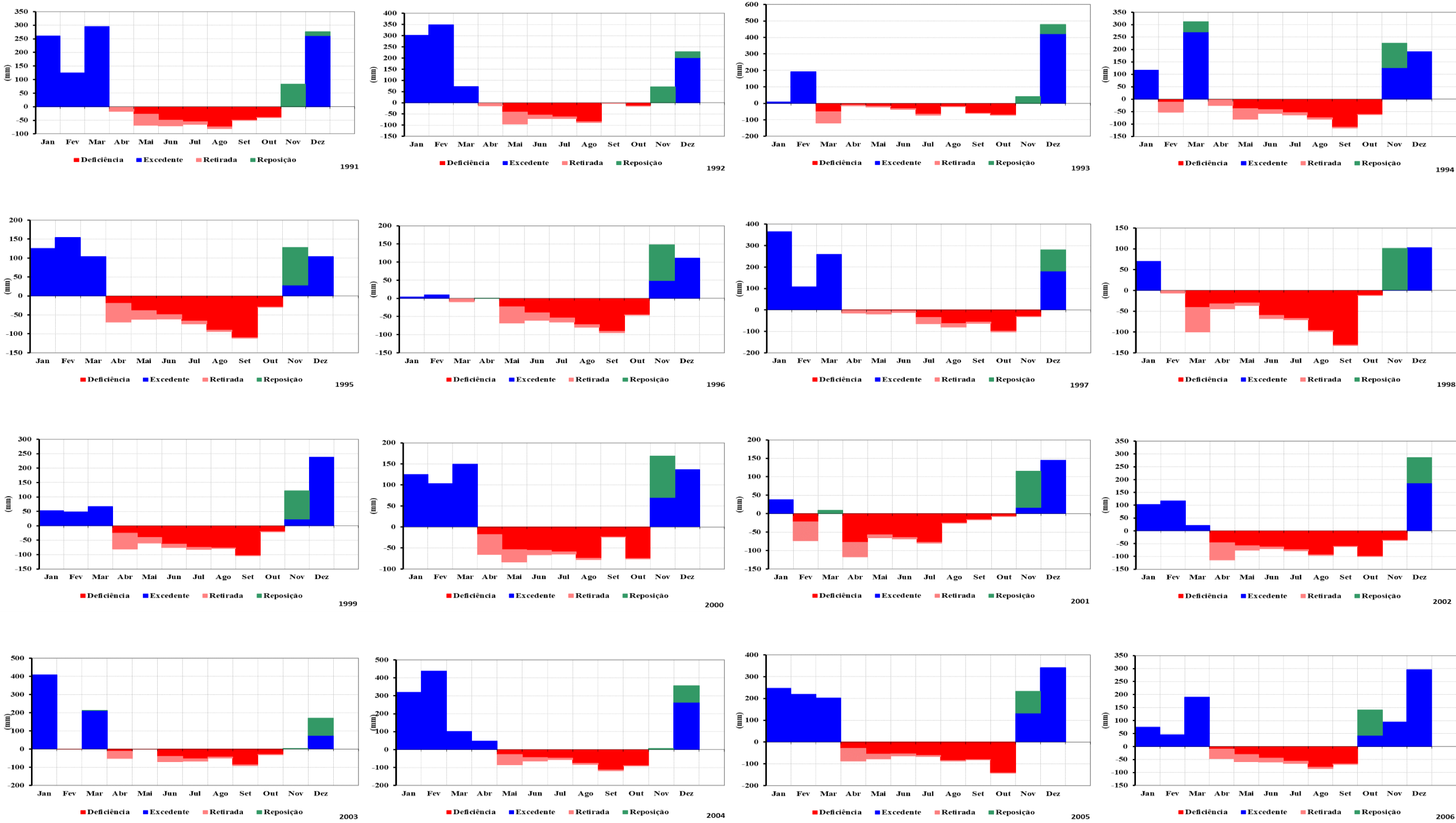
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 10 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC05 - Jataí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



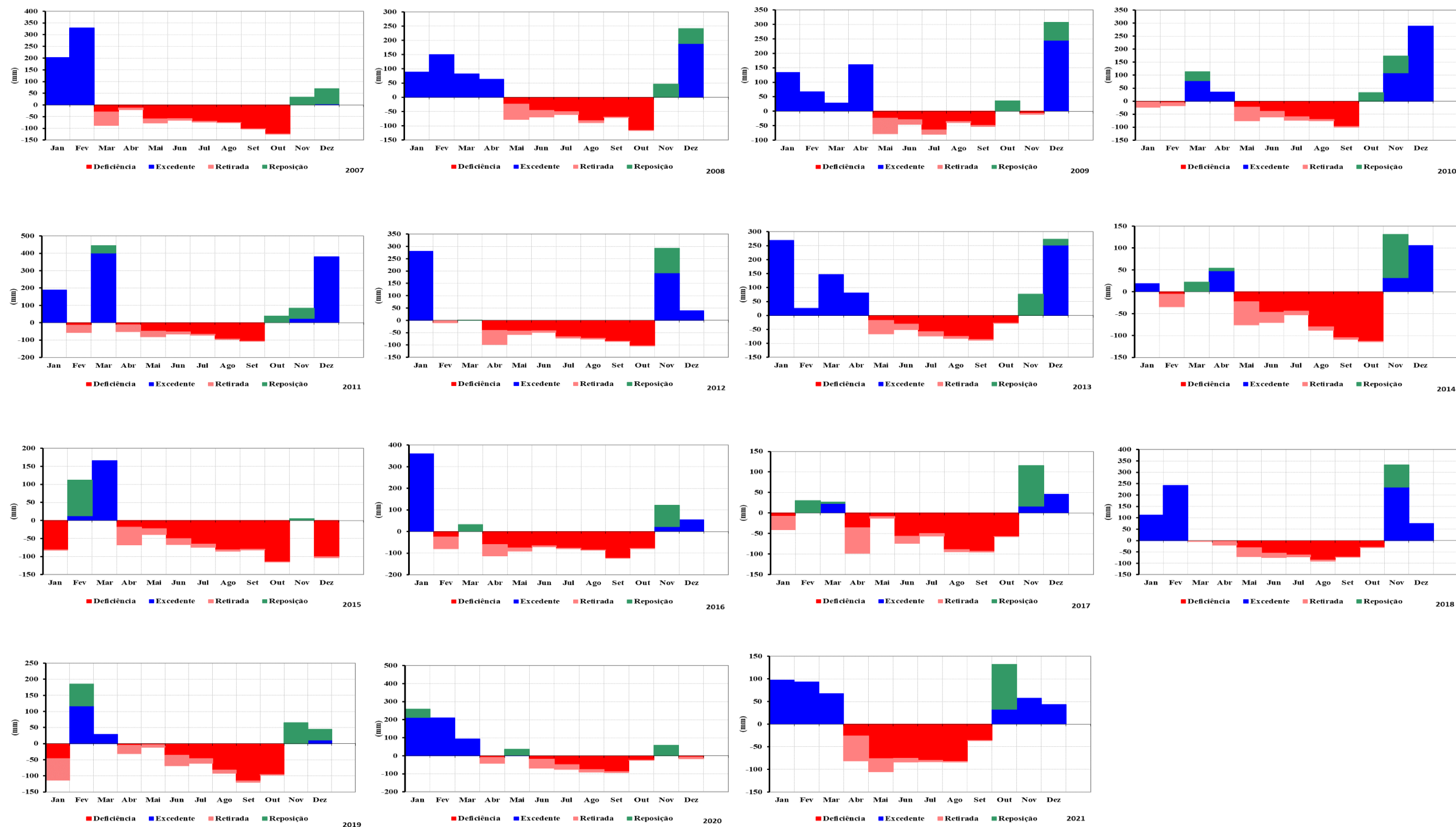
