

A pluviometria da região da Serra do Caraça e a influência no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais

Antoniél Silva Fernandes¹

¹Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Estadual de Florestas. Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil


geoansf@yahoo.com.br

 0000-0002-5272-8031

Alecir Antonio Maciel Moreira²

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Instituto de Ciências Humanas. Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil

alecirmoreira@hotmail.com

 0000-0002-6107-9782

revista

Geo 

USP

espaço e tempo

Volume 27 • n° 1 (2023)

ISSN 2179-0892

e-200689

Como citar este artigo:

FERNANDES, A. S.; MOREIRA, A. A. M. A pluviometria da região da Serra do Caraça e a influência no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Geosp**, v. 27, n. 1, e-200689, jan./abr. 2023. ISSN 2179-0892. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/200689>. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2023.200689.pt>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

A pluviometria da região da Serra do Caraça e a influência no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais¹

Resumo

A pesquisa analisa sobretudo o comportamento e a distribuição das chuvas na Serra do Caraça e a interação com seu entorno, a região do Quadrilátero Ferrífero, evidenciando o papel da orografia. Utilizou-se da climatologia geográfica e da análise espacial, com técnicas estatísticas como ferramentas de interpretação dos dados e visando extrair a dinâmica e os ritmos climáticos. Os resultados demonstraram que o conjunto serrano, principalmente na borda leste (Serra do Caraça), influencia a dinâmica da circulação geral e das correntes que provocam distúrbios nos ventos (W/NW e S/SE). Essas correntes concorrem com a precipitação, que pode ultrapassar os 2.500 mm. Constatou-se que há variabilidade na distribuição da chuva no interior do Quadrilátero Ferrífero (bordas N/E apresentam volumes de chuvas mais expressivos que bordas W/S). Quanto à variabilidade espacial e temporal, entre 1984-92, registraram-se as maiores ocorrências de chuva, e, nos anos de 1998-2003 e 2013-16, as menores, no arco de tempo analisado.

Palavras-chave: Pluviosidade. Quadrilátero Ferrífero. Orografia. Climatologia geográfica.

Pluviometry in the Serra da Caraça region and its influence on the Iron Quadrangle region, in the state of Minas Gerais, Brazil

Abstract

The research focused on analyzing the behavior and distribution of rainfall in the Serra do Caraça, and the interaction with its surroundings – the Quadrilátero Ferrífero region – highlighting the function of the orography. Geographical Climatology and Spatial Analysis were used in order to develop the present investigation, through

¹ Os autores agradecem à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por financiar parte desta pesquisa, pelo Processo n. 88887.178855/2018-00.

techniques of the statistical as data interpretation tools and aiming to extract the dynamics and climatic rhythms. The results demonstrated that the mountain range, mainly on the eastern edge (Serra do Caraça), influences the dynamics of general circulation and currents that bring disturbances in the winds (W/NW and S/SE). This contribute to precipitation and may reach values greater than 2,500 mm. It was found that there is variability in the distribution of rainfall within the Quadrilátero Ferrífero – N/E corners presents more substantial rainfall volumes than the W/S edges. Regarding the spatial and temporal variability: between 1984-92 the highest occurrences of rainfall were recorded; and in the years 1998-2003 and 2013-16, the lowest occurrences were recorded in the analyzed time frame.

Keywords: Rainfall. Quadrilátero Ferrífero. Orography. Geographical Climatology.

La pluviometría de la región de la Sierra del Caraça y la influencia en el Cuadrilátero de Hierro, Minas Gerais

Resumen

La investigación se centró en analizar el comportamiento y la distribución de las precipitaciones en la Sierra del Caraça y la interacción con su entorno, la región del Cuadrilátero de Hierro, destacando el papel de la orografía. Se utilizó la climatología geográfica y el análisis espacial, a través de técnicas estadística con herramientas de interpretación de datos y con el objetivo de extraer la dinámica y los ritmos climáticos. Los resultados mostraron que la cordillera, principalmente en el borde oriental (Sierra del Caraça), influye en la dinámica de circulación general y en las corrientes que traen perturbaciones en los vientos (O/NO y S/SE). Las corrientes contribuyen a la precipitación, y pueden alcanzar valores superiores a 2.500 mm. Se encontró que existe variabilidad en la distribución de la lluvia dentro del Cuadrilátero de Hierro (los bordes N/E presentan volúmenes de lluvia más expresivos en relación con los bordes O/S). En cuanto a la variabilidad espacial y temporal, entre 1984-92 se registraron las mayores ocurrencias de precipitaciones, y los años 1998-2003 y 2013-16 se registraron las menores ocurrencias en el espacio de tiempo analizado.

Palabras clave: Pluviosidad. Cuadrilátero de Hierro. Orografía. Climatología geográfica.

Introdução

A atmosfera terrestre pode ser considerada o domínio mais latente, dinâmico e transiente de todas as esferas naturais do planeta (Sant'Anna Neto, 2002). Ela é responsável por produzir fenômenos intrigantes como temporais, chuvas de granizo, tornados e neblina, bem como gerar os elementos naturais: nuvens de diversos formatos, amplitudes e dimensões.

Os fenômenos climáticos são constituídos por um conjunto de elementos de natureza diversa e que convivem, ao mesmo tempo e no mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes (Ribeiro, 1993).

Assim, há um conjunto de elementos e fatores em interação dinâmica que se fundem no tempo e no espaço, revelando unidades ou tipos passíveis de serem medidos em seu tamanho (extensão) e em seu ritmo (duração) – e que irão particularizar as condições do tempo e do clima em uma região (Ribeiro, 1993).

Entre os fatores climáticos, a orografia se destaca em regiões serranas, pois as serras servem como âncora ou barreira para a umidade e para criar microclimas. Jardim e Galvani (2022) lembram que em sistemas orográficos aumenta o total de chuvas, além de o gradiente altimétrico inverter temperatura e altitude.

