

Avaliação espacial e sazonal da qualidade da água do rio Corrente dos Matões (Piauí), utilizando análise multivariada

Spatial and seasonal evaluation of the water quality of the Corrente dos Matões river (Piauí), using multivariate analysis

Fernanda Benício Coelho de Araujo¹

Márcio Cleto Soares de Moura²

Adriana Miranda de Santana Arauco³

Glauca Viana dos Santos⁴

Mayara Carvalho de Novais⁵

Resumo

O objetivo deste estudo foi utilizar técnicas de estatística multivariada para avaliar as alterações espacial e sazonal nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do rio Corrente dos Matões, visando contribuir com informações para a gestão dos recursos hídricos na região. A microbacia abrange as chapadas do Quilombo e do Pirajá, onde se encontra as principais áreas agrícolas da região. Amostras de água foram coletadas nas estações seca e chuvosa. Foram realizadas medidas de turbidez, pH, temperatura, potencial redox, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, concentrações de fósforo inorgânico dissolvido, fósforo total, nitrato e nitrogênio total, além da contagem do número mais provável de coliformes totais e termotolerantes. Os dados foram submetidos às análises estatísticas descritiva e multivariada. As variáveis oxigênio dissolvido e fósforo total apresentaram variações significativas em relação aos limites da Resolução nº 357/2005 CONAMA. Na análise de componentes principais, foram considerados as 3 primeiras componentes principais, que juntas explicaram 78,08% da variância total dos dados originais, onde a primeira componente principal reteve os parâmetros físico-químicos responsáveis pela qualidade da água, demonstrando uma influência sazonal, enquanto que a análise de agrupamento hierárquico agrupou as amostras em três grupos distintos, de acordo com as similaridades. As análises de componentes principais e agrupamento hierárquico permitiram a classificação dos parâmetros indicadores da qualidade das águas da microbacia do rio Corrente dos Matões, Piauí.

Palavras-chave: Análise de componentes principais. Análise de agrupamento hierárquico. Fósforo. Nitrogênio.

1 Mestre em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí (2014) - UFPI; Professora da Universidade Estadual do Piauí – UESPI, Corrente. E-mail: fernandabioaraujo@hotmail.com

2 Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grando do Norte (2011) - UFRN; Professor na Universidade Federal do Piauí - UFPI, Teresina, PI, Brasil. Centro de Ciências da Natureza; E-mail: marcio@ufpi.edu.br

3 Doutora em Microbiologia Agropecuária pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal. Professora Associada II da Universidade Federal do Piauí/Câmpus Professora Cinobelina Elvas/CPCE. E-mail: adrianamsarauco@gmail.com

4 Mestre em Agronomia/Solos e Nutrição de plantas pela Universidade Federal do Piauí -UFPI/CPCE. E-mail: glauca_yyanna@hotmail.com

5 Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro de Educação Aberta e a Distância (CEAD) da Universidade Federal do Piauí (UFPI); E-mail: mayaracarvalho18@hotmail.com

Abstract

The objective of this study was to use multivariate statistical techniques to evaluate the spatial and seasonal changes in the physicochemical and microbiological parameters on the waters of the Corrente dos Matões river, in order to contribute information to the management of water resources in the region. The micro basin covers the plains of Quilombo and Pirajá, where the main agricultural areas of the region are located. Samples of water were collected in dry and rainy seasons. Turbidity, pH, temperature, redox potential, dissolved oxygen, electrical conductivity and total dissolved solids, concentrations of dissolved inorganic phosphorus, total phosphorus, nitrate and total nitrogen were measured, as well as counting the most probable number of total and thermotolerant coliforms. Data were submitted to descriptive and multivariate statistical analysis. The variables dissolved oxygen and total phosphorus presented significant variations in relation to the limits of resolution nº 357/2005 CONAMA. The analysis of the main component were considered the first 3 principal components, which together explained 78.08% of the total variance of the original data, where the first principal component retained the physical-chemical parameters responsible for water quality, showing a seasonal influence, while the hierarchical clustering analysis the samples was grouped into three groups according to the similarities. The analysis of principal components and hierarchical clustering, allowed the classification of parameters indicating the water quality of the micro basin of the Corrente dos Matões river, Piauí.

Key words: Main components analysis. hierarchical cluster analysis. phosphorus. nitrogen.

Introdução

A bacia hidrográfica é formada por corpos hídricos que são considerados sistemas complexos caracterizados como escoadouros naturais das áreas de drenagem (TOLEDO; NICOLELLA, 2002). A bacia é um sistema aberto, onde o fluxo de matéria e energia é dinâmico e altamente dependente da gestão dos solos, que controlam a qualidade da água fazendo parte de um equilíbrio ambiental, motivo pelo qual quaisquer alterações de ordem física, química ou climática na bacia hidrográfica podem modificar a sua qualidade (SILVA et al., 2011; ZANATA et al., 2015).

O rio Corrente dos Matões, principal afluente do rio Gurguéia, localizado na bacia do Alto Parnaíba, no Estado do Piauí, vem exibindo uma expansão da área agrícola, a microbacia está inserida na região com áreas em expansão de monoculturas de soja e milho, além da implantação de pastagem, os quais adotam o uso intensivo de fertilizantes químicos, visando corrigir a baixa fertilidade natural dos solos da região (PAULA FILHO; MOURA; MARINS, 2012).

De acordo com Silva Junior (2015), as ações antrópicas podem contribuir de maneira acentuada para o avanço da degradação da bacia hidrográfica, comprometendo principalmente, a estrutura das nascentes, que por estarem sem cobertura estão sujeitas ao desaparecimento. Na microbacia hidrográfica do rio Corrente dos Matões-PI, são observadas ações antrópicas no entorno de suas nascentes, o que pode comprometer o fluxo e qualidade da água.

A exploração intensiva dos recursos naturais sem um planejamento adequado e aliado às características do solo e do clima vem promovendo grandes perdas de solo por erosão (RIVERS

et al., 2011; VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010; SANTOS et al., 2017), o que ocasiona o carreamento superficial do solo, da matéria orgânica e fertilizantes agrícolas para o leito dos rios, principalmente no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais.

Dessa forma, o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água é necessário para uma gestão adequada de um recurso hídrico, visando assegurar sua disponibilidade e qualidade (FRITZSONS et al., 2003; MARMONTEL; RODRIGUES, 2015). Segundo Finkler et al. (2016), para o monitoramento dos recursos hídricos, é fundamental associar dados confiáveis e consistentes sobre a qualidade da água para uma gestão eficaz e rigorosa dos recursos hídricos.

