

IV-103 – HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RESERVATÓRIO BANABUIÚ

Ana Carolina de Oliveira Nobre Batista ⁽¹⁾

Química pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade (Instituto Prominas). Mestre em Recursos Naturais (UECE). Doutoranda em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Valquíria Melo Souza Correia ⁽²⁾

Administradora de empresas pela Associação de Ensino Superior de Fortaleza (AESF). Especialista em Gestão Empreendedora pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Logística e Pesquisa Operacional (UFC). Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental (UFC).

Fernando José Araújo da Silva ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UFC). Mestre em Engenharia Civil (UFPB). Doutor em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental (UFC).

Endereço⁽¹⁾: Av. Mister Hull, s/n – Pici, Bloco 713, Centro de Tecnologia, Fortaleza, CE - CEP: 60451-970 - Brasil - Tel: +55 (85) 3366-9624 - e-mail: carolnobre1404@gmail.com

RESUMO

O intercâmbio entre água e sedimentos confere diferentes concentrações dos íons envolvidos e, assim, as razões iônicas são utilizadas para se obter uma visão dos processos hidroquímicos controladores nas variações da qualidade da água. Esse estudo visa analisar os processos hidroquímicos dominantes na interface geológica e hídrica, no reservatório Banabuiú, estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Os dados analisados foram compreendidos entre 2005 e 2017, com coletas trimestrais e verificação dos parâmetros gerais de qualidade da água. Os resultados geoquímicos foram plotados no gráfico trilinear de Piper, Gibbs e o diagrama de Stiff. As águas superficiais do reservatório em estudo apresentaram predominância quanto às águas mistas bicarbonatadas, o que confere a ocorrência de salinização nesse reservatório como mecanismo reacional dominante. O segundo semestre apresentou maior relevância para os íons móveis: Na^+ , Cl^- e HCO_3^- , com elevada concentração (em meq.L^{-1}) dessas espécies iônicas em solução aquosa. Observou-se que o efeito do ciclo hidrológico é mais predominante que a interação dos cátions com as rochas, assim como o intercâmbio dos ânions com as rochas prevalece o efeito das chuvas e da evaporação. O diagrama de Stiff indicou que nos dois semestres a distribuição geométrica foi similar, com espécies mais sódicas em solução aquosa. Nesse contexto, a compreensão hidroquímica das reações envolvidas entre água e sedimentos compreende uma ferramenta importante de gestão hídrica para águas superficiais dos reservatórios no semiárido cearense.

PALAVRAS-CHAVE: Estiagem hídrica, Dominância iônica, Processos hidroquímicos, Efeito climático, Reservatórios cearenses.

INTRODUÇÃO

Longos períodos de estiagem associados ao aumento da temperatura e evapotranspiração causam desequilíbrios físico-químicos, ordenados por trocas entre os sedimentos e a água, alterações no ambiente terrestre e atividades humanas. Portanto, a gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas deve ser valiosa e requer o entendimento das evoluções hidrogeoquímicas (PRASANNA *et al.*, 2011). Uma melhor compreensão do processo de salinização de reservatórios do semiárido brasileiro permite subsidiar o controle da qualidade das águas, bem como lidar com sua vulnerabilidade.

Dessa forma, a entrada inicial de material nos reservatórios é resultante da geoquímica da bacia hidrográfica e da situação desta com relação às atividades anteriores ao fechamento da represa, como o desmatamento e o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas (MOURA *et al.*, 2007). Dentre os principais mecanismos controladores da composição química das águas superficiais estão os fenômenos físicos e químicos do intemperismo das rochas (LIMA *et al.*, 2017). Os processos resultantes de tais interações consistem em hidrólise, degradação química, oxidação e redução da composição geoquímica das rochas e da água. Nesses processos são originados

os minerais secundários, que serão incorporados ao ambiente aquático na forma de íons solúveis (SANTOS *et al.*, 2017).

