

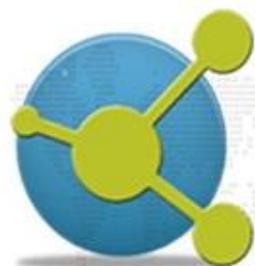


ISSN:2527-0040

DOI:
10.26704/rpgeo

REVISTA

PENSAR
Geografia



Programa de
Pós-graduação
em geografia

Homepage: <http://natal.uern.br/periodicos/index.php/PGEO>

Estatística multivariada aplicada a qualidade da água subterrânea em sub-bacias urbanas em Fortaleza – CE

Filipe da Silva Peixoto¹; Anderson Mikael de Souza Silva²; Francisco Eronildo Lima de Melo³; Tayline Cordeiro Pereira⁴.

Doutor, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia, Campus central, fpeixoto10ufc@gmail.com
Graduado, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mestrado em Geografia, Campus central, andersonupanema@gmail.com
Graduado, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mestrado em Geografia, franciscoeronildopr@gmail.com
Graduado, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mestrado em Geografia, taylinecordeiro@hotmail.com

Artigo recebido em 12/03/2020 e aceito em 01/04/2020

RESUMO

As águas subterrâneas são fontes utilizadas como meios auxiliares no abastecimento doméstico, vale ressaltar a importância quantitativa e qualitativa desses corpos hídricos em várias regiões do mundo. Esse artigo tem como objetivo investigar se os parâmetros hidroquímicos da água subterrânea de sub-bacias hidrográficas urbanas na cidade de Fortaleza se diferenciam em função de variáveis ambientais e de uso e cobertura do solo. Para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas foram analisadas individualmente as 13 Sub-bacias que compõem o território municipal. Foram utilizadas 291 análises de água subterrânea do banco de dados do Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal do Ceará – LABHI/UFC, proveniente de poços tubulares a manuais, a coleta e análise foram realizadas entre 2001 e 2011, e constam os íons maiores: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, e Cl⁻, HCO⁻, SO₄²⁻, além de pH, STD, dureza, Fe⁺² e os compostos nitrogenados: NH₄⁺, NO₂⁻, e NO₃⁻ estes foram tratados através do software Qualigraf 2014 e comparados através do diagrama de Stiff. Para tanto, foi aplicada estatística multivariada em Análise de Componentes Principais – ACP no software Andad 2.0, que possibilitou a descrição e correlação entre os parâmetros físico-químicos investigados.

Palavras-chave: Água subterrânea. Qualidade da água. Aspectos hidrogeológicos.

ABSTRACT

Groundwater is a source used as auxiliary means for domestic supply, it is worth mentioning the quantitative and qualitative importance of these water bodies in various regions of the world. This article aims to investigate whether the hydrochemical parameters of groundwater in urban hydrographic sub-basins in the city of Fortaleza differ due to environmental variables and land use and cover. For the hydrochemical characterization of groundwater, the 13 Sub-basins that make up the municipal territory were individually analyzed. 291 groundwater analyzes were used from the database of the Hydrogeology Laboratory of the Federal University of Ceará - LABHI / UFC, from tubular to manual wells, collection and analysis were carried out between 2001 and 2011, and contain the largest ions: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, and Cl⁻, HCO⁻, SO₄²⁻, in addition to pH, STD, hardness, Fe⁺² and nitrogen compounds: NH₄⁺, NO₂⁻, and NO₃⁻ these were treated using Qualigraf 2014 software and compared using the Stiff diagram. For that, multivariate statistics was applied in Principal Component Analysis - ACP in the Andad 2.0 software, which enabled the description and correlation between the investigated physical-chemical parameters

Key words: Groundwater. Water quality. Hydrogeological aspects.

1. Introdução

Os mananciais urbanos são fontes hídricas que participam como meios auxiliares ao abastecimento doméstico. Uma visão integrada das águas urbanas pode auxiliar a investigação por meio um recorte territorial que abranja a interface entre água superficial e subterrânea. A Bacia Hidrográfica possui capacidade integrativa de múltiplos fatores que se interligam de maneira complexa nos ambientes urbanos (PICKET et al., 2011; BRABEC et al., 2002). Desse modo, a bacia hidrográfica oferece suporte espacial à investigação de associações entre as características do uso e ocupação do solo e a qualidade hidroambiental (PEIXOTO e SILVEIRA, 2017).