As variáveis limnológicas que avaliam a qualidade da água podem sofrer grandes variações, tanto espaciais quanto temporais (FAN et al., 2010; SABINO; LAGE; NORONHA, 2017), ressaltando-se, assim, a necessidade de um monitoramento sistemático. Tais alterações podem ser oriundas de processos naturais (sazonalidade, intempéries e outros) ou antropogênicos (uso da terra, descarga de efluentes domésticos e industriais, escoamento superficial urbano e agrícola) (PALÁCIO et al., 2016; ROCHA; FREITAS; SILVA, 2014).

A aplicação de ferramentas estatísticas multivariadas facilita a interpretação da complexa matriz de dados, promovendo uma melhor compreensão das características da água e o entendimento do seu padrão geoquímico, além de indicar a conveniência ou as limitações dos recursos hídricos para os seus mais diversos usos (NONATO et al., 2007; SHARMA et al., 2013; ZEINALZADEH; REZAEI, 2017).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variação sazonal e espacial dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água da microbacia do Corrente dos Matões - Piauí, utilizando a análise estatística multivariada (análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico), visando contribuir com informações para a gestão dos recursos hídricos na região.

Material e Métodos

Área de estudo

A microbacia hidrográfica do rio Corrente dos Matões (Figura 1) está situada na região sul do Estado do Piauí, no município de Bom Jesus. Encontra-se entre as coordenadas 9°00' e 9°25' de latitude Sul e 44°25' e 44°55' de longitude, a Oeste, Trata-se de um rio perene e o principal afluente do rio Gurguéia, o segundo maior rio do estado.

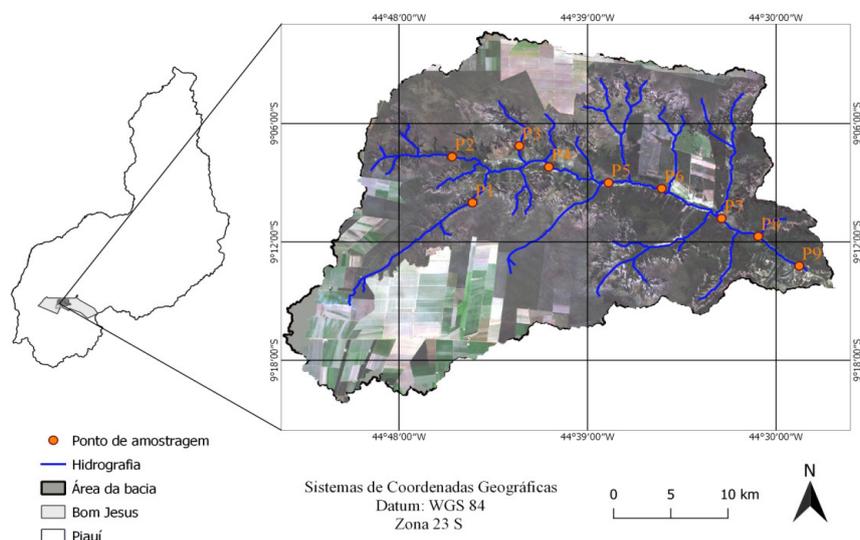
A bacia apresenta uma área de drenagem de 700 km² e aproximadamente 50 km de extensão, abrangendo as chapadas do Quilombo e do Pirajá, onde são encontradas as principais áreas agrícolas da região. Na microbacia, os solos predominantes são os Latossolos Amarelos e Neossolos Flúvicos (SANTOS et al., 2013).

De acordo com classificação climática de Köppen, a região apresenta clima quente e semiúmido do tipo AW' e se caracteriza por possuir estação chuvosa entre os meses de outubro e maio (Figura 2), sendo registrados baixos valores de umidade relativa do ar e elevados valores de evapotranspiração.

Amostragem e métodos analíticos

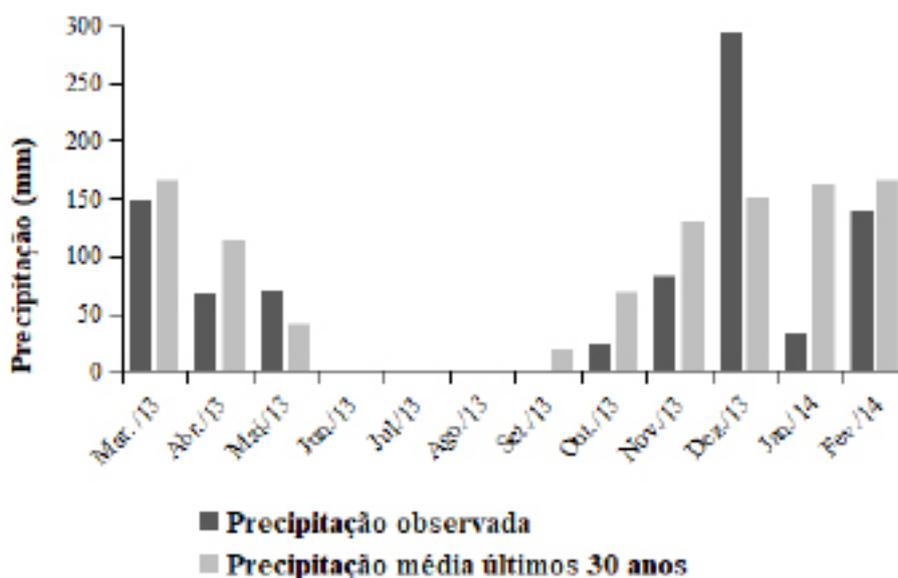
Para a amostragem, foram realizadas duas campanhas amostrais, uma no período seco (setembro de 2013) em 8 pontos e a outra no período chuvoso (fevereiro de 2014) em 9 pontos,

Figura 1 - Microbacia hidrográfica do rio Corrente dos Matões, destacando a localização dos pontos de amostragem e o município de Bom Jesus, Piauí.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2014).

Figura 2 - Precipitação mensal no município de Bom Jesus, microbacia do rio Corrente dos Matões. (INMET, 2014).



Fonte: INMET (2014)

compreendendo nascentes, seguimentos intermediários e foz do rio. Os pontos foram escolhidos levando em consideração a acessibilidade e uma melhor representatividade espacial e de ocupação da bacia. Os locais foram denominados P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9, onde P1, P2 e P3 são próximos às nascentes e P9, próximo ao exutório da bacia.