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Anexo 11 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



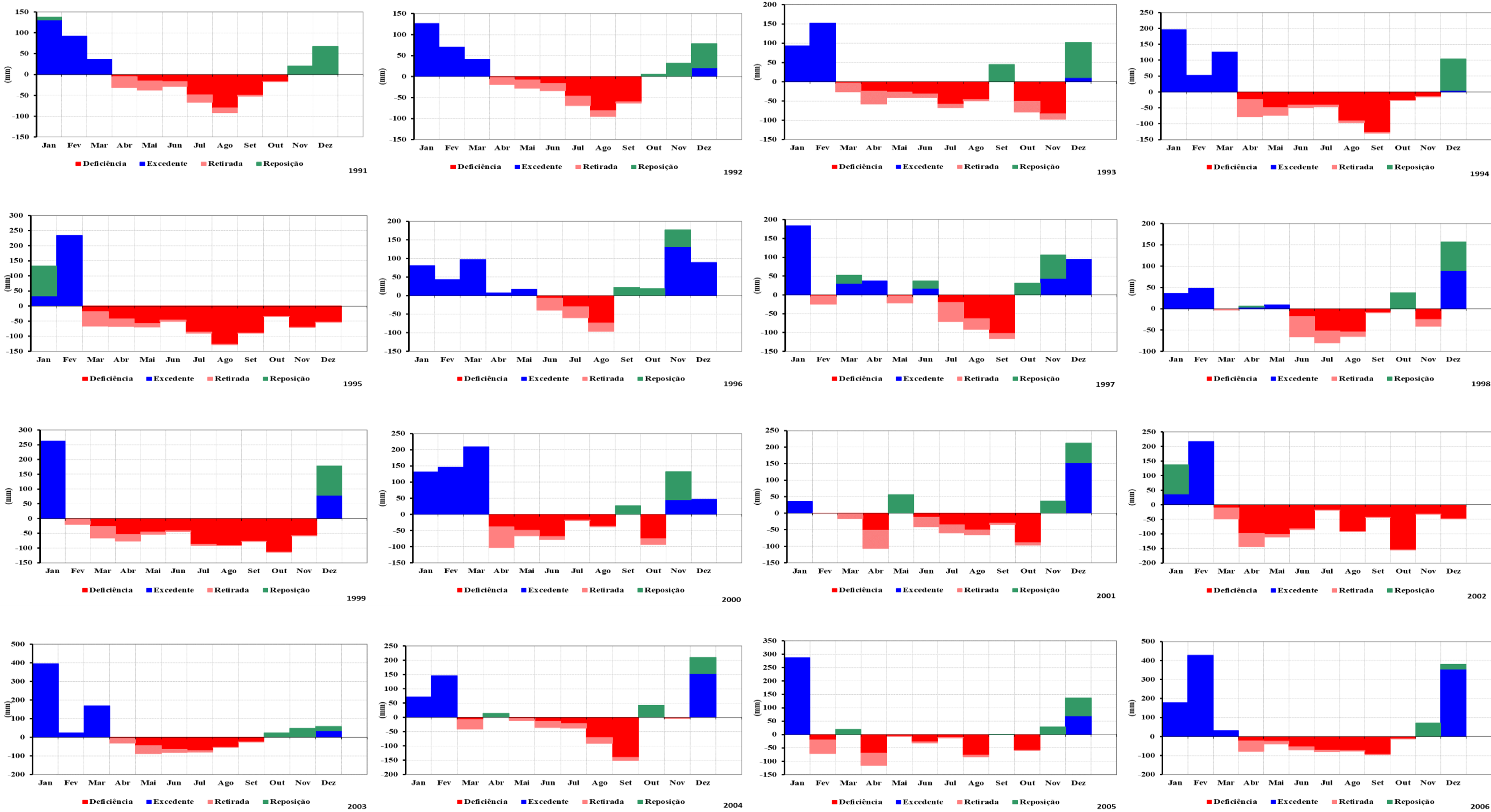
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 12 