O território municipal de Fortaleza é cortado por 4 bacias hidrográficas, são elas: Bacia do Rio Cocó, Bacia do Rio Maranguapinho, Bacia da vertente marítima, e Bacia do Rio Pacotí (SANTANA, 2009). Esta última abrange menos de 3% da área do município em uma zona praticamente desprovida de habitação. As águas subterrâneas presentes nessa bacia apresentam condição estratégica para o abastecimento

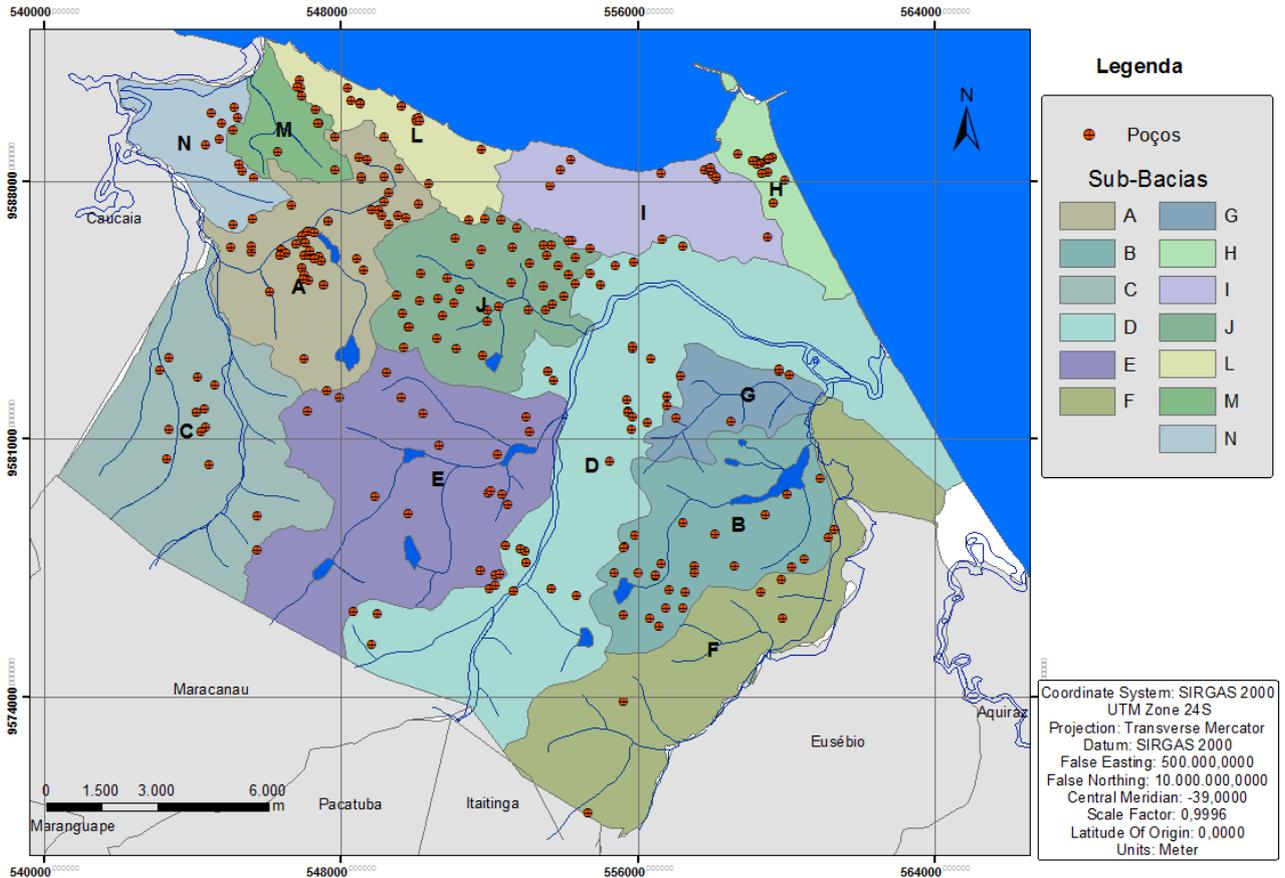
hídrico da cidade (GOMES e CAVALCANTE, 2015; PEIXOTO et al. 2017). Contudo, o risco à contaminação que uso e cobertura do solo promove pode comprometer a utilização e otimização desse recurso. É necessário, portanto, investigar o comportamento microquímico da água subterrânea e as possíveis alterações da qualidade da água por causa antropogênica.

