

PANORAMA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA DA BACIA DO RIO DOCE: SUBSÍDIOS À GESTÃO DAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Data de aceite: 02/05/2023

Jean Monteiro Lima

Fulvio Cupolillo

Antônio Pereira Magalhães Júnior

RESUMO: O estudo apresenta a análise integrada do comportamento sazonal de elementos climáticos na bacia do rio Doce, particularmente em suas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), em três períodos distintos (1961-1990, 1980-2002 e 2005 a 2022). A abordagem por estações (seca e chuvosa) e por UPGRHs busca contribuir para a gestão dos recursos hídricos da bacia, auxiliar o planejamento das atividades econômicas e a prevenção de danos associados a extremos pluviométricos. Foram elaborados balanços hídricos de cada período e as variáveis foram especializadas: temperatura média, precipitação acumulada, evapotranspiração potencial média, excedente hídrico médio, deficiência hídrica média, retirada hídrica média e reposição hídrica média. Foram utilizados dados de temperatura e precipitação de 10 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os

quais foram organizados em decêndios para elaboração dos balanços hídricos climatológicos e em períodos semestrais para as espacializações. Para entender o padrão atmosférico atuante durante os três períodos, foram utilizados dados de reanálise do NCEP (*National Center for Environment Prediction*), obtidos via portal do CDC/NOAA (*Climate Diagnostic Center/National Oceanic and Atmospheric Administration*), a fim de identificar os sistemas atmosféricos nos níveis 200 hPa e 850 hPa, influenciadores na promoção ou inibição das precipitações. Percebeu-se que a partir do 2º decêndio de outubro iniciam-se as precipitações que atingem totais para a reposição e excedente hídricos até o 3º decêndio de janeiro. Há tendência de ocorrência de Veranico Climático na estação chuvosa, o qual está intimamente ligado ao comportamento dos mecanismos atmosféricos: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre a superfície. As temperaturas médias menos elevadas são encontradas nas regiões serranas e as mais elevadas ocorrem no fundo do vale do rio Doce. Percebe-se um comportamento pluviométrico semelhante em toda a estação chuvosa na bacia, sendo a parte

sul-sudoeste-oeste e noroeste a que recebe maior volume de chuvas. Esse comportamento resulta de sistemas atmosféricos que agem no estado de Minas Gerais influenciando a bacia, como a Alta da Bolívia-AB que penetra pelo noroeste da bacia e se direciona para o mar e as frentes frias que avançam para o Sudeste também influenciam as precipitações. Ambos mecanismos quando se acoplam, formam um terceiro mecanismo denominado de Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), responsável por chuvas persistentes por vários dias consecutivos em todo estado de Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Estações seca e chuvosa, Dinâmica climática.

ABSTRACT: The study presents an integrated analysis of the seasonal behavior of climatic elements in the Doce river basin, particularly in its Water Resources Planning and Management Units (WRPMUs), in three different periods (1961-1990, 1980-2002 and 2005 to 2022). The approach by seasons (dry and rainy) and by WRPMUs seeks to contribute to the management of water resources in the basin, assist in the planning of economic activities and the prevention of damages associated with extreme rainfall. Water balances were prepared for each period and the variables were specialized: average temperature, accumulated precipitation, average potential evapotranspiration, average water surplus, average water deficit, average water withdrawal and average water replacement. Temperature and precipitation data from 10 stations of the National Institute of Meteorology (NIMET) were used, which were organized into ten- day periods for the preparation of climatological water balances and into six-month periods for spatialization. To understand the atmospheric pattern active during the three periods, reanalysis data from the NCEP (National Center for Environment Prediction) were used, obtained via the CDC/NOAA portal (Climate Diagnostic Center/National Oceanic and Atmospheric Administration), in order to identify the atmospheric systems at levels 200 hPa and 850 hPa, influencers in the promotion or inhibition of precipitation. It was noticed that from the 2^o decendium period of October, the precipitation starts reaching totals for replacement and water surplus until the 3^o decendium period of January. There is a tendency for the occurrence of dry spell climate, which is closely linked to the behavior of atmospheric mechanisms: Upper Level Cyclonic Vortex (ULCV) and South Atlantic Subtropical Anticyclone (SASA) on the surface. The lowest average temperatures are found in the mountainous regions and the highest occur at the bottom of the Rio Doce valley. A similar pluviometric behavior can be seen throughout the rainy season in the basin, with the south-southwest-west and northwest part receiving the highest volume of rainfall. This behavior results from atmospheric systems that act in the state of Minas Gerais influencing the basin, such as the Alta da Bolívia-AB that penetrates through the northwest of the basin and is directed towards the sea and the cold fronts that advance towards the Southeast also influence precipitation. Both mechanisms, when coupled, form a third mechanism called the South American Convergence Zone (SACZ), responsible for persistent rains for several consecutive days throughout the state.

KEYWORDS: Doce River Basin, Dry and rainy seasons, Climatic dynamics.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas intensificaram-se as preocupações e discussões a respeito

das causas e implicações da variabilidade climática no Globo, reforçando o cenário de lacunas de conhecimento sobre o comportamento dos climas e de suas interferências em escala regional. De qualquer forma, não há dúvidas sobre o fato do clima ser uma forte variável indutora de transformações territoriais, particularmente em termos socioeconômicos e ambientais. A dinâmica dos seres vivos, os processos geomorfológicos, os regimes fluviais e as atividades humanas estão vinculados às situações atmosféricas vigentes (TAVARES, 2004). A interface entre os climas e as sociedades está estreitamente relacionada à vulnerabilidade e à prevenção de impactos climáticos. Uma sociedade é mais ou menos vulnerável em função do grau de dependência de suas atividades econômicas em relação ao clima, ou seja, do grau de susceptibilidade dos fatores de produção às variáveis climáticas, como a precipitação e a temperatura (AYOADE, 2015). Neste sentido, a previsibilidade, a prevenção e/ou a minimização de danos de origem climática torna-se um dos maiores desafios à escala global no Século XXI, particularmente em locais e regiões fortemente susceptíveis a consequências de eventos climáticos extremos como enchentes, inundações, movimentos de massa, rompimentos de barragens, dentre outros.

O Brasil apresenta uma multiplicidade de áreas fortemente impactadas por tais eventos com uma certa frequência, dada a vigência de regimes tropicais fortemente sazonais em grande parte do país (chuvas intensas no verão), aliada a uma comum dinâmica de ocupação territorial desregrada em áreas de risco e desfavorável ao escoamento das águas. Esta dinâmica tradicional a partir do Século XX inclui modelos de urbanização fortemente concentradores de população e estruturas nas cidades, com elevada impermeabilização da superfície e artificialização da rede fluvial (canalização, tamponamento). A região Sudeste do país ilustra bem este panorama, apresentando climas de transição entre as latitudes tropicais, quentes e, as médias, temperadas (NIMER, 1989). Conforme Abreu (1998), Minas Gerais, particularmente, apresenta características climáticas marcadas por duas estações bem definidas: uma seca, entre abril e setembro, e outra chuvosa, entre outubro e março (ABREU, 1998).

A bacia do rio Doce é uma das maiores de Minas Gerais, abrangendo, também, o estado do Espírito Santo e englobando 230 municípios. A sua importância econômica está atrelada a um mosaico de atividades que inclui a mineração (produção de pedras coradas, calcário e minerais ferrosos), a agricultura (milho, feijão, café, mandioca, cana-de-açúcar e banana), produção industrial (minerais não-metálicos, alimentos e bebidas, celulose e siderurgia) e o turismo. Cabe ressaltar, também, que a bacia apresenta o maior número de pequenas e médias barragens hidrelétricas (PCHs) de Minas Gerais (CUPOLILLO, 2015). Por outro lado, a bacia apresenta peculiaridades climáticas que podem contribuir ou comprometer as atividades econômicas regionais. Vianello *et al* (2008), analisando um estudo de tendência climática elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2007), figura 1, o qual, subtraiu os campos médios climatológicos de 1961-1990 e 1931-1960, verificou que, na bacia do rio Doce, as tendências são de anomalias positivas de temperatura de 2°C e negativas de pluviosidade de - 250 mm, sugerindo uma brusca

mudança do padrão de chuvas na bacia.

O INMET em 2022 (Figura 2), mostrou a evolução da variabilidade climática do período anterior, subtraindo os campos médios climatológicos, das novas normas climatológicas de 1991 – 2022 pelas normas de 1961-1990, ao qual verificou-se, na bacia do Rio Doce, uma diminuição das tendências de anomalias positivas de temperatura para 0,9° C e de pluviosidade para 100 mm. Este quadro indica uma redução, de tendência, da transformação de clima tropical de altitude para um processo de semiaridez.

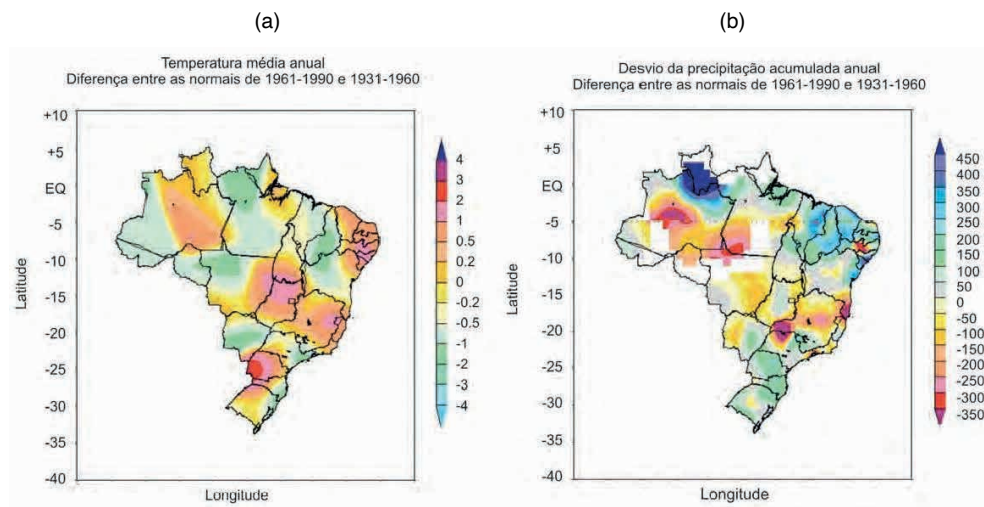


Figura 1: Subtração dos campos climatológicos entre 1960-1990 e 1931- 1960 para a temperatura média anual (a) e precipitação acumulada (b)

FORNTE: INMET (2007), adaptado de Vianello *et al* (2008)

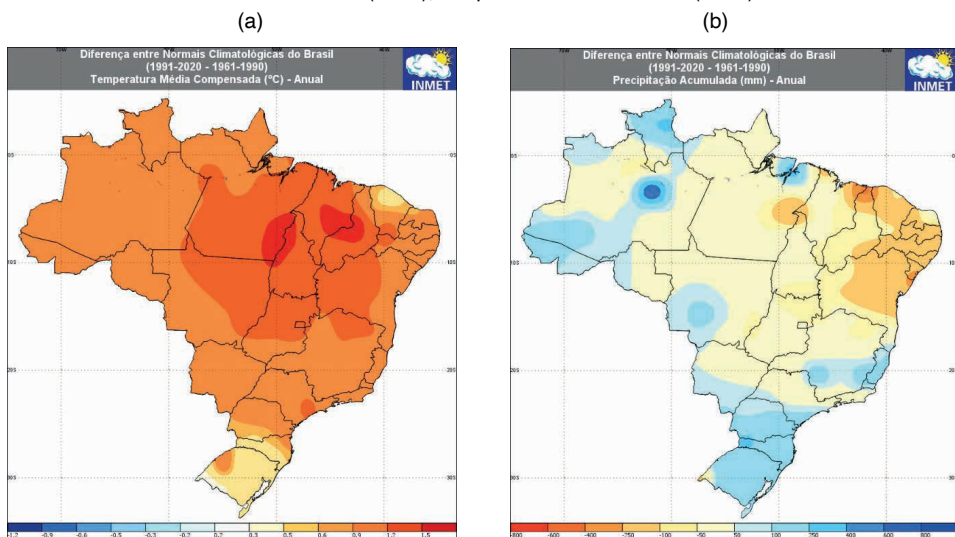


Figura 2: Subtração dos campos climatológicos entre 1991-2020 e 1961- 1990 para a temperatura média anual compensada (a) e precipitação acumulada (b)

FORNTE: INMET (2023).

A bacia também sofre a influência de estiagens relacionadas às secas sazonais, que se prolongam por quatro a seis meses, e de veranicos, caracterizados por pequenos períodos de déficit hídrico em plena estação chuvosa (VIANELLO *et al*, 2006). Neste sentido, Cupolillo (2015) utilizou o Balanço Hídrico Climatológico aplicado às 10 estações climatológicas principais na bacia, permitindo analisar os mecanismos atmosféricos que agem no comportamento hídrico da região, os quais podem se transformar em bloqueios atmosféricos causadores de veranicos e intensificadores da estação seca, com impactos no regime e nos caudais fluviais regionais.

Dada a relevância do melhor conhecimento do comportamento climático regional, este trabalho buscou investigar a dinâmica temporal da bacia do rio Doce nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), em termos sazonais, buscando-se identificar particularidades e tendências. O panorama diferenciado das estações seca e chuvosa pode subsidiar processos de gestão e proteção da bacia em termos hidroambientais, auxiliar o planejamento das atividades econômicas ao longo das estações seca e chuvosa e contribuir para a prevenção de danos associados a eventos pluviométricos extremos.

