

Influência pluviométrica na qualidade da água: os mananciais da bacia de Poços de Caldas, Brasil

Josimar R. Marques¹, Alexandre Silveira², Luiz Felipe R. Turci^{2†}, Marcos V. Rodrigues², Patrícia N. Mendes²

¹Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas.

²Professor Associado Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas.

Resumo: A distribuição espacial e temporal da chuva, dentre outros fatores, podem muitas vezes interferir na qualidade da água, pois a carga pluviométrica em uma região está diretamente associada a quantidade de material orgânico e de poluentes arrastados dos solos para os leitos dos rios. Assim, o estudo da influência pluviométrica na qualidade da água pode fornecer os primeiros indícios de impactos das atividades antrópicas. Neste estudo, objetiva-se justamente investigar a influência pluviométrica nos parâmetros de qualidade de água dos mananciais de abastecimento da cidade de Poços de Caldas-MG. Primeiramente, compararam-se os valores médios dos parâmetros de qualidade de água com os valores da resolução COPAM/CERH, observando-se que alguns parâmetros de qualidade apresentam valores médios acima dos limites em alguns mananciais. A fim de investigar a influência pluviométrica na qualidade da água, utilizou-se Análise de Variância combinada com Teste de Comparação de Médias Scott-Knott verificou-se que muitos parâmetros de qualidade da água – as variáveis de interesse do estudo – apresentam respostas médias estatisticamente distintas nas diferentes estações, sendo 12 variáveis no manancial Ribeirão da Serra; 15 no Saturnino de Brito; 14 no Marçal Santos; 14 no Várzea de Caldas; e 17 no Cipó. Com exceção das variáveis detergente, DQO, alumínio e óleos e graxas, utilizando-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, pode-se concluir, contudo, que as variáveis não sofrem apenas influência pluviométrica, mas sim influência combinada das características dos mananciais e os diferentes regimes de chuva.

Palavras-chaves: Qualidade da água; Mananciais; Ciclo Hidrológico; Análises estatísticas.

Abstract: Among other factors, the spatial and temporal distribution of rain can often interfere with water quality, as in a certain region the rainfall is directly associated with the amount of organic material and pollutants dragged from the soil to the river beds. Thus, the study of the rainfall influence on water quality can provide the first indications of the impacts of anthropic activities. In this study, the objective is precisely to investigate the pluviometric influence on the water quality parameters of the water supply sources in the city of Poços de Caldas-MG. First, the average values of the water quality parameters were compared with the values of the COPAM/CERH resolution, observing that some quality parameters present average values above the limits in some sources. In order to investigate the pluviometric influence on water quality, Analysis of Variance was used combined with Scott-Knott Means Comparison Test. It was found that many water quality parameters – the variables under study – present statistically different mean responses in the different seasons, specifically 12 variables in the Ribeirão da Serra spring; 15 at Saturnino de Brito; 14 in Marçal Santos; 14 in Várzea de Caldas; and 17 in Cipó. With the exception of the detergent, COD, aluminium and oils and greases variables, using the non-parametric Kruskal-Wallis test, it can be concluded, however, that the variables are not only influenced by rainfall, but rather the combined influence of the characteristics of the springs and the different rainfall regimes.

Keywords: Water quality; Springs; Hydrological Cycle; Statistical analysis.

† Autor correspondente: luiz.turci@unifal-mg.edu.br.

Introdução

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, sendo a chave para a compreensão e gestão de recursos complexos, e analisar as condições atuais dos corpos d'água (PENEV et. al, 2014; BLASI et. al., 2013). Uma bacia hidrográfica, mesmo em suas condições naturais, ou seja, preservada, influencia na qualidade das águas de seus corpos hídricos por meio de carreamento de partículas, de substâncias e de impurezas dos solos, decorrente da precipitação atmosférica (VERONEZ, 2011), influenciada pelo uso e ocupação do solo da bacia.

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e antrópicos. De uma maneira geral, a qualidade da água do escoamento superficial varia com a sazonalidade, afetada pelo clima, associado com a duração do período chuvoso enquanto os efeitos antrópicos são uma fonte constante de contaminação, (SPERLING, 1996; CARREON et. al., 2013).

A distribuição espacial e temporal da chuva, a temperatura e os ventos podem muitas vezes interferir na qualidade da água. Esses fatores influenciam os processos de decomposição da rocha e erosão do solo e, dependendo do tipo de rocha, aparecerão em maior quantidade aqueles elementos que fazem parte da sua composição. A chuva arrasta diversos poluentes presentes no solo das cidades e da zona rural. O deflúvio urbano, constituído pelos materiais acumulados em valas, bueiros, entre outros, é arrastado pela enxurrada para os cursos d'água, constituindo uma fonte de poluição tanto maior quanto for mais deficiente a limpeza pública. O deflúvio rural, ou agrícola, tem características diferentes: os seus efeitos dependem da agricultura praticada na região, da época do ano em que é preparado o terreno para o plantio e da aplicação de fertilizantes e de defensivos agrícolas (LEMES, 2001).

A carga pluviométrica em uma região está diretamente associada a quantidade de material orgânico e de poluentes arrastados dos solos para os leitos dos rios. Os parâmetros químicos, físico químicos e bacteriológicos obtidos por meio das análises dos corpos hídricos possibilitam a caracterização da fonte poluidora (natural ou antrópica). Dada a complexidade da correlação direta do efeito pluviosidade *versus* qualidade da água nos corpos hídricos, diversos autores utilizaram-se de ferramentas estatísticas para verificar as variações temporais e espaciais causadas pelos fenômenos naturais ou antrópicos (CARREON et al., 2013).

Damasceno et al. (2015) avaliaram a qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá-AP, Brasil, considerando as variações espaciais e temporais utilizando como método da estatística descritiva, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e o coeficiente de variação.

Entre os resultados apresentados pelos autores, destacou-se que a turbidez e o oxigênio dissolvido obtiveram maiores valores na época de seca, enquanto o pH diminuiu no período chuvoso. Na análise da variável temperatura, não se observou a correlação. As águas amazônicas têm a característica de maior amplitude térmica durante o dia e não entre as estações. A variável fósforo total obteve maiores valores na estação chuvosa, devido a processos naturais, que são a dissociação dos sedimentos em suspensão e da lixiviação do solo pela água da chuva. Quanto à Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), os maiores valores obtidos foram encontrados na estação seca devido a interferência antropogênica proveniente do inadequado uso e ocupação do solo e de lançamentos de esgotos in natura no manancial. Para as variáveis nitrato, sólidos totais e coliformes termotolerantes não houve diferenças estatísticas entre as médias nas estações.

