

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SÃO FRANCISCO E JACARÉ POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA

*Adnivia Santos Costa Monteiro<sup>1</sup>; Roseane dos Santos Nascimento<sup>2</sup>; João Marcos de Jesus Sales<sup>3</sup>;  
Igor Santos Silva<sup>4</sup> & Antenor de Oliveira Aguiar Netto<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da sazonalidade e do uso e ocupação do solo na qualidade da água do rio São Francisco (RSF) e seu afluente, rio Jacaré (RJ), localizados na região do baixo São Francisco, utilizando análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamentos hierárquicos (HCA). O conjunto de dados foi construído a partir da análise dos seguintes parâmetros em duas campanhas de amostragem (julho e novembro/18): pH, condutividade, OD, STD, DBO, SST, amônia, nitrito, nitrato, cor, dureza, temperatura, salinidade, clorofila a, sódio, fósforo total, cloretos, alcalinidade e coliformes termotolerantes. A aplicação da PCA e HCA nos conjunto de dados obtidos foi uma estratégia eficiente e ambas revelaram a forte influência da sazonalidade e uso e ocupação do solo na qualidade da águas estudadas. Os resultados indicaram que a qualidade das águas do RSF e seu afluente, já estão sendo deterioradas, como consequência das atividades humanas (despejos sanitários sem tratamento adequado e aporte de resíduos agrícolas).

**ABSTRACT**– In this study, the main goal was to evaluate the influence of seasonality and soil use and also in the occupation on the water quality of the São Francisco River (RSF) and its tributary, Jacaré River (RJ), located in the lower São Francisco region, using Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA). In this context, the dataset was constructed by analyzing the following parameters in two months (July and November / 18): pH, conductivity, DO, TDS, BOD, TSS, ammonia, nitrite, nitrate, color, hardness, salinity, chlorophyll-a, sodium, total phosphorus, chlorides, alkalinity and thermotolerant coliforms. Furthermore, the application of PCA and HCA in the dataset was an efficient strategy and both revealed the strong influence of the seasonality and the use and occupation of the soil in the water quality in the rivers. In short, the results indicated that the water quality of the RSF and its tributaries are already being deteriorated as a consequence of anthropogenic activities (sewage without adequate treatment and the contribution of agricultural residues).

**Palavras-Chave** – Monitoramento, PCA, HCA.

1) Bolsista PNPd do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, [adniviacoosta@hotmail.com](mailto:adniviacoosta@hotmail.com)

2) Graduanda em Química, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, [roseane-santos31@hotmail.com](mailto:roseane-santos31@hotmail.com)

3) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, [salles.ufs@hotmail.com](mailto:salles.ufs@hotmail.com)

4) Mestre em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, [igorss@academico.ufs.br](mailto:igorss@academico.ufs.br)

5) Professor da Universidade Federal de Sergipe. Bolsista produtividade do CNPq., Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, [antenor.ufs@gmail.com](mailto:antenor.ufs@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

Fontes de água doce como os rios são vitais para o sustento e a prosperidade da sociedade, uma vez que, são utilizados para diversos fins, incluindo abastecimento de água municipal e industrial, irrigação agrícola, geração de energia hidrelétrica, assimilação de resíduos e recreação (Ewaid *et al.*, 2018; Massoud, 2012). Tais usos aumentam a demanda por água e frequentemente resultam na degradação da qualidade da água e na modificação do fluxo natural dos rios, tornando seu potencial uso discutível, particularmente durante o verão, quando a procura é maior (Massoud, 2012; Bouaroudj *et al.*, 2019; Nnorom *et al.*, 2019).

Atender às crescentes demandas e fornecer água de qualidade suficiente à população nos últimos anos, considerando que a água está se tornando progressivamente escassa, tornou-se uma preocupação mundial (Ewaid *et al.*, 2018; Nnorom *et al.*, 2019), principalmente em regiões semiáridas, cujos recursos hídricos estão se tornando cada vez mais difícil de renovar, devido à sua constante exploração pela população em rápido crescimento (Barakat *et al.*, 2016).

Com o aumento dessas preocupações e à conscientização pela manutenção da qualidade da água para consumo humano, o interesse pelo estudo da gestão, monitoramento, proteção dos recursos hídricos e a avaliação do impacto da poluição ambiental na saúde humana e no funcionamento dos ecossistemas aquáticos por pesquisadores do mundo inteiro tem crescido consideravelmente nos últimos anos (Massoud, 2012; Abathi *et al.*, 2015; Barakat *et al.*, 2016; Ewaid *et al.*, 2018; Alves *et al.*, 2018; Araujo; Aguiar Netto, 2018; Britto *et al.*, 2018; Bouaroudj *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2019; Nnorom *et al.*, 2019).