A BACIA DO RIO DOCE

As tendências climáticas de temperatura e precipitação em Minas Gerais podem ser observadas na Figura 1 e 2, em especial na bacia do rio Doce. O Doce é um rio interestadual, com 875 Km, cuja nascente se localiza na Serra da Mantiqueira, no município mineiro de Ressaquinha, a 1.200 m de altitude, e a sua foz no município de Regência, no Espírito Santo (Figura 2). Seus principais formadores são os rios Xopotó, Piranga e Carmo, sendo que a confluência destes dois últimos dá origem ao rio Doce propriamente dito, a jusante da cidade de Ponte Nova. A bacia possui área de drenagem de 83.400 Km², sendo 86% em Minas Gerais. Os principais limites geográficos da bacia (Figura 3) são: ao oeste, a serra do Espinhaço e serras Quadrilátero Ferrífero; a sudoeste e ao sul, a serra da Mantiqueira; a sudeste, a serra do Caparaó; a leste o oceano Atlântico.

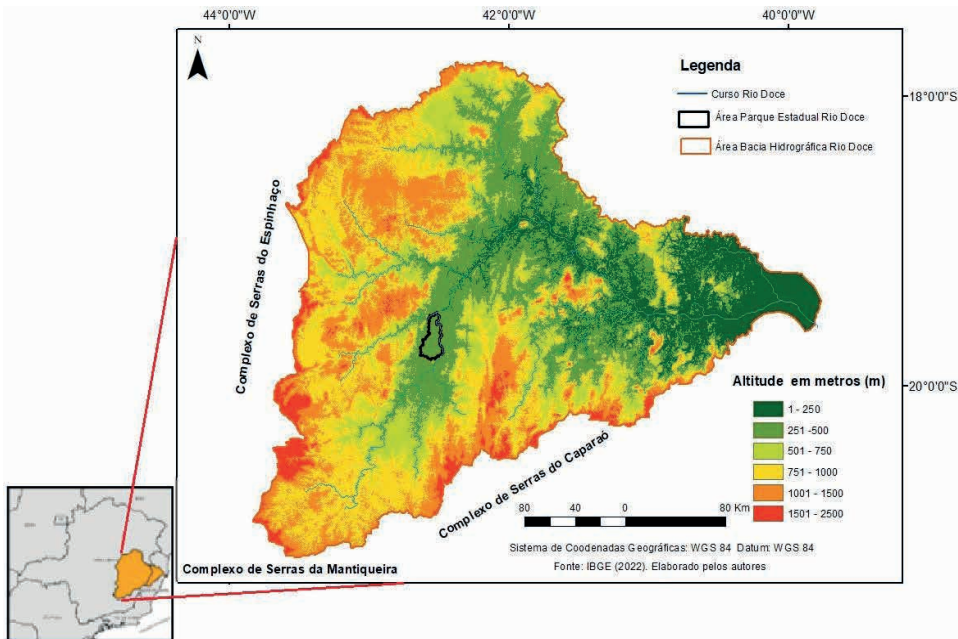


Figura 3: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

FONTE: Elaborado pelos Autores

A bacia apresenta três grandes compartimentos topomorfológicos. O primeiro é representado por um conjunto de terrenos pouco elevados ou correlatos ao nível do mar, principalmente na região de Linhares no estado do Espírito Santo, cujo relevo apresenta baixa a nula rugosidade. O segundo é o mais amplo da bacia e se estende das imediações da foz até a base das serras. Trata-se de vasta área dominada por feições do tipo “colinas meia-laranja”, que tipificam o domínio dos mares de morros. Por fim, o terceiro compartimento é representado por conjuntos serranos integrantes do sistema Serra do Mar-Serra da Mantiqueira, Caparaó e Espinhaço (CUPOLILLO *et al.*, 2008).

A população urbana do Brasil cresceu em ritmo acelerado no Século XX (IBGE, 2011). O país possuía apenas 31,3% da população vivendo em centros urbanos em 1940, passando a 81,2% em 2000. Esta dinâmica esteve associada a disparidades de renda entre as zonas rurais e urbanas, levando a processos de intenso êxodo rural e ocupação desordenada nas cidades por população de baixa renda. Desta forma, um dos maiores problemas enfrentados pelas cidades brasileiras foi e tem sido a falta de planejamento da dinâmica de expansão da malha urbana, em conformidade com o meio físico, o que resulta na multiplicação de pontos e zonas de riscos e desastres naturais (GUIMARÃES, 2008).

Na Tabela 1 verifica-se que o total da população dos municípios destacados na bacia teve um aumento de quase 95% do período de 1970 a 2021. Cidades como Linhares, Governador Valadares e Ipatinga apresentaram elevado aumento populacional em função

de serem polos regionais e oferecerem uma gama de serviços e oportunidades. Já as cidades de Conceição de Mato Dentro e Aimorés apresentaram uma redução no total de suas populações em torno de 20%, entre 1970 e 2021, fato associado à sua base econômica pautada na agropecuária extensiva, a qual não é capaz de absorver e reter a mão de obra crescente.

Cidades	1970	1980	1991	2000	2010	2021 *
Linhares	92.329	123.163	124.506	112.617	141.306	179.755
Aimorés	38.060	28.869	24.734	25.105	24.959	25.116
G. Valadares	162.020	196.117	229.458	247.131	263.689	282.164
C.M. Dentro	20.609	19.766	18.984	18.637	17.908	17.438
Ipatinga	47.882	150.318	194.571	212.496	239.468	265.409
Caratinga	109.772	110.038	86.869	77.789	85.239	92.603
Viçosa	25.777	38.626	57.131	64.854	72.220	79.910
Total	496.449	666.897	736.253	758.629	844.789	942.395

OBS: * valor estimado pelo IBGE em função da não realização do censo 2020 e não conclusão do 2022.

Tabela 1 – Dinâmica populacional de municípios da bacia do rio Doce

Fonte: IBGE (2021). Elaborado pelos autores

PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS

Para a realização da pesquisa foram utilizados dados climatológicos de precipitação e temperatura dispostos em médias em três períodos (1961-1990, 1980-2002 e 2005 a 2022), coletados em 10 estações meteorológicas automáticas e convencionais do INMET nos seguintes municípios: Diamantina, Conceição do Mato Dentro, Caparaó, Viçosa, Caratinga, Ipatinga¹, Governador Valadares, Aimorés e Linhares, representando, assim, a diversidade de condições ambientais do território da bacia do rio Doce. Estas estações são representativas das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais (UPGRHs - DO1 a DO6), definidas pela Deliberação Normativa CERH-MG N° 06, de 04 de outubro de 2002, e a DO7 situada na porção da bacia do rio Doce no Espírito Santo (Figura 4; Tabela 2). As estações cobrem, assim, as regiões do Alto, Médio e Baixo rio Doce, expressando o comportamento das chuvas e temperatura dos diferentes compartimentos físicos da bacia.

Salienta-se que as estações meteorológicas de Diamantina (Serra do Espinhaço), Barbacena (Serra da Mantiqueira) e Caparaó (Serra do Caparaó) não estão inseridas na bacia do rio Doce, e sim em divisores de águas limítrofes da bacia, respectivamente

¹ Os dados meteorológicos faltantes na estação de Ipatinga foram completados com os dados da estação de Timóteo em função da proximidade entre ambas.

próximos às UPGRHs, ou seja, DO3, DO1 e DO6, respectivamente. Os parâmetros meteorológicos observados nestas estações permitem compreender o comportamento da sazonalidade climática regional nas áreas limítrofes, em comparação ao que ocorre dentro da bacia do rio Doce.

UPGRHs	Rio Principal	Estações Meteorológicas
D01	Piranga	Barbacena e Viçosa
D02	Piracicaba	Ipatinga
D03	Santo Antônio	C.M. Dentro e Diamantina
D04	Suaçuí Grande	G. Valadares
D05	Caratinga	Caratinga
D06	Manhuaçu	Aimorés e Caparaó
D07	Rio Doce/ES	Linhares

Tabela 2 – Estações meteorológicas do INMET nas UPGRHs

Fonte: Elaborado pelos autores

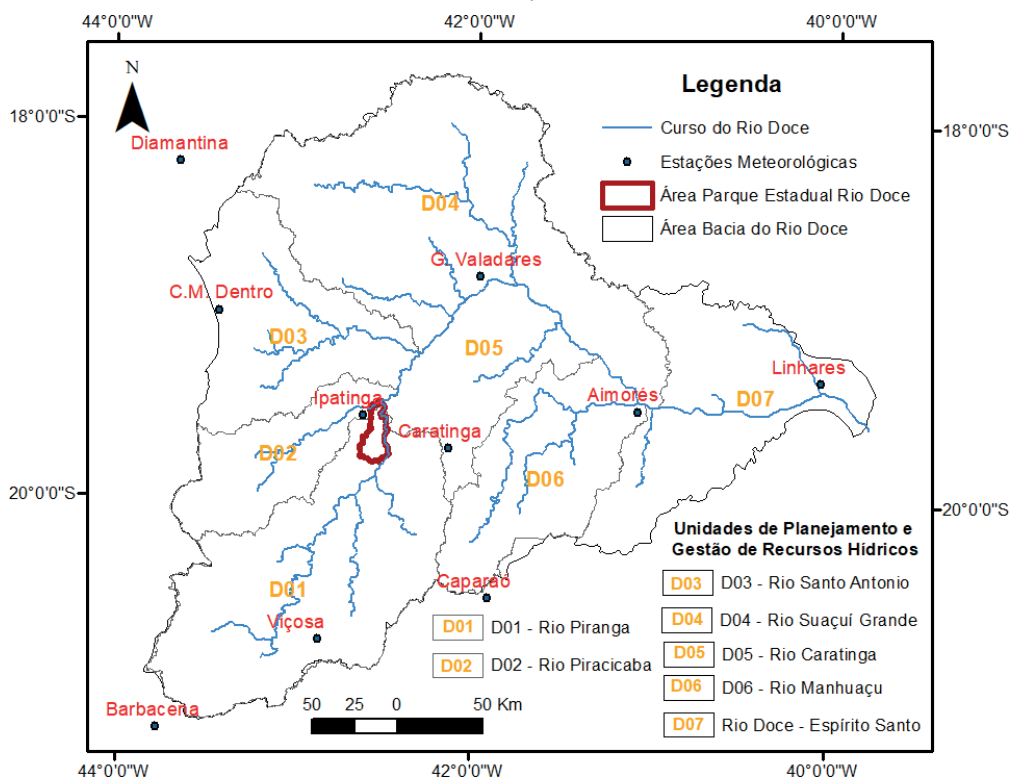


Figura 4: Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

FONTE: Elaborado pelos Autores

Os dados foram agrupados em períodos decendiais anuais (Tabela 3), sendo nove meses com trinta e um dias, nos quais a média do 3º decêndio é elaborada com onze dias. No mês de fevereiro, o 3º decêndio é calculado para oito dias e nos anos bissextos a média refere-se a nove dias (CUPOLILLO, 2015).

Decêndios	Datas	Decêndios	Datas
1	01-10 de janeiro	19	01-10 de julho
2	11-20 de janeiro	20	11-20 de julho
3	21-31 de janeiro	21	21-31 de julho
4	01-10 de fevereiro	22	01-10 de agosto
5	11-20 de fevereiro	23	11-20 de agosto
6	21-28 de fevereiro	24	21-31 de agosto
7	01-10 de março	25	01-10 de setembro
8	11-20 de março	26	11-20 de setembro
9	21-31 de março	27	21-30 de setembro
10	01-10 de abril	28	01-10 de outubro
11	11-20 de abril	29	11-20 de outubro
12	21-30 de abril	30	21-31 de outubro
13	01-10 de maio	31	01-10 de novembro
14	11-20 de maio	32	11-20 de novembro
15	21-31 de maio	33	21-30 de novembro
16	01-10 de junho	34	01-10 de dezembro
17	11-20 de junho	35	11-20 de dezembro
18	21-30 de junho	36	21-31 de dezembro

Tabela 3 – Decêndios anuais

Fonte: Adaptado de CUPOLILLO, 2015

A temperatura média sazonal de cada decêndio foi calculada por meio do somatório da frequência de ocorrência da variável para cada decêndio na série de trinta e seis decêndios, dentro dos três períodos determinados, para todas as dez estações meteorológicas (Equação 1).

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

em que:

T_m = temperatura média sazonal para cada decêndio,

d_i = número de cada elemento climatológico por decêndios

N = número de anos para cada local.

nd = número de decêndios em cada ano,

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório das temperaturas.

A precipitação média sazonal para cada decêndio foi calculada através do somatório da frequência de ocorrência da variável pluviosidade para a série dos trinta e seis decêndios, dentro dos três períodos determinados, para todas as dez estações meteorológicas (Equação 2).

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

em que:

Pm = Precipitação média sazonal para cada decêndio,

di = número de cada elemento climatológico por decêndios,

N = número de anos para cada local,

nd = número de decêndios em cada ano,

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório das precipitações.

Os balanços hídricos foram calculados a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955), conforme Tubelis e Nascimento (1984), sendo comumente utilizado no Brasil. Assim, foram calculadas as médias das temperaturas e os somatórios das chuvas para cada decêndio conforme os períodos definidos, quando os dados foram dispostos no programa computacional Excel™ (Planilha elaborada por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). Seguindo Nimer *et.al* (1989), a capacidade de campo adotada foi de 100mm em virtude da presença de latossolos em áreas onde se situam as dez estações climatológicas utilizadas.