Esse trabalho possui o objetivo de investigar se os parâmetros hidroquímicos da água subterrânea de sub-bacias hidrográficas urbanas na cidade de Fortaleza se diferenciam em função de variáveis ambientais e de uso e cobertura do solo.

2. Material e métodos

A cidade de Fortaleza-CE é atualmente a 5º cidade no país em população, com mais de 2,5 milhões de habitantes, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). A área municipal é de 314,9 km², conferindo uma densidade demográfica de 7.786,44 hab/km², as sub-bacias urbanas consideradas são possuem expressão da quase totalidade do território municipal (Figura - 1).

Figura 1. Sub-bacias hidrográficas na cidade de Fortaleza-CE. Fonte: Autores (2020).



Os sistemas hidrogeológicos da área são divididos em dois, conforme suas vocações aquíferas: O domínio sedimentar é representado como Barreiras, Dunas e Aluviões; e o Sistema Cristalino, que consiste em rochas de baixa porosidade primária, formando embasamento sotoposto ao Barreiras.

Para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas foram analisadas individualmente as 13 Sub-bacias que compõem o território municipal. Foram utilizadas 291 análises de água subterrânea do banco de dados do Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal do Ceará – LABHI/UFC, proveniente de poços

tubulares a manuais a coleta e análise foi realizada entre 2001 e 2011, e constam os íons maiores: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , e Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , além de pH, STD, Dureza, Fe^{+2} e os compostos nitrogenados: NH_4^- , NO_2^- , e NO_3^- estes foram tratados através do software Qualigraf 2014 e comparados através do diagrama de Stiff.

Os dados de concentrações de NH_4^- , NO_2^- , NO_3^- foram comparados entre as Sub-bacia. As concentrações de NO_3^- foram consideradas as mais importantes em termos de comparação entre as diferentes condições de ocupação em cada bacia. Foi aplicada estatística multivariada em Análise de Componentes Principais – ACP no software Andad 2.0, que

possibilitou a descrição e correlação entre os parâmetros físico-químicos investigados.

3. Resultados e discussão

A composição hidroquímica das águas subterrâneas de Fortaleza é Cloretadas sódicas, como descreve Gomes e Cavalcante (2016). Contudo, quando se diferencia as bacias, percebe-se diferenças consideráveis na composição iônica dessas águas.

Conforme as figuras (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14), a diferença hidroquímica nas águas subterrâneas nas sub-bacias ocorrem por conta de unidades ambientais diferentes.

Figura 2. Bacia (A). Fonte: Autores (2020).

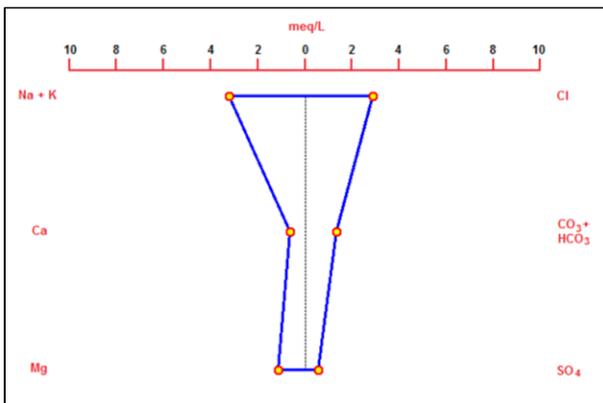


Figura 3. Bacia (B). Fonte: Autores (2020).