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC06 - Paracatu, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



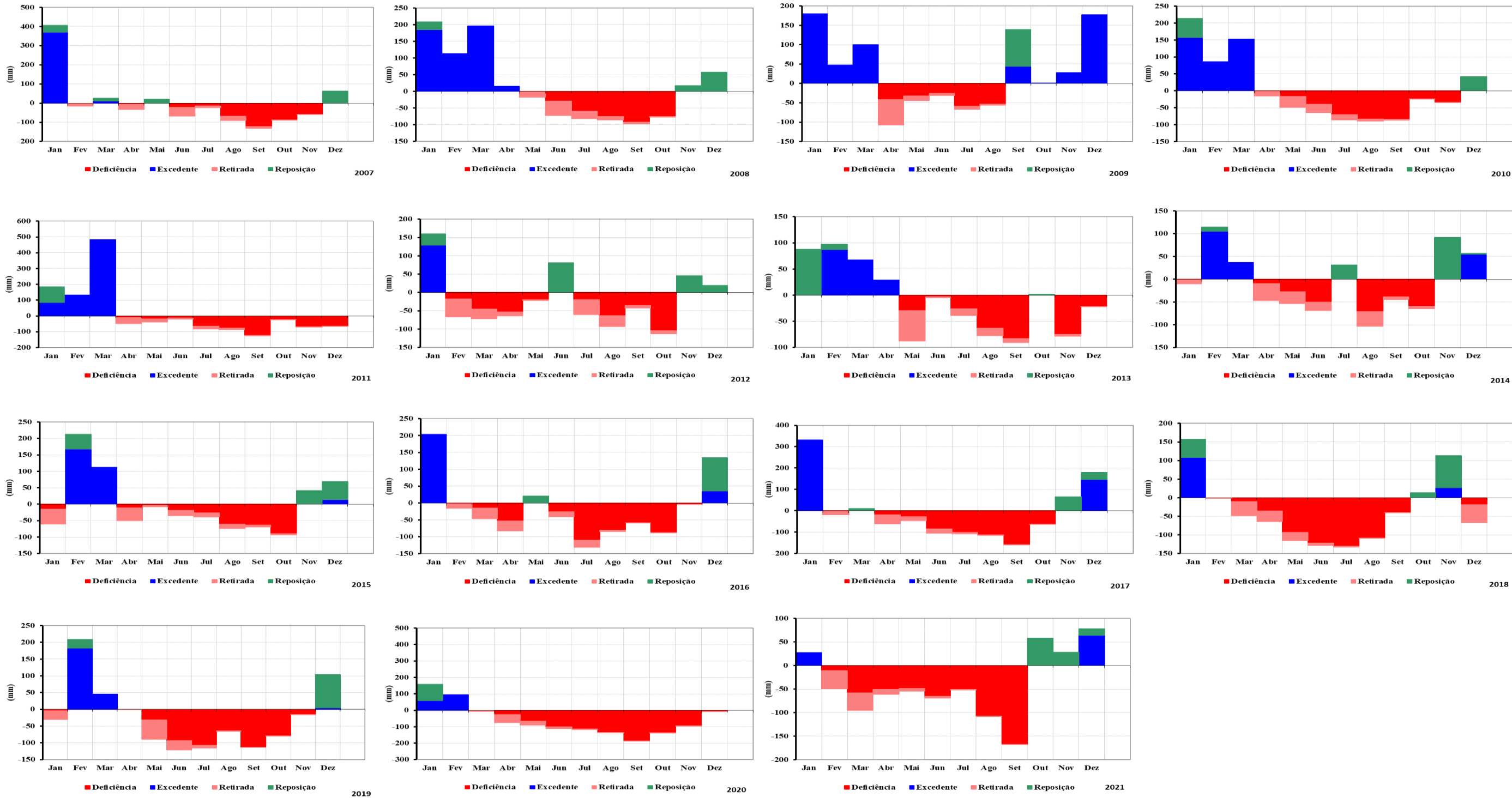
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). **Organizado:** Silva, G. C. (2022).