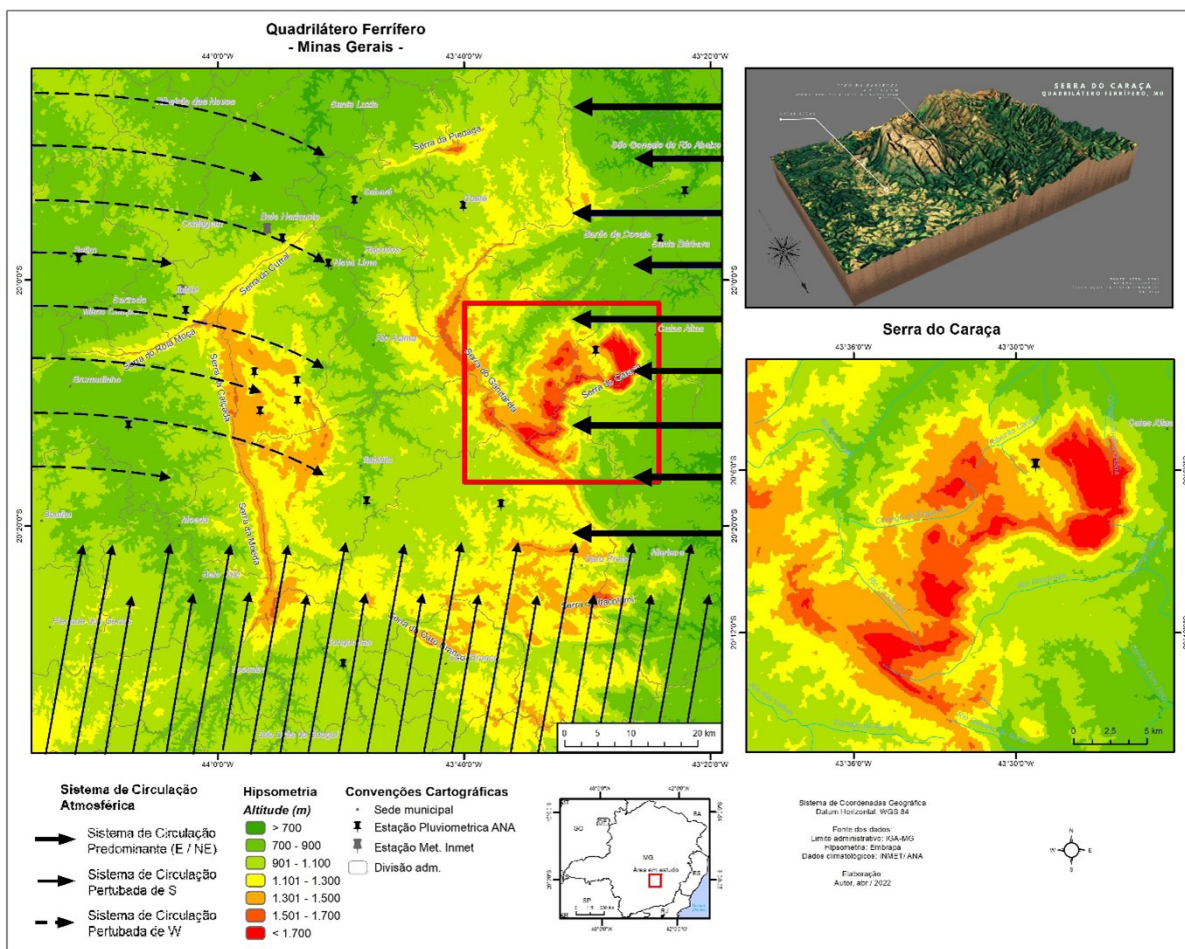
Em sua pesquisa sobre o efeito da orografia da Serra do Curral no regime pluviométrico de Belo Horizonte, Moreira, J. e Abreu (2002) verificaram que nos meses de abril e setembro o fator topográfico é o principal causador das chuvas concentradas no sul do município. Já em outubro (início da estação chuvosa), as chuvas se devem predominantemente às áreas de topografias mais elevadas aliadas à elevação das temperaturas, correlacionadas com a migração da massa de ar equatorial rumo a sudeste do Brasil que dá origem à formação de linhas de instabilidade.

Ainda segundo os autores, nos meses de novembro, dezembro e janeiro, a Serra do Curral atua como indutora dos maiores totais de precipitação – o que reafirma seu papel de sintonia fina nos processos frontais e convectivos, bem como suas interações com as zonas de convergências de umidade que ocorrem na região nesse período (Moreira, J.; Abreu, 2002).

A região ao sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, tem um conjunto serrano em forma de quadrilátero que, em função da estrutura litológica, foi denominado Quadrilátero Ferrífero pelo geólogo Luis Felipe Gonzaga de Campo ao produzir mapas e informações sobre a região a pedido do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil no início do século XX (Souza, 2021). A expressão foi publicada pela primeira vez nos trabalhos desenvolvidos por Dorr II (Souza, 2021), na década de 1950 e, a partir daí se consolidou como denominação dessa região.

No Quadrilátero Ferrífero (QF), se destaca a Serra do Caraça. Situada na borda leste, ela apresenta os maiores valores altimétricos da região central do estado de Minas Gerais (Moreira, A.; Pereira, 2004), com picos superiores a 2.000 m (Pico do Inficionado, com 2.068 m, e Pico do Sol, com 2.070 m). Destarte, a Serra do Caraça configura-se como uma barreira orográfica, retendo parte da umidade transportada pela circulação predominante dos ventos (E-NE) e pelas correntes perturbadas (W e S) nessa região (Figura 1).

Figura 1 – Localização da Serra do Caraça no Quadrilátero Ferrífero, MG



fonte: Mapa adaptado de Nimer (1972).

Além da alta concentração de hematita e itabirito, que vem sendo explorados como minério de ferro, o quadrilátero tem grande riqueza e endemismo de espécies (Rego; Franceschinelli; Zappi, 2012; Carmo; Jacobi, 2013; Fernandes, 2013), além de um volume expressivo de outro recurso mineral essencial à vida: a água, tanto em superfície quanto em sub-superfície.

As águas nessa região são usadas para o abastecimento público de grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Um único ponto de extração no Rio das Velhas, interior do QF, é responsável por fornecer aproximadamente 6.600,00 l/s de água para consumo humano (Belo Horizonte, 2016), o que abastece cerca de 1,8 milhão de pessoas (Lemos; Magalhães Junior, 2019).

Como lembra Souza (2021), no QF é imperativo reconhecer as águas como elemento essencial das relações que acontecem nesse espaço e que se tornam condições para a própria vida da RMBH. Ainda segundo esse autor, é desejável reconhecer o território como um Quadrilátero Aquífero e não como um Quadrilátero Ferrífero, pois, ao adjetivá-lo como ferrífero, reforça-se o viés voltado para a exploração mineraria da região. Neste ponto, e contribuindo com essa discussão, sugere-se a expressão Quadrilátero das Águas, uma vez que grande parte desse recurso hídrico estaria sob a superfície.

O objetivo deste artigo é identificar as particularidades da pluviosidade da Serra do Caraça, bem como seus contrastes com o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Procedimento metodológico

Na pesquisa foram empregados recursos da estatística descritiva pelos dados extraídos das estações meteorológica e pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2022) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), respectivamente. Usaram-se valores absolutos, médias, máximos e mínimos mensais, diários e horários, amplitude, medianas e quartis.

Utilizaram-se dados contidos na Normal Climatológica Provisória de 1981-2010 das estações Florestal, Ibitaré, Belo Horizonte, João Monlevade, Viçosa, Barbacena e São João del-Rei – todas no estado de Minas Gerais. Essas estações foram escolhidas por sua disponibilidade e sua proximidade com o Quadrilátero Ferrífero e pela formação de uma poligonal que envolvesse a área em estudo.

Além dessas estações, usou-se um conjunto de estações pluviométricas geridas pela ANA, situadas no interior do Quadrilátero Ferrífero e em seu entorno imediato. A escolha do conjunto de estações pluviométricas deveu-se à disponibilidade de um arco de tempo comum e o mais longo possível de dados, à consistência dos registros históricos e à localização geográfica que permite enquadrar a área de estudo e obter transectos para melhor compreender as condições meteorológicas e climáticas da região.

O objetivo de obter informações por meio de análise estatística descritiva foi identificar as tendências centrais, as frequências, as correlações, as amplitudes e a variabilidade dos elementos climáticos. Para tanto, foi preciso extrair a dinâmica e os ritmos climáticos da área em estudo, além de auxiliar na definição dos “anos-padrão excepcionais”, conforme proposta de Monteiro, C. (1971), e na identificação de singularidades na região em estudo.

Para atribuir intervalos de classes aos dados pluviométricos, adotou-se o método proposto por Sturges (Equação 1), que relaciona o tamanho dos intervalos de classe à extensão dos dados.

$$K = 1 + 3,322 (\log n) \quad (1)$$

Onde: K é o número de classes; n é o universo da amostra.

Para identificar os períodos excepcionais de pluviosidade (como há valores muito discrepantes nas amostras) foram utilizados os quartis. As ordens quartílicas empregadas neste trabalho foram $Q_{(0,25)}$ e $Q_{(0,75)}$, definidas na estatística descritiva como quartil inferior e quartil superior, ou ainda primeiro e terceiro quartis – e que, nesta pesquisa, podem ser entendidos como o limiar de períodos excepcionalmente secos ou chuvosos.