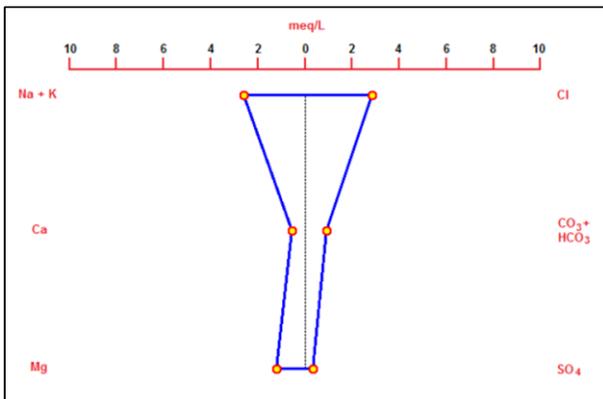


Figura 4. Bacia (C). Fonte: Autores (2020).

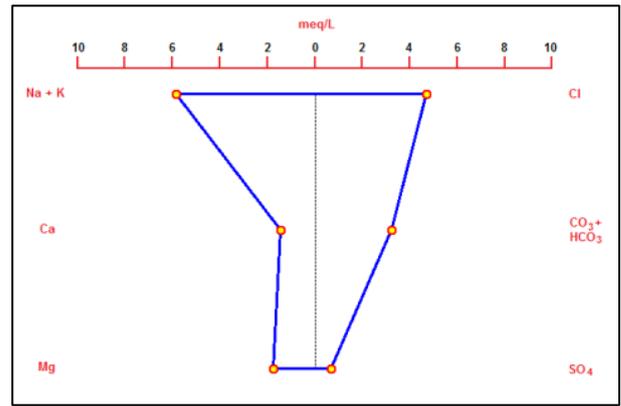


Figura 5. Bacia (D). Fonte: Autores (2020).

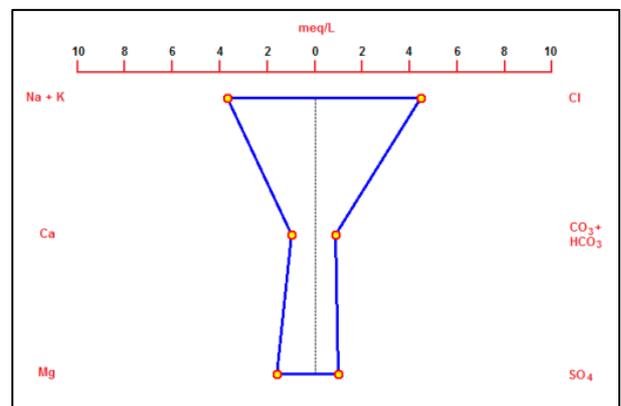


Figura 6. Bacia (E). Fonte: Autores (2020).

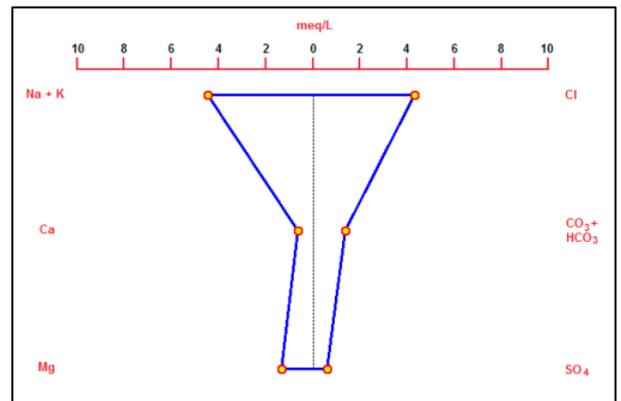


Figura 7. Bacia (F). Fonte: Autores (2020).

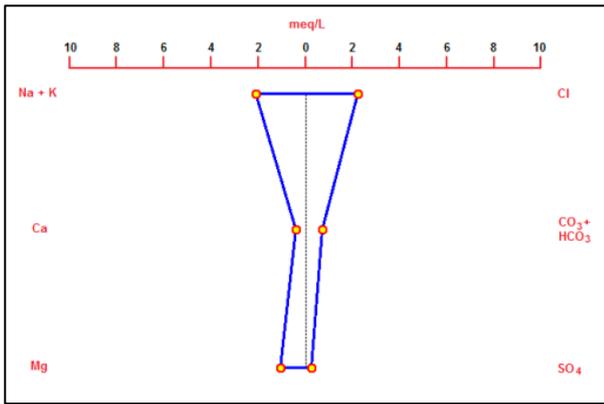


Figura 10. Bacia (I). Fonte: Autores (2020).