A representação do balanço hídrico facilita a visualização do ritmo anual, pois busca, em cada decêndio, detalhes do comportamento dos elementos climáticos (temperatura e chuva). A duração dos déficits hídricos foi definida pelo decêndio de seu início, e pelo último decêndio consecutivo de déficit da série para cada estação meteorológica. Os decêndios são distribuídos conforme o ano hidrológico, iniciando em outubro de um ano e se encerrando em setembro do ano seguinte, facilitando as análises no período chuvoso e seco, uma vez que o período de outubro a março representa a estação chuvosa e de abril a setembro a estação seca.

De posse dos dados de evapotranspiração, excedente hídrico, deficiência hídrica, retirada hídrica e reposição hídrica, obtidos conforme planilha Rolim (1998). Com os dados de precipitação e temperatura, construiu-se um banco de dados com as médias semestrais de cada elemento climático por estação chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), separados por períodos (1961-1990, 1980-2002 e 2005-2022). O procedimento contemplou a localização de cada estação meteorológica no sistema de coordenadas WGS 84, de modo a espacializar cada elemento climático nas estações seca e chuvosa na bacia e em suas UPGRHs, a partir da ferramenta geoestatística do *software* ArcGIS 10.5.

Seguindo Cupolillo (2015), foram geradas isolinhas por meio do modelo matemático de interpolação determinístico, Inverso do Quadrado das Distâncias (*Inverse Distance Weighting* - IDW), de modo que quanto mais distante está a estação pluviométrica de um ponto em relação às estações vizinhas, menor será seu peso. As superfícies estatísticas geradas apresentaram melhor a realidade geográfica da bacia. Este mesmo interpolador foi

utilizado por Antunes (2018), Lima (2019) e Vieira (2020), em função do número reduzido de estações meteorológicas no Parque Estadual do Rio Doce - PERD e proximidades (Vieira et al., 2020). Para verificar os processos dinâmicos que atuam na América do Sul e oceanos adjacentes, foram gerados mapas climatológicos de linha de corrente semestrais, divididos em estação seca e chuvosa para os três períodos em estudo, utilizando dados de reanálise² do NCEP (*National Center for Environment Prediction*), obtidos via portal do CDC/NOAA (*Climate Diagnostic Center/National Oceanic and Atmospheric Administration*). Foram considerados dados diários de vento, com resolução horizontal de 2,5° x 2,5° e trabalhados no visualizador gráfico GrADS (*Grid Analysis and Display System*).

O domínio espacial para América do Sul, Oceanos Pacífico e Atlântico, foi definido entre as coordenadas geográficas entre 15° de latitude norte, 60° de latitude sul, 90° de longitude oeste e 20° de longitude leste, englobando as componentes meridional e zonal do vento, convergência e divergência e linhas de corrente para os níveis de 200 hPa. e 850 hPa. (CUPOLILLO, 2015) – Figura 5.

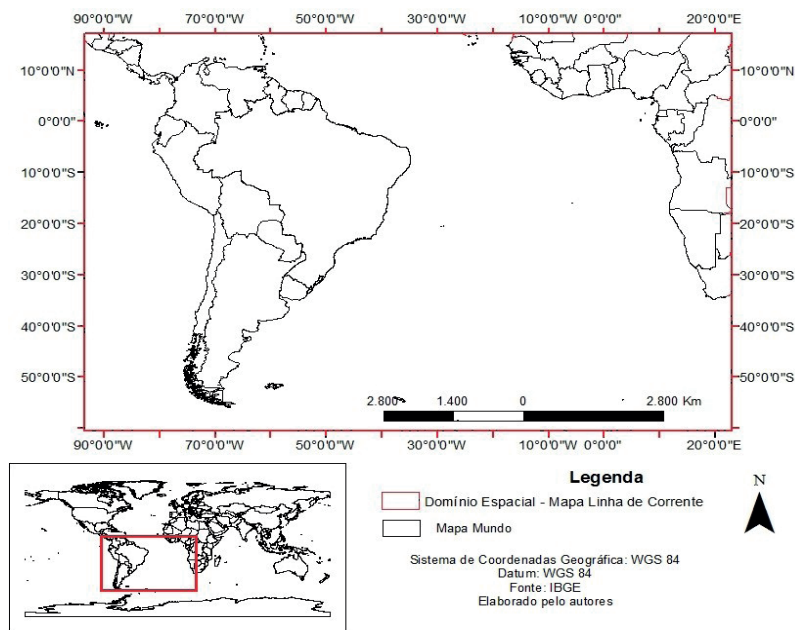


Figura 5 – Localização do Domínio Espacial para plotar Linhas de Corrente

Fonte: Elaborado pelos autores

BALANÇO HÍDRICO DECENAL

Os resultados das análises dos dados das estações estão dispostos em forma de gráficos de Balanços Hídricos Climatológicos Decenais - BH, para os três períodos

² Dados de Reanálise: conjunto de dados obtidos a partir de modelos de circulação global com dados obtidos através da assimilação e sintetização de dados observados em todo o Planeta.

(Figuras 6 a 10), representando reposição, excedente, retirada e deficiência hídrica de cada estação.

Os BH de Diamantina e Conceição do Mato Dentro, localizadas na porção Noroeste da bacia onde se verifica um aumento dos decêndios de déficit hídrico se comparado os três períodos (1961-1990, 1980-2002, 2005-2022), caracterizando um aumento da estação seca em detrimento da chuvosa (Figura 6).

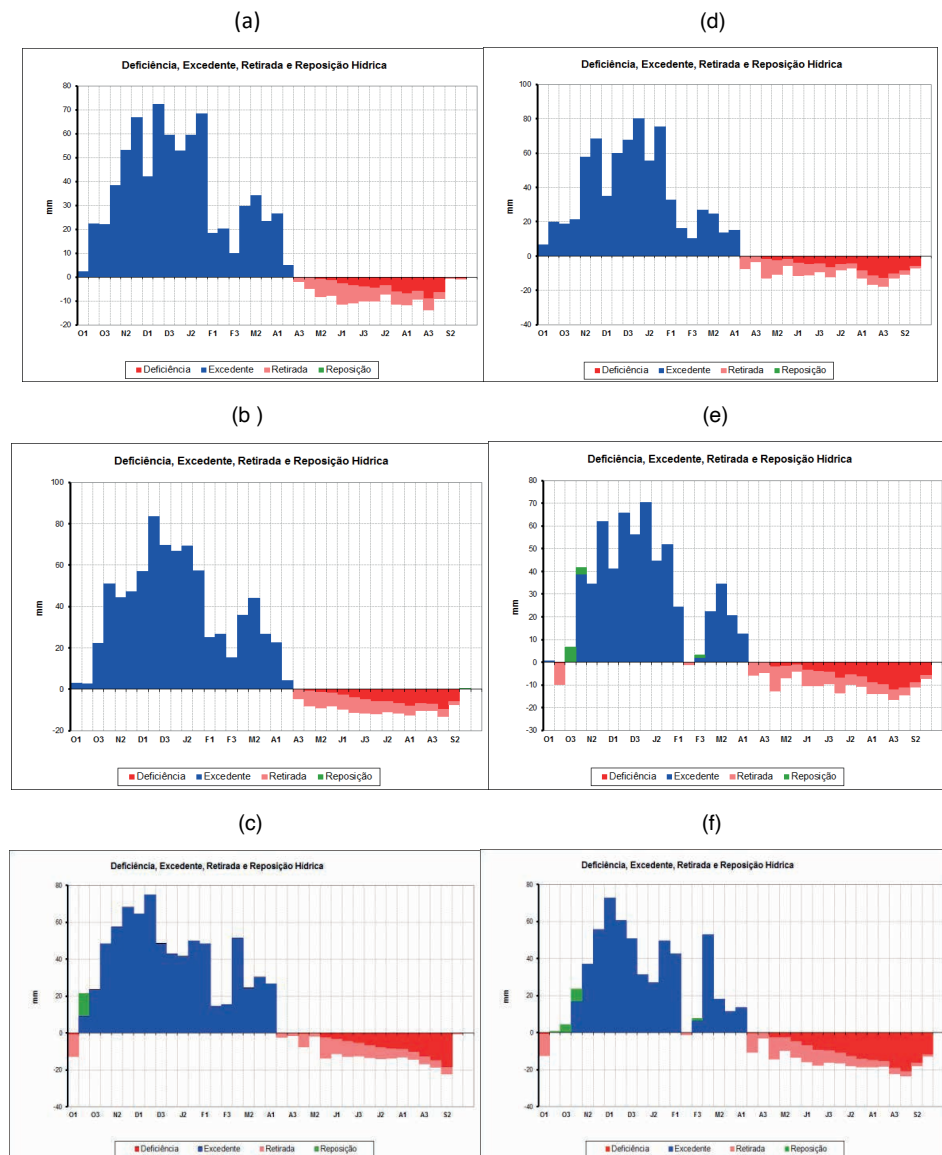


Figura 6: Balanço Hídrico Climatológico Decenal de Diamantina e Conceição do Mato Dentro. Diamantina: (a) 1961-1990; (b) 1980-2002; (c) 2005-2022; Conceição Mato Dentro: (d) 1961-1990; (e) 1980-2002; (f) 2005-2022.

Fonte: INMET (2023)

A Figura 7, apresenta os BH de Barbacena, a sudoeste da bacia, e Caparaó, ao sul, demonstrando um aumento dos decêndios de déficit hídrico se comparado os três períodos (1961-1990, 1980-2002, 2005-2022). Tal fato, sugere o aumento da estação seca em sua intensidade. Fato comum em todos os períodos nas duas estações é a presença de uma ruptura no padrão de chuvas nos decêndios de fevereiro, reduzindo bruscamente a sua intensidade e caracterizando um Veranico Climático.

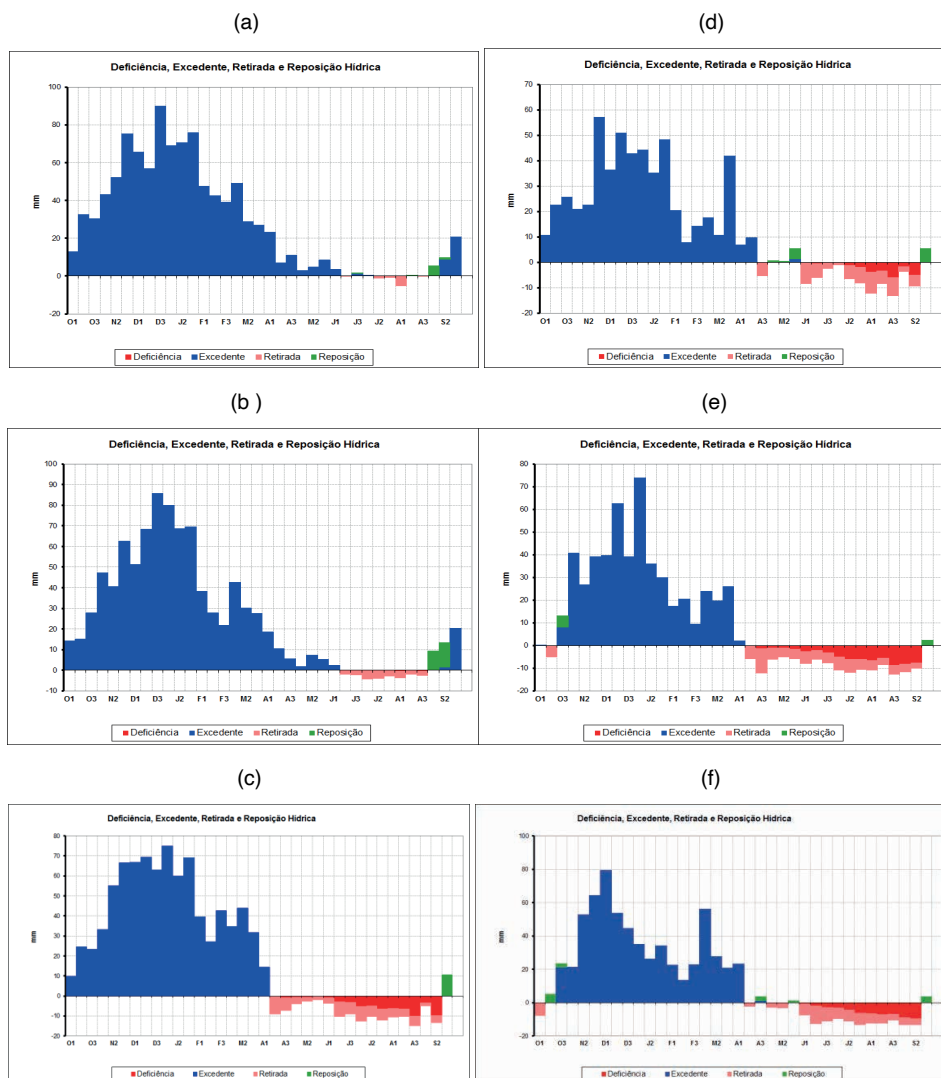


Figura 7: Balanço Hídrico Climatológico Decenal de Barbacena e Caparaó. Barbacena: (a) 1961-1990; (b) 1980-2002; (c) 2005-2022; Caparaó: (d) 1961-1990; (e) 1980-2002; (f) 2005-2022.

Fonte: INMET (2023)

Os BH de Viçosa, a sudeste da bacia, e Caratinga, na porção central, são apresentados na Figura 8, onde também se verifica o aumento de decêndios com déficit hídrico nos três períodos analisados. Novamente tal fato, sugere o aumento da estação seca em sua quantidade e intensidade. Há, em todos os períodos nas duas estações, a presença de uma ruptura no padrão de chuvas nos decêndios de fevereiro, reduzindo bruscamente a sua intensidade e caracterizando um Veranico Climático. Este fenômeno é mais intenso na estação de Caratinga se comparada com a de Viçosa.