As amostras de água foram coletadas na subsuperfície, à profundidade de 20 cm, aproximadamente. Em cada ponto de amostragem, foram realizadas medidas *in loco* das variáveis: turbidez (Unidade Nefelométrica de Turbidez / UNT), pH, temperatura da água (°C), potencial redox (mV), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (μS cm⁻¹) e sólidos totais dissolvidos (mgL⁻¹), com o auxílio de sondas portáteis. Para a determinação das demais variáveis, as amostras coletadas (em triplicata) foram armazenadas em frascos de polietileno de 1000 mL e, para a análise microbiológica, as amostras foram armazenadas em frascos de vidro esterilizados. As amostras foram conservadas em caixas térmicas preenchida com gelo até a chegada ao Laboratório de Química, onde procederam-se as análises. No laboratório, foi determinada a concentração de fósforo inorgânico dissolvido (PID), seguindo a metodologia de Murphy e Riley (1962). E as concentrações de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) utilizou-se a metodologia de Valderrama (1981) e a concentração de Nitrato, segundo APHA (2005).

Na determinação do Número Mais Provável por 100 mL (NMP /100 mL) de coliformes totais e coliformes termotolerantes, foram realizadas pela fermentação em tubos múltiplos, série de cinco tubos, teste presuntivo, utilizando-se caldo Lauril Sulfato Triptose (35°C/24-48h) e teste confirmativo para coliformes totais e *E. Coli* utilizando-se caldo Verde Brilhante Bile (VB) (35°C/24-48h) e caldo *E. coli* (EC) (44,5°C/24h), segundo APHA (2005).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análises descritivas e avaliados utilizando-se métodos de estatística multivariada, tais como a análises de componentes principais (PCA) e de agrupamento por método hierárquico (cluster analysis), utilizando-se o software SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

A análise de componentes principais foi realizada sobre a matriz de dados composta de 13 variáveis (variáveis físico-químicas e microbiológicas) e 17 amostras de água (períodos seco e chuvoso) do rio Corrente dos Matões.

Foram considerados os componentes principais, cujos autovalores sejam superiores à unidade, conforme o critério estabelecido por Kaiser (1958).

Adotou-se o procedimento de rotação ortogonal da matriz de componentes, o que possibilita melhor interpretação dos componentes ao redistribuir a variância explicada pelas componentes, não alterando a variância acumulada do conjunto de componentes. A utilização da rotação ortogonal pelo método Varimax permite um melhor ajuste ao modelo possível de explicação, sendo frequentemente utilizada em estudos de qualidade de água e processos hidrológicos (ROCHA; PEREIRA, 2016).

Os coeficientes das funções lineares, que definem os componentes principais, foram utilizados na interpretação de seu significado, usando o sinal e o tamanho relativo dos coeficientes como uma indicação do peso a ser atribuído para cada variável. Somente coeficientes com altos valores foram considerados para a interpretação, usualmente aqueles maiores ou iguais a 0,60 em valor absoluto.

Para a análise de agrupamento por método hierárquico, foi aplicada à matriz de dados composta de 17 amostras e 13 variáveis. A estrutura de grupos contida nos dados é vista em um gráfico denominado dendrograma, construído com a matriz de semelhança entre as amostras. A matriz de semelhança foi construída com a distância euclidiana, e a ligação dos grupos foi feita com o método de Ward. As análises estatísticas multivariadas foram realizadas no SPSS versão 20.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação pluviométrica no município de Bom Jesus-PI (Figura 2), no ano de 2013, ocorreu do mês de janeiro até o mês de maio e ausência de chuvas entre os meses junho e setembro, no mês de setembro, foi realizada a primeira campanha com a coleta de amostras no período seco. No ano de 2014, a precipitação pluviométrica no mês de janeiro foi atípica, pois ocorreu redução considerável em comparação com a média histórica dos 30 anos, que é acima de 100 mm, nesse mês, observou-se precipitação pluviométrica inferior a 50 mm, enquanto que no mês de fevereiro, no qual foi conduzida a segunda campanha com a coleta na estação chuvosa, a precipitação foi aproximadamente 150 mm, correspondendo a precipitação similar a média histórica dos últimos 30 anos, conforme apresentado no gráfico de precipitação na Figura 2.

Os resultados obtidos nas campanhas amostrais para a microbacia hidrográfica do rio Corrente dos Matões houve variação temporal associada a mudanças sazonais (Figura 3), além da variação espacial na qualidade de água. Os resultados foram comparados à Resolução CONAMA 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente para classificação dos corpos d'água nacionais (BRASIL, 2005). Os dados de pH (Figura 3A) demonstram que os locais amostrados apresentaram valores de pH que variou entre 6,00 e 8,66, dentro da faixa recomendada pela resolução nº 357/2005 CONAMA (BRASIL, 2005), para água doce a ser utilizada na agricultura e no abastecimento de água. A temperatura da água superficial variou de 23,9 a 28,0 °C, o que é esperado para regiões tropicais.

No presente estudo a concentração de oxigênio dissolvido (OD) (Figura 3B) nas amostras da estação seca foram abaixo do valor descrito pela resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), que é de 5,00 mg de O₂ L⁻¹, exceto no ponto P1, enquanto que a maioria das amostras da estação chuvosa apresentaram concentrações de OD acima do limite de 5,00 mg de O₂ L⁻¹, exceto os pontos P3 e P4. A redução na concentração de OD na estação chuvosa verificada no setor intermediário da microbacia (P3 e P4), pode ser atribuída às condições naturais de um sistema aquático, onde a matéria orgânica de origem biológica é habitualmente oxidada pelo OD (ESTEVEVES, 2011). Porém a presença de água estagnada nos pontos de coleta na estação seca com baixa concentração de OD devido à sua reação com a matéria orgânica e à falta de aeração da água, ocasionado pelo baixo fluxo da água em cursos d'água, impossibilita sua reposição com rapidez (FIORUCCI & BENEDETTI FILHO, 2005).