Anexo 13 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



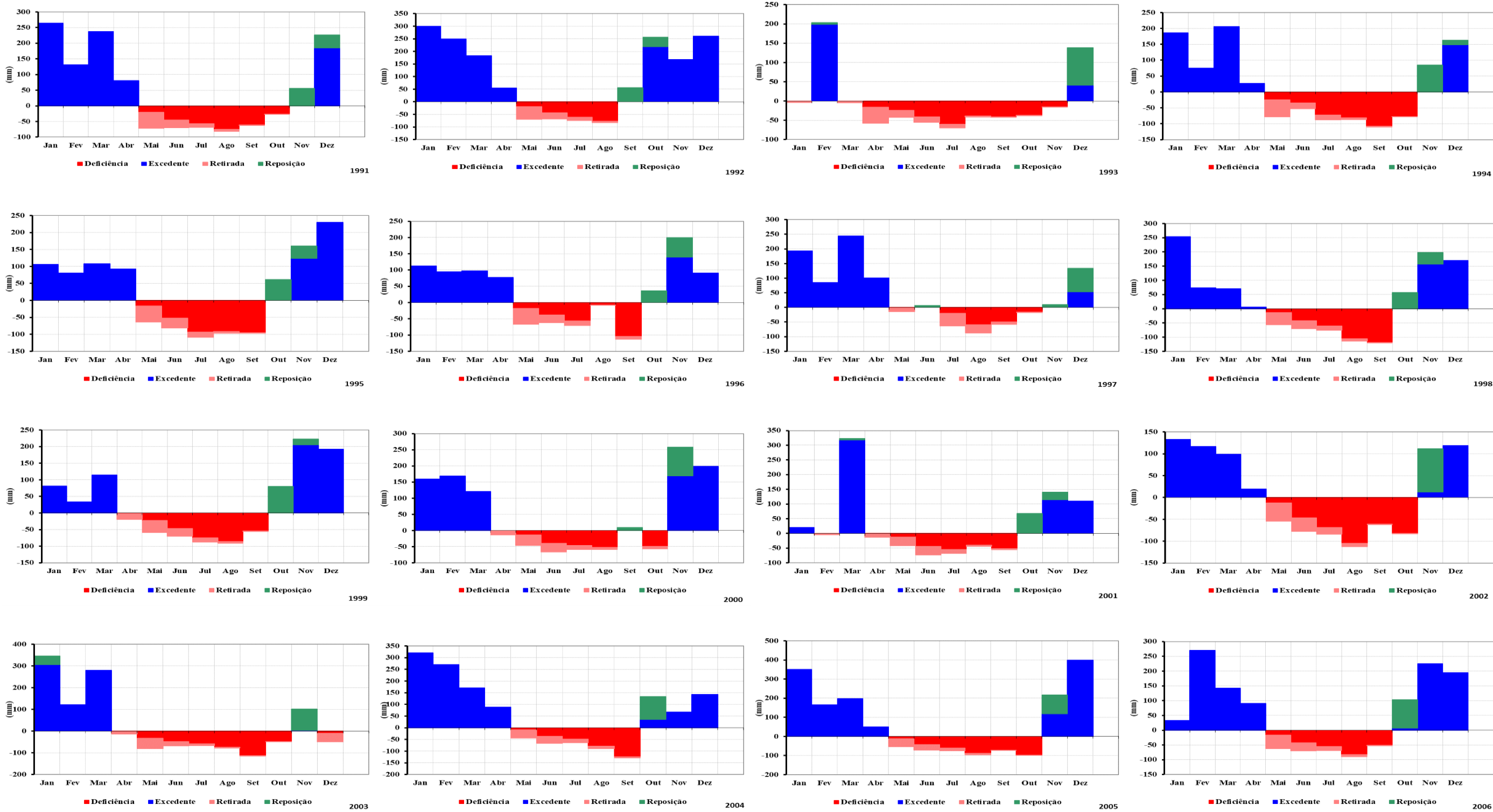
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 14 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC07 - Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



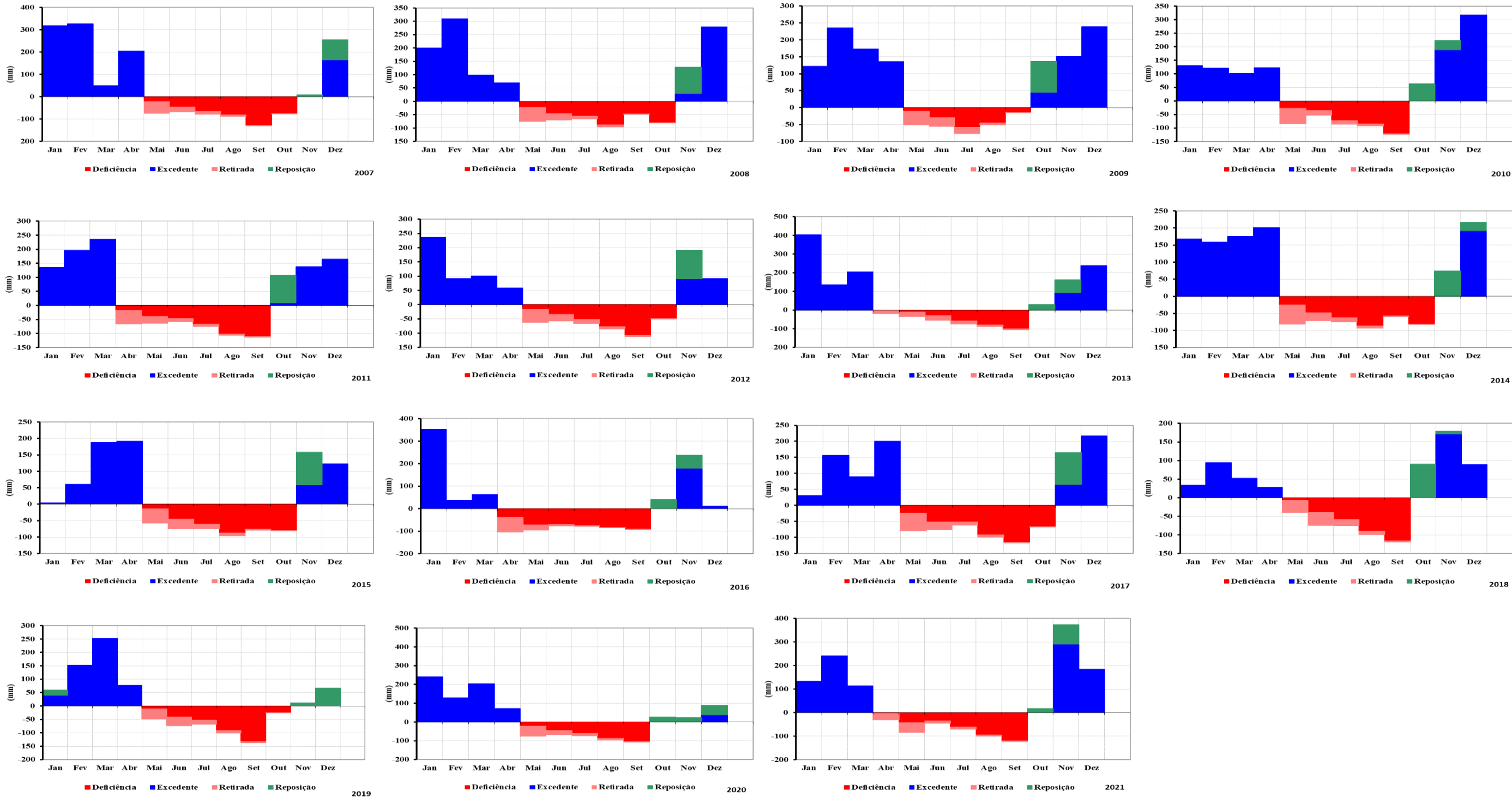