Oliveira e Cunha (2014) investigaram a correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do estado do Amapá utilizando a análise de correlação de Spearman, que quantificou o grau de associação entre os parâmetros de qualidade da água (variáveis de estudo) e a precipitação mensal. As variáveis que apresentaram aumento na estação chuvosa foram: cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD), nitrato, amônia, alumínio, manganês e coliformes termotolerantes (*Escherichia Coli*). As variáveis que apresentaram maiores valores na estação seca foram: temperatura, ferro e coliformes totais. Quanto ao pH não houve diferenças significativas na mudança de estações. As variáveis que apresentaram associação com a pluviosidade pela análise de correlação de Spearman foram: cor, turbidez, alumínio, manganês, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Piratoba et al. (2017) avaliaram a influência da precipitação nos parâmetros pH, temperatura, condutividade, sólidos totais dissolvidos, cor, sódio, cácio, potássio, cloreto, alcalinidade e dureza. Os dados foram analisados utilizando-se o teste estatístico Análise de Variância (ANAVA) de dois fatores com a finalidade de se observar se as variáveis apresentavam diferenças significativas entre os pontos de amostragem e a sazonalidade. Os testes estatísticos mostraram que a localização da amostragem não exerceram influência

nas variáveis pH, porém houve influência significativa nas demais variáveis. Quanto à sazonalidade, houve diferença significativa em: pH, temperatura, condutividade, STD, cor, sódio, potássio e dureza.

Diante deste cenário de incerteza metodológica e de resultados contraditórios por diversos autores, o presente trabalho investigou a influência da estação chuvosa ou seca na qualidade da água superficial dos mananciais no município de Poços de Caldas-MG, Brasil, a fim de traçar um perfil próprio de interação da qualidade da água e as precipitações no município.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A área de estudo corresponde ao município de Poços de Caldas, localizado no sul/sudoeste do estado de Minas Gerais conforme Figura 1 (a) e (b), com coordenadas $21^{\circ} 47' 16''$ S, $46^{\circ} 33' 39''$ W, e altitude de 1196 m. O clima é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Koppen (mesotérmico com invernos secos e verões brandos). O inverno de abril a setembro, tem temperatura média de 15°C e total médio de chuvas de 315 mm. O verão tem temperatura média de 21°C e precipitações médias de 1430 mm. O índice pluviométrico médio anual é de 1745 mm. Possui temperatura média anual de 17°C , com mínima de -6°C e máxima de $31,7^{\circ}\text{C}$ (PMPC, 2017).

Poços de Caldas possui boa diversidade de mananciais de abastecimento, contendo rios e represas. No presente trabalho, analisa-se a influência das estações secas ou chuvosas, do tipo do manancial e da interação estação-manancial sobre os parâmetros de qualidade da água (variáveis de estudo) entre os anos de 2013 a 2017, em todos os mananciais do município.

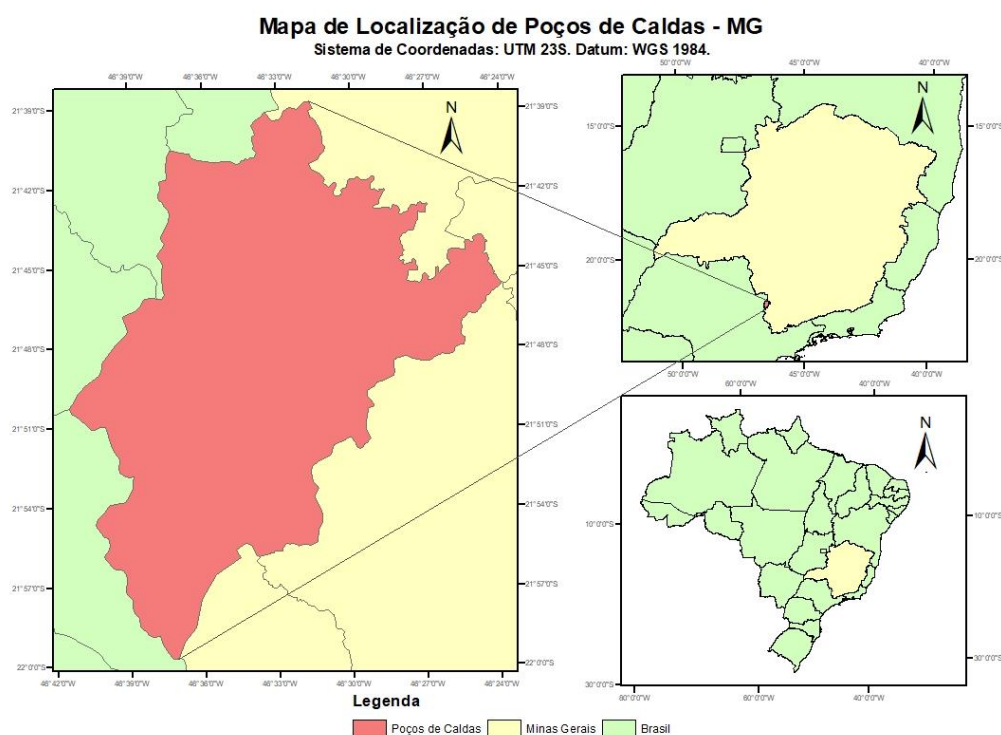


Figura 1: (a) Localização do município no estado de Minas Gerais; (b) Município de Poços de Caldas. Fonte: Do autor, 2020.

Dados de precipitação e análise de qualidade de água

Poços de Caldas conta com cinco mananciais de abastecimento público, seus nomes e coordenadas são respectivamente: Ribeirão da Serra, ($21^{\circ}47'45.86''S$ $46^{\circ}30'30.41''W$), Represa Saturnino de Brito ($21^{\circ}40'0.60''S$, $46^{\circ}33'2.93''W$), Córrego Marçal Santos ($21^{\circ}47'15.04''S$ $46^{\circ}32'10.67''W$), Ribeirão Várzea de Caldas ($21^{\circ}50'15.08''S$ $46^{\circ}34'32.10''W$) e Ribeirão do Cipó ($21^{\circ}50'46.02''S$, $46^{\circ}35'58.80''W$), suas localizações no município seguem demonstradas na Figura 2.

Os pluviômetros localizam-se nas estações de tratamento de água (ETA) 1 ($21^{\circ}47'15.4''S$, $46^{\circ}33'41.5''W$) e ETA 5 ($21^{\circ}50'2.01''S$, $46^{\circ}36'7.40''W$). Suas leituras foram realizadas diariamente para os cinco anos estudados.

Os dados do estudo foram cedidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). As informações de qualidade de água foram obtidas em amostragens durante o período de 2013 a 2017 para as variáveis: contagem bacteriana total, coliformes totais, coliformes termotolerantes, temperatura, cor, pH, cloro residual, turbidez, fluoreto, manganês, ferro, alumínio, cloreto, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, sólidos totais dissolvidos, óleos e graxas, detergentes, nitrato e fosfato. As amostras foram coletadas duas vezes ao mês, na primeira e terceira semana de cada mês, no período matutino e com análise no período vespertino para todos os mananciais estudados. Podendo haver variação quanto ao número de coletas ou de variáveis analisadas devido a disponibilidade da empresa na época.