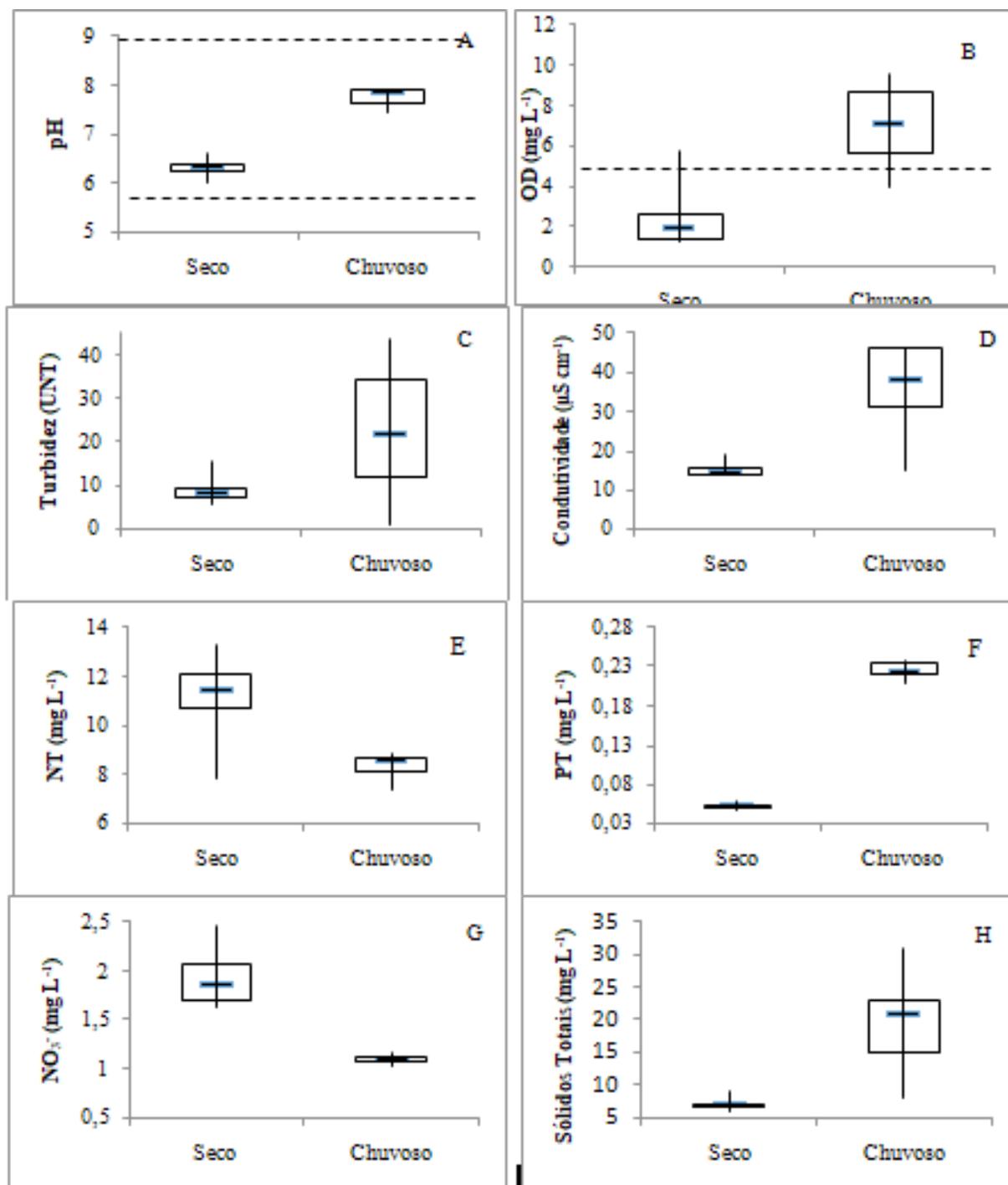
A determinação da concentração de OD é importante na avaliação da qualidade das águas, uma vez que o oxigênio, está envolvido praticamente em todos os processos químicos e biológicos (ESTEVEVES, 2011).

Scalon et al. (2013) relataram em suas pesquisas, que baixas concentrações de OD, indica condições de anoxia para espécies mais sensíveis, sugerindo que a qualidade da água pode representar um risco para a biota aquática, onde valores abaixo de 2,0 mg.L⁻¹ podem levar a hipóxia e morte.

Os valores de turbidez (Figura 3C), condutividade elétrica (Figura 3D) e sólidos totais dissolvidos (Figura 3H) para as duas estações apresentaram valores de acordo com os descritos pela Legislação Brasileira para água doce (BRASIL, 2005).

As concentrações de nitrogênio total (Figura 3E) e fósforo total (Figura 3F) estão acima dos valores máximos recomendados pela resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). A variação sazonal do conteúdo de nitrogênio total e fósforo total ao longo do rio Corrente dos

Figura 3 - Variação sazonal das variáveis pH (A), OD (B), turbidez (C), Condutividade Elétrica (D), NT (E), PT (F), Nitrato (G) e sólidos totais (H), nos períodos seco e chuvoso, nas águas superficiais da microbacia do rio Corrente dos Matões.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Matões mostrou que as concentrações de nitrogênio total (NT) e N-NO₃ foram maiores na estação seca em comparação com a estação chuvosa, o que demonstra uma redução na qualidade da água na estação seca em relação às concentrações NT e N-NO₃, possivelmente, ocasionado pelo baixo fluxo do curso d'água, levando a uma maior oxidação do N. Estudos na bacia Terengganu

na Malasia, mostraram que o impacto de atividades antropogênicas levam a altas concentrações de NT, como resultado dos processos de decomposição da matéria orgânica (SURATMAN et al., 2015).

A concentração de fósforo total das amostras no período chuvoso (Figura 3F) foi em torno de 70% maior em comparação as amostras do período seco. As concentrações de P nas amostras do período chuvoso ultrapassaram até mesmo o limite de $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ de P total, para enquadramento na classe 3 da resolução nº 357 do CONAMA. Geralmente, concentrações na faixa de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ de P são suficientes para manutenção do fitoplâncton, e concentrações na faixa de $0,03$ a $0,10 \text{ mg L}^{-1}$, ou maiores, podem desencadear o seu crescimento desenfreado (ESTEVES, 2011).

A microbacia do rio Corrente dos Matões, sofre pouca interferência da urbanização. Dessa forma, a qualidade da água nessa bacia hidrográfica em relação à concentração de fósforo, pode ser atribuída à utilização de fertilizantes químicos na adubação do solo ao entorno da bacia em áreas de produção agrícolas, sendo que o mesmo é o responsável por processos de eutrofização (KLEINMAN et al. 2011).

Bacias hidrográficas que são predominantemente cobertas pela agricultura e pastagens, e apresenta uma redução drástica da cobertura vegetal, devido a essa expansão, prejudica a qualidade da água e leva a um aumento na carga de sedimentos e nutrientes nos corpos hídricos (SCHNEIDER, COSTA, 2013; VETTORAZZI, VALENTE 2016)

Análises estatísticas multivariadas

A ACP realizada para as 13 variáveis, foram geradas 13 componentes principais (CP), em que os três primeiros CP permitiram explicar 78,08% da variância total dos dados, com 47,02% na primeira componente (CP1), 16,63% na segunda (CP2) e 14,43% na terceira (CP3) (Tabela 1). Assim, todas as informações coletadas sobre a qualidade dos nove pontos de amostragem, para as treze variáveis originais podem ser realizadas num espaço reduzido. A matriz rotacionada com os pesos indicando a contribuição que cada variável apresentou em cada componente principal está expresso na Tabela 1.

No presente estudo, a primeira componente principal foi influenciada pelas variáveis físicas da água, juntamente com as concentrações dos nutrientes fósforo total, nitrogênio total e nitrato. As variáveis nitrato (-0,823) e nitrogênio total (-0,832) apresentaram-se diretamente relacionadas entre si, com pesos negativos, e inversamente associadas às demais variáveis retidas em CP1 com pesos positivos (Tabela 1).