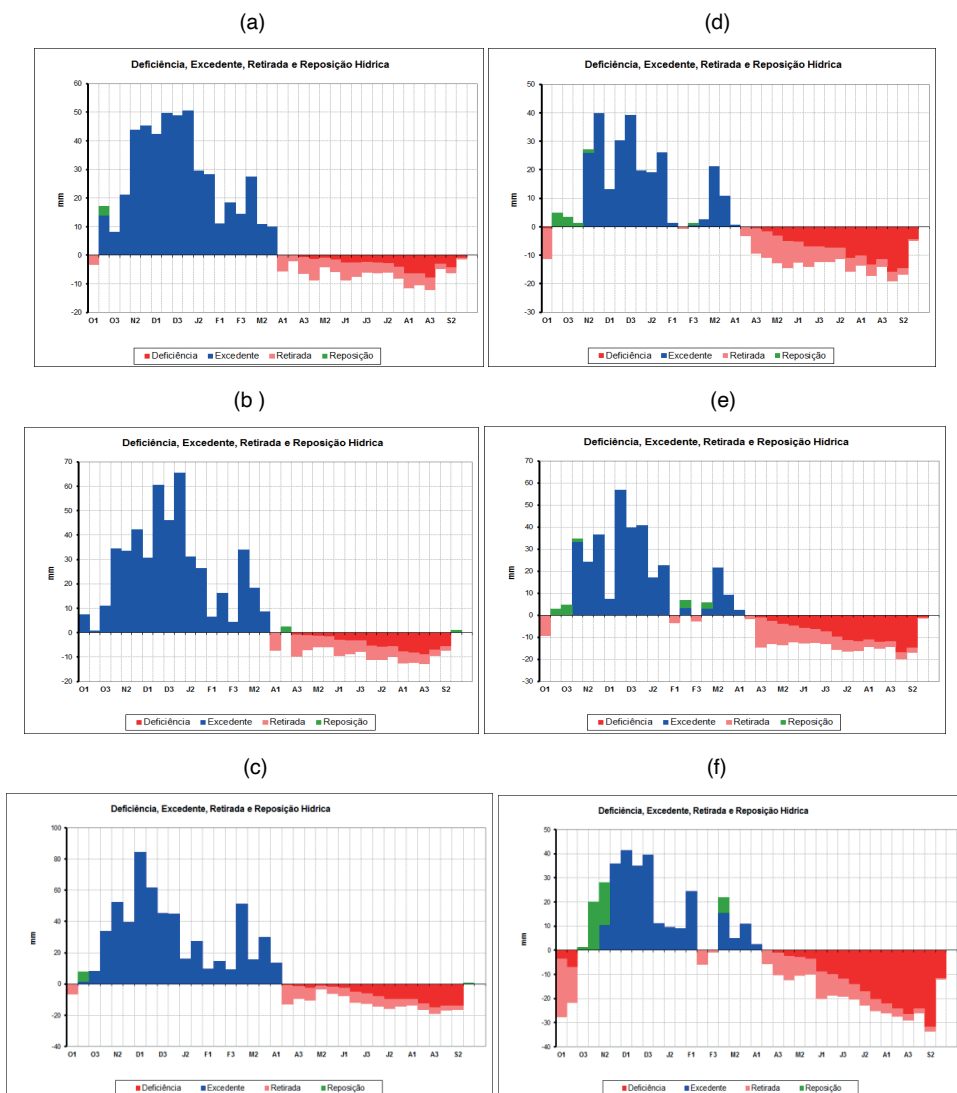


Figura 8: Balanço Hídrico Climatológico Decenal de Viçosa e Caratinga. Viçosa: (a) 1961-1990; (b) 1980-2002; (c) 2005-2022; Caratinga: (d) 1961-1990 (e) 1980-2002 (f) 2005-2022.

Fonte: INMET (2023)

A Figura 9 apresenta os BH de Ipatinga e Governador Valadares, localizadas na porção central da bacia, onde se verifica um aumento gradativo da retirada e da deficiência hídrica ao comparar-se os três períodos (1961-1990, 1980-2002, 2005-2022). Também se verifica em todos os períodos, nas duas estações, há a presença de uma ruptura no padrão de chuvas nos decêndios de janeiro e/ou fevereiro, reduzindo bruscamente a sua intensidade e caracterizando o Veranico Climático.

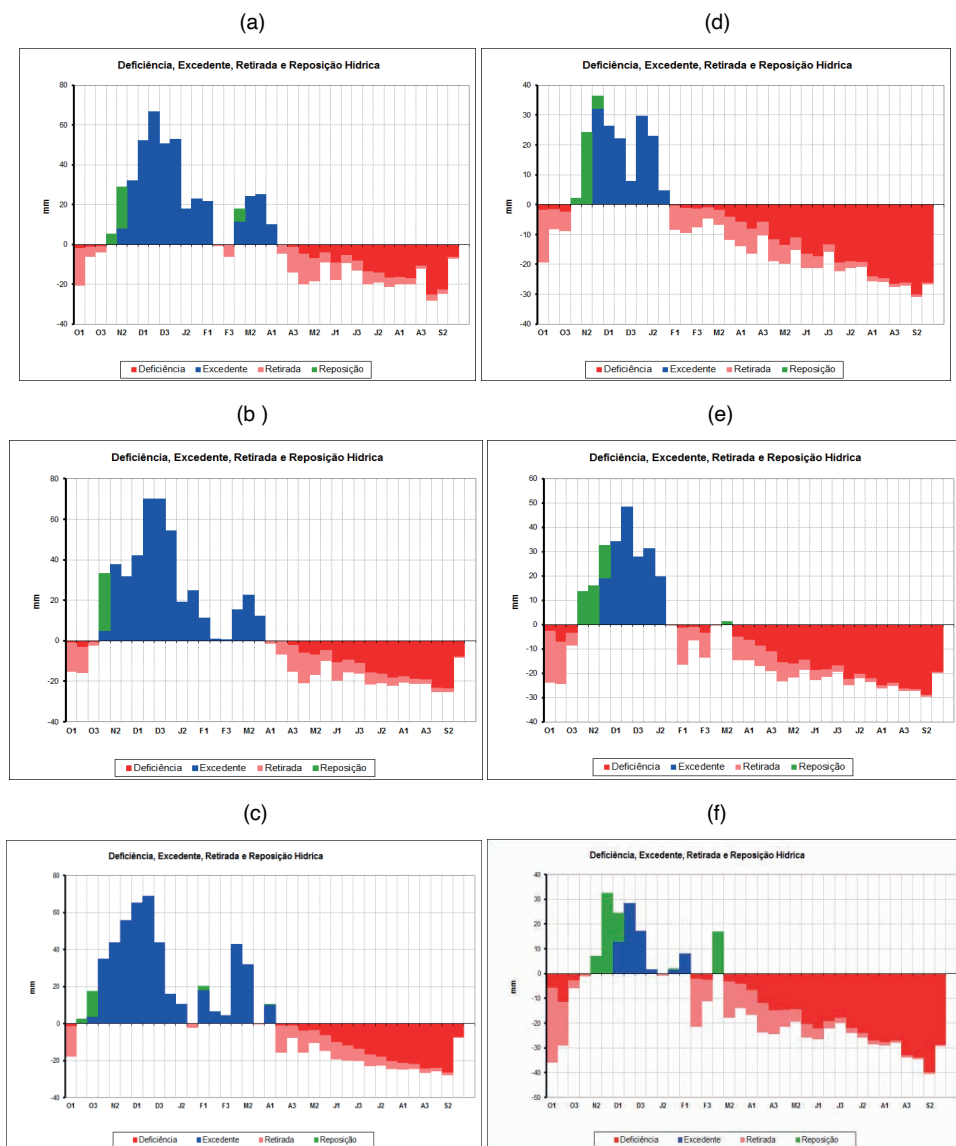


Figura 9: Balanço Hídrico Climatológico Decenal de Ipatinga e Governador Valadares. Ipatinga: (a) 1961- 1990; (b) 1980-2002; (c) 2005-2022; Governador Valadares: (d) 1961-1990; (e) 1980-2002; (f) 2005-2022.

Fonte: INMET (2023)

Finalmente, a Figura 10 apresenta os BH de Aimorés e Linhares, localizadas na porção leste da bacia, onde se verifica um aumento dos decêndios da retirada e deficiências hídricas. Em Aimorés, nota-se também a existência de dois veranicos: o primeiro no 3º decêndio de outubro e o segundo se estendendo do 2º decêndio de fevereiro até o 2º decêndio de março, no período 1961-1990. Quanto ao BH de Linhares a retirada e a deficiência hídricas são maiores no exutório da bacia no período 1961-1990 e observa-se, também, a presença de um veranico nos três decêndios de outubro.

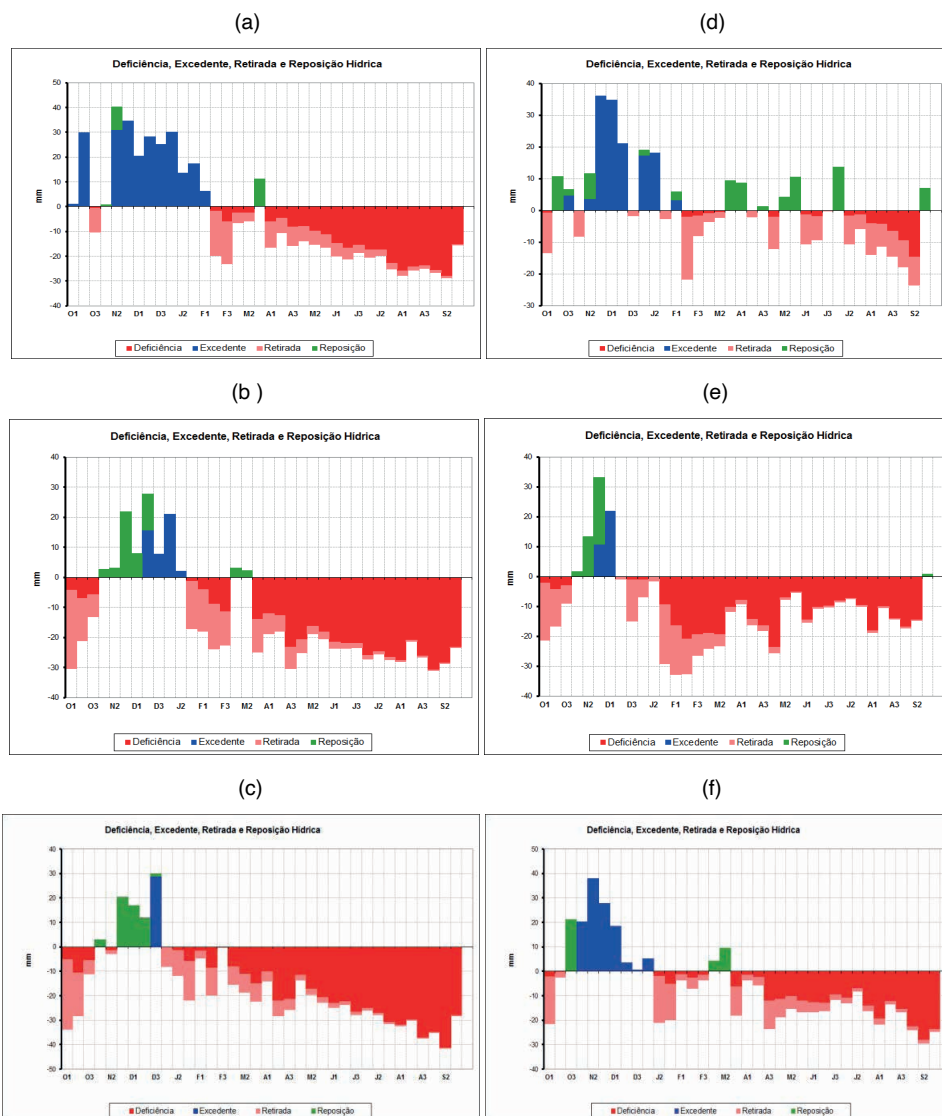


Figura 10: Balanço Hídrico Climatológico Decenal de Aimorés e Linhares. Aimorés: (a) 1961-1990; (b) 1980- 2002; (c) 2005-2022; Linhares: (d) 1961-1990; (e) 1980-2002; (f) 2005-2022.

Fonte: INMET (2023)

A tabela 4 apresenta o número de decêndios com déficits hídricos apurados pelos BHs das estações meteorológicas analisadas, onde é possível averiguar o aumento do número de decêndios com deficiência hídrica. Este aumento é bem marcante na região de Governador Valadares, Aimorés e Linhares. A região serrana de Diamantina e Conceição do Mato Dentro apresentou um aumento de três decêndios com deficiência.