Assim, a avaliação da qualidade (determinada por um conjunto de parâmetros físicos, químicos e biológicos, incluindo sua variação espacial e temporal) de um determinado corpo d'água deve ser realizada por meio de um programa de monitoramento eficiente que forneça resultados confiáveis e estes permitam a identificação dos diversos processos naturais e antrópicos que afetam a qualidade da água, a fim de facilitar o gerenciamento integrado e a tomada de decisão pelos gestores (Abathi *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2018; Tripathi e Singal, 2019).

O monitoramento regular, frequentemente composto por um grande número de parâmetros, resulta em uma matriz de dados ampla e complexa, que são na sua maioria difíceis de compreender. Por isso, a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, como análise de componentes principais (*do inglês, principal component analysis – PCA*) e análise hierárquica de agrupamentos (*do inglês, hierarchical cluster analysis – HCA*) tem sido reconhecidas como ferramentas eficientes para estudos ambientais, pois, elas reduzem os conjuntos de dados complexos a um pequeno número de fatores sem perda de informação revelando relações ocultas entre variáveis, oferecendo assim uma melhor compreensão da qualidade da água e possíveis fontes que afetam o sistema estudado (Abathi *et al.*,

2015; Alves *et al.*, 2018; Tripathi e Singal, 2019; Nnorom *et al.*, 2019).

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da dos períodos seco e chuvoso e do uso e ocupação do solo nos parâmetros indicadores da qualidade da água do rio São Francisco (RSF) e seu principal afluente, rio Jacaré, ambos localizados na região do baixo São Francisco, utilizando análise de componentes principais e a análise de agrupamentos hierárquicos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

Os sete pontos de amostragem foram selecionados de forma programada, considerando a acessibilidade e os diferentes uso e ocupação do solo, conforme ilustrado na Figura 1 e distribuídos da seguinte maneira, quatro pontos ao longo do baixo curso do rio São Francisco, no Estado de Sergipe, sendo P1 (próximo à barragem de Xingó, especificamente na prainha localizada na cidade de Canindé do São Francisco); P2 (no povoado Currealinho localizado na cidade Poço Redondo); P3 (próximo a adutora da Companhia de saneamento de Sergipe – DESO) e P4 (foz do RSF próximo ao povoado Saramem). Os demais sítios de amostragem estão localizados no município de Poço Redondo - SE ao longo do rio Jacaré, afluente do rio São Francisco, sendo o P5 (na barragem do Assentamento Jacaré – Curituba), P6 (na calha do centro de difusão próximo ao Assentamento Jacaré – Curituba) e o P7 (localizado em sua foz-desaguando no RSF).

### 2.2. Amostragem e Análises Químicas

Foram realizadas duas campanhas de amostragem, a primeira em julho/ 2018 (período chuvoso) e a segunda em novembro/ 2018 (período seco), afim de avaliar a influência desses dois períodos na qualidade das águas dos rios estudados. Em cada ponto foram coletadas amostras de água na camada superficial em frascos plásticos, que foram previamente limpos. Todos os procedimentos de coleta, conservação e análise obedeceram às metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Para a avaliação da qualidade da água das amostras coletadas os parâmetros físico-químicos e biológicos foram medidos no laboratório do Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), os parâmetros e métodos de análise utilizados estão descritos na Tabela 1.