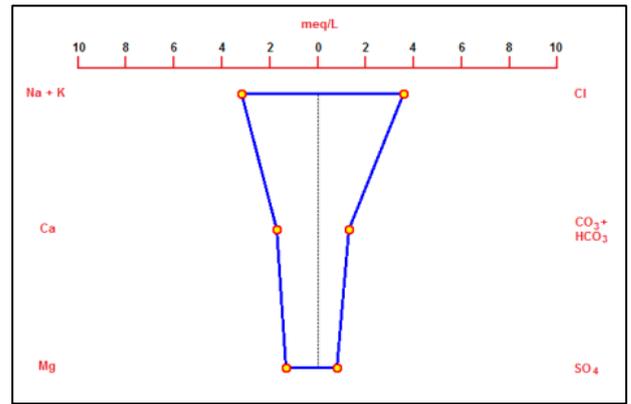


Figura 8. Bacia (G). Fonte: Autores (2020).

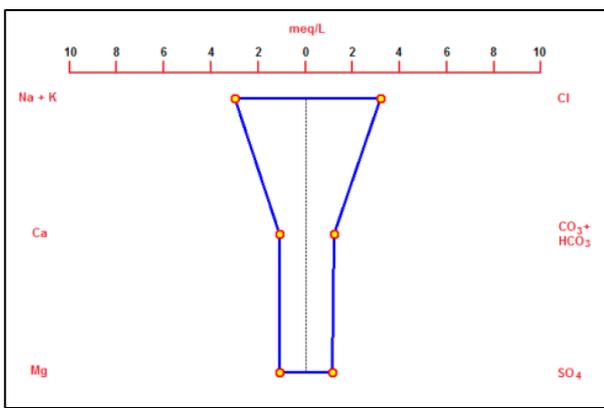


Figura 11. Bacia (J). Fonte: Autores (2020).

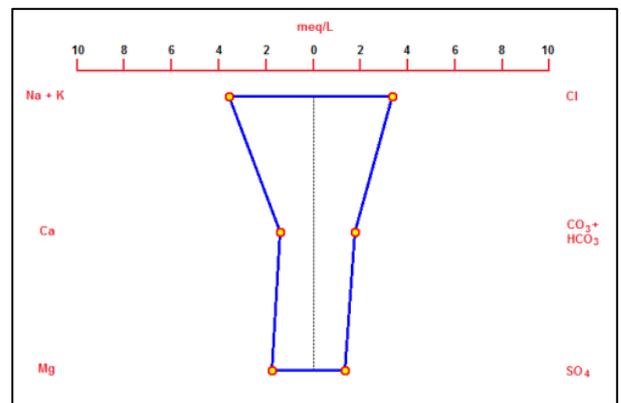


Figura 9. Bacia (H). Fonte: Autores (2020).

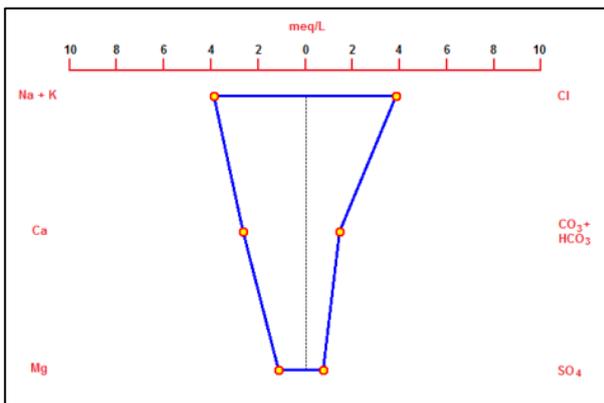


Figura 12. Bacia (L). Fonte: Autores (2020).