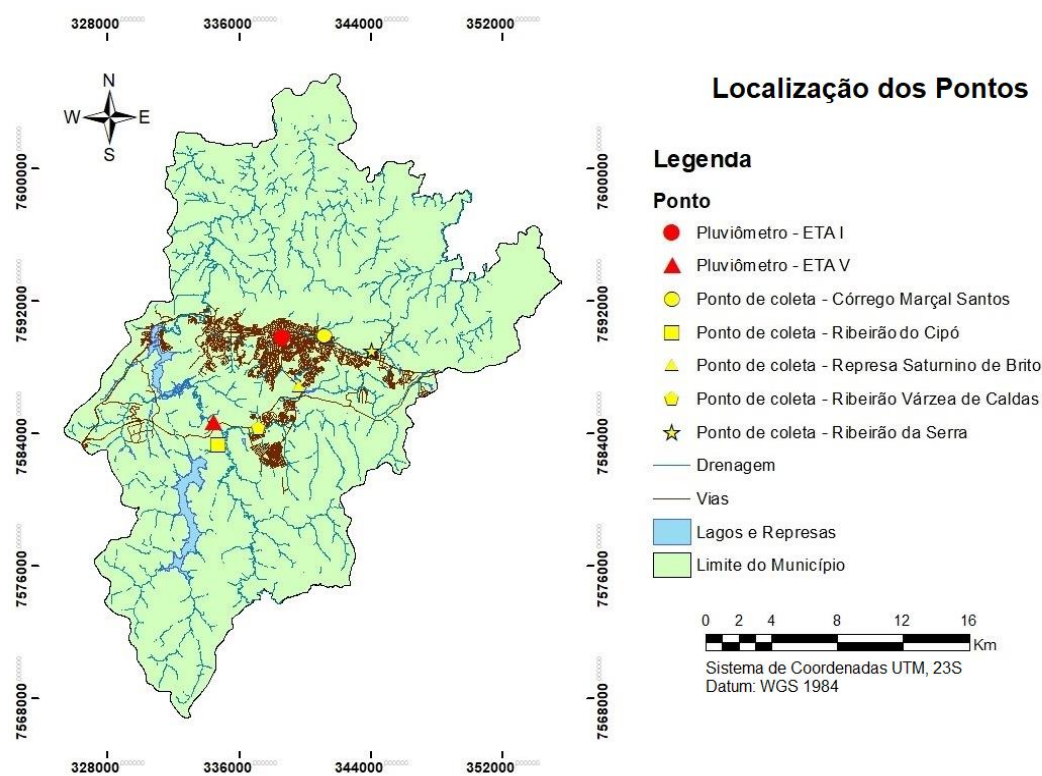


Figura 2: Localização dos pontos de coletas e pluviômetros.

Fonte: Do autor, 2020.

O procedimento de coleta seguiu instruções normativas do guia nacional de coleta e preservação de amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (CETESB, 2011) e as análises seguiram normativas próprias de cada parâmetro de qualidade da água (as variáveis de estudo deste trabalho), demonstradas conforme Tabela 1.

Tabela 1: Métodos de análises para cada parâmetro de qualidade da água.

Análise	Equipamento	Método
Bacteriológicas	---	9221 ¹ / L5.201 ³
Cloro residual	Pocket colorimeter – Hach	4500-Cl-G ¹
Fluoreto	DR 3900 – Hach	4500-F-D ¹
Manganês	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	38406-2 ²
Ferro	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	3500-Fe B ¹
Alumínio	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	3500-Al-B ¹
Cloreto	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	4500-Cl-E ¹
DBO	BODTrak II – Hach	5210-B ¹
DQO	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	5220D ¹
N-amoniaco	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	4500-NH ₃ F ¹
Detergente	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	5540C ¹
Nitrato	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	38405-9 ²
Fosfato	UV-VIS Spectrophotometer Pharo 300 Spectroquant	4500-PE ¹
Óleos e graxas	---	5520B ¹
OD/Temperatura⁴	WTW Oxi 3310	4500 O-G ¹
Cor	Policontrol AquaColor	2120 B ¹
Turbidez	Hatch 21000	2130B ¹
pH	Thermo Science Orion 3 Star	4500 H ⁺ -B ¹
STD	Thermo Science Orion 115	2100 B ¹

NOTAS: ¹Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

²Deutsches Institut für Normung e. V.

³Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

⁴Os parâmetros temperatura e O.D são medidos em um único equipamento.

Outra característica que também interfere na qualidade do manancial é o uso do solo de cada região (SPERLING, 1996; CARREON et. al., 2013). Assim, as informações foram coletadas *in situ* e é dada conforme Tabela 2, assim como as vazões coletadas para tratamento em cada manancial.

Tabela 2: Uso do solo em cada manancial.

Manancial	Uso do solo
Ribeirão da Serra	Pecuária de corte, agricultura (plantações de hortaliças), plantações de eucaliptos, mata nativa e zona hurbana (pequena parte)
Saturnino de Brito	Pecuária de corte, agricultura (plantações de hortaliças e batata), plantações de eucaliptos e zona hurbana (pequena parte)
Marçal Santos	Inteira em mata nativa
Várzea de Caldas	Mata nativa (pequena parte), zona hurbana (grande parte)
Ribeirão do Cipó	Pecuária de corte, agricultura (plantações de batata e milho), plantações de eucaliptos (grande parte) e mata nativa.

Fonte: Do autor, 2020.

Tratamento estatístico dos dados amostrais

A análise dos dados pluviométricos foi realizada no software R (RCT, 2020), com o teste de análise de variância (ANAVA), com 5% de significância. Os valores analisados foram os dados de precipitação acumulada em cada mês; assim, cada mês do ano foi considerado como um tratamento estatístico, de forma que a hipótese nula da ANAVA seria de que não há diferença estatisticamente significativa na média pluviométrica nos doze meses do ano. Uma vez a ANAVA apontando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, o teste complementar de comparação de médias Scott-Knott permite, então, determinar os agrupamentos dos meses do ano em função de sua característica média de precipitação. Assim, pode-se determinar os meses que compõem as estações seca e chuvosa, e intermediárias se houver.

Uma vez que o regime de chuva foi caracterizado tendo apenas dois diferentes períodos, a avaliação da interferência, ou não, das estações (chuvosa e seca) nos parâmetros de qualidade de água foi feita por meio de ANAVA para cada variável de estudo em cada manancial isoladamente, considerando-se a estação de chuvas (chuvosa e seca) como fator de variação, e significância de 5%.

Dada a quantidade de dados, fez-se importante um tratamento gráfico, demonstrando valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão para cada manancial, o que facilita a visualização e compreensão, assim como uma comparação entre a norma COPAM/CERH – MG nº 1, que dispõem valores máximos ou mínimos aceitáveis nos parâmetros de qualidade da água de rios de classe 2.

Por fim, para se conhecer a interferência não somente das estações, mas também das características dos mananciais, e ainda da interação dessas características e as diferentes estações chuvosas sobre as variáveis de estudo foram feitas ANAVA tendo como tratamentos as diferentes combinações, manancial-estação. Adicionalmente, as pressuposições de normalidade, homogeneidade e independência a 5% de nível de significância foram testadas por meio do software R. Falhando estes testes, mesmo utilizando o artifício da transformada de Johnson, percebeu-se a característica não paramétrica dos dados. Conseqüente, buscaram-se testes não paramétricos, o teste de Kruskal-Wallis juntamente com teste de comparações múltiplas de médias de Dunn, ambos a 5% de nível de significância e utilizando o mesmo software, o R.

Resultados e Discussão

Classificação das estações de regime de chuva

Iciou-se no tratamento dos dados pluviométricos, obtendo como resultado na ANAVA de um valor-p < 0,001 para o pluviômetro localizado na ETA 1, e um valor-p < 0,001 para o pluviômetro localizado na ETA 5 assim, pode-se afirmar com 5% de significância que houve diferença entre as médias de precipitação em diferentes meses. A Tabela 3 apresenta o resultado do teste Scott-Knott e observou-se que os meses ficaram agrupados em dois grupos para ambos os pluviômetros. Classificaram-se, então, os meses do grupo a, com as maiores médias, como sendo os meses da estação chuvosa, e os demais meses foram classificados como meses da estação seca.