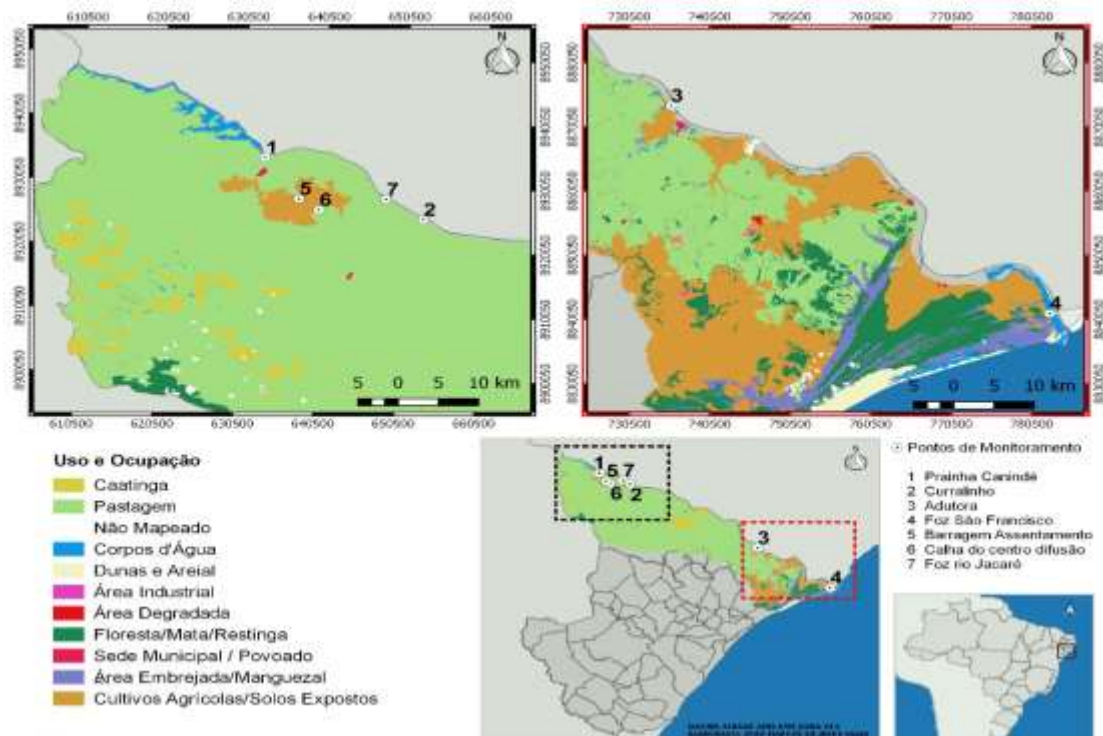


Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem para fins de qualidade da água no baixo São Francisco

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e biológicos e respectivos métodos de análise utilizados para a avaliação da qualidade da água.

Ensaio	Sigla	Unidade	LQ*	Método
pH		--	1 - 12	*SMEWW, 2012, 4500 H+ B
Condutividade Elétrica	CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	0,01	SMEWW, 2012, 2510 B
Oxigênio Dissolvido	OD	$\text{mg O}_2\text{ L}^{-1}$	0,04	SMEWW, 2012, 4500-O C
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	$\text{mg L}^{-1}$	0,006	SMEWW, 2012, 2510 A
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	$\text{mg O}_2\text{ L}^{-1}$	0,5	SMEWW, 2012, 5210-D
Sólidos em Suspensão Totais	SST	$\text{mg L}^{-1}$	--	SMEWW, 2012, 2540 D
Nitrogênio - Amoniacal	NH <sub>3</sub>	$\text{mg NH}_3\text{ L}^{-1}$	0,012	SMEWW, 2012, 4500-NH3 F
Nitrogênio – Nitrito	NO <sub>2</sub>	$\text{mg N-NO}_2\text{ L}^{-1}$	0,0009	SMEWW, 2012, 4500-NO2 B
Nitrogênio – Nitrato	NO <sub>3</sub>	$\text{mg N-NO}_3\text{ L}^{-1}$	0,026	SMEWW, 2012, 4500-NO3 C
Cor Aparente	Cor	uH	0,02	SMEWW, 2012, 2120 C
Dureza Total	DT	$\text{mg CaCO}_3\text{ L}^{-1}$	2,00	SMEWW, 2012, 2340 C
Temperatura da água	Temp	°C	0,10	(ensaio de campo)
Salinidade	SAL	g/Kg	0,01	SMEWW, 2012, 2520 B
Clorofila a	Cl-a	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,01	SMEWW, 2012, 10200 H
Sódio	Na <sup>+</sup>	$\text{mg Na L}^{-1}$	0,0043	*ICP OES
Fósforo Total (RBLE)	PT	$\text{mg P L}^{-1}$	0,0067	SMEWW, 2012, 4500-P B,E
Cloretos (RBLE)	Cl	$\text{mg Cl L}^{-1}$	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
Alcalinidade Total (RBLE)	Alc	$\text{mg CaCO}_3\text{ L}^{-1}$	5,22	SMEWW, 2012, 2320 B
Coliformes Termotolerantes	Coli	NMP/100mL	--	SMEWW9221B