ESTAÇÕES	Déficits Hídricos - 1961 - 1990			Déficits Hídricos - 1980 - 2002			Déficits Hídricos - 2005 - 2022		
	Decêndio do Início	Decêndio do Final	Quant. de Decêndio	Decêndio do Início	Decêndio do Final	Quant. de Decêndio	Decêndio do Início	Decêndio do Final	Quant. de Decêndio
Diamantina	3º ABR	1º SET	14	3º ABR	2º SET	15	2º ABR	1º OUT	18
C.M. Dentro	2º ABR	3º SET	17	2º ABR	2º OUT	19	2º ABR	1º OUT	18
Barbacena	2º JUL	1º AGO	3	2º JUL	3º AGO	5	2º ABR	2º SET	16
Caparaó	3º ABR	2º SET	15	2º ABR	2º SET	16	2º ABR	2º SET	16
Viçosa	1º ABR	1º OUT	19	1º ABR	2º SET	17	1º ABR	1º OUT	19
Caratinga	2º ABR	1º OUT	18	2º ABR	1º OUT	18	1º ABR	2º OUT	20
Ipatinga	2º ABR	3º OUT	20	1º ABR	3º OUT	21	2º ABR	1º OUT	18
G.Valadares	1º FEV	3º OUT	27	3º JAN	3º OUT	28	2º FEV	1º NOV	27
Aimorés	1º FEV	3º SET	24	3º JAN	3º OUT	28	1º JAN	2º NOV	32
Linhares	2º FEV	1º OUT	24	2º DEZ	3º OUT	32	2º JAN	2º OUT	28

Tabela 4 – Número de decêndios com deficiência hídrica nas estações meteorológicas por período

Fonte: Elaborado pelos autores

As 10 estações estudadas apresentaram totais pluviométricos variados conforme os decêndios. Há maior número de decêndios com excedentes e maiores totais de precipitação nas estações localizadas nas regiões serranas, os quais se reduzem para as áreas mais rebaixadas nas porções central e norte-noroeste da bacia. O mesmo ocorre inversamente com o déficit hídrico, o qual é maior nas referidas porções e inferiores nas áreas serranas. Também se percebe um aumento nos decêndios secos em todas as estações, em especial nas de Governador Valadares e Aimorés que apresentaram uma importante deficiência hídrica sugerindo, conforme apontamentos de Cupolillo e Lima (2020), a formação de um processo climático de semiaridez.

ESPACIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS NAS UPGRHS

A Figura 11 demonstra que os dados de temperatura média espacializados na bacia do rio Doce e em suas UPGRHs mostram tendência de aumento das temperaturas de oeste (D03), para leste (D07), e de sudoeste (D01), para norte (D04), nos três períodos (Tabela 5). Cabe destacar que a região DO1, a sudoeste na bacia, apresenta as temperaturas mais baixas nos três períodos: 1961-1990 (13,1°C e 14°C), 1980-2002 (14,1°C a 15,0°C)

e 2005-2022 (19,1°C e 20,0°C), fato explicado por sua posição latitudinal e características altimétricas. Percebe-se um aumento das temperaturas médias mais baixas em torno de 1°C entre os períodos 1961-1990 e 1980-2002 e de 3°C para o período 2005-2022. Para as temperaturas mais elevadas o aumento foi de 1°C entre os períodos 1961-1990 e 1980-2002, diferença que se mantém no período 2005- 2022. Enquanto a região sudoeste da DO1 apresenta as temperaturas mais baixas, as mais elevadas ocorrem nas UPGRHs DO4, DO5, DO6 e DO7. Cabe ainda destacar que as temperaturas médias, mais e menos elevadas, aumentam em todo território com o passar dos anos. Deste modo verifica-se uma tendência climática positiva que corrobora com as informações apontadas por Vianello *et al* (2008) para a bacia do Rio Doce.

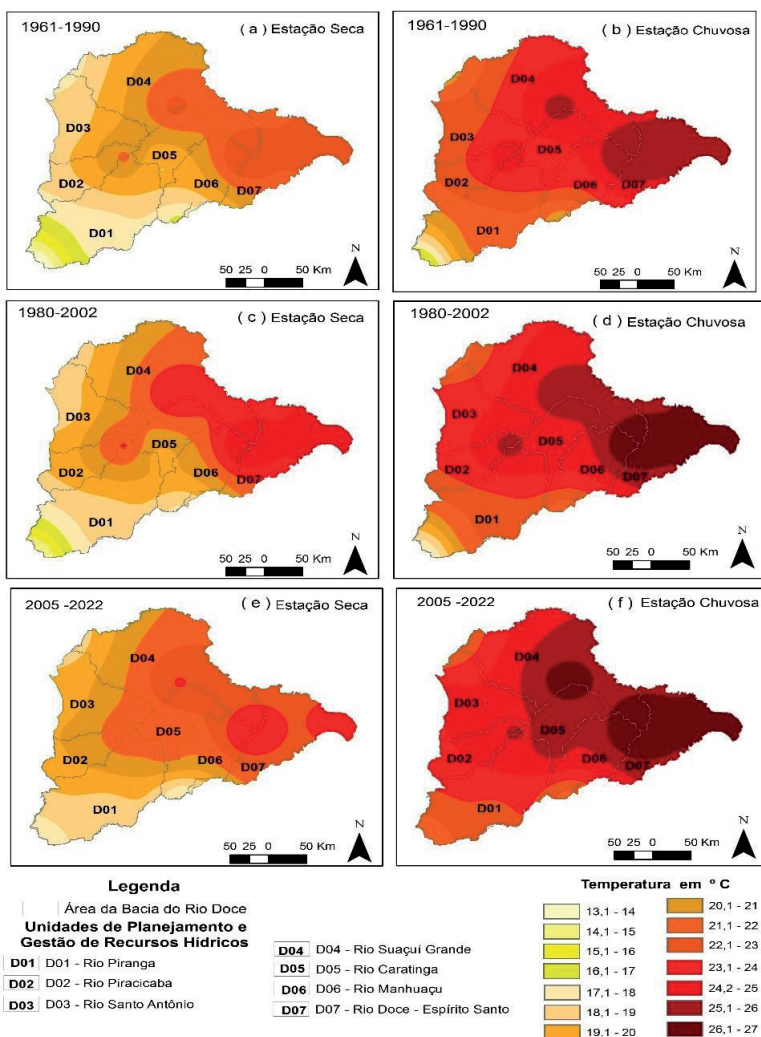


Figura 11: Espacialização da Temperatura Média nas UPGRHs da bacia do rio Doce

FONTE dos Dados: INMET (2023)

Estação Seca		Estação Chuvosa
1961 a 1990	As temperaturas mais elevadas ocorrem nas D04, D05 e D07, variando de 21,1°C a 23,0°C, enquanto as mais baixas 13,1°C a 16,0°C são encontradas nas D02, D03 e D06, regiões serranas	As temperaturas mais elevadas variam entre 23,1°C e 26°C e ocorrem nas D04, D05 e D07 da bacia, enquanto as mais baixas variam de 13,1°C a 21,0°C e ocorrem nas D01, D02, D03 e D06).
1980 a 2002	As temperaturas mais elevadas ocorrem nas D04 e D07 da bacia 23,1°C a 25,0°C, enquanto as mais baixas são encontradas nas D01, D02, D03 e D06, referentes a regiões serranas 13,1°C a 20,0°C.	As temperaturas mais elevadas 23,1°C a 27°C ocorrem nas D02, D03 e D06, enquanto as mais baixas 14,1°C a 20,0°C e ocorrem nas D01 e D03.
2005 a 2022	As temperaturas mais elevadas nas D04, D05 e D07 da bacia 22,1°C a 25,0°C, enquanto as temperaturas mais baixas são encontradas nas D01, D02 e D06, referentes às regiões serranas 17,1°C a 21,0°C.	As temperaturas mais elevadas 23,1°C e 27°C ocorrem nas D04, D05 e D07 da bacia, enquanto as mais baixas 17,1°C e 20,0°C ocorrem nas D01 e D03

Tabela 5 – Análise das Temperaturas Médias nas UPGRHs, por período

Fonte: Elaborado pelos autores

O extremo noroeste da bacia (D03), no período de 1961-1990, é a área com os maiores valores de precipitação acumulada na bacia (Figura 12b). Por outro lado, as áreas cento-norte e centro-sul (D05 e D06) apresentam os menores valores (800,1 mm e 900,0 mm, e 900,1 mm e 1000,0 mm, respectivamente), juntamente com o extremo leste na foz do rio Doce (800,1 mm a 900,0 mm) - Tabela 6. Portanto, verifica-se nos três períodos a persistência um degrau climático: cotas de 600,1 a 700,0 mm que passam, em direção ao ES, para 700,1 a 800,0 mm, sugerindo a influência do giro anti-horário do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), cuja umidade trazida do Oceano Atlântico penetra pelo vale do rio Doce em direção a montante (CUPOLILLO, 2015).

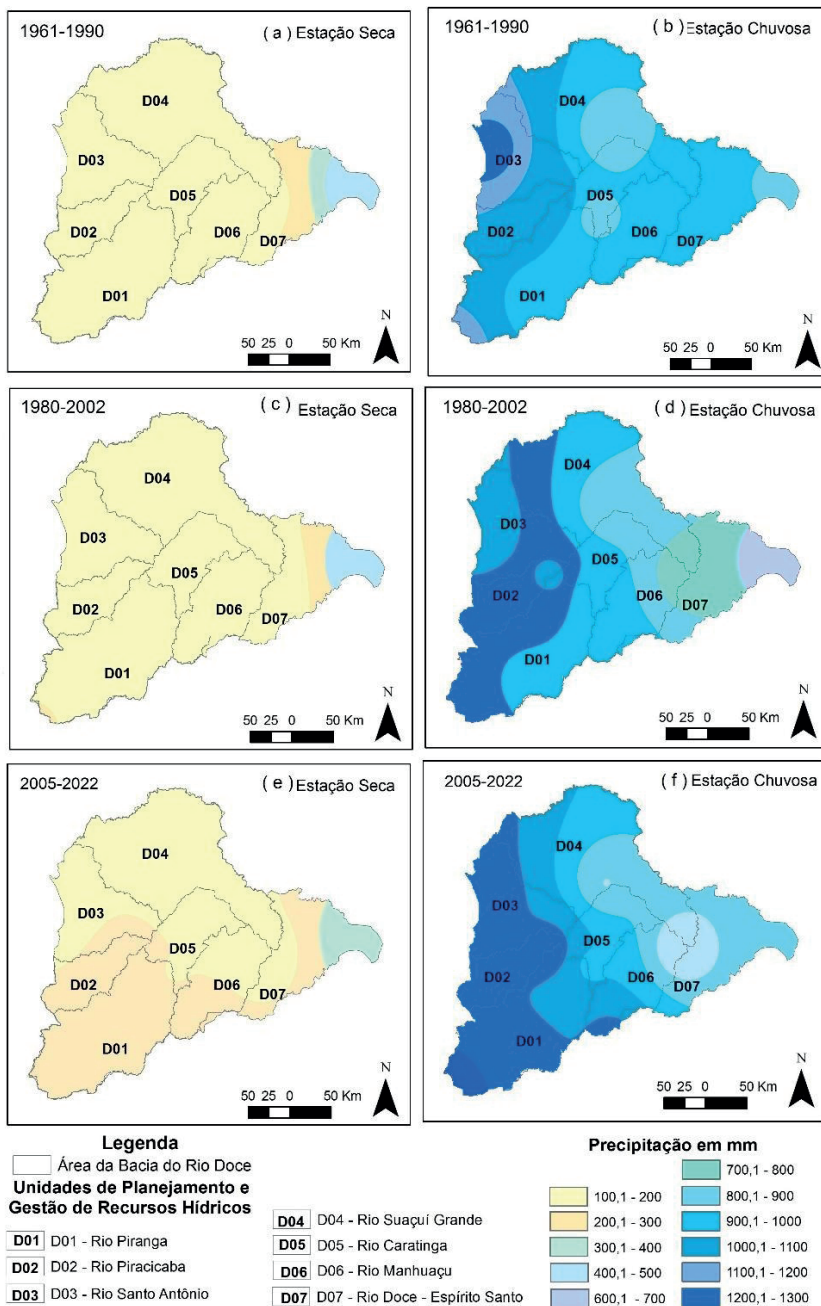


Figura 12: Distribuição das precipitações acumuladas nas UGRHs da bacia do rio Doce

FONTE dos Dados: INMET (2023)

Estação Seca		Estação Chuvosa
1961 a 1990	Apresenta pequena pluviometria (100,1 mm a 200,0 mm) em todo o território mineiro, enquanto na DO7 observam-se quatro compartimentos pluviométricos (de oeste para leste): 100,1 mm a 200 mm, 200,1 a 300,0 mm, 300,1 a 400 mm e 400,1 a 500 mm.	Os maiores valores ocorrem nas UPGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4, correspondentes às regiões serranas da Mantiqueira e Espinhaço, com índices variando de 900,1 mm a 1300 mm
1980 a 2002	Semelhante do período anterior, havendo pequena pluviometria no território mineiro (100,1 a 200,0 mm), e três compartimentos pluviométricos na D07 de oeste para leste: 100,1 mm a 200 mm, 200,1 a 300,0 mm, e 300,1 a 400 mm	As maiores cotas persistem nas DO1, DO2, DO3 e DO4, com índices variando entre 1100,1 mm a 1300,0 mm.
2005 a 2022	Acompanham a tendência dos outros períodos (100,1 a 200,0 mm) em Minas Gerais, enquanto na D07 são identificados três compartimentos pluviométricos (de oeste para leste): 100,1 mm a 200 mm, 200,1 a 300,0 mm, e 300,1 a 400 mm.	Na Figura 11f, as maiores cotas pluviométricas persistem nas UPGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4, variando entre 1200,1 mm e 1300,0 mm.

Tabela 6 – Análise das Precipitações nas UPGRHs, por período

Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 13, apresentam o comportamento da evapotranspiração média na bacia. Nota-se que em todos os períodos, em ambas as estações, houve um aumento gradativo da evapotranspiração média, o que pode ser explicado pelo comportamento do aumento da temperatura média na bacia. Os dados de evapotranspiração também confirmam a existência do Veranico Climático intenso (degrau climático) na região central da bacia (Tabela 7).