Tabela 3: Classificação das estações por meio do teste Skott-Knott para os dois pluviômetros a partir de 5 anos de dados.

Grupo	Tratamento	Médias (mm de chuva)		Classificação
		ETA1	ETA 5	
a	Jan	378,1	291,2	Estação chuvosa
a	Nov	281,2	233,6	Estação chuvosa
a	Mar	312,5	225,6	Estação chuvosa
a	Dez	240,0	205,4	Estação chuvosa
a	Fev	253,4	205,0	Estação chuvosa
b	Out	148,9	85,6	Estação seca
b	Mai	100,7	79	Estação seca
b	Abr	88,9	67,3	Estação seca
b	Jun	48,9	49	Estação seca
b	Set	116,2	43,1	Estação seca
b	Jul	34,6	28,4	Estação seca
b	Ago	24,9	19,5	Estação seca

Fonte: próprio autor

Corroborando com os resultados apresentados na Tabela 3, outro tipo de classificação quanto à estação, o método gráfico (Figura 3a e 3b) demonstrou que os meses com precipitação média inferior à linha média total são classificados como estação seca, os meses com precipitação superior à linha média total são classificados como meses da estação chuvosa. Em ambos os métodos percebeu-se que a classificação quanto

às estações são exatamente idênticas, como esperado, caracterizando os meses de novembro a março como estação chuvosa e de abril a outubro como meses da estação seca.

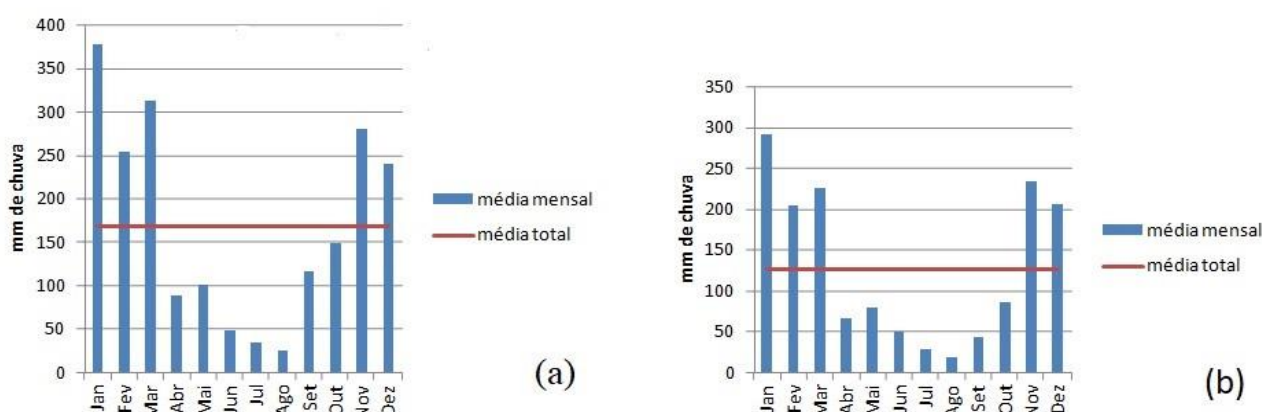


Figura 3: Médias mensais dos anos de 2013 a 2017: (a) Pluviômetro ETA 1; (b) Pluviômetro ETA 5.
Fonte: próprio autor

Apesar de que os trabalhos apresentados por Alberti (2008) e Moreira (2017), dotados de uma série pluviométrica histórica mais ampla, tenham classificado como estação chuvosa no município o período mensal de outubro a março e estação seca o período mensal de abril a setembro, optou-se por caracterizar as estações chuvosa e seca somente na série hídrica do estudo (2013 a 2017), sendo assim mais fidedignas às mudanças climáticas transcorridas nos anos do estudo. Com isso, a estação chuvosa ficou caracterizada pelos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, e a estação seca caracterizada pelos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

Análise dos parâmetros de qualidade da água

Os dados de qualidade da água analisados foram classificados conforme a data de coleta amostral para cada ano, coletas realizadas nas estações chuvosas foram separadas das realizadas na estação seca. Em seguida, aplicou-se ANOVA com 5% de significância, para testar a hipótese da diferente resposta dos parâmetros biológicos e físico-químicos analisados nas duas distintas estações. Na Tabela 4, valores inferiores ao nível de significância indicam diferenças estatisticamente significativas nas médias das variáveis em cada estação (chuvosa ou seca).

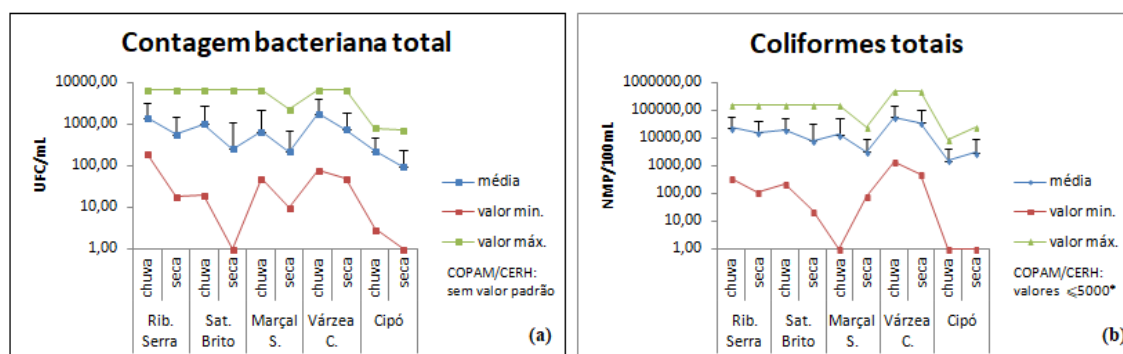
A primeira coisa a se observar é a ausência de um padrão. Em uma análise comparativa entre mananciais, de acordo com a Tabela 4, observou-se que o manancial Ribeirão do Cipó foi o que possuiu mais variáveis influenciadas pela estação, aproximadamente 73% das variáveis analisadas. Outro manancial bastante influenciado pela estação, foi o da Represa Saturnino de Brito, 68% das variáveis analisadas. Ao analisar a origem desses dois mananciais, observou-se que ambos são oriundos de represas. Por meio desse fato inferiu-se que essas represas por mais que armazenem grandes volumes de água, são mais suscetíveis a variação de seus parâmetros (físicos, químicos e bacteriológicos) com a pluviometria da região.

Tabela 4: Teste F dos mananciais para cada parâmetro analisado.