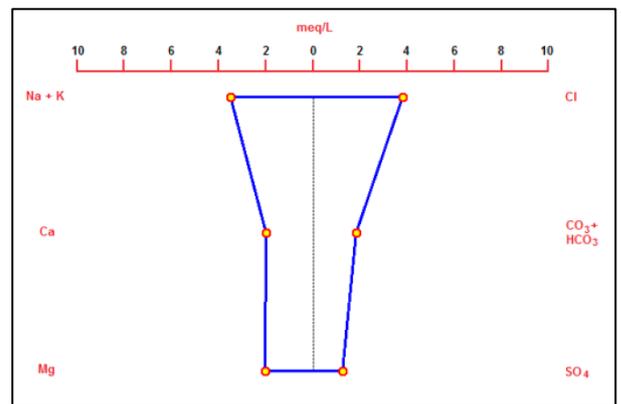


Figura 13. Bacia (M). Fonte: Autores (2020).

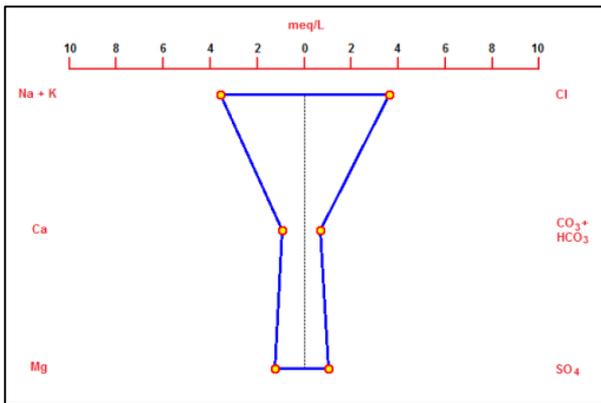
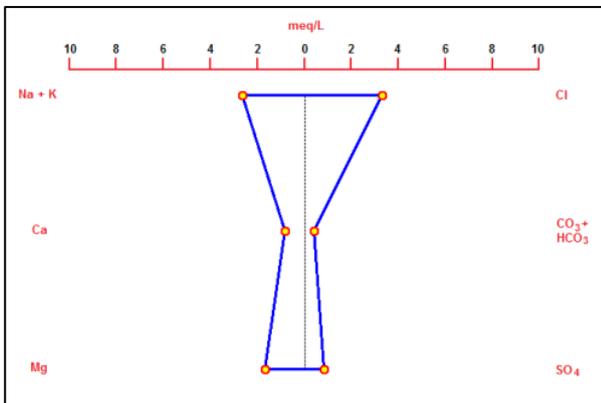


Figura 14. Bacia (N). Fonte: Autor (2020).

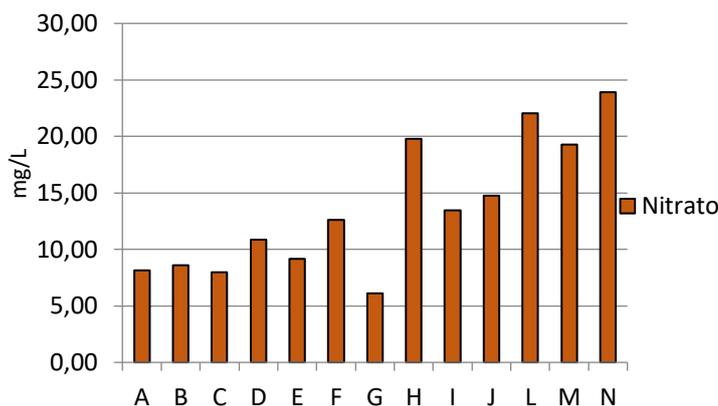


Os gráficos de Stiff mostraram que há uma similaridade hidroquímica entre as sub-bacias A, B, F, G, J, M e N. Estas compõem bacias que possuem Sistema Hidrogeológico do Barreiras ou Dunas Fixas, com uma certa distância da planície costeira. Nos diagramas das bacias J, L, I, H, é perceptível uma maior concentração de Ca^{+2} e HCO_2^- , essas sub-bacias possuem em comum a maior proximidade com o mar, todas essas pertencem a bacia da Vertente Marítima, com exceção da Bacia A e C, que se diferem das demais, pois possuem sua área majoritária no sistema hidrogeológico cristalino, que possuem oferta de águas mais alcalinas por

conta da presença de minerais primários, a concentração dos sais. Foi, portanto, nessa bacia, que houve maior concentração de íons Na^+ , e Cl^- . Condição semelhante pode ser encontrada na Bacia E que está associada parcialmente ao sistema cristalino, porém com cobertura aflorante sedimentar do sistema barreiras, no entanto, a baixa profundidade do Barreiras nesse setor permite que os poços atinjam frequentemente o sistema fissural cristalino, promovendo um regime misto de bombeamento. A Bacia D por estar associada ao sistema aluvião sob a planície flúvio-marinha do rio Cocó, possui influência de água marinha injetada no estuário durante a maré cheia.