Para determinar os quartis, aplicou-se a Equação 2, conforme proposta de Monteiro, J. e Zanella (2014).

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i] / [P_{i+1} - P_i]\} * [y_{i+1} - y_i] \quad (2)$$

Onde: $Q(P)$ é o quartil utilizado, que corresponde à ordem quantílica; $P = 0,25$ ou $0,75$; i é o número de ordem de cada valor (em ordem crescente); y corresponde a cada número de ordem i (total pluviométrico em mm); P_i é a ordem quantílica ($P_i = i/(N + 1)$); e N é o número de elementos da série.

Na pesquisa, adotou-se a técnica dos quartis para os totais acumulados de precipitação em intervalos mensais e anuais. Para mais detalhes da técnica dos quartis aplicados à climatologia, consultar: Xavier e Xavier (1999), Zavattini e Boin (2013), Monteiro, J. e Zanella (2014), Silva, M., Moura e Jardim (2017) e Gouvea et al. (2018).

A partir da determinação dos quartis, inferior e superior, foi possível estabelecer o intervalo interquartil, que é dado pela Equação 3 – visando obter o grau de dispersão em torno da medida de centralidade, bem como elaborar gráficos que demonstrem a variabilidade da precipitação, como o diagrama de caixa (*box plot*).

$$IIQ = Q_3 - Q_1 \quad (3)$$

Os dados obtidos foram organizados em mapas, tabelas e gráficos nos *softwares* ArcView GIS 10.5, da Esri, do Excel, da Microsoft, versão 2016, e no *software* estatístico Minitab, versão 17.

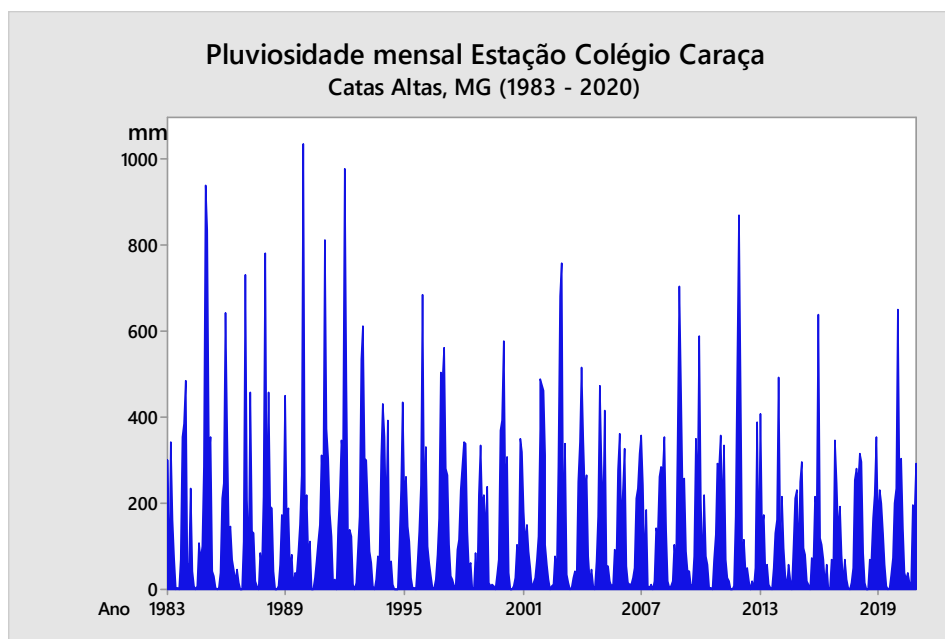
Na elaboração dos mapas de pluviosidade, foi utilizado o traçado das isoietas, obtido pela interpolação matemática *topo to raster*, conforme testes realizados com diferentes interpoladores do *raster interpolation* do programa ArcView GIS 10.5. Testes constataram o interpolador que apresentou maior suavidade das isoietas e melhor coincidência com as características altimétricas da região, corroborando os resultados encontrados por Marcuzzo, Andrade e Melo (2011).

Na interpolação, foram utilizados os dados de precipitação anual e sazonal (por estações do ano) de até 31 estações pluviométricas geridas pela ANA e situadas no Quadrilátero Ferrífero, assim como em seu entorno. Foram escolhidos os anos de 1992, 2005 e 2017, por haver sido de extremos pluviométricos chuvosos (1992) e secos (2017), além do ano-padrão normal (2005), identificados a partir dos quartis inferior e superior dos dados obtidos para a Estação Pluviométrica Colégio Caraça (Estação 2043059, ANA, 2021). Não foram utilizados os dados das estações pluviométricas que não continham dados registrados para no mínimo um mês dos anos analisados.

Particularidades da pluviosidade na Serra do Caraça

Os maiores índices pluviométricos mensais registrados na Serra do Caraça são próximos a 1.000 mm, conforme os dados coletados na estação pluviométrica instalada na região com arco de tempo de 1983-2020 (Gráfico 1): em dezembro de 1984 (939,7 mm); em janeiro de 1985 (837,3 mm); em dezembro de 1989 (1.035,5 mm); em janeiro de 1992 (980 mm); e em dezembro de 2011 (871,9 mm).

Gráfico 1 – Pluviosidade mensal na Estação Colégio Caraça – Catas Altas, MG



fonte: Totais mensais de precipitação. Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983-2020 (ANA, 2021).

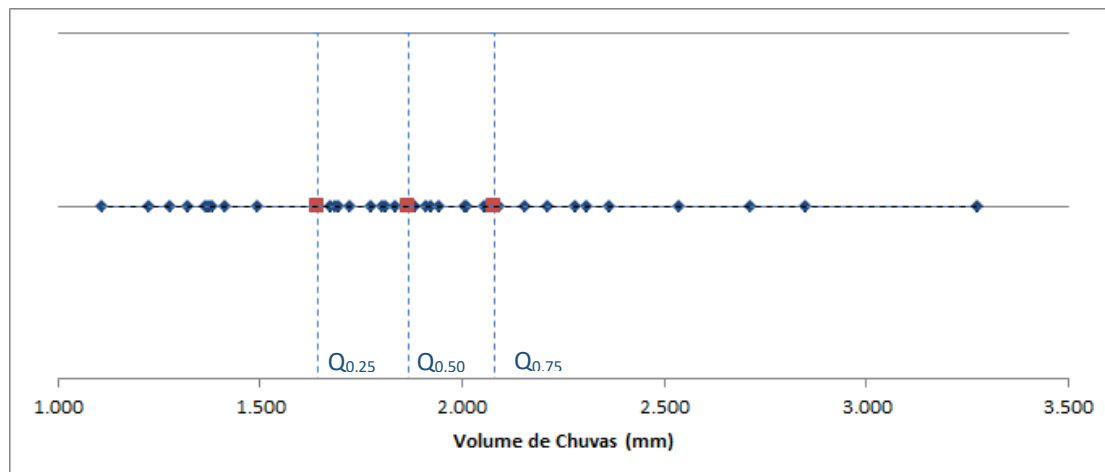
Analisando o comportamento das chuvas ao longo dos últimos 37 anos de medições, percebe-se que durante a década de 1980 (até 1992) houve um ciclo de pluviosidades mais elevadas. De 1993 até 2010, os registros ficaram próximos da climatologia da região. O ano seguinte (2011) foi marcado por anomalias positivas de chuvas; já nos subsequentes, foram observadas anomalias negativas de chuvas. A causa desse comportamento pode estar relacionada a diversos fatores de variabilidade interanual, como a ocorrência de Enos em suas fases negativa e positiva. Não obstante, a análise da variabilidade interanual não é objetivo dessa pesquisa.