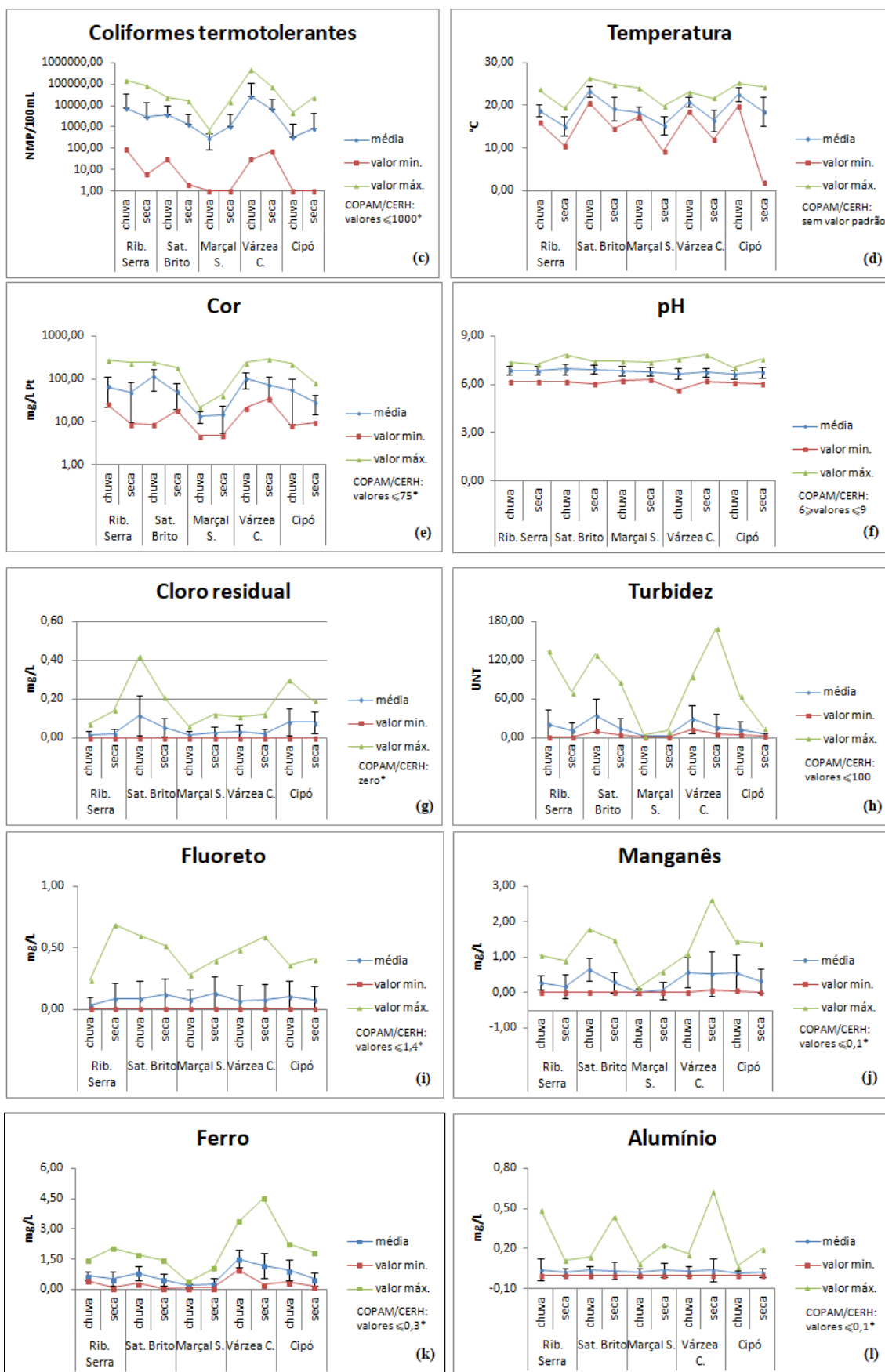
Parâmetros	Ribeirão da Serra	Saturnino de Brito	Marçal Santos	Várzea de Caldas	Ribeirão do Cipó
Contagem bac.					
Total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,021
Coliformes totais	0,146	0,017	< 0,001	0,093	< 0,001
Coliformes termo.	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Temperatura	< 0,001	< 0,001	0,151	< 0,001	< 0,001
Cor	0,361	< 0,001	0,005	0,561	< 0,001
pH	0,799	0,253	0,512	0,300	0,145
Cloro residual	0,068	< 0,001	0,047	0,035	0,216
Turbidez	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,688	< 0,001
Fluoreto	< 0,001	0,338	0,081	0,880	0,618
Manganês	0,853	0,040	< 0,001	< 0,001	0,009
Ferro	0,003	0,487	< 0,001	0,019	0,019
Alumínio	< 0,001	< 0,001	0,026	< 0,001	< 0,001
Cloreto	< 0,001	< 0,001	0,057	< 0,001	< 0,001
O.D	0,031	0,166	0,043	0,007	< 0,001
D.B.O	0,867	0,102	0,936	0,004	0,437
D.Q.O	0,418	0,724	0,948	0,021	0,326
N-Amoniacal	0,002	0,001	< 0,001	0,108	0,039
S. T. D	0,215	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001
Óleos e graxas	< 0,001	< 0,001	0,085	0,779	0,040
Detergente	0,006	0,367	0,464	0,052	0,007
Nitrato	0,457	0,005	0,399	0,063	< 0,001
Fosfato	0,617	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Fonte: próprio autor

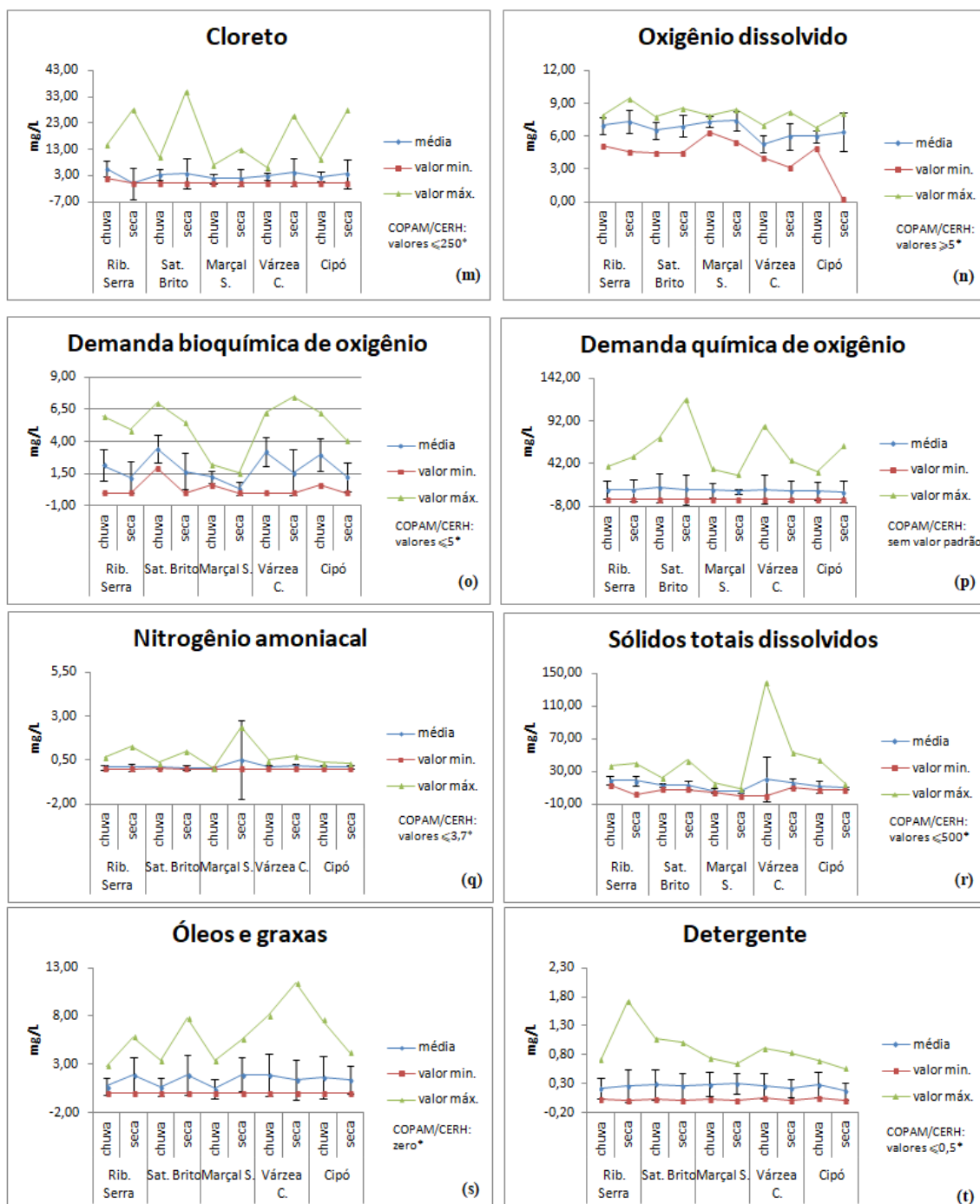
Em complementação, na Figura 4, apresentam-se, para cada variável, os gráficos dos valores máximos, mínimos, médios e seus respectivos desvios padrão, em comparação padrões COPAM/CERH.