\*SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

ICP OES: Espectrofotometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

### 2.3. Processamento dos Dados

O software Statistica 12.0 foi usado para aplicação da análise multivariada aos dados obtidos, considerando os pontos de amostragem como um objeto e os parâmetros determinados (ver Tabela 1) como variáveis. Em seguida, os dados foram pré-processados usando autoescalamento (com média zero e desvio padrão igual a 1). Para a construção do gráfico resultante a partir da HCA que ilustra os agrupamentos formados, chamado de dendograma foi usada a medida Euclidiana para o cálculo das distâncias interpontos e aplicado o método Ward's para ligação (a geração dos grupos) (Hortellani *et al.*, 2008).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Características Físico-Químicas e Biológicas

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados para avaliar a qualidade da água dos rios São Francisco e Jacaré nos dois períodos avaliados estão apresentados na Figura 2. Considerando os usos múltiplos desses rios, que incluem, abastecimento humano e recreação os resultados foram comparados com os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para rios de Classe 2.

O pH da água medido nos sete locais de estudo variou entre 7,5 e 9,4 no período seco (PS) e entre 6,8 e 8,9 para o período chuvoso (PC), com o maior valor 9,4 registrado no P2. De acordo com a resolução utilizada quase todas as amostras (99%) foram classificadas na faixa normal de pH (6,0-9,0). No geral, o pH das águas dos rios estudados variou de neutro a alcalino.

Os resultados de condutividade elétrica (CE) apresentaram as maiores variações entre os locais de amostragem, apresentando valores baixos (aproximadamente  $76 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) para P1, P2, P3 e P5 e valores elevados de 4399, 2138 e  $2908 \mu\text{S cm}^{-1}$  para P4, P6 e P7, respectivamente, observados no período seco, sendo o mesmo comportamento encontrado para a estação chuvosa. Resultados altos de CE ( $>100 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) permitem inferir que esses ambientes apresentam muitos íons dissolvidos na água e além disso, é indicativo da presença de sais oriundos da água do mar (Goveia; Rocha, 2011), o que foi comprovado com os resultados encontrados de salinidade (SAL) e dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  que apresentaram elevadas concentrações em P4, P6 e P7. Os resultados de SAL para P4, P6 e P7 foram 2,45; 1,18 e  $4,1 \text{ g Kg}^{-1}$  respectivamente, já os valores medidos em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Na}^+$  foram: 984(P4S)  $>$  451(P7S)  $>$  316(P6S) e os resultados medidos em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Cl}^-$  foram: 1912(P4S)  $>$  773(P7S)  $>$  516(P6S). As maiores concentrações de SAL,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no P4 e indicam a sua salinização e refletem o avanço da cunha salina sobre a água do RSF, uma vez que, este ponto é situado próximo a sua foz. Já os pontos 6 e 7 localizados no rio Jacaré, apresentaram

esses valores elevados possivelmente devido ao mau uso do solo próximo aos pontos de coleta, como atividades e cultivos agrícolas e a urbanização (ver Figura 1) (Menezes et al., 2016).