Em adição, as variáveis: pH (0,922), sólidos totais dissolvidos (0,903), condutividade elétrica (0,897), oxigênio dissolvido (0,767), turbidez (0,621) e fósforo total (0,873) foram diretamente associadas entre si, porém com pesos positivos. Dessa forma, observa-se que as concentrações dos nutrientes nitrato e nitrogênio total, demonstram uma relação inversa com as demais variáveis e as mesmas são reduzidas com o aumento das variáveis físicas, indicativo de uma provável poluição da microbacia hidrográfica do Corrente dos Matões, caracterizando a componente como responsável pela qualidade físico-química das águas da bacia. As variáveis dessa componente podem ser indicativos de fonte de poluição agrícola oriunda do escoamento superficial de insumos como fertilizantes utilizados nas lavouras agrícolas (KLEINMAN et al. 2011).

Bernardi et al. (2009) verificaram a qualidade das águas na bacia do rio Madeira e seus tributários, no Estado de Rondônia e encontraram contribuição na primeira componente principal

Tabela 1 - Pesos e variância explicada pelas três primeiras componentes principais, transformados pela rotação Varimax. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	CP1	CP2	CP3
Turbidez	0,621	0,044	-0,288
Oxigênio dissolvido	0,767	0,356	0,098
Potencial redox	0,456	0,254	0,818
Temperatura	0,362	0,342	-0,353
pH	0,922	0,223	-0,066
Sólidos totais dissolvidos	0,903	-0,039	-0,126
Condutividade elétrica	0,897	-0,004	-0,091
Fósforo total	0,873	0,367	-0,186
Fósforo inorgânico dissolvido	-0,350	0,009	0,881
Nitrogênio total	-0,832	-0,199	-0,355
Nitrato	-0,823	-0,451	-0,073
Coliformes termotolerantes	0,269	0,850	-0,005
Coliformes totais	-0,009	0,837	0,136
Autovalor	6,113	2,162	1,876
% variância explicada	47,02	16,63	14,43
% variância acumulada	47,02	63,65	78,08

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

às variáveis físicas: pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos totais.

Vários estudos têm mostrado que o uso intensivo dos solos para atividades agrícolas em regiões de bacias hidrográficas gera uma fonte potencial de contaminação por fertilizantes, que influenciam o sistema hidrológico e alteram a qualidade da água (FERRIER et al., 2001; AHEARN et al., 2005; COMINO et al., 2016; NARANY et al., 2017).

Resultados similares foram encontrados por Almeida e Schwarzbold (2003), pesquisando sobre a qualidade das águas da microbacia do arroio da Cria no Município de Montenegro, situada na região centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul utilizaram-se técnicas exploratórias multivariadas, nas quais observaram que a primeira componente principal composta pelos parâmetros, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais e pH constituíram as variáveis mais representativas para caracterização da qualidade das águas. Toledo e Nicoletta (2002) avaliando a qualidade da água em uma microbacia de uso agrícola e urbana no município de Guaíra-SP, obtiveram na primeira componente principal, maior número de variáveis, sendo as mais representativas, o fósforo e o nitrogênio total, corroborando o presente estudo (Tabela 1).

De forma semelhante, Guedes et al. (2012) identificaram que os parâmetros: nitrogênio total, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e fósforo

total representaram as variáveis mais significativas na determinação da qualidade da água do rio Pomba-MG.

A segunda componente principal (CP2) explicou 16,63% da variância total dos dados originais, e nessa componente podemos destacar com maiores pesos positivos para as variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes e coliformes totais) diretamente associadas entre si (Tabela 1). Essas variáveis expressam os riscos da poluição orgânica, as quais refletem principalmente, a contribuição das atividades de criação de animais e a poluição de origem pontual em menor contribuição na microbacia, principalmente, no período de menor ocorrência de chuvas na região.

As variáveis microbiológicas, os coliformes totais, foram selecionadas por Bertossi et al. (2013) como os parâmetros mais representativos na variabilidade da qualidade das águas da sub-bacia hidrográfica rural do Córrego Horizonte no município de Monte Alegre-ES. Corroborando esses resultados, Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000) identificaram também que os coliformes totais foram considerados os parâmetros que melhor caracterizaram a qualidade das águas nas microbacias do Ribeirão da Onça e do Ribeirão do Feijão, na região de São Carlos-SP, em um estudo sobre as relações da atividade agropecuária com os parâmetros físicos químicos e microbiológicos por meio da utilização da análise multivariada.

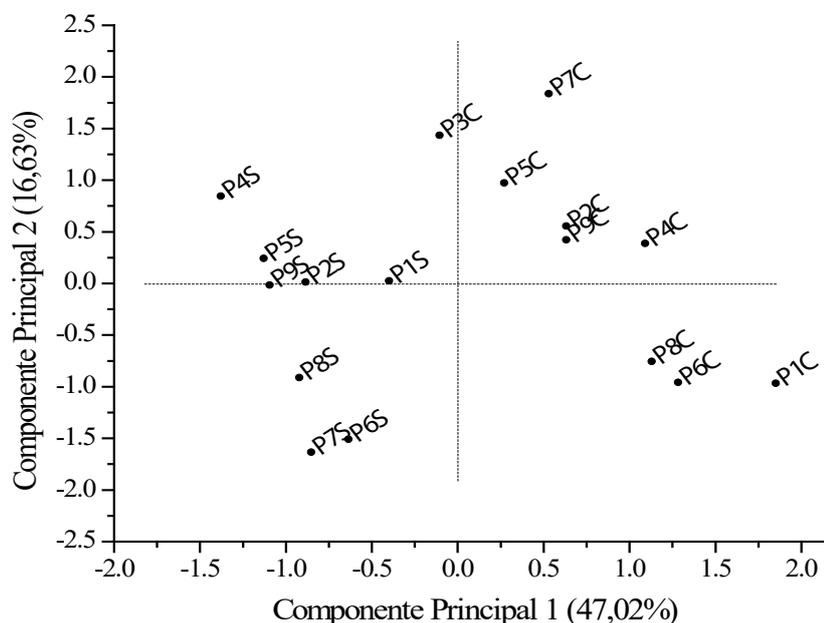
Já a terceira componente principal (CP3) explicou 14,43% da variância total dos dados e as variáveis que tiveram maiores pesos foram o fósforo na água, em particular ao fósforo inorgânico dissolvido ou ortofosfato e o potencial redox apresentando também relação direta entre si (Tabela 1). Visto que a dinâmica da disponibilidade de fósforo inorgânico dissolvido na água ocorre em função dos processos físico-químicos de adsorção e dessorção, os quais controlam as transformações do fósforo, sendo que o processo de dessorção é influenciado pelas condições geoquímicas do meio, como o potencial redox (MC DOWELL; SHARPLEY; CONDRN, 2001). O ciclo do fósforo, portanto, está estreitamente correlacionado ao potencial de oxirredução na água e no sedimento. O aumento de oxigênio reduz a disponibilidade de fósforo na água que volta a ficar disponível em condições anaeróbicas ou de baixa presença de oxigênio (ESTEVEVES, 2011).