(Figura 4. Cont.)



(Figura 4. Cont.)



(Figura 4. Cont.)

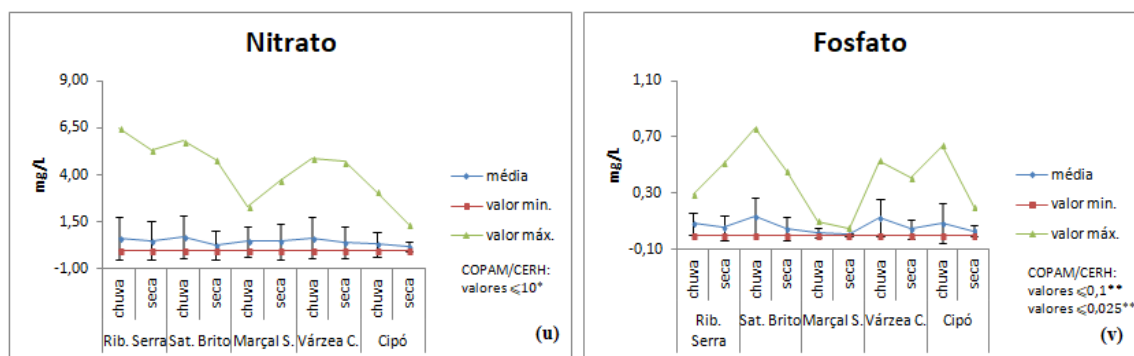


Figura 4: Comportamento das médias de cada variável para todos os mananciais, valor máximo e mínimo obtidos em cada estação e seus respectivos valores máximos ou mínimos padrões exigidos na legislação vigente COPAM/CERH. (a) contagem bacteriana total (UFC/mL); (b) *coliformes totais (NMP/100 mL); (c) *coliformes termotolerantes (NMP/100 mL); (d) temperatura ($^{\circ}$ C); (e) *cor (mg/LPt); (f) pH (g) *cloro residual (mg/L); (h) *turbidez (NTU); (i) *fluoreto (mg/L); (j) *manganês (mg/L); (k) *ferro (mg/L); (l) *alumínio (mg/L); (m) *cloreto (mg/L); (n) *oxigênio dissolvido (mg/L); (o) *demanda bioquímica de oxigênio (mg/L); (p) demanda química de oxigênio (mg/L); (q) *nitrogênio amoniacal (mg/L); (r) *sólidos totais dissolvidos (mg/L); (s) *óleos e graxas (mg/L); (t) *detergente (mg/L); (u) *nitrato (mg/L); (v) **fosfato ((máximo 0,1 mg/L rios: mananciais Ribeirão da Serra, Marçal Santos, Várzea de caldas e Ribeirão Cipó); (máximo 0,025 mg/L para represas: Represa Saturnino de Brito)).

Fonte: próprio autor

A partir da análise gráfica da Figura 4, observaram-se distintas situações:

(1) Há variáveis cujos valores médios são superiores na estação seca. Conjectura-se que ocorra a concentração dos poluentes conforme o nível dos reservatórios decresce, o baixo nível dos mananciais provoca a concentração nos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos já pertencentes àquela região.

Destaque para a variável fluoreto, nos mananciais Ribeirão da Serra, Saturnino de Brito, Marçal Santos e Várzea de Caldas. A presença desse íon e uma possível concentração de seu teor na estação seca se dá devido a características geológicas da região. Cruz e Peixoto (1991) destacaram a origem desse íon no complexo alcalino de Poços de Caldas, devido à sua formação geológica: intrusão alcalina, atividade vulcânica e fase hidrotermal. O fluoreto ocorre disseminado nas rochas de modo generalizado, e em maiores concentrações nos veios e fissuras preenchidos por soluções hidrotermais. Apesar de ocorrer um acréscimo dos valores obtidos na estação seca para essa variável, em nenhum manancial foi encontrado valores acima do que a legislação ambiental restringe.

Outro parâmetro que apresentou o mesmo comportamento nos mesmos mananciais foi o nitrogênio amoniacal. As concentrações encontradas foram baixas, muito inferiores ao que a norma padrão determina como limite, então pode-se associar a presença deste íon à degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água.

(2) Outras variáveis apresentam valores médios maiores na estação.

As variáveis com maiores variações entre a estação chuvosa e a estação seca foram: contagem bacteriana total, coliformes termotolerantes, cor, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio e fosfato; todas variáveis que estão associados ao uso e ocupação da bacia de contribuição de cada manancial. As variáveis biológicas (contagem bacteriana total, coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio) demonstram a ocorrência de contaminação por fonte antrópica no manancial, ocorrendo normalmente por despejos inadequados de águas residuárias no corpo hídrico. As variáveis físicas, cor e turbidez, estão ligados diretamente a passagem da luz pela água; um aumento de seus valores em épocas chuvosas está diretamente ligado ao arraste de poluentes depositados no solo e também do solo erodido por consequências naturais ou antrópicas. Já a variável fosfato, o aumento na estação chuvosa está diretamente ligado a práticas antrópicas, como utilização de fertilizantes fosfatados no plantio a montante dos mananciais e despejos de esgoto clandestinos nesses corpos hídricos.

Outra situação observada foi a baixa variação nas variáveis químicas, alumínio, ferro e manganês na mudança da estação chuvosa comparadas a estação seca, fato explicado pela existência desses elementos químicos no solo da região e consequente arraste e deposição nos corpos hídricos da região, fato observado também por Alberti (2008), que destacou a abundância desses elementos químicos no planalto alcalino de Poços de Caldas.