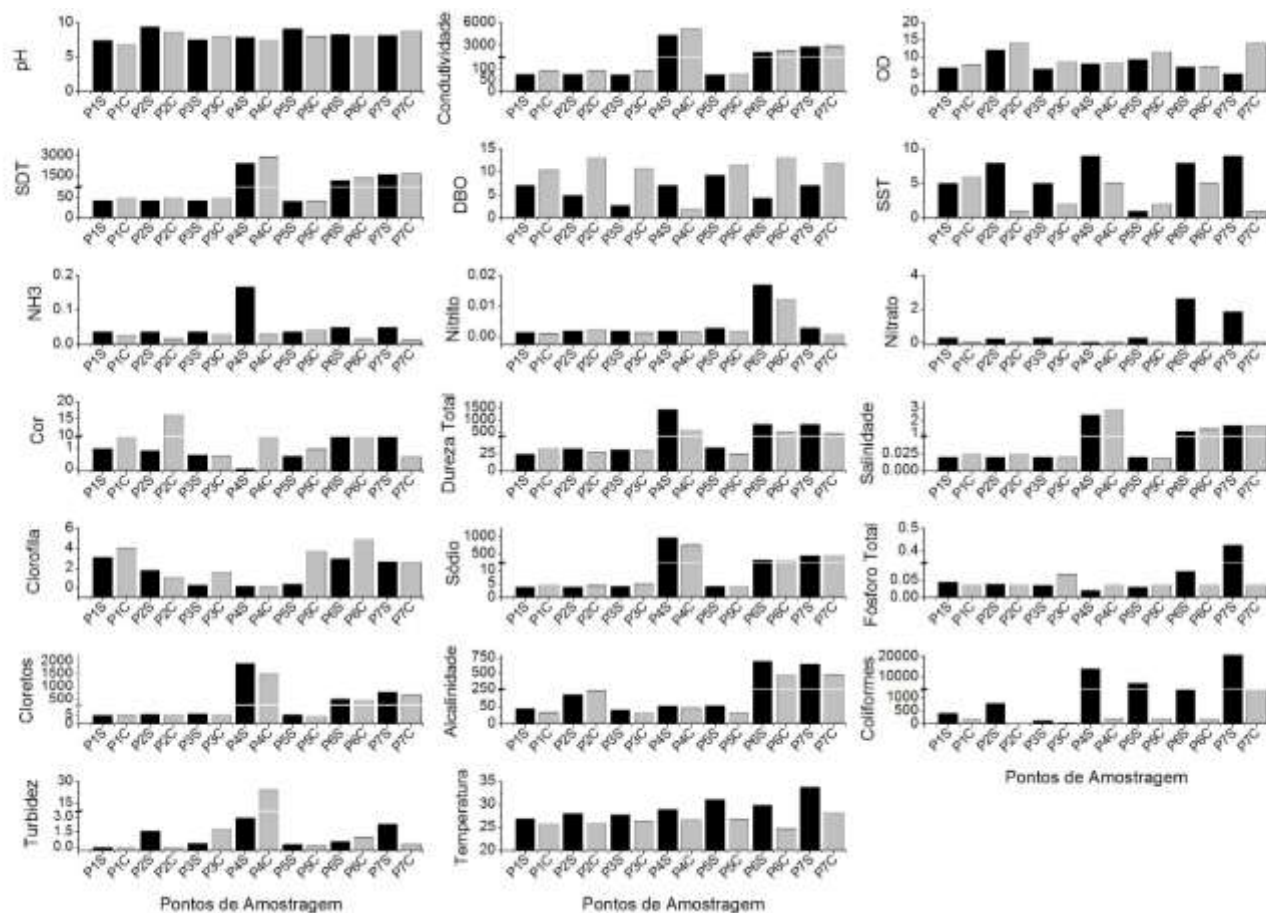


Figura 2 – Resultados dos parâmetros físico-químicos das amostras coletadas nos rios São Francisco e Jacaré em dois períodos de amostragem (seco e chuvoso) no ano de 2018.

Em relação à temperatura da água, os maiores valores e variações entre os pontos de amostragem foram observados no período seco e indicou um acréscimo em direção à foz do rio Jacaré (P7), (ver Figura 2).

Foram observadas altas concentrações de OD ( $7$  a  $14 \text{ mg L}^{-1}$ ), principalmente no período chuvoso, com exceção do P7S que apresentou valor de  $5,2 \text{ mg L}^{-1}$  próximo ao limiar estabelecido pelo CONAMA ( $>5 \text{ mg L}^{-1}$ ). O comportamento observado nos demais pontos pode estar relacionado as áreas de pastagem existentes nesses locais (Ver Figura 1) (Menezes *et al.*, 2016). Do mesmo modo, foram observados valores acima do máximo estabelecido para DBO (até  $5 \text{ mg L}^{-1}$ ), principalmente no período chuvoso, no qual a variação foi de  $2,1$  (P4) a  $13,1$  (P2 e P6)  $\text{mg L}^{-1}$ . Estes resultados de OD e DBO sugerem um descarte considerável de efluentes domésticos não tratados, principalmente devido ao escoamento superficial (Menezes *et al.*, 2016; Mishra *et al.*, 2017).

A presença dos nutrientes pode estar associada tanto às fontes naturais (dissolução dos solos) quanto antropogênicas (do uso de fertilizantes e despejos domésticos) e podem ser transportados para os rios em razão da drenagem das águas em áreas agrícolas e urbanas (Kumar *et al.*, 2018). Em relação a  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$  todos os valores encontrados estão muito abaixo do valor fixado pelo CONAMA,  $2$ ,  $1$  e  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Já em relação ao PT, apenas o P6S e P7S apresentaram valores acima do padrão CONAMA ( $0,050 \text{ mg L}^{-1}$ ) sendo o valor encontrado no P7S oito vezes maior ( $0,43 \text{ mg L}^{-1}$ ).