A ausência de precipitações em bases mensais foi verificada nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Mesmo assim, a frequência relativa em agosto foi de 20%, em julho foi de 14% e em junho e setembro foi de 9%. Em outras palavras, significa afirmar que apenas cerca de 20% dos meses de agosto transcorreram sem chuvas – essa análise pode ser replicada para os demais meses. A explicação do comportamento observado é o posicionamento da alta subtropical do Atlântico Sul (Asas) durante os meses de inverno, mais próximo à costa sul-americana. Isso condiciona forte subsidência e estabilização atmosférica.

Quanto à pluviosidade anual na Serra do Caraça, os maiores registros pluviométricos foram superiores a 2.500 mm: 1985, com 2.711 mm; 1991, com 2.847,8 mm; 1992, com 3.274,4 mm; e 2011, com 2.533,9 mm. E os menores registros de chuvas anuais não foram inferiores a 1.000 mm: 2010, com 1.281,6 mm; 2012, com 1.277,8 mm; 2014, com 1.222 mm; e 2017, com 1.109,1 mm (Gráfico 2).

Aplicando a equação de Sturges, verificou-se que as maiores frequências se concentraram nos intervalos de classe de 1.829-2.189 mm (classe modal), que detêm 34% dos totais anuais de chuva. Cerca de 24% dos totais anuais de chuvas ocorreram no intervalo de 1.469-1.829 mm; e 21% no intervalo de 1.109-1.469 mm. A classe modal, obtida pelo método de Sturges, sugere o intervalo habitual das chuvas na região da Serra do Caraça.

Gráfico 2 – Volume de chuvas anuais (mm) – Estação Pluviométrica Colégio Caraça



nota: $Q_{0,25}$ – 1º quartil; $Q_{0,50}$ – mediana; $Q_{0,75}$ – 3º quartil.

fonte: Elaborado por Antoniel Silva Fernandes com dados extraídos dos totais mensais de precipitação. Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983-2020 (ANA, 2021).

Essa série temporal apresenta amplitude total de variação (ATV) de 2.165,3, com frequência de variação igual a 1 (Gráfico 2), pois há diferenças entre os valores extremos da série, além de baixa frequência desses valores (máximos e mínimos) (Tabela 1).

A análise das medidas de tendência central e os valores obtidos pelo cálculo do desvio padrão, correlacionados com os valores médios na análise anual, demonstraram sazonalidade expressiva ou maior dispersão entre os meses de maiores intensidades pluviométricas (novembro, dezembro e janeiro) e os de menores intensidades (junho, julho e agosto), dados confirmados pelo diagrama de caixa (Gráfico 3) elaborado com medidas de variabilidade.

Considerando as medidas de tendência central, os baixos totais mensais médios precipitados indicam que os meses de junho, julho e agosto apresentaram os maiores coeficientes de variação e os menores desvios padrão (Tabela 1). Entretanto, há uma ressalva: como o universo estatístico apresenta valores muito discrepantes, nesse caso não é recomendado usar as medidas de tendência central. Para isso, devem-se considerar as medidas de variabilidade, e nesta pesquisa se optou pelo intervalo interquartil associado à mediana (Gráfico 3). Fatores causais da baixa pluviosidade sazonal de inverno na região já foram mencionados e referem-se à forte estabilização atmosférica devida ao posicionamento do Asas.

Na análise do Gráfico 3, é perceptível a variabilidade das chuvas: principalmente nos meses de maior pluviosidade (dezembro e janeiro), sendo ainda os meses de maior amplitude (relação entre as mínimas e as máximas mensais). Nota-se também o comportamento diferenciado das precipitações no mês de fevereiro – com estiagem (veranico) em pleno período chuvoso. Fatores causais da forte concentração pluviométrica no semestre chuvoso e no trimestre chuvoso são a passagem de sistemas de origem extratropical (SF), a organização da umidade amazônica pela configuração da ZCAS, a passagem de linhas de instabilidade e o forte aquecimento continental durante o verão (Moreira, J.; Abreu, 2002; Assis, 2010; Silva, E.; Reboita, 2013), entre outras possibilidades. Estudos sobre a dinâmica atmosférica poderão elucidar melhor os nexos causais dos veranicos frequentemente observados em fevereiro regionalmente.

Tabela 1 – Chuvas mensais e anuais registradas na Estação Pluviométrica Colégio Caraça (mm)

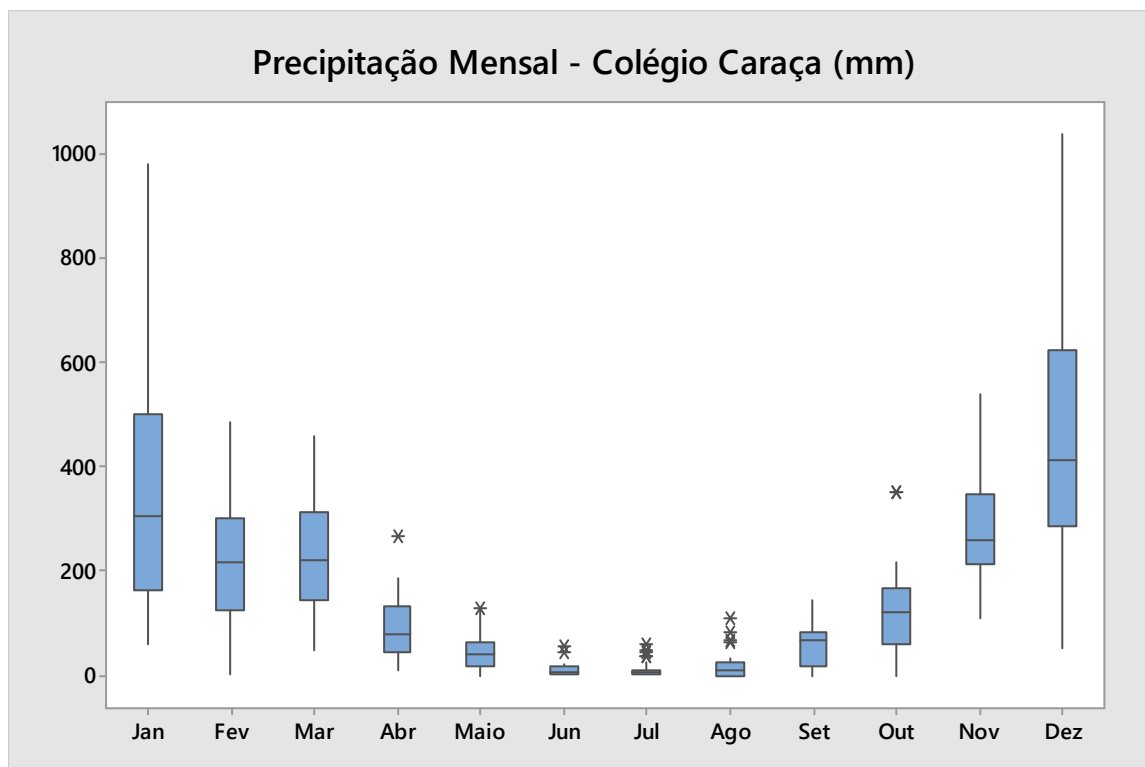
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
1983	–	3,8	342,1	162	72	1,5	3	0	68,2	353	385,5	484,5	1875,6
1984	59	57	234	42	8,2	0	8	108,4	69,2	98,5	284	939,7	1908
1985	837,3	301,5	352,8	43,8	30,7	2,5	0	3,2	37,4	211,3	248,1	642,4	2711
1986	381,9	124,7	145,2	67,8	48	19	48	16	0	1	111,5	730,1	1693,2
1987	209	60	459,9	135,5	130,2	18,2	8	0	84,5	50	215,5	782	2152,8
1988	155,5	459,5	192	187,5	42	1,6	0	6,5	57	174,5	152	449	1877,1
1989	166	190	178	46	82	5	39	35	87,5	151,6	264	1035,5	2279,6
1990	107	221	76	113	0	0,3	26	66	112	150,2	311	190	1372,5
1991	811	375	306	179	125	16	24,5	0	143,3	214	348	306	2847,8
1992	980	484	105	139	124	10	0	16,5	96,9	168	537	614	3274,4
1993	306	299	187	88	61	8	0	24	77,5	67	307,9	433	1858,4
1994	355,3	145,7	392,8	60,3	64	13	0	0	0	101,9	230,4	436,9	1800,3
1995	203,2	260,8	146	111,4	27,5	2,1	4,2	1,1	65,6	134,9	241,6	684,6	1883
1996	161,2	330	99,4	60,2	32	2,4	2,5	21,4	81	164,6	503,8	482,6	1941,1
1997	561,4	282	265,9	102,9	31,3	23,2	6,6	8,7	91,1	116,4	231,5	285,8	2006,8
1998	344,2	339,8	136,4	44,4	62,2	5,4	3,6	85,2	8,6	218,5	336,7	187,9	1772,9
1999	219,9	125,9	238,8	14,6	7,4	9,8	6	0,1	35,8	68,4	370,3	393,9	1490,9
2000	578,8	222,2	307	39,7	0,4	1,4	8,1	25,6	103,5	52,3	351,1	319,8	2009,9
2001	182,9	109,2	151,2	90,1	48,8	3,1	14,1	27,7	70,3	123,4	373,8	489	1683,6
2002	463	313,6	103,1	55,9	22,2	0	6,3	9,8	78,3	36,8	285,6	680	2054,6
2003	757,8	78,7	337,8	36,2	16,8	0	4,9	25,9	42,7	28,8	250,5	342,2	1922,3
2004	516,5	346,8	223,7	265,5	77,8	15,2	44,9	9,6	0	66,6	169,4	472,8	2208,8
2005	291	167,3	415,8	52	54,3	20,7	6,6	12,2	90,8	62,7	276,6	360,3	1810,3
2006	143	235,2	326,3	55,4	14,3	10,2	12,1	28,5	50,8	210,7	233,4	315,3	1635,2
2007	359,2	243,1	48,8	186	8,9	5,7	11,7	1,9	19,3	140,8	121,9	263,5	1410,8