O intercâmbio entre água e sedimentos confere diferentes concentrações dos íons envolvidos e, assim, as razões iônicas são utilizadas para se obter uma visão dos processos hidrogeoquímicos controladores nas variações da qualidade da água (MERCHÁN *et al.*, 2015). Algumas pesquisas (HESSE e KRYSANIVA, 2016; ELIAS *et al.*, 2016) voltam-se somente aos aspectos de qualidade da água, não abordando os processos hidrogeoquímicos que embasam tal monitoramento. O conhecimento da dinâmica dos processos entre razões iônicas e suas relações são de extrema importância ao enriquecimento bibliográfico nesse ramo, especialmente em águas superficiais.

Esse estudo visa analisar os processos de razões iônicas dominantes na interface geológica e hídrica, que caracterizam os impactos ambientais causados ao longo de doze anos, no reservatório Banabuiú, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH-CE).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O açude Banabuiú, localizado em sua totalidade nos municípios de Banabuiú e Quixeramobim a 180 km de Fortaleza, Ceará, Brasil, é um reservatório do tipo Terra Zoneada, que barra o rio Banabuiú (Figura 1). Possui capacidade para 1.601.000.000 m³, com vazão regulada de 12,930 m³/s. O clima característico na região é tropical quente semiárido, com regime de chuva irregular e deficiência hídrica. Em média, a pluviosidade anual é de 712,4 mm, sendo o período mais chuvoso de fevereiro a abril e o mais seco de agosto a novembro.

A bacia do Banabuiú localiza-se na porção centro-leste do estado do Ceará, macrorregião do sertão central. Ao norte, limita-se com o município de Quixadá; ao sul, com os municípios de Milhã, Solonópole e Jaguaratama; ao leste, com os municípios de Jaguaratama e Morada Nova e, ao oeste, com Quixeramobim. A latitude do açude ao sul é 5° 18' 35" e a longitude a oeste é 38° 55' 14". As principais atividades antrópicas na região são agropecuária, comércio e serviços em geral.

ABORDAGEM HIDROQUÍMICA

Os dados analisados foram compreendidos entre 2005 e 2017, verificando as concentrações das espécies iônicas entre os semestres de cada ano, característicos por conter a quadra chuvosa e seca. Após um período de coleta realizado com frequência trimestral, foram analisados os parâmetros gerais: temperatura da água, pH e condutividade elétrica (em campo), sólidos totais dissolvidos, dureza total e íons maiores (em laboratório).

Os resultados geoquímicos foram plotados no gráfico trilinear de Piper, Gibbs e o diagrama de Stiff, usando o software *QualiGraf 2017*, disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). O diagrama de Piper apresenta triângulos que servem para classificar a água baseada nos cátions e ânions dominantes, o qual fornece a distribuição iônica total, isto é, indica a característica química da água e aponta semelhanças entre várias águas (CONCEIÇÃO; BONOTTO, 2002). O diagrama de Gibbs foi importante por avaliar a relevância entre evaporação, dominância das rochas e sedimentos e os íons trazidos com a precipitação pluviométrica. O diagrama de Stiff apresenta, de maneira distintiva, as principais características hidroquímicas de uma amostra. Para a sua elaboração, são utilizados quatro eixos horizontais paralelos, que se estendem nas duas direções a partir de um eixo central vertical (STIFF, 1951).