No tocante à carga de sólidos na água (STD, SST e turbidez), acharam-se os maiores valores nos pontos P4, P6 e P7 em ambos períodos de amostragem realizados, os quais são situados na foz e com significativa ocupação agrícola e urbana, respectivamente.

A presença de coliformes termotolerantes (Coli) em todos os pontos de amostragem, no período seco, Figura 2, indica contaminação e pode estar relacionada a dois principais fatores: 1) quando o local monitorado tem influência urbana, como exemplo, P1, P2, P7 e P6, provavelmente o lançamento de esgotos domésticos contribuiu para o aumento do Coli; 2) dessedentação animal e o livre acesso de animais bovinos, por exemplo em P5 e P7 e P6.

### 3.2. Análise Multivariada dos Dados

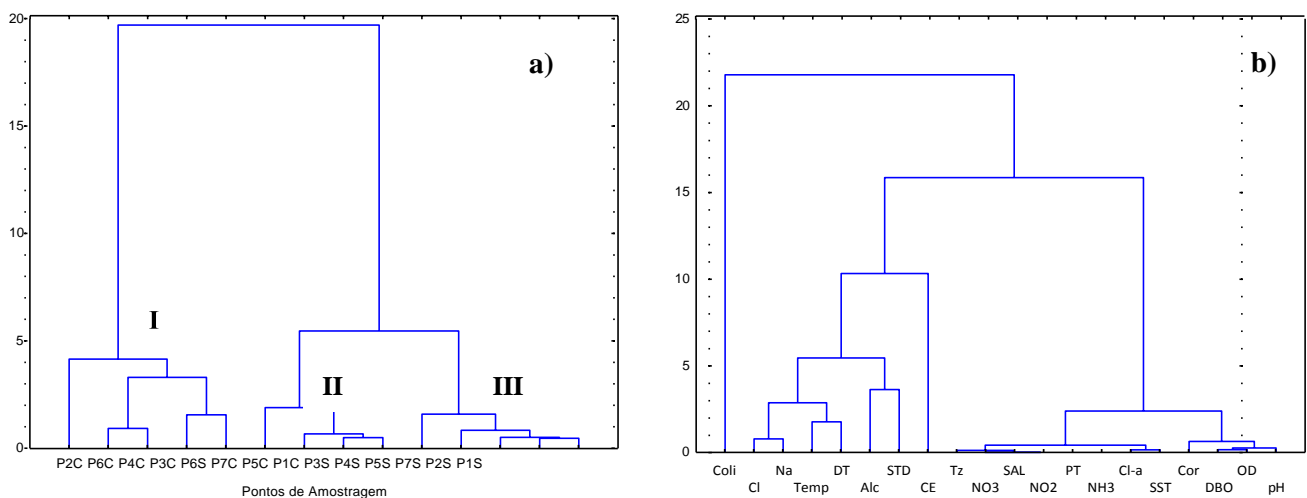
Os resultados de HCA e PCA aplicados ao conjunto de dados dos períodos seco e chuvoso obtido neste trabalho são mostrados na Figura 3. A HCA foi utilizada para identificar a similaridade na qualidade da água dos 7 pontos de amostragem, durante os períodos seco e chuvoso. Já a PCA forneceu uma melhor compreensão dos parâmetros mais representativos da qualidade da água em cada ponto de amostragem. O dendograma (Figura 3a e 3b) resultante dessa análise revelou uma

significativa influência dos períodos seco e chuvoso na qualidade da água corroborando com os resultados obtidos por meio da PCA (Figura 3c e 3d), onde as duas primeiras componentes PC1 e PC2 foram consideradas mais representativas, pois, quando combinadas, representaram 85,2% da variância total.

De maneira geral, tanto os dendogramas quanto a PCA evidenciaram a formação de três grupos de amostras e os resultados das duas análises estáticas são similares. O grupo I é constituído pelas amostras P6S, P6C, P4C e P3C e o que diferenciou essas amostras das demais foi um aumento nos valores das variáveis  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , STD e CE (mais importantes na separação do Grupo I), indicando uma maior proporção de sais dissolvidos nessas amostras, sendo que no P4C a maior salinidade é devido ao avanço da cunha salina no rio São Francisco e no P6 possivelmente aos cultivos agrícolas.