No gráfico dos escores das duas primeiras componentes (Figura 4), que juntas explicam 63,65% da variância total dos dados, observa-se dispersão das amostras em função da sazonalidade, em que onde à direita do gráfico em CP1 localizam-se as amostras relativas à estação chuvosa, as quais são discriminadas por influência dos parâmetros: pH, fósforo total, sólidos totais dissolvido, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio total e nitrato.

À esquerda em CP1 (Figura 4), localizam-se as amostras relativas ao período seco, em que não ocorreram precipitações durante os três meses anteriores à amostragem na região. Essas amostras foram discriminadas principalmente por variáveis que determinam a qualidade da água e, assim, podendo observar as diferenças existentes em função da sazonalidade (HUANG et al., 2016).

Na componente principal 2 (Figura 4), tem-se a influência das variáveis microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes), onde as amostras do seguimento intermediário ao final do rio (P6S, P7S e P8S) apresentaram os menores valores de coliformes totais e termotolerantes na época seca, e no período chuvoso as amostras (P1C, P6C e P8C) apresentaram os menores valores para as variáveis microbiológicas, encontrando-se na parte negativa da componente principal 2. Enquanto as amostras (P4S) no período seco e (P3C, P5C e P7C), foram discriminadas na parte

Figura 4 - Gráfico dos escores das duas primeiras componentes principais. S = seco e C = chuvoso.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

positiva da componente principal 2, caracterizando amostras que apresentaram maiores valores para as variáveis coliformes totais e termotolerantes.

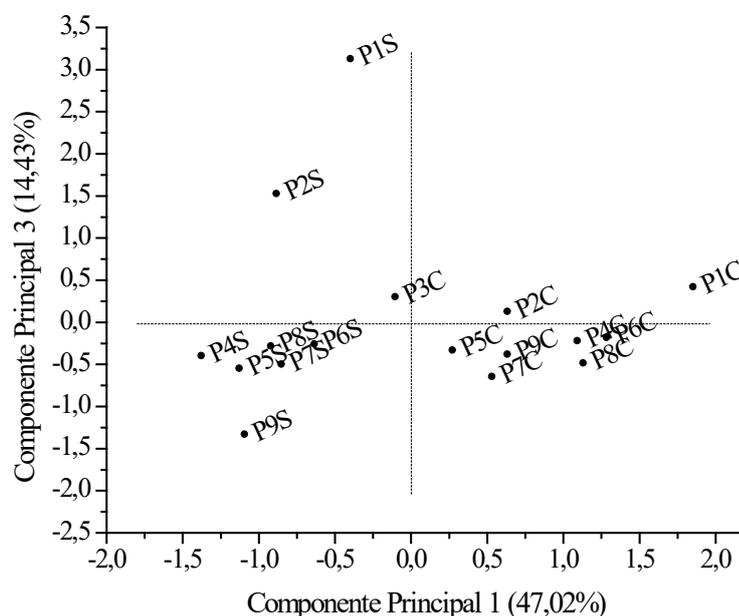
Santos, Cunha e Cunha. (2014), ao avaliarem a análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona Flúvio-Marinha do rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil, por meio da análise de agrupamento, obtiveram também informações relevantes sobre a estrutura das variáveis físico-químicas e microbiológicas da água no trecho Flúvio-Marinha, apresentando o nível de similaridade entre sítios e períodos de coleta estudados.

Na Figura 5, observa-se o gráfico dos escores da primeira com a terceira componente principal, que juntos explicam 61,45% da variância total dos dados originais.

Na Figura 5, além da discriminação da sazonalidade ocorrida na componente principal 1, tem-se a influência da componente principal 3, onde no setor positivo da CP3, destacam-se as amostras P1S e P2S, as quais apresentam as maiores concentrações de fósforo inorgânico dissolvido e maiores valores de potencial redox, enquanto que a amostra P9S, exibiu o menor valor para a variável de potencial redox nessa componente. Por outro lado, as amostras do período chuvoso não apresentaram influência nessa componente. As amostras do período chuvoso se concentraram na parte central da componente principal 3, corroborando que, nesse período, tanto as concentrações de fósforo inorgânico dissolvido, como o potencial redox não discriminaram as amostras, podendo ser atribuído ao volume de água diluir as concentrações de fósforo inorgânico dissolvido.

Corroborando os resultados do presente estudo, Bufon e Landim (2007) realizaram um estudo sobre a qualidade da água da microbacia do Corrégo da Barrinha, localizada no município de Pirassununga-SP, por meio da análise de agrupamento e verificaram a similaridade existente principalmente entre as variáveis: fosfato inorgânico e fosfato dissolvido. Percebe-se que tais similaridades se deve a atividade de organismos, especialmente fitoplanctônicos e

Figura 5 - Gráfico dos escores da componente principal 1 versus componente principal 3. S = seco e C = chuvoso.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

de macrófitas aquáticas, os quais durante a fotossíntese podem assimilar grandes quantidades desses íons nessa microbacia.