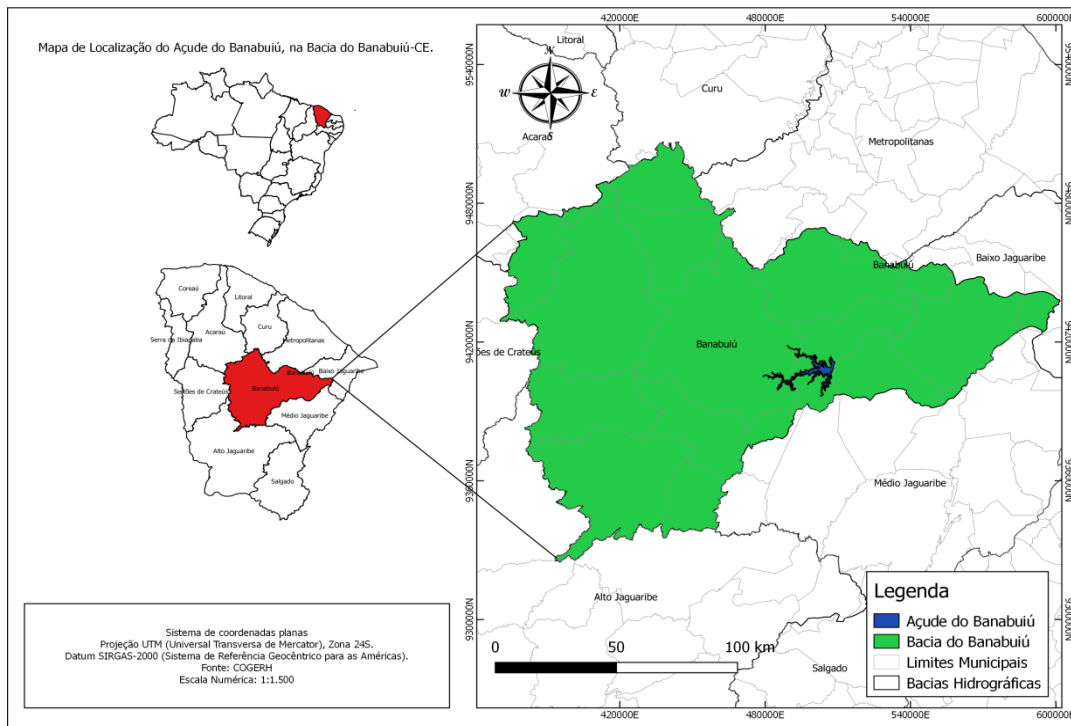


Figura 1: Localização geográfica do açude Banabuiú.

RESULTADOS OBTIDOS

A precipitação média no período de estudo foi de 608 (± 245) nos postos próximos ao Banabuiú. Em relação aos valores normais no período de 1974 a 2004, as médias observadas foram 23% inferiores. Cabe destacar que o ano de 2012 foi particularmente seco com precipitação média no posto analisado, cerca de 75% abaixo da normal. No período subsequente (2013 a 2017) o déficit se manteve cerca de 30% abaixo. Esse fato, associado às elevadas taxas de evaporação e aos usos consuntivos levaram ao rápido abatimento do volume disponível. No reservatório em estudo, o %VD foi de 45.6% (± 31.2), conforme representado na Figura 2, que mostra a variação semestral do %VD e da precipitação.

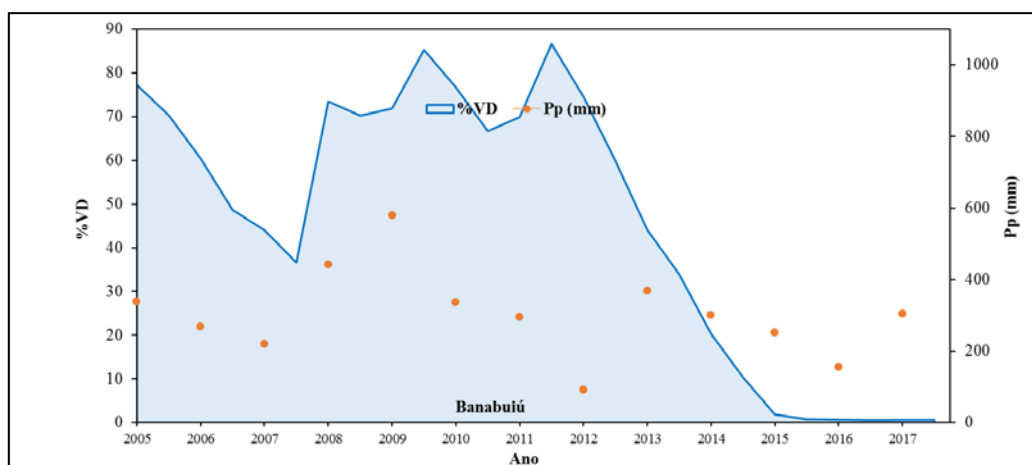


Figura 2: Variação semestral do volume disponível e da precipitação nos postos próximos ao açude em estudo.