Em relação aos resultados de comparação das médias em relação aos estipulados pela resolução COPAM/CERH, observou-se que, das dezenove variáveis possíveis de comparação, os mananciais que obtiveram médias superiores às estipuladas pela resolução na estação chuvosa foram: Ribeirão da Serra: 36,84%; Saturnino de Brito: 42,1%; Marçal Santos: 15,8%; Várzea de Caldas: 42,1%; Cipó: 26,31%. Na estação seca: Ribeirão da Serra: 36,84%; Saturnino de Brito: 31,58%; Marçal Santos: 10,58%; Várzea de Caldas: 36,84%; Cipó: 26,31%. Três variáveis não foram comparadas (contagem bacteriana total, temperatura e DQO) devido à inexistência de padrões comparativos. Destaca-se que os mananciais que obtiveram a maior quantidade de médias superiores à resolução na estação chuvosa foram Várzea de Caldas, Ribeirão da Serra e Saturnino de Brito, as únicas que possuem zonas urbanizadas dentro da bacia de contribuição.

Quando comparados os mananciais em relação aos limites COPAM/CERH N°1, de 05 de maio de 2008 para corpos hídricos classe 2, os mananciais que obtiveram melhores resultados foram: Ribeirão Cipó e Marçal Santos, com médias bem inferiores às exigidas pela legislação, em grande parte das variáveis analisadas e em ambas as estações. Estes mananciais não possuem áreas urbanizadas na bacia de contribuição, o que evidencia a necessidade de práticas de uso e conservação do solo nas bacias de mananciais de captação para abastecimento público.

Influência combinada dos fatores

Sabe-se que não apenas a precipitação influencia na resposta das variáveis, mas também outros fatores relacionados à característica do manancial; fatores esses que também podem sofrer influência da precipitação. Procurando fazer uma análise também da influência do manancial (tipo de corpo hídrico); e da interação manancial-estação, seguindo procedimentos destacados em Marques (2018).

Partindo-se da suposição de que a amostragem possuía caráter paramétrico, ou seja, a amostragem cumpria as pressuposições para ANAVA: ser normal, independente e homogênea, foi realizado inicialmente teste de análise de variância, seguidos pelos testes dos resíduos, ou também conhecidos como análise de pressuposições, obtidos por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e de Bartlett, que verificam respectivamente a normalidade, a independência e a homogeneidade da amostragem.

Os testes de resíduos comparam os níveis de significância com valores-p obtidos. Estando qualquer um dos testes com valores-p abaixo do nível de significância, a amostragem é inconclusiva, ou seja, nada se pode dizer a respeito dela e o resultado da ANAVA não deve ser considerado. Quando a análise é inconclusiva e havendo se esgotado as possibilidades de variações, como exemplo a transformada de Johson, infere-se que a amostragem é não paramétrica e testes não paramétricos devam ser usados na análise. Fato ocorrido nas análises dos dados.

O teste não paramétrico utilizado foi o teste de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5%. Valores-p inferiores ao nível de significância indicam que houve diferenças estatisticamente significativas entre as médias e que a influência do fator sob a variável foi confirmada, destacados conforme Tabela 5.

De acordo com a Tabela 5, verificou-se que as variáveis contagem bacteriana total, coliformes totais, coliformes termotolerantes, temperatura, cor, turbidez, fluoreto, manganês, ferro, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato e fosfato apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre médias na estação chuvosa e seca; diferenças considerando-se os diferentes mananciais; e ainda, diferenças considerando-se a interação manancial-estação. Em relação às variáveis pH, cloro residual, cloreto, nitrogênio amoniacal e sólidos totais dissolvidos, apresentaram somente diferenças entre suas médias na mudança de manancial; e na interação estação-manancial. Para a variável óleos e graxas houve somente diferenças entre suas médias quanto à estação e na interação manancial-estação. Já as variáveis alumínio, demanda química de oxigênio e detergente não apresentaram diferenças nas médias para nenhuma das variações de estações, de mananciais ou na interação manancial-estação.

Tabela 5: Teste de Kruskal-Wallis da estação, manancial e interação manancial-estação em relação aos parâmetros de qualidade de água.

Parâmetros	p-valor		
	Estação	Manancial	Estação*Manancial
Contagem bacteriana total	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Coliformes totais	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Coliformes termotolerantes	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Temperatura	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cor	< 0,001	< 0,001	< 0,001
pH	0,420	< 0,001	< 0,001
Cloro residual	0,354	< 0,001	< 0,001
Turbidez	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fluoreto	0,002	< 0,001	< 0,001
Manganês	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ferro	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Alumínio	0,046	0,398	0,142
Cloreto	0,040	< 0,001	< 0,001
Oxigênio dissolvido	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Demanda bioquímica de oxigênio	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Demanda química de oxigênio	0,089	0,689	0,657
Nitrogênio amoniacal	0,051	< 0,001	< 0,001
Sólidos totais dissolvidos	0,869	< 0,001	< 0,001
Óleos e graxas	0,016	0,805	< 0,001
Detergente	0,406	0,061	0,205
Nitrato	< 0,001	0,002	< 0,001
Fosfato	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Fonte: próprio autor

A análise foi prosseguida pelo teste de comparação de média que forneceu 7 agrupamentos diferentes a, b, c, d, e, f e g, como destacado na Tabela 6. Variáveis com médias estatisticamente equivalentes na interação manancial-estação foram agrupadas por letras idênticas.

A partir dos resultados apresentados na Figura 6, notam-se muitas ambiguidades no resultado das análises, mas ainda assim percebem-se semelhanças em seus comportamentos.

De um modo geral, quando observamos a repetição do indicador a, vê-se que a grande maioria das variáveis apresenta médias equivalentes na estação chuvosa, o que pode ser explicado devido à redução na concentração de poluentes. Analisemos, contudo, algumas variáveis e mananciais isoladamente.

No caso da variável contagem bacteriana (CBT), o comportamento na estação chuvosa para os mananciais Ribeirão da Serra, Marçal Santos e Saturnino de Brito apresentaram médias estatisticamente iguais (agrupamento a). Já os mananciais Marçal Santos, Várzea de Caldas e Cipó apresentam médias equivalentes tanto na estação chuvosa quanto seca. Na a estação seca, o manancial Ribeirão da Serra também tem média equivalente.

A variável coliformes totais (CT), na estação chuvosa, apresenta médias equivalentes para os mananciais Ribeirão da Serra, Saturnino de Brito, Marçal Santos e Cipó. Na estação seca, as médias são equivalentes nos mananciais Ribeirão da Serra e Marçal Santos. Assim como na estação seca, as médias são equivalentes nos mananciais Várzea de Caldas e Cipó foram semelhantes.

O manancial Várzea de Caldas apresentou médias estatisticamente diferentes na mudança das estações apenas nas variáveis temperatura, cor e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Conhecendo as características desse manancial, conforme observado na Figura 4, tendo demonstrado médias altas para quase todos as variáveis, confirma-se a má qualidade desse manancial tanto na estação chuvosa quanto na estação seca.

No manancial Ribeirão da Serra, as variáveis pH, cloro residual, cloreto, nitrogênio amoniacal e sólidos totais dissolvidos, apresentam médias equivalentes tanto na estação chuvosa quanto na seca.

Tabela 6: Análise da interação manancial-estação sobre os parâmetros de qualidade de água realizadas por meio do teste de Dunn.