Quanto as concentrações de compostos nitrogenados, foi considerado apenas o NO_3^- para a descrição dos dados, pois as concentrações de NH_4^+ e NO_2^- eram demasiadas baixas para comparação. O íon NO_3^- é bastante persistente em água, este pode ser proveniente de várias fontes, segundo o ciclo do nitrogênio (CHAPPELE, 1993). Contudo valores acima de 5 mg/L são fonte indicativo que este é antropogênico proveniente. Na figura 15, foram comparados os valores médios entre as bacias.

Figura 15. Concentrações médias de nitrato por Sub-bacias. Fonte: Autores (2020).



As concentrações médias de nitrato acima de 10 mg/L, valor de potabilidade estabelecido pela portaria 2914/2013 do Ministério da Saúde – MS, foram observadas nas sub-bacias D, F, H, I, J, L, M, e N. valores acima de 20 mg/L foram observados nas Sub-bacias L e N. A sub-bacia L está associada a um ambiente de maior vulnerabilidade aquífera, portanto, naturalmente possui maiores concentração de NO_3^- , por conta da quantidade de esgoto doméstico que entra no sistema aquífero, em áreas mais ocupadas.

Nas figuras 16 e 17, podemos observar que no eixo 1, há maiores informações de pH, HCO_3^- , Cl^- , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Dureza e STD, enquanto no eixo 2 o Na^+ e NO_3^- estão contemplados, no eixo 3 o Fe e NH_4^+ possuem as maiores informações.

Figura 16. ACP de eixos F1 e F2. Fonte: Autores (2020).

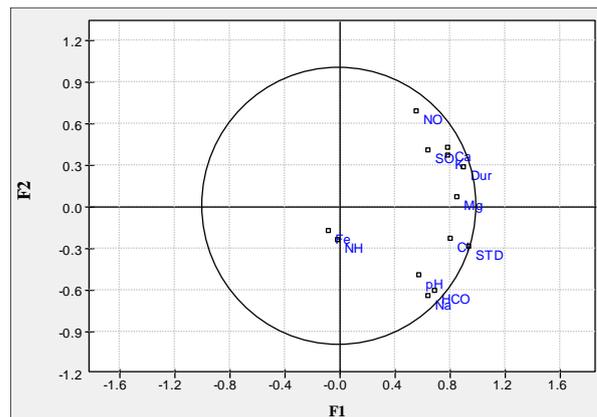
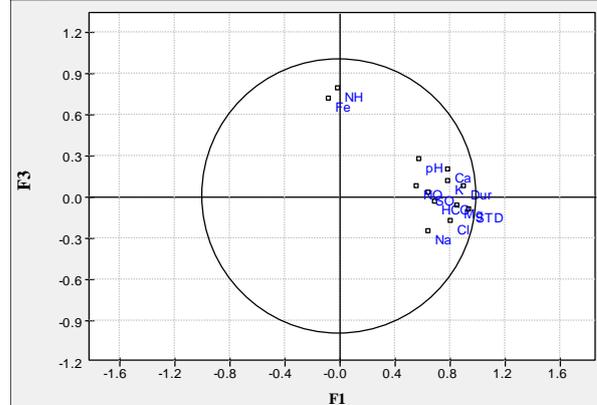


Figura 17. ACP de eixos F2 e F3. Fonte: Autores (2020).



As variáveis se mostraram com um comportamento associativo entre Ca^{+2} , SO_4^- , Dureza, K^+ e Mg^{+2} . A dureza se comporta como esperado, pois esta é dada racionalmente a partir do Ca e Mg. O K e o SO também se mostraram fortemente associados a esses íons.