Os parâmetros avaliados foram representados em termos de concentrações mínimas, máximas e médias das análises físico-químicas e dos íons observados para o reservatório em estudo. Em termos de dominância iônica, Banabuiú apresentou a seguinte relação predominante entre os cátions: $rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$ (40.4;

29.5; 24.6 e 5.6%, respectivamente). A relação de dominância aniônica foi: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{CO}_3^{2-} > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$ (45.2; 43.4; 6.7; 4.5; 0.2%, respectivamente). Os resultados elevados de bicarbonato são dependentes da concentração de gás carbônico dissolvido, devido ao aquecimento global, que acarreta em maior transparência e temperatura da água, aumentando a reatividade entre CO_2 e H_2O e, assim, liberando H^+ e HCO_3^- (Boyd *et al.*, 2016).

Tabela 1: Estatística descritiva dos parâmetros gerais no reservatório Banabuiú.

Parâmetros ^a	Banabuiú			
	μ	σ	Min	Max
Temp.	28,7	1,0	26,7	31,1
pH	8,08	0,38	7,26	8,97
CE	513	262	290	1203
STD	336	164	197	771
HCO_3^-	134,3	14,0	112,8	181,8
CO_3^{2-}	9,8	2,6	5,4	16,0
Cl^-	80,8	36,7	31,7	168,5
SO_4^{2-}	10,9	5,5	4,6	24,6
NO_3^-	0,55	0,39	0,06	1,50
Na^+	52,8	19	25	88,4
K^+	11,5	3,4	6,2	18,2
Ca^{2+}	26,7	6,3	19,2	48,2
Mg^{2+}	20,4	8,4	13,1	41,6
DT	150,5	47,7	119,9	291,1

^aUnidades: mg/L, exceto temperatura (°C), pH (adimensional), CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e dureza total (mg CaCO_3/L).

O diagrama de Piper (Figura 2) informa que as águas superficiais de Banabuiú apresentaram predominância quanto às águas mistas bicarbonatadas em 54%. O açude apresentou elevado índice de águas bicarbonatadas (73%), indicando salinidade nessas águas superficiais. Entretanto, o percentual de águas cloretadas para foi de 23%. Possivelmente, isso se deve às diferentes atividades antrópicas atuantes nesse reservatório. Em geral, águas superficiais demonstram baixo risco de salinidade, por não terem interações de troca iônica com o solo como águas subterrâneas, fato comprovado por Souza *et al.*, 2016, ao estudar as águas do açude Trussu e de poços localizados na bacia do rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. Os autores classificaram as águas superficiais como cloretada cálcica e bicarbonatada cálcica. As águas subterrâneas do açude Trussu apresentaram riscos médios a elevados para causar salinidade, especialmente pelo elevado percentual de sódio encontrado.

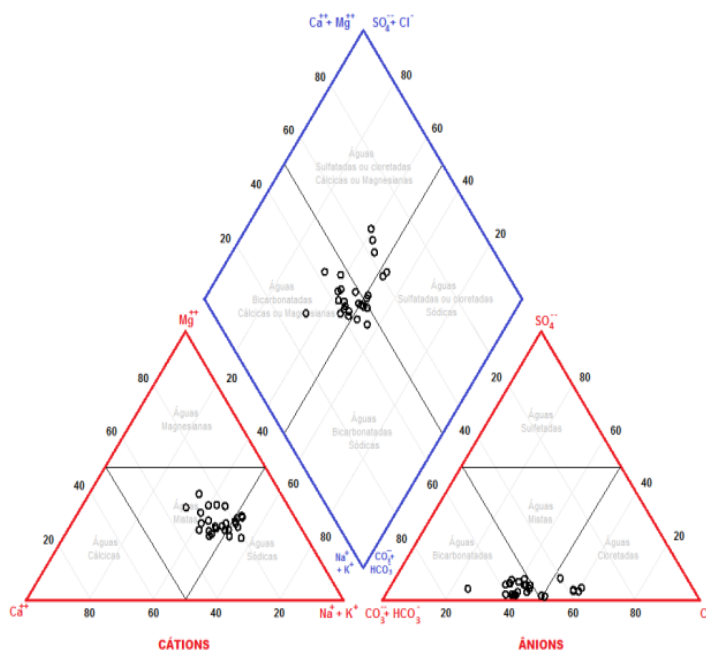


Figura 2: Diagrama de Piper para o reservatório Banabuiú.