Tabela 1 – Cont.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
2008	285,5	274,5	352,6	140,3	18,5	4,5	8,2	18,7	104,2	50,4	345,9	703,2	2306,5
2009	476,8	214,3	256,6	87,4	40,7	43,4	7,5	11,7	78,4	351	205,1	591,1	2364
2010	207,3	38,2	217,8	75,3	57,6	3	5,1	0	70	127,1	293,7	286,5	1381,6
2011	357,6	161,4	334,9	69,2	26,2	17,7	0,3	1	8,9	170,8	514	871,9	2533,9
2012	482,8	54,1	116,2	39,3	51	20,1	0,9	18	2,3	50,6	388	54,5	1277,8
2013	409,9	139,3	173,1	43,4	59	11,4	2,8	0	50,5	129,4	163	491,1	1672,9
2014	114,9	129	215,6	95,5	32,8	4,9	58,7	21,6	1,5	105,3	210,5	231,7	1222
2015	65,1	252,1	297,7	96,3	81,2	19	11,9	0,6	72,4	66,1	217,4	185,3	1365,1
2016	640,6	118,3	105,5	68,8	9,5	56,3	2,1	4,2	67,9	54,4	346,3	245,5	1719,4
2017	126,4	193,1	82,1	10,8	70,3	23,6	4	0	13,5	49,7	252,7	282,9	1109,1
2018	246,8	317,1	296,3	84,4	16,6	0	0	68,7	67,3	164	218,2	353,2	1832,6
2019	146,8	230,6	198,4	130,9	57,2	8,3	0	3,4	35,4	73	202	233,2	1319,2
2020	649,1	213,9	303,5	142,4	39,6	23,9	38,3	16,1	11	195,1	163,8	292,9	2089,6
Somatória	13359,7	8111,7	8721,3	3462,2	1751,2	430,4	427,9	697,3	2154,6	4752,8	10661,7	17143,8	71674,6
Média	361,1	213,5	229,5	91,1	46,1	11,3	11,3	18,4	56,7	125,1	280,6	451,2	1886,2
Desvio Padrão	236,1	114,1	105,5	55,3	33,3	12,1	15,1	24,9	37,1	80,1	101,8	229,0	463,4
Coefficiente de Variação	65,4	53,5	46,0	60,7	72,3	107,0	134,1	135,9	65,5	64,0	36,3	50,8	24,6
Mediana	306	217,65	220,75	79,85	41,35	8,15	6,15	10,75	67,6	119,9	258,35	413,45	1867
Quartil Inferior	166,0	126,7	145,4	47,5	19,4	2,4	2,2	1,0	23,3	63,6	216,0	286,0	1644,6
Quartil Superior	482,8	294,8	306,8	126,4	61,9	18,1	11,9	23,4	80,4	167,2	346,2	608,3	2080,9
Máximo	980	484	459,9	265,5	130,2	56,3	58,7	108,4	143,3	353	537	1035,5	3274,4
Mínimo	59	3,8	48,8	10,8	0	0	0	0	0	1	111,5	54,5	1109,1
Moda	–	–	–	–	–	0	0	0	0	–	–	–	–

fonte: Elaborado por Antoniel Silva Fernandes com dados extraídos dos totais mensais de precipitação. Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983-2020 (ANA, 2021).

**Gráfico 3 – Distribuição temporal das chuvas (mm)
– Estação Pluviométrica Colégio Caraça**



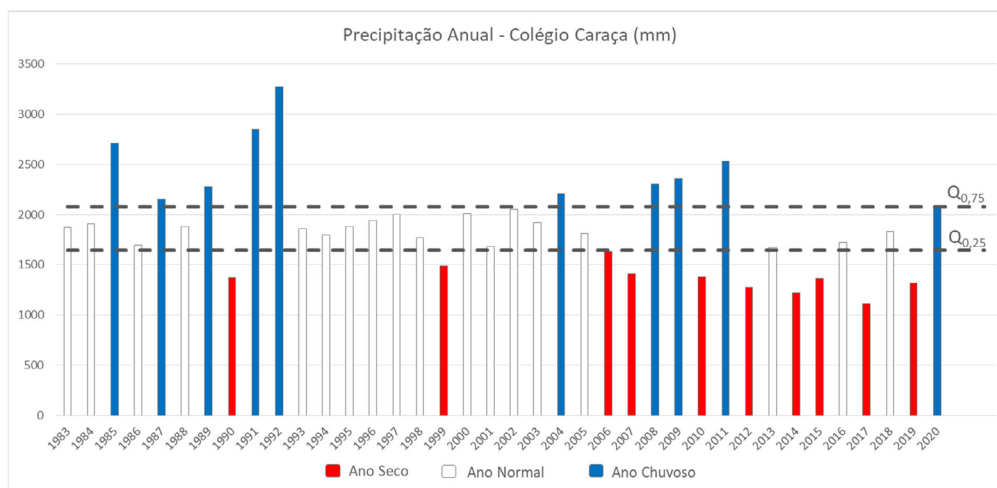
fonte: Elaborado por Antoniel Silva Fernandes com dados extraídos dos totais mensais de precipitação. Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983-2020 (ANA, 2021).