Estação Seca		Estação Chuvosa Os menores valores são encontrados nos extremos a
1961 a 1990	Os menores valores são nas D05 e D04, da bacia (5,1 mm a 20,0 mm), enquanto as D06 e D07 apresenta os maiores (25,1 mm a 40,0 mm). A menor faixa de valores é encontrada na DO1 (5,1 mm a 15,0 mm)	Os menores valores são encontrados nos extremos D01 e D06, variando entre 5,1 e 20 mm na DO1 e 15,1 mm a 20,0 mm na DO6.
1980 a 2002	Mostra a mesma tendência do período anterior, ou seja, menores valores de evapotranspiração média nas D05 e D04 (5,1 mm a 25,0 mm), enquanto as D06 e D07, apresentam os maiores (25,1 e 50,0 mm).	Os menores valores prevalecem nas mesmas regiões do período 1961-1990, porém em faixa mais elevada, como é o caso, DO3 (Serra do Espinhaço) e DO6 (Serra do Caparaó), respectivamente, variando entre 10,1 mm a 20,0 mm e 25,1 mm a 30,0 mm.
2005 a 2022	O mesmo comportamento do período anterior, ou seja, menores valores na D04 e D05 (10,1 mm a 20,0 mm), enquanto a D06 e D07 apresentam os maiores (25,1 mm a 35,0 mm)	Os menores valores prevalecem nas mesmas regiões do período anterior (DO1, DO3 e DO6), porém em faixa mais elevada (25,1 mm a 30,0 mm).

Tabela 7 – Análise da Evapotranspiração nas UPGRHs, por período.

Fonte: Elaborado pelos autores

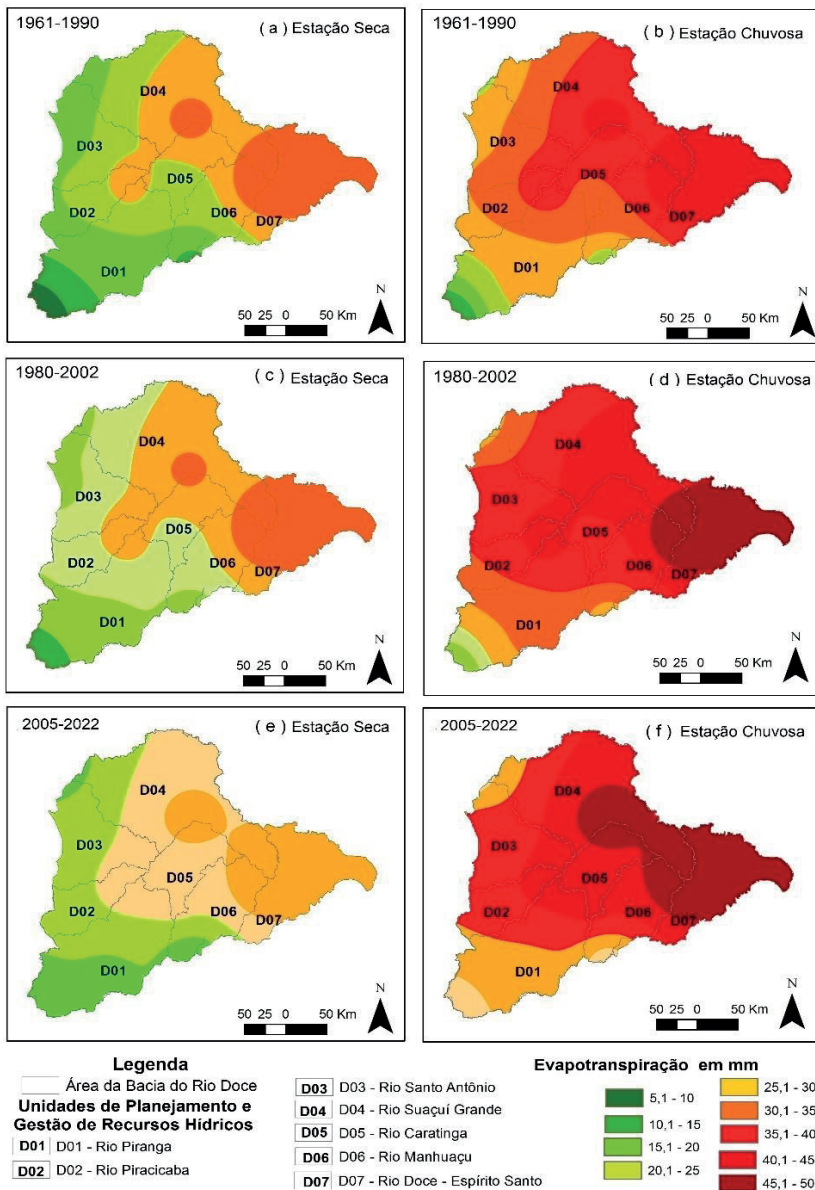


Figura 13: Evapotranspiração Média nas UPGRHs da bacia do rio Doce

FONTE dos Dados: INMET (2023).

O comportamento do excedente hídrico médio é apresentado na Figura 14 (a,b,c,d,e,f). Observa-se que a bacia apresenta, na estação seca (Figuras 14a, 14b e 14c), para os três períodos, o mesmo padrão em todo o território, com valores que variam de 5,1mm a 10,0 mm entre 1961-1990, e 0,1 mm a 5,0 mm nos outros períodos. Na estação chuvosa (Figuras 14b, 14d e 14f), a porção centro-oeste (D04 e D05), da bacia apresenta

um excedente hídrico maior que a centro-leste (D06 e D07). Observa-se que os maiores valores (30,1 mm a 50,0mm) são encontrados nos extremos noroeste, sudoeste e sul da bacia, nas UPGRHs D03 (Serra do Espinhaço), D01 (Serra da Mantiqueira) e D06 (Serra do Caparaó). Os menores valores (01,0 mm a 30,0 mm), por sua vez, são encontrados nas áreas do centro-leste (D04, D05, D06 e D07). Nota-se que enquanto houve redução gradativa do excedente hídrico médio ao longo da estação seca, ocorreu o inverso na estação chuvosa, o que pode ser explicado pelo comportamento do padrão de precipitação acumulada na bacia. Na estação chuvosa, a transição dos menores para os maiores valores de excedente hídrico, ocorrem na região central da bacia, área de ocorrência do já mencionado degrau climático e do Veranico Climático intenso

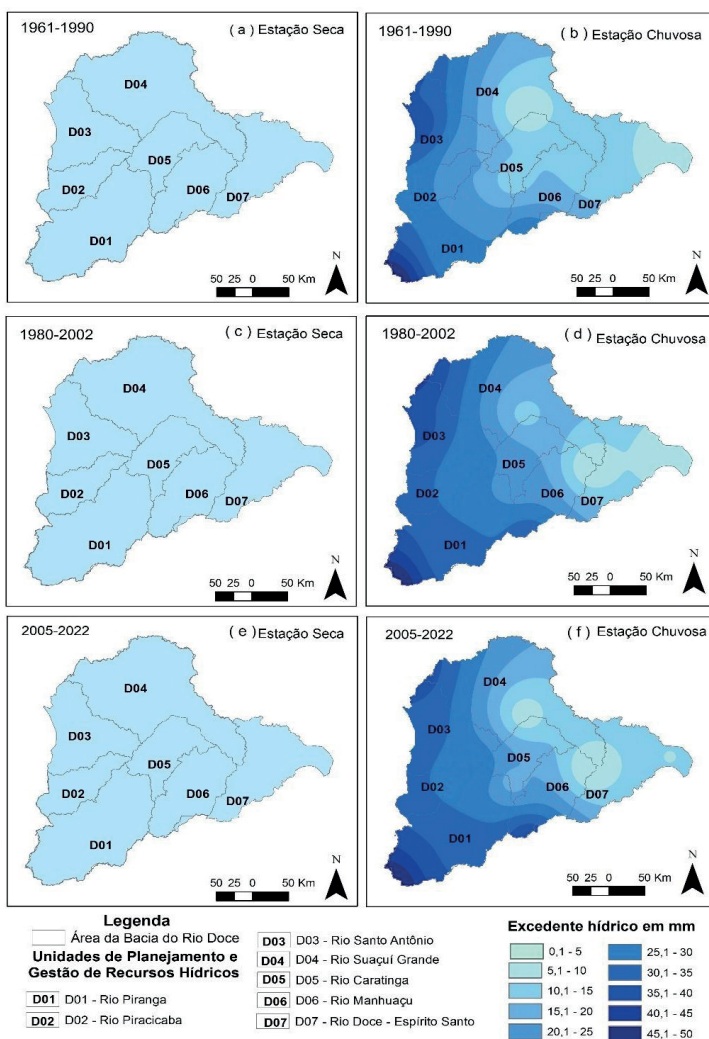


Figura 14: Excedente Hídrico Médio nas UPGRHs da bacia do rio Doce

FONTE dos Dados: INMET (2023)

Em relação ao comportamento da deficiência hídrica média na bacia (Figuras 15 a,b,c,d,e,f), a estação seca do período 1961-1990 (Figura 15a) mostra os maiores valores no centro-leste - D05, D06 e D07- (-10,1 mm a -25,0 mm), enquanto o centro-oeste (D04), apresenta os menores (-0,1 mm a -10,0 mm). Nos três períodos os valores mais baixos são encontrados nas D01 e D06 (-0,1 mm a -5,0 mm), enquanto os maiores ocorrem nas D04, D05, D06 e D07 (-15,1 mm e -25,0 mm). Para os períodos de 1980-2002 e 2005-2022, a deficiência hídrica aumenta espacialmente, dando destaque aos intervalos maiores entre -15,1 mm a -25,0 mm nas UPGRHs recém mencionadas. Na estação seca verifica-se o mencionado cenário de transição de valores na região central da bacia verificado para outros parâmetros, com queda brusca das chuvas e Veranico Climático intenso conforme (CUPOLILLO, 2015).

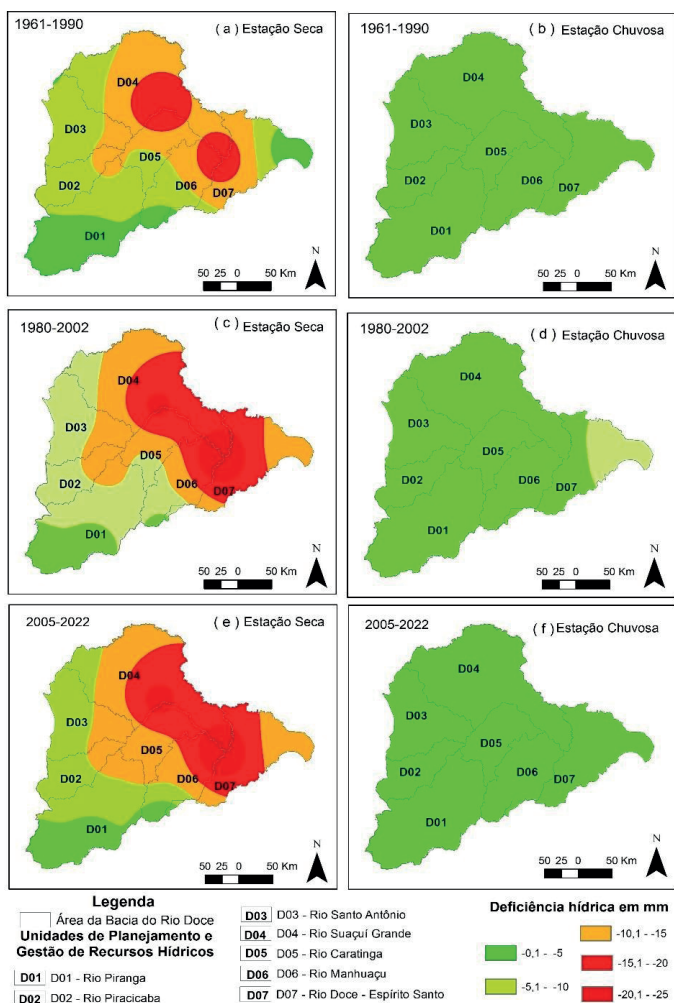


Figura 15: Deficiência Hídrica Média nas UPGRHs da bacia

FONTE dos Dados: INMET (2023)

Na estação chuvosa, a deficiência hídrica é mínima, variando em intervalos predominantes entre -0,1 mm a -5,0 mm, para os três períodos. A exceção ocorre na UGRH DO7, no período 1980-2002, que apresenta intervalo de -5,1 mm a 10,0 mm (Figura 15d). Tal fato pode ser explicado pelo escoamento de umidade vinda do Oceano Atlântico, influenciada pelo giro anti-horário do ASAS (CUPOLILLO, 2015).

A retirada hídrica média da bacia é representada na Figura 16(a,b,c,d,e,f). Na estação seca do período 1961-1990 (Figura 16a), observa-se o predomínio dos maiores valores (-4,1 mm e -7,0 mm) nas D02, D03, D04 e D05. Os menores são encontrados na D01 (-0,1 a -4,0), D06 e zona limítrofe entre D04 e D05 (ambas com valores entre -3,1 a -4,0 mm). Na estação chuvosa (Figura 16b), a retirada hídrica diminui drasticamente, apresentando os menores valores nas regiões serranas das UPGRHs D01, D02, D03 e D04 (-0,1 mm a -1,0 mm), enquanto os maiores ocorrem nas áreas limítrofes entre D04 e D05 e D06 e D07, bem como no exutório da bacia (D07). No período 1980-2002, a estação seca (Figura 16c) demonstra uma redução brusca de retirada hídrica se comparada com o período anterior (Figura 16a), estando os maiores valores nas UPGRHs D02, D03 e D05 (-4,1 mm a -5,0 mm) e os menores na D07 (-0,1 mm a 2,0 mm). Na estação chuvosa (Figura 16d), os menores valores são encontrados nas regiões serranas das UPGRHs D01, D02 e D03 (-0,1 mm a 1,0 mm), e os maiores em áreas das D04, D05, D06 e D07 (-4,1 mm a -7,0 mm).