O Cl^- e STD se estão intimamente relacionados projetando assim o Cl^- como a principal espécie de íon que contribui para o STD. O Cl^- é muito persistente em água e assim suas concentrações tendem a aumentar em baixos cursos de bacias hidrográficas, sobretudo, quando associados a ambientes costeiros (HEM, 1959)

Outra associação que foi encontrada foram o pH, HCO_3^- e Na^+ , estes se mostraram relacionados pela condição de maior acidez do pH que promove maior dissolução das rochas, é interessante colocar também a correlação inversa entre o pH e o NO_3^- (LIU, *et al.* 2013). O que pode indicar que as concentrações maiores de NO_3^- podem promover o declínio do pH por conta da oxidação deste, sendo assim indicador de contaminação (Hem, 1985). O Fe^{+2} e a NH_4^+ também se mostraram relacionados, isso pode ser um indicador de que o Fe^{+2} na área é de origem antrópica.

4. Conclusão

É notável a diferenciação hidroquímica nas águas subterrâneas das bacias na analisadas, principalmente em função de proximidade do mar e tipos de sistema aquífero. Com relação as concentrações de NO_3^- estas foram maiores nos Sistemas Dunas e Aluvião, considerando estes como ambiente aquíferos de alta vulnerabilidade, além da alta densidade demográfica, principalmente sobre as bacias N, M, e L.

Nota-se que a ACP realizada para a bacia A é semelhante a ACP realizada para todos os dados consistindo assim em representatividade dessa bacia. Observou-se afinidade entre p pH, HCO_2^- e Na^- . Além de STD Cl^- , Mg^{+2} , SO_4^- , e Cl^- e Na^+ o que é explicado pela alta concentração desses sais, pela influência costeira. E associação entre Fe^{+2} e NH_4^+ denotando que essas substâncias provavelmente são antropogênicas.

5. Referências

- GOMES, D. ZAMBAM, J. N. O Desafio da Sustentabilidade Urbana. Revista Brasileira de Direito, IMED, Vol. 7, n. 1, 2011. p. 39 – 60.
- LIMA, P. R. C. Análise da geometria dos domínios geológicos de sub-superfície a partir de perfis de poços tubulares no Município de Fortaleza – Ceará. Dissertação de mestrado, 2015. Curso de pós graduação em Geologia. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2015.
- SANTANA, E. W. Caderno regional das bacias Metropolitanas, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Fortaleza: INESP, 2009.
- BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M.; TEIXEIRA, J. E. M. Recursos de Água Subterrânea na RMF. Fatores condicionantes. In: Plano de aproveitamento dos recursos hídricos da R.M.F - Fase I. Fortaleza: SEPLAN-AUMEF, 1984.
- PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; DOWNEY, G. RAWSON, A.; WARRINER, K.; GERNIGON, G. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity, n. 24. 2011, p. 250 – 256. doi:10.1016/j.jfca.2010.09.012.

HEM, J. D.. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S.G.S. Water Supply Paper, 1473. 1. ed. 1959. 269 p.

CHAPELLE, F. Ground-water microbiology and geochemistry. John Wiley & Sons, 1993.

BROWN, C. E. Applied Multivariate Statistics in Geohydrology and Related Sciences. Berlin: Springer. 1998.

BRABEC, E.; SCHULTE, S.; RICHARDS, P. L. Impervious Surfaces and Water Quality: a review of current literature and its implication for watershed planning. v. 16, n. 4, Journal of Planning Literature, 2002, p. 499 – 514.

PICKETT, S. T. A.; CADENASSO, M. L.; GROVE, J. M.; BOONE, C. G.; GROFFMAN, P. M.; IRWIN, E.; KAUSHAL, S. S.; MARSHALL, V.; MCGRATH, B. P. NILON, C. H.; POUYAT, R. V.; SZAVECZ, K.; TROY, A.; WARREN, P. Urban Ecological Systems: scientific foundations and a decade of progress. 92, Journal of Environmental Management, 2011. p. 331 – 362.

PEIXOTO, F. S.; SILVEIRA, R. N. M. C. Bacia hidrográfica: tendências e perspectivas de aplicabilidade no meio urbano. Revista Brasileira de Geografia Física. v. 10, n. 3, 2017. p. 840 – 853. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170054>.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Análise geoquímica das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará-Brasil. Águas subterrâneas, V. 29, n. 1, 2015, p. 42 – 59. <https://doi.org/10.14295/ras.v29i1.27917>.