Percebe-se, além disso, a ocorrência de extremos ou *outliers* nos meses que marcam a transição do período chuvoso para o de estiagem (outubro e abril), bem como a irregularidade das chuvas nos meses de estiagem prolongada (junho, julho e agosto). Entretanto, como é perceptível no gráfico, são meses com baixa variabilidade das precipitações. A ocorrência desses *outliers* se relaciona à maior ou menor demora da configuração da estação chuvosa/seca, bem como aos baixos valores médios de referência no período de inverno.

Pelo método da amplitude interquartilica (Zavattini; Boin, 2013), os anos-padrão habituais estariam dentro dos valores pluviométricos de 1.654 mm e 2.103 mm, ou seja, uma dispersão de 450 mm (ver resultados dos quartis na Tabela 1). Valores inferiores ou superiores a esse intervalo são caracterizados, respectivamente, como: anos de pluviosidades excepcionais, secos (ou de estiagem prolongada) ou chuvosos.

Corroborando a análise do Gráfico 1, foi elaborado o Gráfico 4, em que se constata a ciclicidade das chuvas na área em estudo. Entre 1993 e 2005, observou-se a predominância de anos-padrão normais ou habituais das precipitações – volumes anuais totais entre 1.654 mm e 2.103 mm. A pluviosidade acima dos padrões habituais se concentrou na primeira década da série até o ano de 1992, sendo o seu valor máximo anual de 3.284 mm. Já os valores abaixo da linha de corte (1º quartil, representado no gráfico como $Q_{0,25}$), concentraram-se na década de 2010, tendo o menor registro ocorrido em 2017 (1.109 mm) (Gráfico 4 e Figura 2).

Gráfico 4 – Valores-padrão e excepcionais das precipitações anuais pelo método da amplitude interquartílica (mm) – Estação Colégio Caraça



fonte: Elaborado por Antoniel Silva Fernandes com dados extraídos dos totais mensais de precipitação. Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983-2020 (ANA, 2021).

Contrastes pluviométricos entre a Serra do Caraça e o Quadrilátero Ferrífero

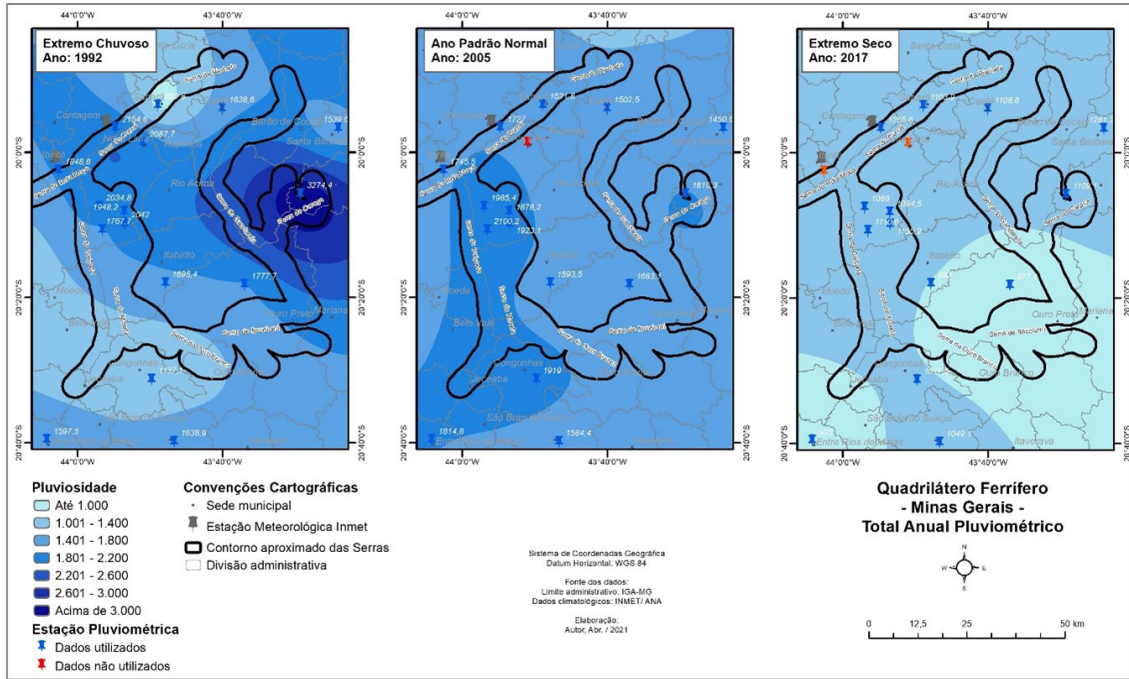
A partir da definição dos anos-padrão (chuvoso, normal ou habitual e seco ou de estiagem prolongada), foi interpolada a distribuição das chuvas no Quadrilátero Ferrífero (Figura 2 e Gráfico 5). É possível perceber que, no ano extremo chuvoso (1992), os maiores volumes de precipitações concentraram-se na região da Serra do Caraça (porção leste do QF); e os menores registros ocorreram na porção a extremo oeste (contraforte ocidental das Serras da Moeda e da Calçada), o que evidencia o papel organizador da umidade que a Serra do Caraça desempenha regionalmente.

Nesse caso, como constataram Moreira, J. e Abreu (2002), a orografia constitui um forçante atmosférico ao turbilhonar o fluxo de ar sobrejacente. Esse turbilhonamento, por seu turno, potencializa a precipitação e é tanto mais importante quanto mais estável estiver a atmosfera, como no início da estação chuvosa.

Já quanto ao comportamento das chuvas no QF em ano extremo seco (2017), nota-se uma distribuição mais homogênea e com maior escassez na porção ao sul, possivelmente gerada pela maior atuação da Asas e, conseqüentemente, da massa tropical atlântica (mTa). Estas podem ensejar maior período de estabilidade nas condições do tempo, pois inibem a penetração das correntes perturbadas de W e principalmente de S – responsáveis por produzir condições de instabilidade e, por conseguinte, favorecer as precipitações. É evidente, todavia, o papel da orografia, principalmente nas Serras do Caraça e da Calçada/Moeda, devido ao efeito ondulatorio vertical da umidade ao transpor essas duas linhas de serras.