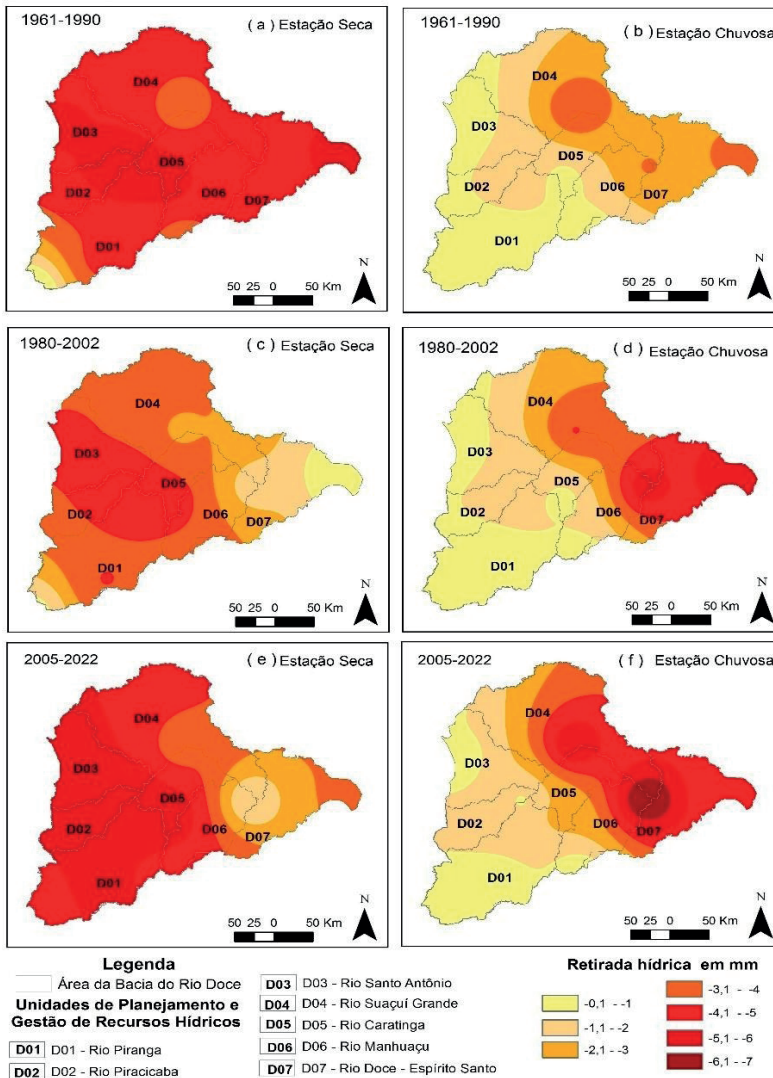


Figura 16: Retirada Hídrica Média nas UPGRHs da bacia

FONTE dos Dados: INMET (2023)

No período 2005-2022, a estação seca (Figura 16e), mostra aumento brusco de retirada hídrica se comparada com o período anterior (Figura 16c). Os maiores valores são encontrados nas UPGRHs DO1, DO2, DO3, DO4, DO5 e DO6 (-4,1 mm a -6,0 mm) e os menores na DO7 (-1,1 mm a -4,0 mm). Na estação chuvosa (Figura 16f), os menores valores ocorrem nas regiões serranas das UPGRHS D01, D02 e D03 (-0,1 mm a -2,0 mm), e os maiores em áreas das DO4, DO5, DO6 e DO7 (-4,1 mm a -7,0 mm).

A Figura 17 (a, b, c, d, e, f) apresenta o comportamento da reposição hídrica média. A estação seca do período 1961-1990 (Figura 17a), mostra o predomínio dos menores

valores de reposição hídrica (0,6 mm a 1,0 mm), sendo que os maiores são encontrados no exutório da bacia (DO7; 1,1 mm a 3,5 mm) e na DO6 (1,1 mm a 1,5 mm).

Na estação chuvosa (Figura 17b), a reposição é menor nas DO1, DO2, DO3, DO4 e DO6, destacando-se as regiões serranas (0,6 mm a 1,5 mm). Os maiores valores são encontrados nas áreas limítrofes entre DO4 e DO5, DO6, DO7 e no exutório da bacia (DO7), com valores variando entre 2,1 mm e 4,0 mm.

No período 1980-2002, a estação seca (Figura 17c), mostra o predomínio dos menores valores de reposição hídrica (0,6 mm a 1,0 mm). Os maiores valores são encontrados na DO7 (1,6 mm a 2,0 mm). Na estação chuvosa (Figura 17d), a reposição é menor nas DO1, DO2, DO3 e DO4, destacando-se as regiões serranas (0,1 mm a 2,0 mm), enquanto os maiores valores ocorrem nas áreas limítrofes entre DO4, DO5, DO6 e DO7 (2,1 mm a 4,0 mm).

A estação seca do período 2005-2022 (Figura 17e), mostra, em comparação com os períodos anteriores, a diminuição brusca da reposição hídrica em toda bacia (0,1 mm a 0,5 mm). Na estação chuvosa (Figura 17f), a reposição é menor nas DO1, DO2, DO3 e DO4, destacando-se as regiões serranas da bacia (0,1 mm a 2,0 mm). Os maiores valores ocorrem nas áreas limítrofes entre DO4, DO5, DO6 e DO7 (2,1 mm a 4,0 mm).

O parâmetro de reposição hídrica média expõe, para a estação chuvosa, o mesmo cenário de degrau climático e Veranico Climático intenso já mencionado.

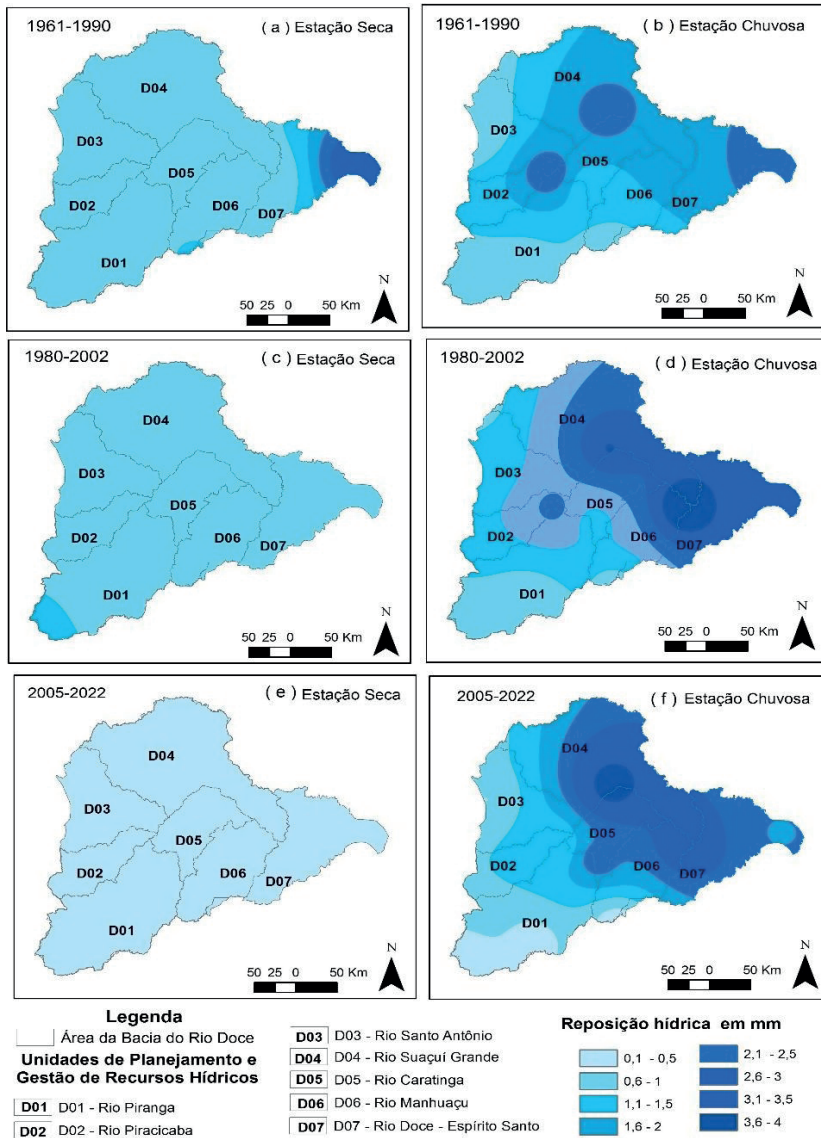


Figura 17: Reposição Hídrica Média nas UPGRHs da bacia

FONTE dos Dados: INMET (2022)

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ATMOSFÉRICO

As figuras 18 a 20 apresentam o comportamento do escoamento atmosférico da América do Sul, através das linhas de correntes, com níveis de altura atmosférica diferentes: em 200 hPa ou aproximadamente 11 Km de altura e 850 hPa ou aproximadamente 3 Km de altura. Verifica-se que o padrão climático do escoamento atmosférico é pouco alterado nos três períodos.

Para os mapas da estação seca, em 200hPa (Figuras 18a, 19a, 20a), observa-se o predomínio do Jato subtropical, em sua posição zonal, atuando sobre o continente desde a porção central do continente até a porção meridional. No nível de 850 hPa (Figuras 18b, 19b, 20b), verifica-se a presença do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) sobre o Oceano Pacífico, influenciando a porção ocidental do continente sul americano, do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o Oceano Atlântico, atuando na porção oriental do continente e na extrema porção meridional, o Jato Subtropical em sua posição zonal.

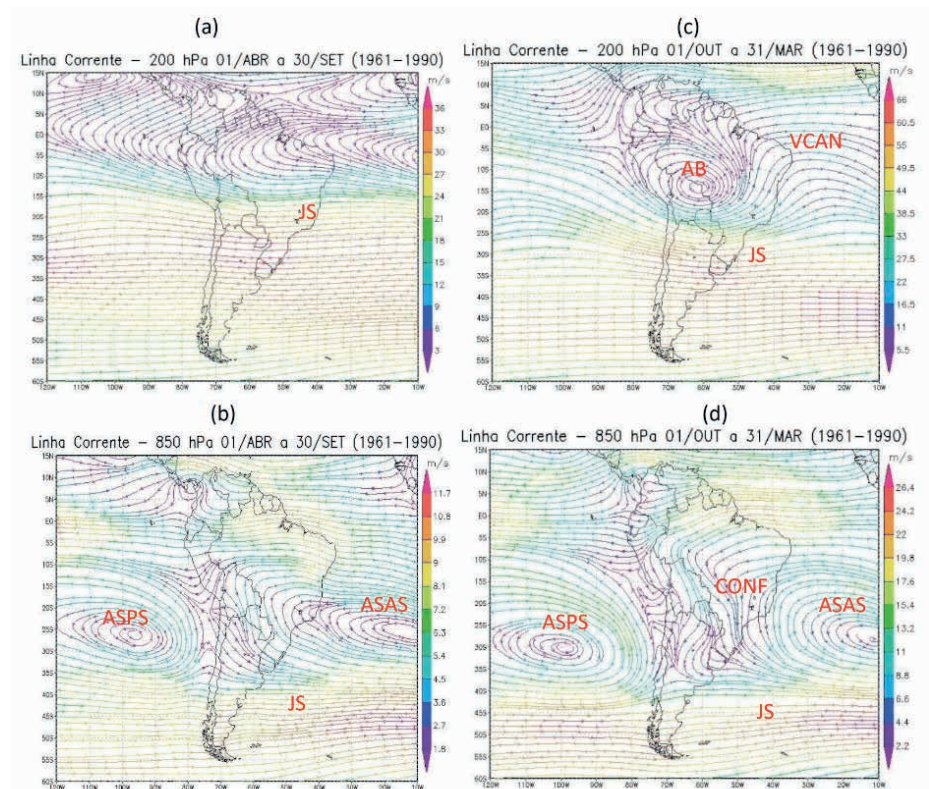


Figura 18: Campos de Linha de Corrente na América do Sul no período 1961-1990 – 200 e 850 hPa. 200 hPa - estações seca (a) e chuvosa (c); 850 hPa – estações seca (b) e chuvosa (d).

Sistemas atmosféricos: Alta da Bolívia (AB), Confluência (CONF), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Jato Subtropical (JS).

FONTE - Dados: NOAA 2023.

Na estação chuvosa, em 200hPa (Figuras 18c,19c, 20c), observa-se nos três períodos um padrão climático do escoamento atmosférico pouco alterado, com a presença de mecanismos atmosféricos da Alta da Bolívia (AB) em sua posição climatológica à

noroeste da Amazônia, o Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN) atuando sobre a porção leste do continente e no litoral, bem como o Jato Subtropical (JS) atuando em sua posição zonal no sul do Brasil e do continente. Ainda na estação chuvosa, no nível de 850 hPa (Figuras 18d, 19d, 20d), observa-se, a persistente atuação dos ASPS e do ASAS, sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico, respectivamente, assim como o JS sobre o sul do Brasil.