O Grupo II (P5C, P1C, P3S e P3C) são separados do Grupo I por apresentar uma melhor qualidade de água no período chuvoso, o qual contribuiu para diluição das concentrações das seguintes variáveis: salinidade, nutrientes ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  e PT),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , STD e CE, indicando que essas amostras apresentam características de água doce. Vale ressaltar que essas amostras são utilizadas dentre outros fins, para o abastecimento humano, P1 (próximo à barragem de Xingó), P3 (próximo a adutora da DESO), P5 (barragem do Assentamento Jacaré – Curitiba). O ponto 7C aparece nesse grupo na HCA provavelmente devido a diminuição da concentração do  $\text{NO}_3$  no período chuvoso, no entanto, apresenta valores elevados para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , STD e CE.

E por fim, o grupo III representado pelas amostras coletadas no período seco P1S, P2S, P4S, P5S e P7S foram separados dos grupo I e II, provavelmente por serem as amostras que sofrem uma maior influência urbana, uma vez que as principais variáveis que influenciaram nessa separação foram DBO, OD, Cor e pH, indicadores da presença de esgotos domésticos, porém como já mencionado na seção 3.1, os maiores valores desses parâmetros foram observados no período chuvoso.





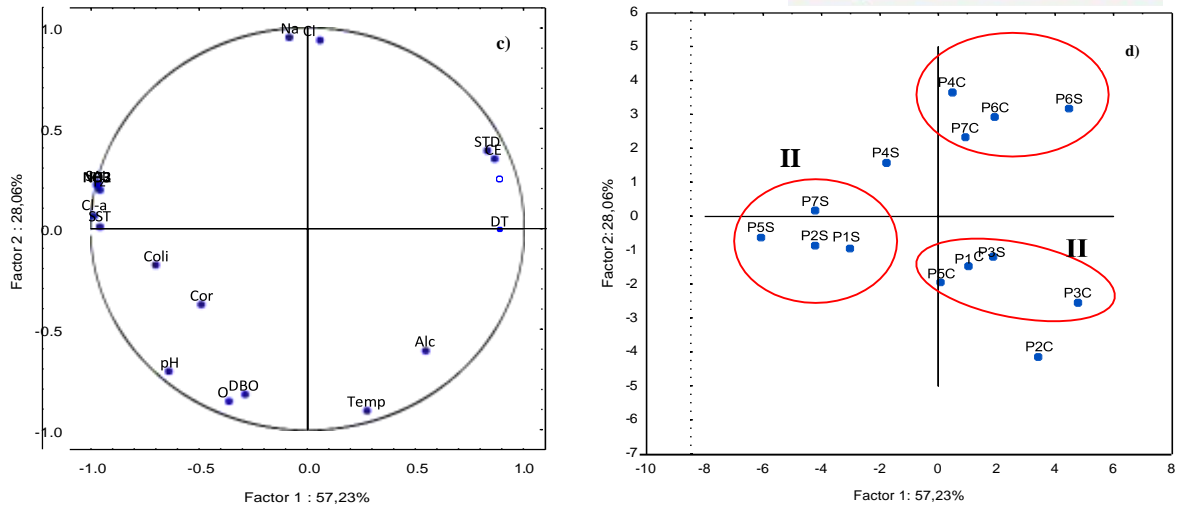


Figura 3 – a) e b) Análise HCA; c) e d) Análise PCA construídas com as variáveis estudadas para a avaliação da qualidade da água dos rios São Francisco e Jacaré.

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação da análise de componentes principais e análise de agrupamentos hierárquicos no conjunto de dados permitiram identificar as principais variações apresentadas pelos parâmetros analisados em cada ponto de amostragem, separando as amostras em 3 grupos. Os principais impactos na qualidade da água dos rios São Francisco e Jacaré foram observados no período seco. De maneira geral o grupo I evidenciou as amostras com maior salinidade, indicando uma maior proporção de sais dissolvidos nessas amostras, sendo que no P4 (foz do rio São Francisco) a maior salinidade é devido ao avanço da cunha salina no rio São Francisco e no P6 (na calha do centro de difusão próximo ao Assentamento Jacaré – Curitiba) possivelmente ao escoamento de áreas agrícolas.

Para o grupo II constituído por P1 (próximo à barragem de Xingó), P3 (próximo a adutora da DESO) e P5 (barragem do Assentamento Jacaré – Curitiba), amostras localizadas em regiões que dentre outros fins, são usadas para o abastecimento humano, destacou que nestes pontos foram observados uma melhor qualidade de água no período chuvoso. E por fim, o grupo III, mostrou que P1 (prainha localizada na cidade de Canindé do São Francisco); P2 (povoado Curralinho -Poço Redondo) e o P5 (na barragem do Assentamento Jacaré – Curitiba), e o P7 (foz do rio Jacaré) são os pontos de amostragem que sofrem maior influência dos efluentes domésticos despejos sanitários sem tratamento adequado, principalmente no período seco.