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 15 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC08 – Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



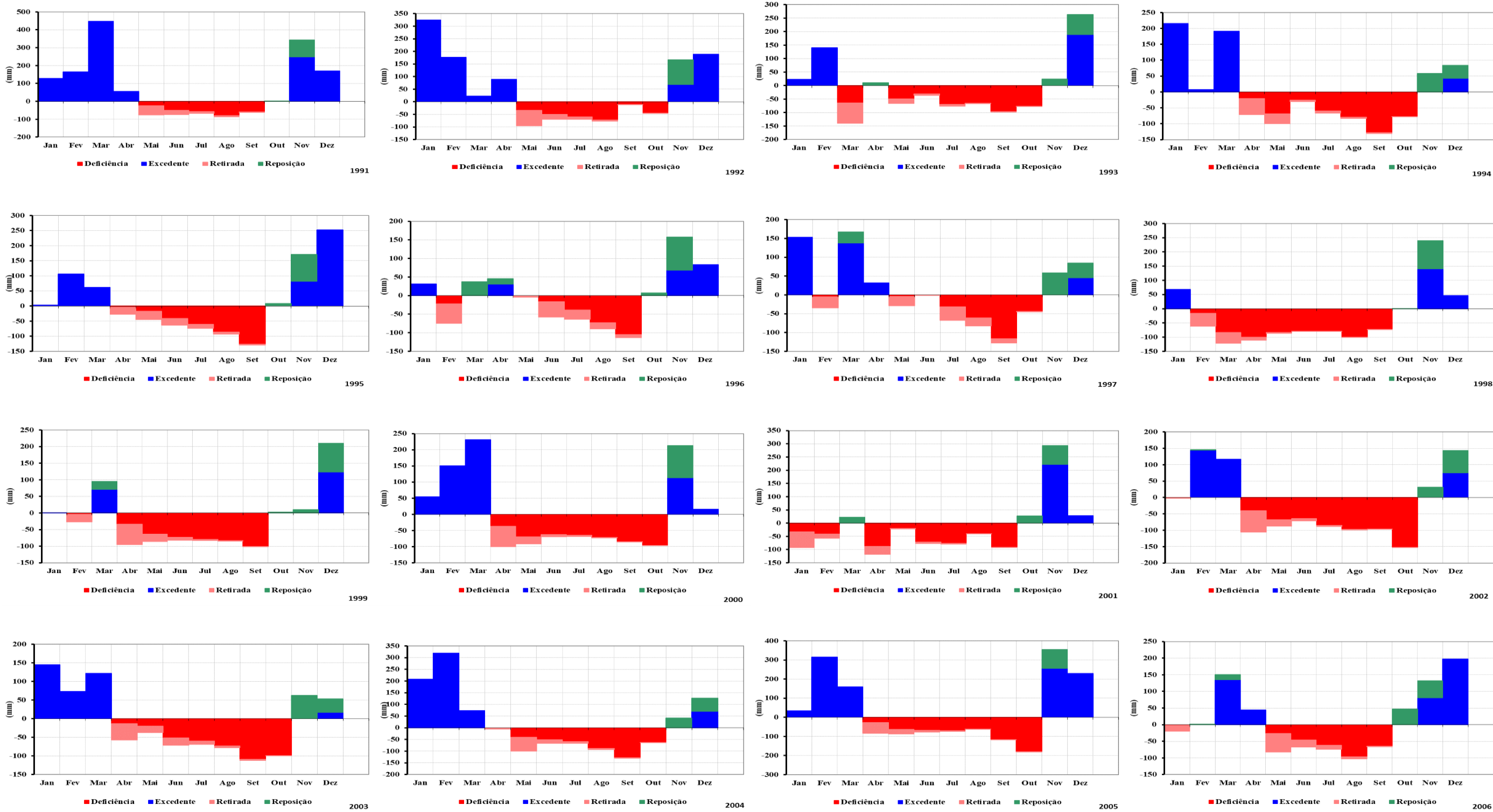
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 16 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC08 – Pirenópolis, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



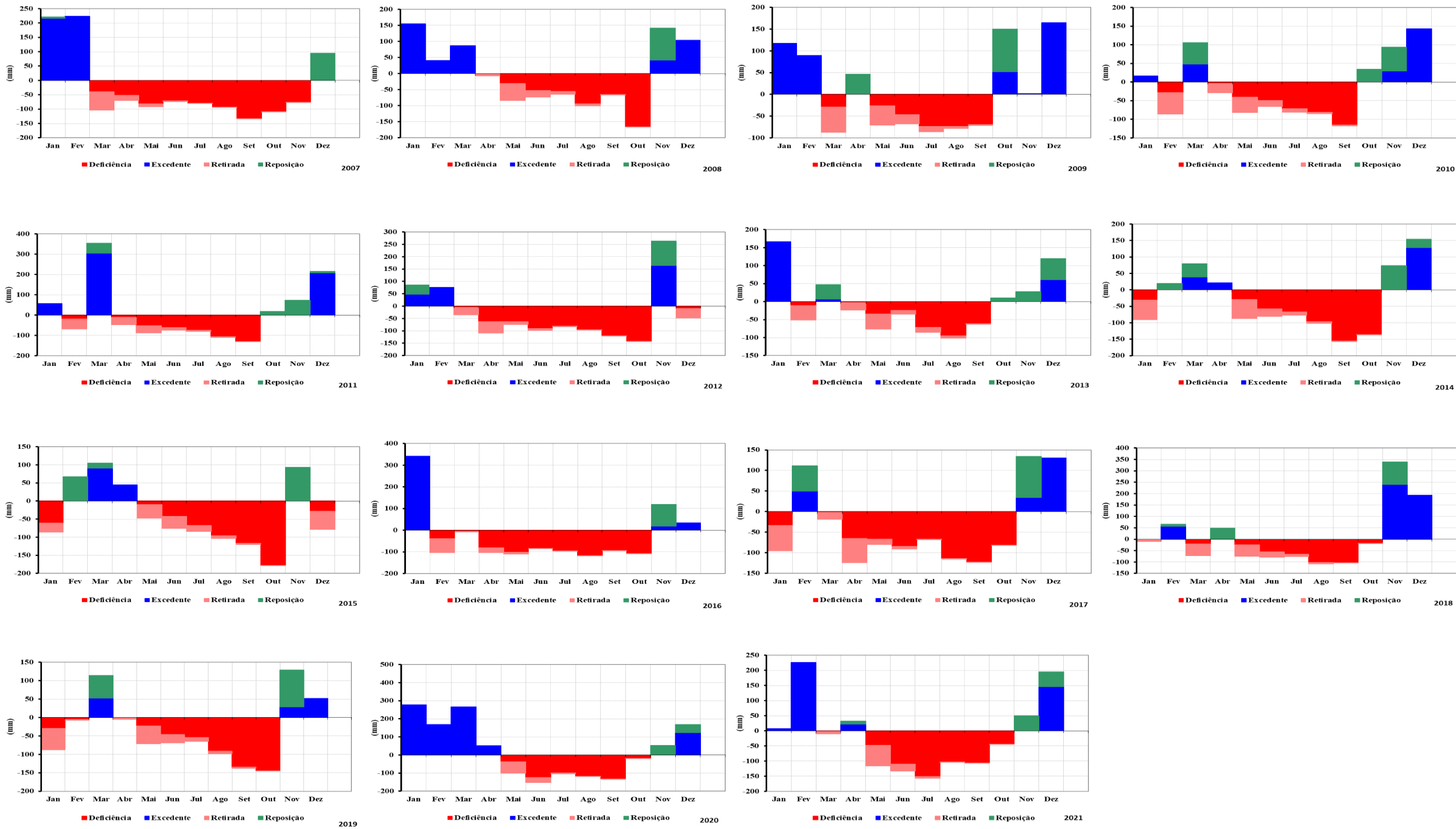
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 17– Conjunto de gráficos extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC09 - Unai, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



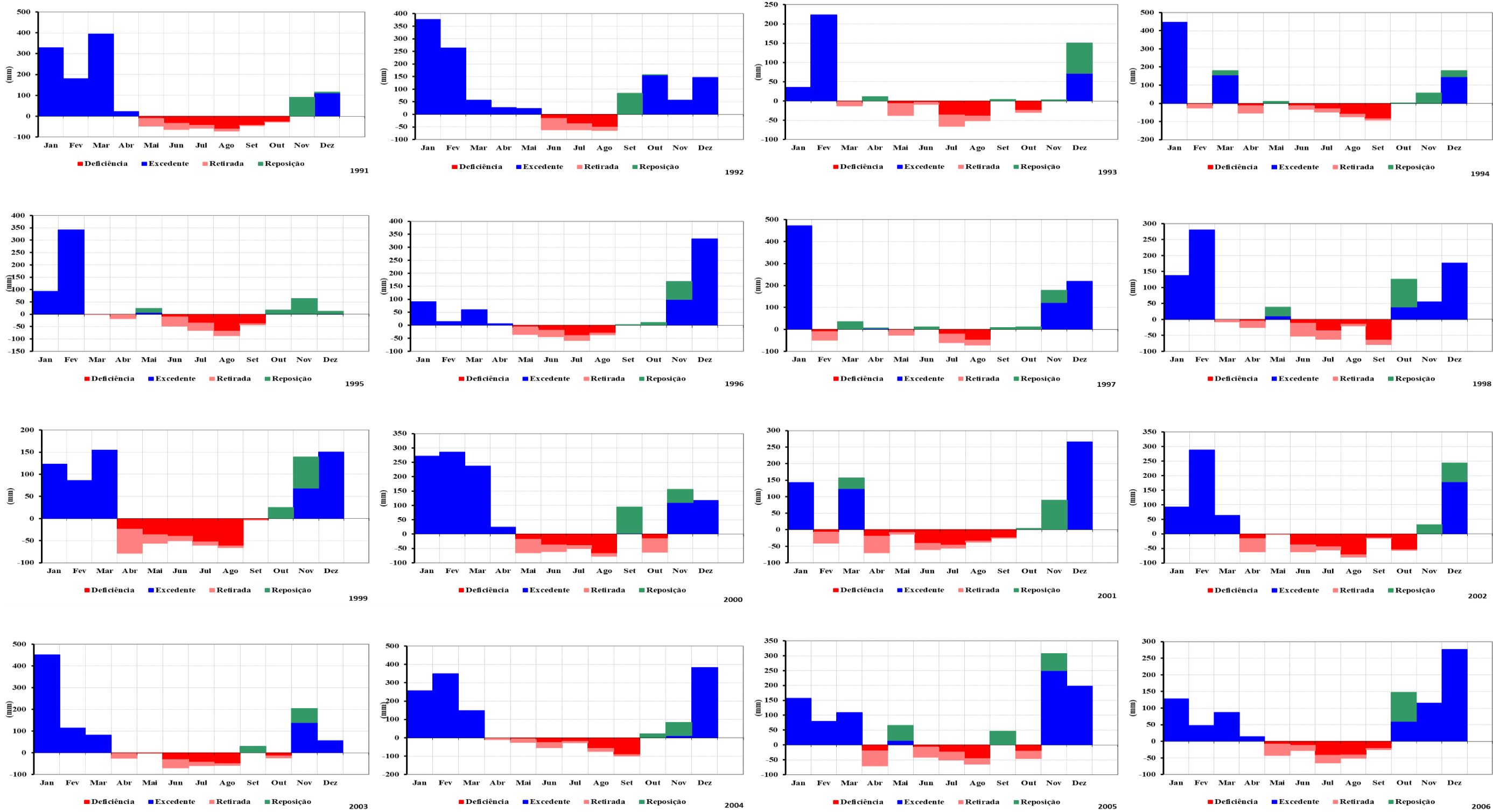