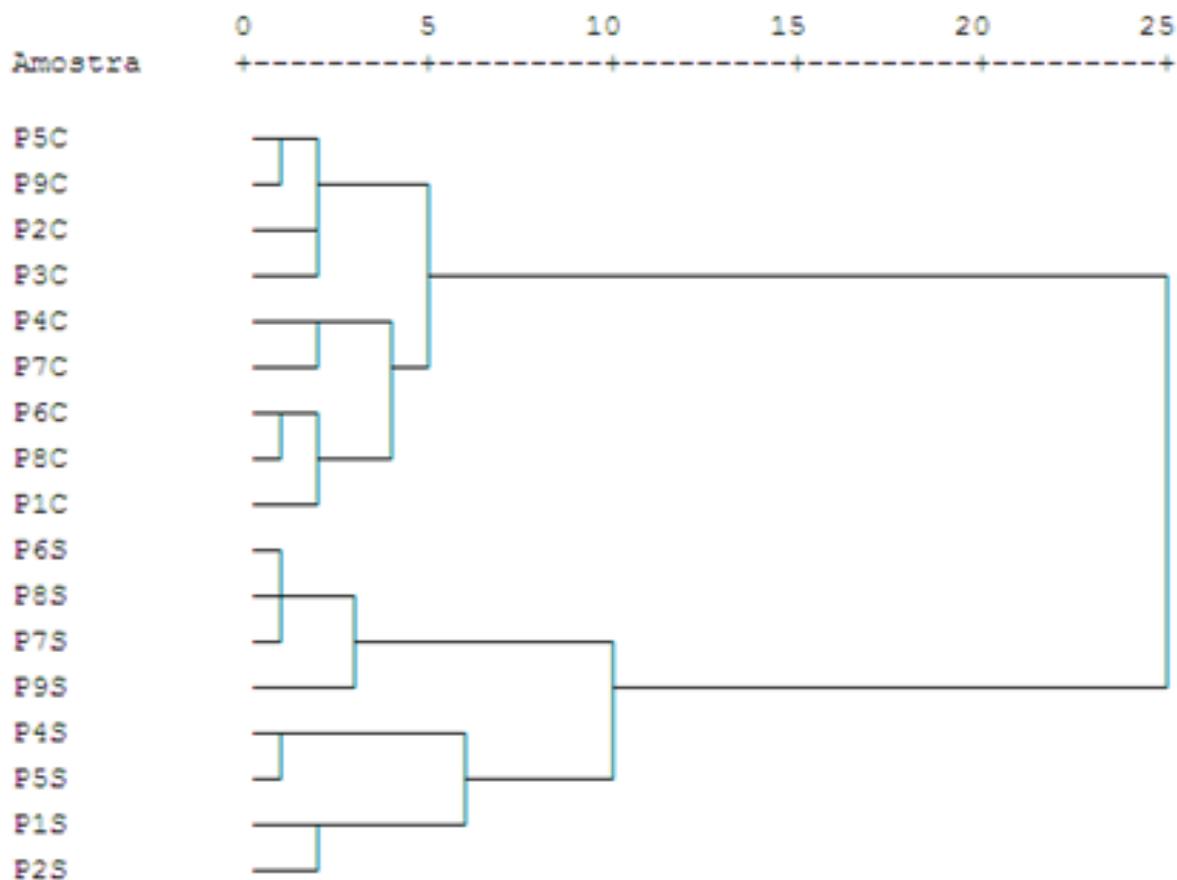
Considerando que os componentes são ortogonais (não correlacionados), o processo referente aos parâmetros retidos em CP1, CP2 e CP3 atuam de forma independentes um do outro. Dessa forma, as principais variáveis físicas da água, juntamente com as concentrações dos nutrientes fósforo total, nitrogênio total e nitrato retidas na CP1 atuam independentes das variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes e coliformes totais) retidas na CP2 em função da caracterização da qualidade das águas na microbacia em estudo.

Na Figura 6, observa-se o dendrograma de similaridade das amostras representativas nas águas do rio Corrente dos Matões, onde se verifica a similaridade entre os períodos seco e chuvoso, indicando que a água desse corpo hídrico é bastante influenciada pela sazonalidade climática. Dessa forma, definem-se três agrupamentos distintos.

O grupo 1 no dendrograma foi formado pelas amostras coletadas na estação chuvosa. As amostras (P5C e P9C) exibiram as maiores similaridades desse grupo, pois a amostra P5C é proveniente da zona intermediária do rio, enquanto que a amostra P9C foi coletada próxima à foz, mostrando que a região intermediária apresentou característica semelhante ao final do rio. No mesmo grupo, pode observar a similaridade entre os pontos amostrados P2C e P3C, referente às nascentes, nos pontos P4C e P7C, tem-se o ponto de união das três nascentes (P4C) com a região intermediária e nos pontos P6C, P8C e P1C, onde se observa uma similaridade, devido à classificação dessas amostras pelas variáveis microbiológicas.

Os grupos 2 e 3 foram formados por águas coletadas na estação seca. No grupo 2, tem-se as amostras (P6S, P8S, P7S) do seguimento intermediário do rio, grupo formado devido às variáveis microbiológicas, e combinando-se com o ponto P9S, representando a foz do rio, demonstrando que na

Figura 6 - Dendrograma mostrando o agrupamento de três grupos das amostras de água de acordo com suas características físico-químicas do rio Corrente dos Matões. S = seco e C = chuvoso.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

região intermediária até o final do rio não ocorreram mudanças significativas nas características avaliadas. Resultado semelhante foi observado na ACP, podendo ser verificado no gráfico de escores da Figura 3.

O grupo 3 é formado pelos pontos de amostragem (P4S, P5S, P1S e P2S), onde as amostras (P4S e P5S) exibiram a maior similaridade dentro desse grupo, esse grupo é caracterizado pelas amostras coletadas no início do setor intermediário do rio Corrente dos Matões, demonstrando que não houve alteração nesse setor do rio no período seco. As águas coletadas na nascente do rio (P1S e P2S) no período seco evidenciaram também grande contribuição de fósforo inorgânico dissolvido, uma vez que a presença de fósforo inorgânico dissolvido deve ser atribuída à proximidade das áreas agrícolas da bacia e a manutenção dessa concentração depende da densidade e da atividade de organismos, especialmente fitoplânctônicos e de macrófitas aquáticas, os quais durante a fotossíntese, podem assimilar grandes quantidades desses íons (ESTEVEZ, 2011).

Assim, os resultados obtidos com a análise de agrupamento complementam aqueles obtidos por meio da análise de componentes principais, fornecendo uma visão em conjunto de todas as amostras e como as mesmas se assemelham. Por outro lado, a análise de componente principais permitiu verificar a interpretação dos grupos naturalmente formados na análise de agrupamento,

uma vez que distinguiu as variáveis físico-químicas e microbiológicas nas águas do rio por meio das variações de sazonalidade, facilitando identificar a contribuição antrópica ou natural em cada caso.

CONCLUSÕES

Neste estudo, os parâmetros físicos-químicos estudados nas águas da microbacia do rio Corrente dos Matões sofreram discriminação da sazonalidade. As variáveis pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvido, nitrato e NT estão de acordo com os limites descritos pela resolução nº 357/05 do CONAMA, entretanto concentrações de fósforo ultrapassaram o limite descrito na resolução nº 357/05 do CONAMA, aumento associado à atividade agrícola em expansão na microbacia.

A utilização das técnicas de estatística multivariada, análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico permitiram classificar os locais estudados de acordo com a variação sazonal, como também por setores da microbacia, mostrando que esse tipo de análise permite que se obtenham classificações rápidas e eficientes sobre a similaridade entre as amostras, através da visualização gráfica. A ACP permitiu a extração de 3 componentes principais indicadoras da qualidade das águas da microbacia do rio Corrente dos Matões, explicando 78,08% da variância total. A classificação sazonal foi explicada pelas variáveis retidas na CP1, onde pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e fósforo total foram associadas entre si e inversamente associadas ao NT e nitrato. Enquanto que CP2 discriminou os locais amostrados influenciados pelas variáveis microbiológicas.