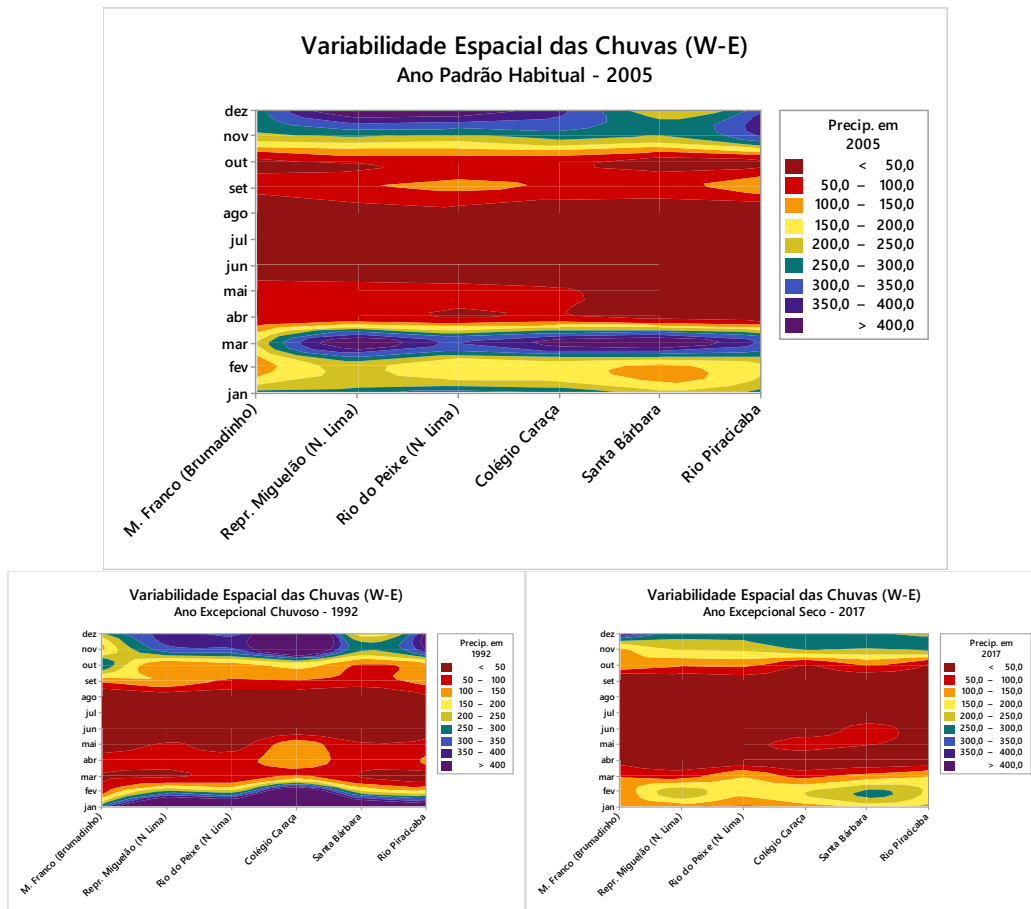
Na distribuição habitual ou normal das chuvas (2005), observa-se um comportamento influenciado pelas serras no sentido norte-sul (Serras da Moeda e Calçada) e principalmente pela Serra do Caraça, que organiza a umidade e produz volumes de chuvas maiores que no entorno imediato. Cabe destacar novamente que a Serra do Caraça é o ponto mais elevado dessa região, com mais de 2.000 m de altitude, além de estar situada no extremo leste do QF, configurando, por isso, uma barreira orográfica.

Figura 2 – Anos-padrão (chuvoso, normal e seco) no QF



fonte: Elaborado por Antoniel Silva Fernandes, 2021.

Gráfico 5 – Variabilidade pluviométrica (anos chuvosos, normais e secos) no QF

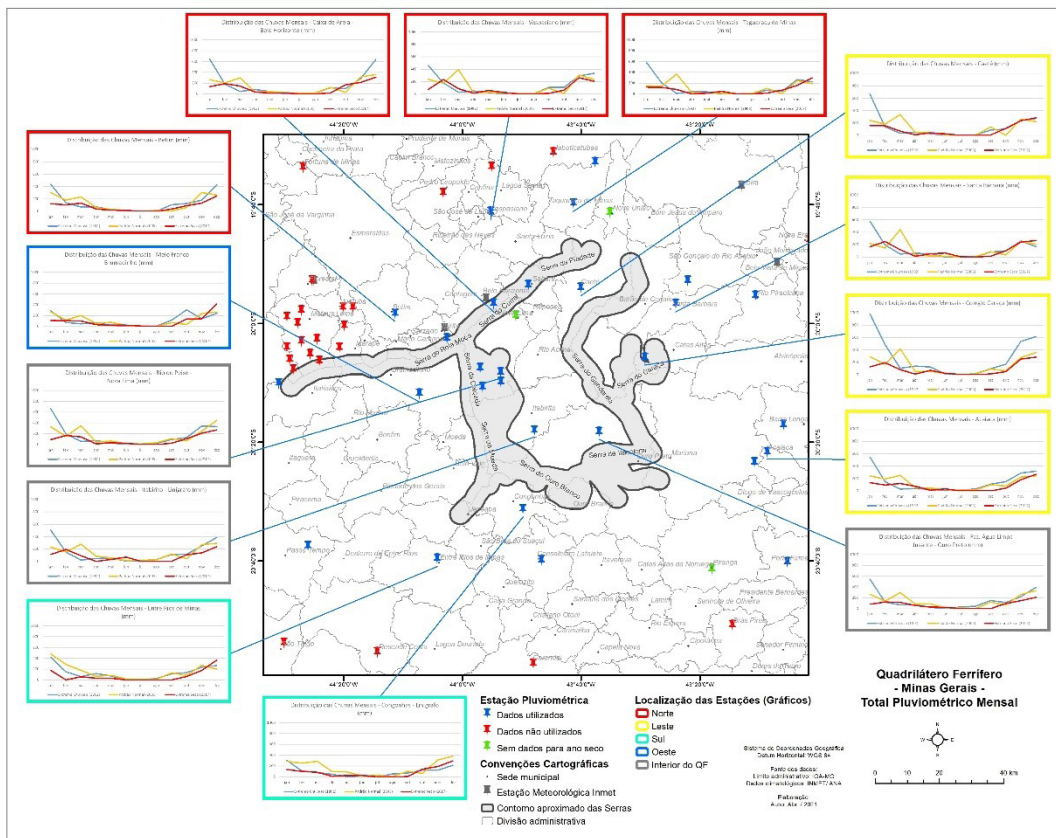


fonte: Totais mensais de precipitação nos anos de 1992, 2005 e 2017.
Estações 2044008, 2043004, 1943007, 2043059 e 1943001 (ANA, 2021).

Acresce-se a esses fatores a morfologia da Serra do Caraça, cujo formato em S pode concorrer para o turbilhonamento do ar e canalizar a umidade que se precipita na região. Ademais, cabe notar mais uma vez o efeito ondulatório vertical que eleva o ar nesse ponto e cria sobre a região da Serra da Calçada a subsidência do ar ainda úmido, potencializando o aumento da precipitação.

Para analisar o comportamento das chuvas mensalmente nas estações pluviométricas e no contexto do Quadrilátero Ferrífero, foram produzidos os gráficos da Figura 3 para os anos de referência: habitual/normal (2005), extremo chuvoso (1992) e seco (2017).

Figura 3 – Distribuição das chuvas mensais em anos-padrão (chuvosos, normais ou secos) no QF



fonte: Elaborada por Antoniel Silva Fernandes, 2021.

Considerando o ano extremo chuvoso de 1992, os resultados ilustrados nos gráficos corroboram a análise anterior, que constatar que os volumes de chuvas são mais elevados nas porções leste e norte do QF do que nas porções oeste e sul.

A análise do comportamento pluviométrico do mês de janeiro revelou uma precipitação de aproximadamente 600 mm no interior e nas bordas norte e leste do QF. Nas bordas oeste e sul, observou-se uma redução de 300 mm no mesmo período – o que pode indicar influência da topografia e da conformação do relevo na área em estudo. Esse comportamento também é percebido nos demais meses do período chuvoso.

Outro padrão espacial observado é o comportamento da precipitação nas estações instaladas mais perto das serras do QF, onde a pluviosidade é maior do que nas demais.

Em janeiro de 1992, foram registrados na Serra do Caraça volumes de chuvas próximos a 1.000 mm. Esse valor não se repetiu nas outras estações do QF ou em seu entorno. Nas estações Caixa de Areia, situada na Serra do Curral, e Rio do Peixe, instalada no sinclinal Moeda, as precipitações superam 600 mm. Já nas estações Congonhas (sul da Serra do Ouro Branco), Entre Rios de Minas e Melo Franco (em Brumadinho), ambas a oeste das Serras da Calçada e Moeda, os registros foram próximos a 400 mm no mesmo período de análise (janeiro de 1992).

A análise dos registros das estações Itabirito e Fazenda Água Limpa, ambas no interior do QF e ao norte da Serra do Ouro Branco, revelou o aumento da precipitação (próxima a 500 mm) em relação aos registros das estações a sul dessa serra. Isso evidencia o comportamento da umidade e o papel das serras e da configuração do QF na distribuição das chuvas nessa região.