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 18 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a estação EC09 - Unaí, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



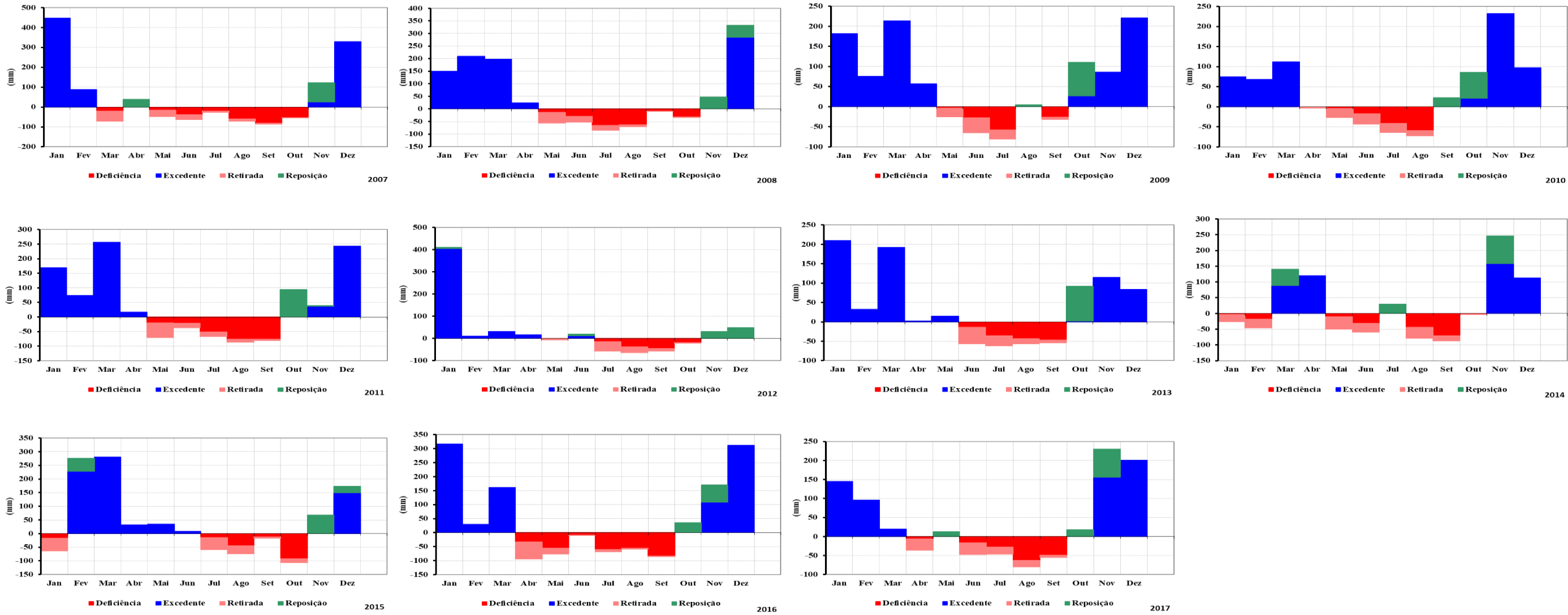
Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 19 – Conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022).

Anexo 20 – Continuação do conjunto de gráficos do extrato do balanço hídrico climatológico para a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, segundo Thornthwaite e Mather (1955), para a série temporal e/ou histórica (1991-2021).



Fonte: Thornthwaite e Mather (1955). Organizado: Silva, G. C. (2022)