A análise de agrupamento agrupou os pontos amostrados em três grupos de acordo com as similaridades, distinguindo a estação seca e chuvosa, além da divisão de dois setores da microbacia, onde o primeiro sofre bastante influências da atividade agrícola da região. Com base nas informações de similaridades entre os pontos estudados, é possível projetar uma estratégia de amostragem ideal, diminuindo o número de pontos de amostragem. Além disso, reduzindo os custos de amostragem e análises.

LITERATURA CITADA

AHEARN, D. S.; SHEIBLEY, R. S.; DAHLGREN, R. A.; ANDERSON, M.; JONSON, J.; TATE, K. W. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. **Journal of Hydrology**, v. 313, p. 234-247, 2005.

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com Aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.

BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira

- e afluentes, Amazônia ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 079-090, 2009.
- BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.
- BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BUFON, A. G. M.; LANDIM, P. M. B. Análise da qualidade da água por metodologia estatística multivariada na represa Velha (CEPTA/IBAMA/Pirassununga/SP). **Holos Environment**, v. 7, n. 1, p. 42-59, 2007.
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.
- COMINO, J. R.; QUIQUEREZ, A.; FOLLAIN, S.; RACLOT, D.; LE BISSONNAIS, Y.; CASALÍ, J.; PEREIRA, P. Soil erosion in sloping vineyards assessed by using botanical indicators and sediment collectors in the Ruwer-Mosel valley. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.233, p. 158-170, 2016.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro. Interciência: Ed. 3, 2011. 790p.
- FAN, X.; CUI, B.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, p.1220-1234, 2010.
- FERRIER, R. C.; EDWARDS, A. C.; HIRST, D.; LITTLEWOOD, I. G.; WATTS, C. D.; MORRIS, R. Water quality of Scottish rivers: spatial and temporal trends. **Science of the Total Environment**, v. 265, p. 327-342, 2001.
- FINKLER, N. R.; BORTOLIN, T. A.; COCCONI, J.; MENDES, L. A.; SCHNEIDER V. E. Spatial and temporal assessment of water quality data using multivariate statistical techniques. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.38, n.2, p. 577-587, 2016.
- FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, v. 22 , p. 10-16, 2005.
- FRINTZONS, E.; HIND, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. As alterações da qualidade da água do Rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.8, p.239-248, 2003.
- GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS,

A.T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

HUANG, Z.; HAN, L.; ZENG, L.; XIAO, W.; TIAN, Y. Effects of land use patterns on stream water quality: a case study of a small-scale watershed in the Three Gorges Reservoir Area, China. **Environ. Sci. Pollut. R.**, v.23 p. 3943-3955, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/iframe>>. Acesso em: 01 Mar. 2014.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W.; FLATEN, D. N.; BUDA, A. R.; TAO, L.; BERGSTROM, L.; ZHU, Q. Managing agricultural phosphorus for water quality protection: principles for progress. **Plant Soil**, v. 349, p. 169-182, 2011.

MARMONTEL, C. V. F e RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MC DOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L. M. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59, p. 269-284, 2001.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analitica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NARANY, T. S., ARIS, A. Z.; SEFIE, A.; KEESSTRA, S. Detecting and predicting the impact of land use changes on groundwater quality, a case study in Northern Kelantan, Malaysia. **Science of The Total Environment**, v. 599, p. 844-853, 2017.

NONATO, E.A.; VIOLA, Z.G.G.; ALMEIDA, K.C.B.; SCHOR, H.H.R. Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do Alto Curso do Rio das Velhas. **Química Nova**, v. 30, n. 4, p. 797-804, 2007.

PALÁCIO, H. A. Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.; SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; BRASIL, J. B. Effective precipitation, soil loss and plant cover systems in the caatinga biome, Brazil. **Revista Caatinga**. v. 29, n.4, p.956-965, 2016.

PAULA FILHO, F. J.; DE MOURA, M. C. S.; MARINS, R. V. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual de Química**, vol. 4, n 6, p.623-640, 2012.

RIVERS, M. R.; WEAVER, D. M.; SMETTEM, K. R. J.; DAVIES, P. M. Estimating future scenarios for farm watershed nutrient fluxes using dynamic simulation modeling. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p. 420-423, 2011.

ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A.; SILVA, T. M. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.431-436, 2014.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016.

SABINO, C V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. de. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 969-983, 2017.

SANTOS, E. S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, E. D. S. Análise Espaço-sazonal da Qualidade da Água na Zona Flúvio-Marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.3, p. 215-226, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, A. J. R. Razão de aporte de sedimentos em pequena bacia hidrográfica semiárida em condições de baixa conectividade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 49-58, jan-mar, 2017.

SCALON, M.C.; RECHENMACHER, C.; SIEBEL, A.M.; KAYSER, M.L.; RODRIGUES, M.T.; MALUF, S.W.; RODRIGUES, M.A.S.; DA SILVA, L.B. Genotoxic potential and physicochemical parameters of Sinos River southern Brazil. **The Scientific World Journal**, p. 6, 2013.

SCHNEIDER, F.; COSTA, M. B. B. Socioeconomic, environmental and productive diagnosis of agroecosystems in the Pirapora river. **Rev. Brasil. Agroecol**, v. 8, n.1 p. 217-231, 2013

SHARMA, S. K.; TIGNATH, S.; GAJBHIYE, S.; PATIL, R. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters of uttela watershed for hydrological modeling. **International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG)**, v. 2, n. 6, p.63-70, 2013.

SILVA, E. F. L. P.; PIRES, J. S. R.; HARDT, E.; SANTOS, J. E. S.; FERREIRA,

W. A. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 371-381, 2011.

SILVA JUNIOR LG. Ação antrópica em torno das nascentes da Microbacia do Rio Bitury, Município de Belo Jardim (Região Agreste de Pernambuco). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.2, n.3, p. 105-119, 2015.

SURATMAN, S.; MOHD SAILAN, M.I.; HEE, Y.Y.; BEDURUS, E.A.; LATIF, M.T. A Preliminary Study of Water Quality Index in Terengganu River Basin, Malaysia. **Sains Malaysiana**, v. 44, n.1, p. 67-73, 2015.

TOLEDO; L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total N and total P in natural Waters. **Mar Chem**, v. 10, p. 10-12. 1981.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55-64, 2010.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources, **Ecol. Eng.**, v.94, p. 255-267, 2016.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; FERRAUDO, A. S.; RANZINI, M.; CAMPOS, S. Effect of soil use on the quality of water resource in watershed using multivariate statistical analysis. **Irriga**, v. 20, n. 4, p. 776-789, 2015.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v 13, p. 1-10, 2017.