A AB, durante a estação chuvosa, escoia umidade amazônica para as regiões sul-sudeste, provocando chuvas torrenciais no fim de tarde. A entrada de frentes frias no continente que se acoplam à AB, forma um intenso mecanismo denominado de Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), composto por uma esteira de circulação de umidade no sentido NW- SE e SE-NW. A ZCAS gera chuvas intensas e persistentes (invernadas), por períodos que variam de 5 a 15 dias consecutivos, provocando enchentes, inundações e deslizamentos de encostas que geram danos importantes em áreas urbanas (ANTUNES, 2018; LIMA, 2019).

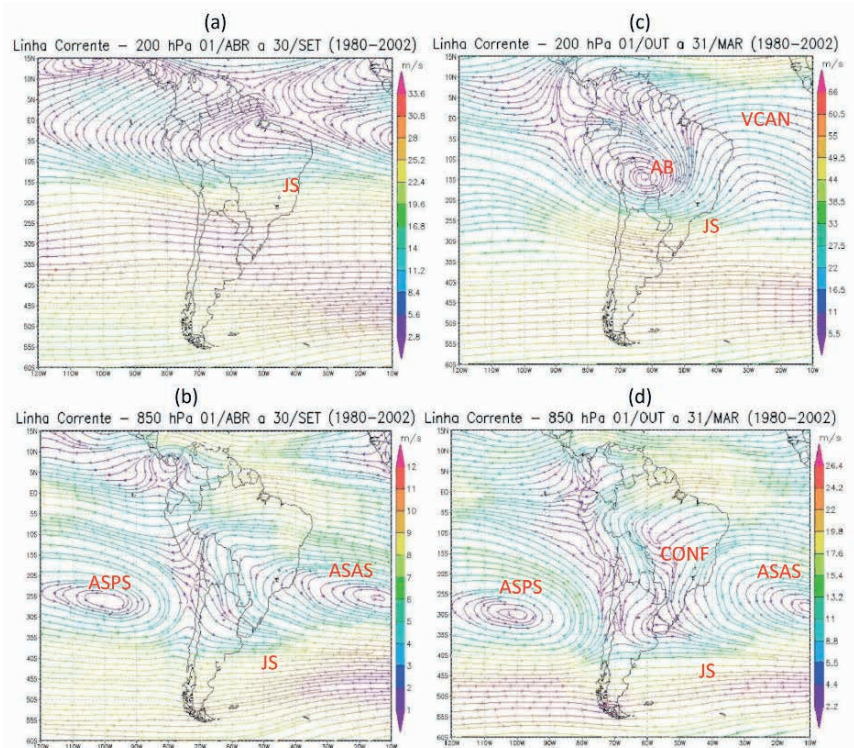


Figura 19: Campos de Linha de Corrente na América do Sul no período 1980-2002 – 200 e 850 hPa 200 hPa - estações seca (a) e chuvosa (c); 850 hPa – estações seca (b) e chuvosa (d).

Sistemas atmosféricos: Alta da Bolívia (AB), Confluência (CONF), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Jato Subtropical (JS).

FONTE - Dados: NOAA 2023.

As intensas chuvas que ocorreram na estação chuvosa de 2021-2022 e afetaram fortemente os estados da Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, foram ocasionados por sequencias de ZCAS, provocando fortes inundações em diversos municípios como Governador Valadares e Ponte Nova, em MG, e Castelo (ES), além de múltiplos deslizamentos de encostas como os verificados, como exemplo, na BR 381, entre Ipatinga e Nova Era, interrompendo totalmente, a circulação de veículos.

Quanto ao ASAS, este aproxima-se do continente na estação seca, inibindo a formação de chuvas devido à subsidência do ar atmosférico sobre a superfície continental e, conseqüentemente, sobre a bacia do rio Doce. Na estação chuvosa, o VCAN a 200 hPa e o ASAS a 850 hPa intensificam a subsidência do ar atmosférico sobre a superfície continental e conseqüentemente sobre Bacia do Rio Doce. Esta intensificação da subsidência gera o degrau climático no centro da bacia e o veranico climático nos meses de janeiro e/ou fevereiro.

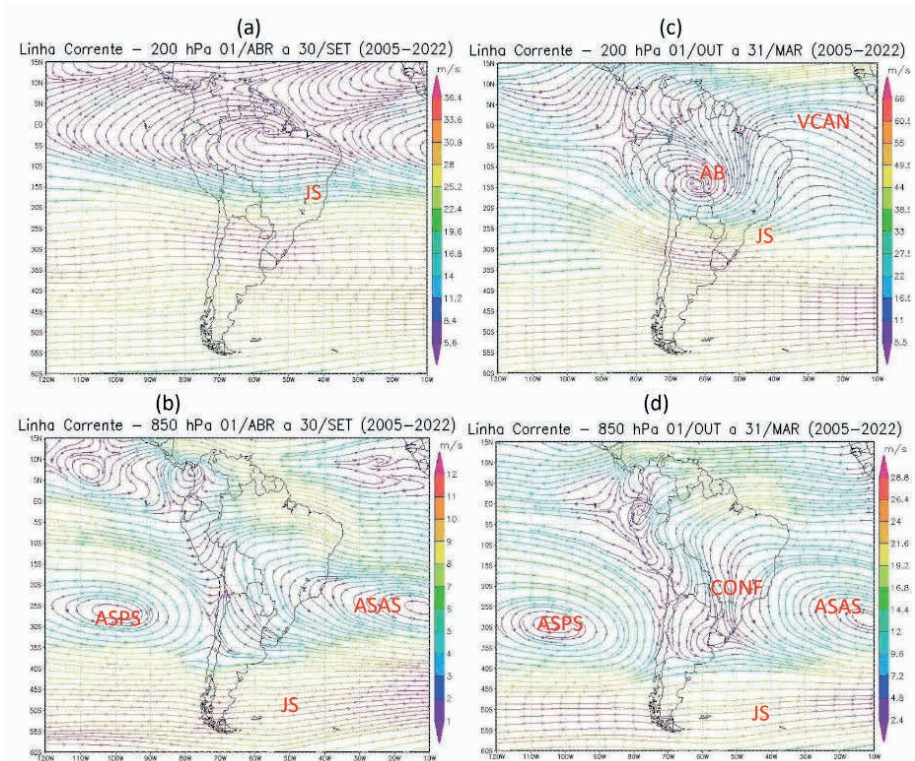


Figura 20: Campos de Linha de Corrente na América do Sul no período 2005-2022 – 200 e 850 hPa 200 hPa - estações seca (a) e chuvosa (c); 850 hPa – estações seca (b) e chuvosa (d).

Sistemas atmosféricos: Alta da Bolívia (AB), Confluência (CONF), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Jato Subtropical (JS).

FONTE - Dados: NOAA 2023.

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

O balanço hídrico climatológico na bacia do rio Doce mostra que a partir do 2º decêndio de outubro, estendendo-se para novembro e janeiro, as precipitações atingem totais para a reposição e excedente hídricos intercalados por veranicos. O Veranico Climático mais intenso surge nos decêndios de fevereiro. Em março retornam as últimas chuvas e em abril inicia-se a estação seca. A atuação do Veranico Climático na estação chuvosa, está intimamente ligada ao comportamento dos mecanismos atmosféricos VCAN e ASAS.

As temperaturas médias menos elevadas, são encontradas nas regiões serranas das UPGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4, particularmente nos municípios de Barbacena, Viçosa, Conceição de Mato Dentro, Diamantina, Caparaó e Caratinga; por sua vez, as mais elevadas ocorrem no fundo do vale do rio Doce, nas UPGRHs DO5, DO6 e DO7, particularmente nos municípios de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés e Linhares.

Verificou-se um comportamento pluviométrico semelhante em toda a estação chuvosa, sendo que as UPGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4 as que recebem maior volume de chuvas. Esse comportamento deve-se a sistemas atmosféricos que agem no estado de Minas Gerais influenciando a bacia, como a Alta da Bolívia-AB que penetra pelo noroeste da bacia e se direciona para o mar. As frentes frias que avançam para o Sudeste também influenciam as precipitações. A combinação entre a convecção tropical e a atuação dos sistemas frontais formam a Zona de Convergência da América do Sul-ZCAS que, estacionando no estado de Minas Gerais, ocasiona intensa precipitação.

O ASAS contribui com a queda das precipitações na estação seca. Silva e Reboita (2013) citam o ASAS como causador do enfraquecimento da precipitação e formação de estiagem devido à redução da temperatura da superfície. Com seu giro anti-horário, o ASAS permite que a umidade se direcione para o oceano. Bastos e Ferreira (2000), Antunes (2018) e Lima (2019) e Vieira (2020) também citam o ASAS como um fenômeno responsável por um típico céu limpo e sem nuvens no inverno, sem a presença de precipitações.

Comparando os três períodos analisados, observa-se que, com a redução da precipitação acumulada e da temperatura na estação seca, ocorre redução da evapotranspiração potencial, manutenção do excedente hídrico, aumento da deficiência e da retirada hídrica e diminuição da reposição hídrica. Na estação chuvosa, aumenta a evapotranspiração potencial, diminui a deficiência hídrica, e aumenta a retirada e a reposição hídrica.

O escoamento do ar em 200 hPa e 850 hPa na estação seca demonstra a presença do ASAS atuando na baixa umidade relativa do ar na bacia do rio Doce. Na estação chuvosa a atuação do ASAS e do VCAN formam o Veranico Climático à superfície e a atuação da AB e da ZCAS ocasionam chuvas intensas na Bacia. A interação destes mecanismos com a topografia local, favorece a formação de um degrau climático no centro da bacia,

responsável pela formação de uma ruptura da intensidade das chuvas, em ambas as estações dos três períodos.

Salienta-se que, devido à complexidade física e socioeconômica, diferenciadas, entre as UPGRHs (DO1, DO2, DO3, DO4, DO5, DO6, DO7), novas pesquisas climatológicas deverão ser realizadas para melhor compreensão desse tema, buscando assim, informações mais detalhadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa; à FAPEMIG pelo apoio financeiro no âmbito do Projeto APQ-00511-21.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, D. A. **Diagnóstico Climatológico do Parque Estadual do Rio Doce – PERD**. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Bambuí - MG, 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 18. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

BASTOS, C.; FERREIRA, N. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p. 612-619.

CUPOLILLO, F.; ABREU, Magda Luzimar de; VIANELLO, R. L. . **Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local**. GEOGRAFIAS (UFMG), v. 4, p. 45- 60, 2008.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce**. 1ª Ed. Saarbucken – Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

CUPOLILLO, F. LIMA, J.M. RELATÓRIO CLIMATOLOGICO: BALANÇO HÍDRICO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE 2005 A 2019. 2020. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/governadorvaladares/pesquisa/laboratorio-de-climatologia/relatorios-climatologicos/relatorio-climatologico-balanco-hidrico-do-perd-2005-a-2019.pdf>. Acesso em janeiro 2023.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Professional**.GIS for the desktop, versão 10.5, 2015. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html> . Acesso de janeiro a dezembro 2022.

GEORGE MASON UNIVERSATY **GrADS versão 2.0.2**, 2022. Disponível em: <http://cola.gmu.edu/grads/>. Acesso em 20 nov 2022.

GUIMARÃES, A. O. (2008). **Influência do meio físico na predisposição a movimentos de massa no município de Ipatinga, MG** . 2008. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2008.

Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year **reanalysis project**, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437- 470, 1996. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/> Acesso em: 20 janeiro 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Apresenta informações sobre os municípios brasileiros quanto a população, economia e cartografia dentre outros**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 03 dezembro. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas**. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/VariacoesClimaticas/1961-1990/diferenca_precipitacao. Acesso de fevereiro de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Dados Meteorológicos Estações Automáticas**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001> Acesso de janeiro de 2023.

LAGE, M. R.; CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. **Aspectos climáticos da bacia do rio Doce**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XI, 2005, São Paulo.

LIMA, J.M. **Análise Espaço-Temporal das Chuvas Persistentes na Região do Parque Estadual do Rio Doce (2005 a 2015)**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) - Instituto Federal Minas Gerais, Bambuí, 2019. 346p.

NIMER, E.; 1989: **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; 421 p.

NIMER, E.; Brandão, A. M. P. M. *Balanço hídrico e clima na região dos Cerrados*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421p.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n.1, 2012. p. 34-50. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>. Acesso em: 20 nov.2022.

ROLIM, G.S; SENTELHAS, P.C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137,1998.

SILVA, E. D. da.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.13. n. 9, jul-dez .2013. Disponível: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/33345/22585>. Acesso em: 20 nov. 2022

TAVARES, A. C. **Mudanças Climáticas**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. *Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 280 p.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. **Publications In Climatology**. Drexel Institute of technology. New Jersey. v.8, n 1.1955.p. 104. Disponível em: oregondigital.org/catalog/oregondigital:df70pr001#page/13/mode/1up. Acesso em: jun.2020. TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo; Nobel. 1 ed.4reimp.1986. p.374.

VIANELLO, R. L.; ABREU, M. L.; OLIVEIRA, P.; GADELHA, A. A. L. **Veranico 2006 em Minas Gerais: precedentes meteorológicos e impactos na agricultura.** In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. *Anais*. Florianópolis, 2006.

VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; FERNANDES, A. dos S.; GEMIACKI, L. **Variabilidades climáticas e seus impactos na agricultura de Minas Gerais.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, p.19-36, set./out. 2008.

VIEIRA, C. A.; **Estudo da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre a Região do Parque Estadual do Rio Doce e seu entorno.** Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2020. 176 p.

VIEIRA, C. A. ; CUPOLILLO, F. ; LIMA, J. M. ; NUNES, J. B. C. . **Orientação para Interpoladores de Parâmetros Climáticos.** 2020. Cartilha Técnica - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2020.