Para Gibbs (1970), os principais mecanismos naturais que controlam a composição química das águas superficiais são: (I) precipitação atmosférica, responsável pela composição química dos mananciais, (II) intemperismo das rochas, em áreas de precipitação intermediária e (III) evaporação-cristalização, processo de maior influência em regiões áridas e semiáridas. A Figura 3 apresenta os diagramas catiônico e aniônico para o açude em estudo. Analisando o diagrama catiônico para Banabuiú, observa-se que o efeito do ciclo hidrológico é mais predominante que a interação dos cátions com as rochas. A evaporação, apesar de ser alta na região, devido à elevada irradiação solar do Nordeste Brasileiro, também tem efeito menor que as chuvas. Ao analisar o diagrama aniônico (Figura 15B), vê-se maior interação dos ânions com as rochas do que a incidência pluviométrica sobre essas espécies químicas. A evaporação é significativa, mas em menor intensidade que o intercâmbio com as rochas.

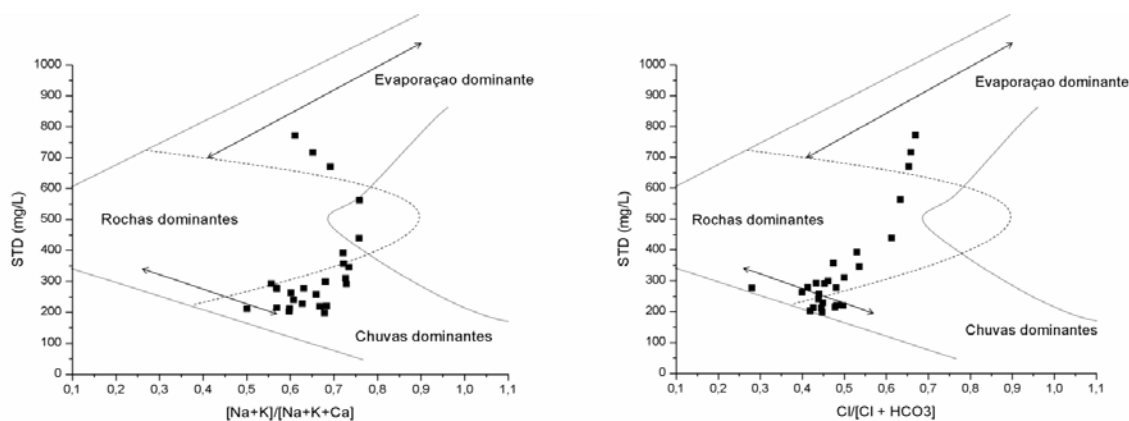


Figura 3: Diagramas catiônico e aniônico de Gibbs para o reservatório Banabuiú, com concentrações dos íons em mg.L^{-1} .

Nesse trabalho, o diagrama de Stiff foi utilizado como uma ferramenta de comparação entre os períodos seco e chuvoso dos reservatórios em estudo (Figura 4). O diagrama de Stiff apresenta, de maneira distintiva, as principais características hidroquímicas de uma amostra. Para a sua elaboração, são utilizados quatro eixos horizontais paralelos, que se estendem nas duas direções a partir de um eixo central vertical (STIFF, 1951). A predominância dos cátions foram de sódio e potássio (61,3%), enquanto que cloreto representou 55% do total

de ânions. Em ambos os semestres, a distribuição geométrica foi similar, com espécies mais sódicas em solução aquosa.

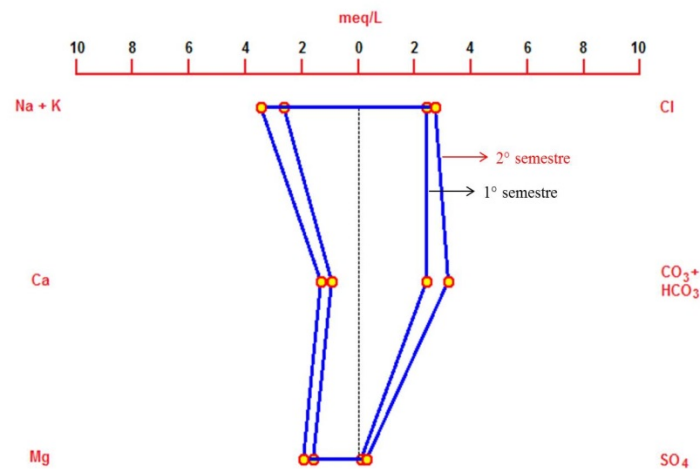


Figura 4: Diagrama de Stiff para o reservatório Banabuiú.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitiram concluir os seguintes aspectos:

Dentre o período analisado, os anos mais secos foram de 2012 a 2017, o que está associado às elevadas taxas de evaporação e aos usos consuntivos da água, provocando redução significativa do volume disponível.