	Rib. Serra		Sat. Brito		M. Santos		V. de Caldas		Rib. Cipó	
	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca
C.B.T	ab	ce	a	bd	abcd	e	cde	e	bcde	ce
C.T	ab	cde	ab	bc	abcd	def	ef	f	abcd	f
C. termo.	ab	cf	abc	cf	acdf	def	deg	g	abcf	eg
Temp.	a	b	bc	d	bd	d	a	bc	ac	d
Cor	a	e	bc	e	d	d	be	f	a	f
pH	ab	a	abc	a	abcd	abc	cde	bcde	e	de
Cloro R.	ab	ab	c	ce	acde	cde	abd	b	acde	de
Turbidez	a	ce	abc	e	d	d	ef	df	abc	df
Fluoreto	ab	c	a	ab	abc	c	abc	ab	abc	d
Manganês	ab	c	c	de	d	d	abc	bc	a	ce
Ferro	ab	cdg	ac	cdg	d	dg	abe	acg	ef	ac
Cloreto	a	a	bc	b	ad	d	a	ac	abc	d
OD	abc	de	abd	e	abcd	e	cfg	abc	fg	ade
DBO	a	cd	abc	cd	bcde	e	ab	cd	a	ef
N-amoni.	abc	ad	ad	ad	d	d	abd	bce	e	ad
STD	a	a	bc	b	de	d	d	d	abe	c
Nitrato	abc	e	ab	bcd	acde	cde	cde	de	a	de
Fosfato	a	b	a	b	bc	c	ab	b	ab	c

Fonte: próprio autor

Já no Manancial Marçal Santos, o valor médio de grande maioria das variáveis não difere quanto a mudança das estações. O fato do manancial ser protegido por mata densa corrobora com esse resultado.

O comportamento no manancial Marçal Santos na estação chuvosa para a grande maioria das variáveis apresenta médias equivalentes ao manancial Cipó, fato observado quando, na seção anterior, foram comparados os parâmetros frente à legislação COPAM/CERH, ou seja, destacando realmente uma melhor qualidade de suas águas em ambos mananciais, provavelmente por não possuírem áreas urbanizadas na bacia de contribuição.

Conclusão

O objetivo do estudo foi investigar a influência das estações, dos mananciais e da interação manancial-estação, frente aos parâmetros de qualidade de água (variáveis de estudo) dos mananciais de abastecimento da cidade de Poços de Caldas-MG, por meio das análises estatísticas

Quando comparados os mananciais em relação aos limites COPAM/CERH N°. 1, de 05 de maio de 2008 para corpos hídricos classe 2, os mananciais que obtiveram melhores resultados foram: Ribeirão Cipó e Marçal Santos, com médias bem inferiores às exigidas pela legislação, em grande parte das variáveis analisadas e em ambas as estações.

As ANAVA indicam que uma grande proporção de variáveis obteve valores-p inferiores a 5% de significância em todos os mananciais, ou seja, sofreram influência da estação: Ribeirão da Serra: 55% das variáveis; Saturnino de Brito: 68%; Marçal Santos: 59%; Várzea de Caldas: 64%; Ribeirão Cipó: 73%. A partir desses resultados é possível inferir que os mananciais oriundos de represas (Saturnino de Brito e Cipó) são mais suscetíveis às mudanças de estações, chuvosa e seca.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis avaliou a influência da estação, do manancial e da interação manancial-estação nas variáveis de estudo. Observou-se que as variáveis: contagem bacteriana total (CBT), coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (C. termo), temperatura (Temp), cor, turbidez, fluoreto, manganês, ferro, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e fosfato, apresentam diferenças estatisticamente significativas dependendo da estação, do manancial e da interação

manancial-estação. As variáveis pH, cloro residual, nitrogênio amoniacal (N-amoni.), sólidos totais dissolvidos (STD) e cloreto apresentam diferenças estatisticamente significativas dependendo do manancial e da interação manancial-estação. A variável óleo e graxas apresenta diferenças estatisticamente significativas dependendo da estação e da interação manancial-estação. As variáveis alumínio, demanda química de oxigênio (DQO) e detergente não apresentam diferenças estatisticamente. Em complementação ao teste de Kruskal-Wallis, o teste de análise múltiplas de médias de Dunn avaliou o comportamento médio das variáveis na interação manancial-estação, propiciando três conclusões importantes.

Primeiramente, observou-se que o manancial Várzea de Caldas apresentou médias estatisticamente equivalentes para a quase totalidade das variáveis em ambas as estações. Tendo esse manancial apresentado médias altas para quase todos as variáveis, confirma-se a má qualidade desse manancial tanto na estação chuvosa quanto na estação seca.

No Manancial Marçal Santos, o valor médio de grande maioria das variáveis não difere quanto a mudança das estações. O fato do manancial ser protegido por mata densa corrobora com esse resultado, reforçando a importância da vegetação na limpeza dos mananciais.

Finalmente, o comportamento no manancial Marçal Santos na estação chuvosa, para a grande maioria das variáveis, apresenta médias equivalentes às do manancial Cipó, confirmando um comportamento similar desses mananciais que apresentam uma melhor qualidade de suas águas em ambos mananciais, provavelmente por não possuírem áreas urbanizadas na bacia de contribuição.

Referências

ALBERTI, H.L.C. *Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG. 2008*. 134f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2008.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*. 20^a edition. Washington, D.C: APHA. 2012.

BLASI, J. I. P. D.; TORRES, M. J.; GARCÍA NIETO, P. J. et al. Analysis and detection of outliers in water quality parameters from 'different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 60–66, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.054>

BRASIL, Ministério do meio ambiente. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 25 de Ago. 2017.

CARREON, E. T.; SEDENO J. E. D.; LOPEZ E. L. Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, v. 29, n. 3, p. 147-163, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo*. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf>. Acesso em março 2018.

- DAMASCENO, M. da C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R. et al. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. *Deliberação normativa conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1*, de 05 de Maio de 2008: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais, 05 maio 2008. Belo Horizonte, 2008.
- LEMES, M.J.L. *Avaliação de metais e elementos-traços em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo*. 248f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de tecnologia nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MARQUES, J.D.R. *Influência da precipitação na qualidade de mananciais superficiais no município de Poços de Caldas - MG*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas/MG, 2018.
- MOREIRA, F. H. de S. *Interações entre escoamento superficial, hidrossedimentos e radionuclídeos (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra , Th e U) no Alto Ribeirão das Antas, Poços de Caldas-MG*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas.
- OLIVEIRA, B. S. S.de; CUNHA, A. C. da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014.
- PENEV, S.; LEONTE D.; LAZAROV, Z. et al. Applications of MIDAS regression in analysing trends in water quality. *Journal of Hydrology*, v. 511, p.151–159, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.031>
- PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 435-456, mai./jun. 2017.
- PLANO DIRETOR. Câmara Municipal de Poços de Caldas. Plano diretor do município. 2006. Disponível em: http://www.pocosdecaldas.mg.leg.br/legislacao/plano_diretor. Acesso em: 10 Jun. 2018.
- PMPC. Prefeitura municipal de Poços de Caldas. Perfil Municipal. Disponível em:<http://200.195.60.10/>. Acesso em: 28 de Ago. 2017.
- R CORE TEAM - RCT. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.
- SOARES, S. S.; ARRUDA, P. N.; LOBÓN, G. S. et al. Avaliação de métodos para a determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 37, n. 1, p. 119-130, jan./jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2016v37n1p119>
- VERONEZ, B. P. *Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em micro bacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia oriental*. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2011.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto*. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243 p.