Na análise do ano-padrão normal/habitual (2005), a distribuição das chuvas é mais homogênea tanto no interior do QF quanto em seu entorno. É possível notar um período de curta estiagem que ocorre durante o período chuvoso (fevereiro). Com a retomada das chuvas em março, nota-se que há um volume precipitado ligeiramente mais elevado no entorno da Serra do Caraça em comparação ao entorno. Esse fato pode estar relacionado à altitude (maiores cotas altimétricas no QF), à posição (a leste do QF) e à morfologia (serra em formato de S), as quais podem favorecer a precipitação na região, como explicitado antes. Também é possível notar que os registros dos volumes precipitados – nas estações da borda leste (Colégio Caraça e Santa Bárbara) no mês de março – superam em até 200 mm as estações das bordas oeste (estação Melo Franco – Brumadinho) e sul (estação Entre Rios de Minas e Congonhas).

Quanto ao ano extremo seco (2017), os maiores volumes mensais foram próximos a 400 mm, porém, em grande parte do período os registros ficaram abaixo de 200 mm, mesmo durante o período chuvoso. Ainda assim, o comportamento da distribuição das chuvas se diferencia entre as bordas leste e norte (maiores registros mensais) e as bordas oeste e sul (menores registros mensais). No interior do QF, o comportamento se assemelha aos detectados nas estações das bordas leste e norte.

Considerações finais

A Serra do Caraça é seguramente a região do Quadrilátero Ferrífero que apresenta os maiores volumes de precipitação. Sua orografia e posição (borda leste do QF) condicionam volumes anuais de chuva superiores a 2.500 mm, que ocorreram nos anos de 1985, 1991, 1992 e 2011. Já os menores registros de chuvas anuais (nos anos de 2010, 2012, 2014 e 2017) não foram inferiores a 1.000 mm; quanto às ocorrências mensais, os registros são próximos a 1.000 mm (nos anos de 1984, 1985, 1989, 1992 e 2011). Assim, tanto os registros anuais como os mensais evidenciam a amplitude pluviométrica da Serra do Caraça e demonstram o comportamento interanual.

Na Serra do Caraça e em seu entorno, notou-se que os anos-padrão habituais ocorrem quando a pluviosidade fica entre 1.654 mm e 2.103 mm (método da amplitude interquartilica). Desse modo, avaliando a série histórica, constatou-se que, entre 1993 e 2005, predominaram os anos-padrão habituais de precipitação. A pluviosidade acima dos padrões habituais se concentrou na primeira década da série até 1992; em contraponto, a pluviosidade abaixo dos anos-padrão habituais ocorreu principalmente na década de 2010.

Notou-se ainda o provável efeito ondulatório vertical da Serra do Caraça na atuação de correntes predominantes de ar de E-NE que, quando úmidas, provocam volumosas chuvas no local e na subsidência do ar sobre a região das Serras da Calçada e da Moeda, que concorre para elevar a precipitação também nessa região.

Outrossim, foi possível identificar a variabilidade entre os anos com a delimitação de anos-padrão habituais ou normais (em outras palavras, dentro de um recorte aceitável para a climatologia da região). Mas também observar anos excepcionais, ou seja, quando houve anomalias (anos de estiagem ou chuvosos) na região do Quadrilátero Ferrífero – o que ajuda a entender o regime pluviométrico para promover ações mais assertivas na gestão e no uso dos recursos hídricos. Vale destacar que a pluviosidade média do entorno do QF é de 1.450 mm anuais, extraída da Normal Climatológica Provisória de 1981-2010 (Inmet, 2022).

Referências

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 6 maio 2021.
- ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- BELO HORIZONTE. **Plano Municipal de Saneamento – 2016/2019**. Belo Horizonte: PBH, 2016. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/plano-de-saneamento>. Acesso em: 2 mar. 2021.
- CARMO, F. F.; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. **Rodriguésia – Revista do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 64, n. 3, p. 527-541, 2013. Disponível em: <http://rodriguesia-seer.jbrj.gov.br/index.php/rodriguesia/article/view/ID%20648/296>. Acesso em: 2 mar. 2021.
- FERNANDES, L. G. M. P. **Efeito de curtos gradientes altitudinais e longitudinais sobre a comunidade de aves florestais do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Zoologia de Vertebrados) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, p. 309-323, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55276>.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normal Climatológica do Brasil 1981-2010**. Brasília: IS, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 31 mar. 2022.

- JARDIM, C. H.; GALVANI, E. Unidades topoclimáticas no Parque Nacional da Serra do Cipó. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, p. 219-245, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15190>.
- LEMOS, R. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmica territorial, transformações ambientais e implicações no manancial de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte: bacia hidrográfica do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **GeoTextos**, Salvador, v. 15, n. 1, p. 181-204, 2019. doi: <https://doi.org/10.9771/geo.v15i1.28766>.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, n.4, p.793-804, 2011. doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232714>.
- MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia. **Climatologia**, São Paulo: IG-USP, n. 1, p. 1-21, 1971. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001349819>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Eventos pluviométricos extremos e impactos associados em Fortaleza-Brasil: uma análise a partir da técnica dos quantis. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. (Org.). **Experimentos em climatologia geográfica**. Dourados, MS: UFGD, 2014. cap. 9. p. 165-186.
- MOREIRA, A. A. M.; PEREIRA, C. C. A. Levantamento topoclimático da RPPN Santuário do Caraça. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 14, n. 23, p. 43-50, 2004. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12205046-Levantamento-topoclimatico-da-rppn-santuario-do-caraca.html>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- MOREIRA, J. L. B.; ABREU, M. L. Distribuição espacial da precipitação sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG e sua associação com a topografia local. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu, PR. **Anais...** Foz de Iguaçu, 2002.
- NIMER, E. Climatologia da região Sudeste do Brasil: introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 34, n. 1, p. 3-48, 1972.
- REGO, J. O.; FRANCESCHINELLI, E. V.; ZAPPI, D. C. Reproductive biology of a highly endemic species: *Cipocereus laniflorus* N. P. Taylor & Zappi (Cactaceae). **Acta Botanica Brasílica**, v. 26, n. 1, p. 243-250, 2012. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100023>.
- RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, SP: Ageteo, v. 23, n. 46-46, p. 288-294, 1993.
- SANT'ANNA NETO, J. L. La climatología geográfica en Brasil: de lo producido a lo enseñado. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, ES: Universidad de Alicante, n. 27, p. 227-236, 2002. doi: <https://doi.org/10.14198/INGEO2002.27.11>.

- SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 13, p. 120-136, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v13i0.33345>.
- SILVA, M. R.; MOURA, F.P.; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (*box plot*) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife: UFPE, v. 10, n. 1, p. 23-40, 2017. doi: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170003>.
- SOUZA, L. A. Do Quadrilátero Ferrífero ao Quadrilátero Aquífero: territorialidades conflitantes na produção de um espaço social extensivo à Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG. **Geosp**, v. 25, n. 3, e-188865, 2021. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2021.188865>.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 2, p. 63-78, 1999.
- ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica**: teoria e prática de pesquisa. Campinas, SP: Alínea, 2013.

Contribuição dos autores

Antoniél Silva Fernandes: Concepção do estudo, coleta de dados, análise dos dados, elaboração e redação do texto e revisão e aprovação da versão final.

Alecir Antonio Maciel Moreira: Orientação do estudo, análise dos dados e revisão e aprovação da versão final.

Editor do artigo

Emerson Galvani

Recebido em: 5 out. 2022
Aprovado em: 18 nov. 2022