O reservatório Banabuiú apresentou a ocorrência de salinização, com dominância de Na^+ e Mg^{2+} entre os cátions. Entre os ânions, HCO_3^- mostrou-se dominante, decorrente da alta concentração de gás carbônico dissolvido no meio aquoso.

O diagrama de Piper permitiu concluir que as águas superficiais apresentaram predominância quanto à classificação de mistas bicarbonatadas.

Analisando o diagrama catiônico de Gibbs, observa-se que o efeito do ciclo hidrológico é mais predominante que a interação dos cátions com as rochas, assim como o intercâmbio dos ânions com as rochas prevalece o efeito das chuvas e da evaporação.

O diagrama de Stiff indicou que nos dois semestres a distribuição geométrica foi similar, com espécies mais sódicas em solução aquosa.

Conclui-se que o clima tem influência direta nas configurações hidroquímicas e o gerenciamento correto dos recursos hídricos assegura a manutenção da qualidade e disponibilidade da água nos reservatórios do trópico semiárido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOYD, C. E.; TRUCKER, C. S. SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and Hardness: Critical but Elusive Concepts in Aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 47, n. 1, fev. 2016.
2. CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v.16, n.1, p.1-21, 2002.

3. ELIAS, E.; RANGO, A.; SMITH, R.; MAXWELL, C.; STEELE, C.; HAVSTAD, K. Climate change, agriculture and water resources in the southwestern United States. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 158, p. 46-61, 2016.
4. FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Volume armazenado – reservatórios**, 2018. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br> . Acesso em: 16 fev. 2019.
5. GIBBS, R. J. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. **Science**, v. 170, n. 3962, p. 1088-1090. 1970.
6. HESSE, C.; KRYSAKOVA, V. Modeling Climate and Management Change Impacts on Water Quality and In-Stream Processes in the Elbe River Basin. **Journal Water**, n.8, v.40, p. 1-31, 2016.
7. LIMA A. O.; LIMA-FILHO F. P.; DIAS N. S.; REGO P. R. A.; BLANCO F.F.; NETO M.F. Mechanisms controlling surface water quality in the Cobras river sub-basin, northeastern Brazil. **Rev. Caatinga**, v.30, n.1, p. 181-189, 2017.
8. MERCHÁN, D.; AUQUÉ, L. F.; ACERO, P.; GIMENO, M. J.; CAUSAPÉ, J. Geochemical processes controlling water salinization in an irrigated basin in Spain: Identification of natural and anthropogenic influence. **Science of The Total Environment**, v. 502, p. 330-343. 2015.
9. MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B. DE; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no semiárido**. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). *Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, cap. 2, p. 37-59, 2007.
10. PRASANNA, M. V., CHIDAMBARAM S., GIREESH T. V., ALI, T. J. A study on hydrochemical characteristics of surface and sub-surface water in and around Perumal Lake, Cuddalore district, Tamil Nadu, South India, *Environ Earth Sci*, v. 63, n. 1, p. 31-47, 2011.
11. SANTOS, D. R.; PELLEGRINI, A.; ALVAREZ, J. W. R.; KROLOW, I. R. C.; CAPOANE, V.; KROLOW, D. R. V. Regularização de vazão e dissipação de energia em bacias hidrográficas na mesorregião centro ocidental Rio-Grandense. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 521-530, 2017.
12. SOUZA, C.A.; ARAUJO, Y.R.; NETO, J.R.A.; PALÁCIO, H.A.Q.; BARROS, B.E.A. Análise comparativa da qualidade da água para irrigação em três sistemas hídricos conectados no semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n. 6, p. 1011-1022, 2016.
13. STIFF, H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. **Journal of Petroleum Technology**, v. 3, n.10, p.15-17, 1951.