Sendo assim, observa-se a influência da dos períodos seco e chuvoso e do uso e ocupação do solo nos parâmetros da qualidade da água nos pontos avaliados. Estes resultados permitem inferir que o monitoramento regular na bacia hidrográfica do rio São Francisco é crucial, pois este rio é de fundamental importância econômica e social para vários Estados brasileiros, principalmente para

Sergipe, uma vez que é fonte de água potável para a população, indústria e abastece os projetos de irrigação para a produção de alimentos.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J.P.H.; FONSECA, L.C.; CHIELLE, R.S.A.; MACEDO, L.C.B. (2018). "Monitoring water quality of the Sergipe river basin: na evaluation using multivariate data analysis". Brazilian Journal of Water Resources 23(27), pp. 1–12.
- ARAUJO, S.S.; NETTO, A.; OLIVEIRA, A. (2018). "(In) sostenibilidad en la ribera baja del río São Francisco en los Estados de Sergipe y Alagoas (Brasil)". AGUA Y TERRITORIO 3, pp. 83-95.
- BARAKAT, A., EI BAGHDADI, M., RAIS, J.; AGHEZZAF, B., & SLASSI, M. (2016). "Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques". International Soil and Water Conservation Research, 4(4), pp.284–292.
- BRITTO, BRANDÃO, F.; NASCIMENTO, V.A.; NETTO, A.; OLIVEIRA, A.; GARCIA, C.A.B.; MORAES, OLIVEIRA, G.F.; SILVA, MARINÓ GONZAGA DA (2018). "Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe". REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS 23, pp. 1-11.
- CRUZ, M.A.S.; GONÇALVES, A.A.; ARAGÃO, R.; AMORIM, J.R.A.; MOTA, P.V.M.; SRINIVASAN, V.S.; GARCIA, C.A.B.; FIGUEIREDO, E.E. (2019). "Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil". Environmental Earth Sciences 78:68, pp. 1-11.
- EWALD, S. H., ABED, S. A., & KADHUM, S. A. (2018). "Predicting the Tigris River water quality within Baghdad, Iraq by using water quality index and regression analysis". Environmental Technology and Innovation 11, pp. 390–398.
- GOVEIA, D.; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, L. C.; MORAIS, L. C.; CAMPOS, V.; FRACETO, L. F.; ROSA, A. H. (2011). "Caracterização estrutural das substâncias húmica aquáticas extraídas dos rios Itapanhaú e Ribeira de Iguape". Química Nova, v. 34, pp. 753-758.
- HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M. (2008). "Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos". Química Nova 31, pp. 10-19.
- KUMAR, P.; THAKUR, P.; BANSOD, B.K.S.; DEBNATH, S. (2017). "Groundwater: a regional resource and a regional governance". Environment Development and Sustainability 20(3), PP. 1133–1151.
- MASSOUD, M.A. (2012). "Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index". Springer Science 184, pp. 4151-4160.
- MENEZES, J.P.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIAS, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L.F.C. (2016). "Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana". Engenharia Sanitária e Ambiental 21(3), pp.519-534.
- MISHRA, B.K.; REGMI, R.K.; MASAGO Y.; FUKUSHI, K.; KUMAR P.; SARASWAT, C. (2017) "Assessment of bagmati river pollution in Kathmandu valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development" Sustainability of Water Quality and Ecology 9–10, pp.67–77.
- MOMBLANCH, A.; ARQUIOLA, J.P.; MUNNÉ, A.; MANZANO, A.; ARNAU, J.; ANDREU, J. (2015). "Managing water quality under drought conditions in the Llobregat River Basin". Science of the Total Environment 503–504, pp. 300–318.
- NNOROM, I.C.; EWUZIE, U.; EZE, S. (2019). "Multivariate statistical approach and water quality assessment of natural springs and other drinking water sources in Southeastern Nigeria". Heliyon. 5(1), e01123.
- TRIPATHI, M.; SINGAL, S.K. (2019) "Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India" Ecological Indicators 96(1) pp. 430-436.

**AGRADECIMENTOS** – CAPES, Projeto Opará: águas do rio São Francisco, patrocinado pela Petrobras e Governo Federal.