

**Variabilidade hidroquímica em dois reservatórios no semiárido brasileiro****Hydrochemical variability of two reservoirs in the Brazilian semiarid**

DOI:10.34117/bjdv6n3-291

Recebimento dos originais: 11/02/2020

Aceitação para publicação: 19/03/2020

**Ana Carolina de Oliveira Nobre Batista**

Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental  
Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
Campus do Pici, bloco 713  
Pici – CEP 60451-970  
E-mail: carolnobre1404@gmail.com

**Stephanie de Oliveira Souza**

Doutoranda em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental  
Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
Campus do Pici, bloco 713  
Pici – CEP 60451-970  
E-mail: Stephanie\_Souza@hotmail.com

**Valquíria Melo Souza Correia**

Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia  
Campus Angicos, bloco DENG 2  
Rua Gamaliel Martins Bezerra, 587 – CEP 59515-000  
E-mail: valquiria@ufersa.edu.br

**Marisete Dantas de Aquino**

Doutora em Meio Ambiente/Recursos Hídricos.  
Professora Titular na Universidade Federal do Ceará.  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.  
Campus do Pici, bloco 713.  
Pici – CEP 60451-970.  
E-mail: marisete@ufc.br

**Iran Eduardo Lima Neto**

Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos.  
Professor Associado na Universidade Federal do Ceará.  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.  
Campus do Pici, bloco 713.  
Pici – CEP 60451-970.  
E-mail: iran@deha.ufc.br

**Fernando José Araújo da Silva**

Doutor em Engenharia Civil/Recursos Hídricos.  
Professor Adjunto na Universidade Federal do Ceará.  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.  
Campus do Pici, bloco 713.  
Pici – CEP 60451-970.  
E-mail: fjas@deha.ufc.br

**RESUMO**

Este estudo tem como objetivo analisar os mecanismos hidroquímicos dominantes e o manejo da água para uso na irrigação de dois reservatórios na bacia do Banabuiú, no nordeste brasileiro. O estudo compreendeu as águas superficiais dos reservatórios de Banabuiú e Pedras Brancas, com amostras coletadas entre 2005 e 2017. A hidroquímica das barragens foi analisada variando-se as razões iônicas dos íons dominantes ao longo do tempo, seguida pela técnica multivariada. ) Para classificar as águas para uso na irrigação, o índice iônico foi monitorado pela Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Os cátions móveis de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram dominantes em ambos os reservatórios, enquanto o ânion  $\text{HCO}_3^-$  foi predominante em Banabuiú e  $\text{Cl}^-$  nas Pedras Brancas, devido ao clima químico característico entre as reações de troca iônica. As espécies químicas apresentaram correlação positiva com o eixo C1 nas duas barragens, confirmando a ocorrência de salinização como principal mecanismo de reação. As correlações empíricas entre o perfil iônico e volume disponível e precipitação volumétrica representaram uma abordagem essencial para a análise hidroclimática. Os diagramas RAS definiram as águas de Banabuiú como de boa qualidade, salinidade média e baixo risco de sodicidade. Pedras Brancas apresentou alto risco salino e baixo risco de sodicidade durante a maior parte do período analisado.

**Palavras-chave:** gestão da água; processos dominantes; razões iônicas; correlações.

**ABSTRACT**

This study aims to analyze the dominant hydrochemical mechanisms and water management for use in the irrigation of two reservoirs in the Banabuiú basin, in the Brazilian northeast. The study comprised the surface waters of the Banabuiú and Pedras Brancas reservoirs, with samples collected between 2005 and 2017. The hydrochemistry of the dams was analyzed by varying the ionic ratios of the dominant ions over time, followed by the multivariate technique Principal Component Analysis (PCA). In order to classify the waters for use in irrigation, the ionic index was monitored by Ratio of Sodium Adsorption (RAS). The mobile  $\text{Na}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  cations were dominant for both reservoirs, whereas the  $\text{HCO}_3^-$  anion was predominant in Banabuiú and  $\text{Cl}^-$  in the White Stones, due to the characteristic chemical weathering between the ion exchange reactions. The chemical species correlated positively to the C1 axis in the two dams, confirming the occurrence of salinization as the main reaction mechanism. The empirical correlations between the ionic profile and available volume and volumetric precipitation represented an essential approach for hydroclimatic analysis. The RAS diagrams defined the waters of Banabuiú as of good quality, medium salinity and low risk of sodicity.

The Pedras Brancas weed had high saline risk and low sodicity risk for most of the analyzed period.

**Keywords:** water management; dominants processes; ionic ratios; correlations.

## 1 INTRODUÇÃO

Localizada no sertão central do estado do Ceará, a bacia hidrográfica do rio Banabuiú abrange um conjunto de reservatórios rasos, destinados ao atendimento das demandas hídricas na região. Predominam na bacia a litologia anisotrópica, com rochas cristalinas, e o clima tropical semiárido, caracterizado por elevada variabilidade pluviométrica e evapotranspiração acentuada.<sup>1</sup>

Os eventos de chuva ocorrem quase que inteiramente durante o primeiro semestre de cada ano. A água precipitada escoar e percola, tornando-se muito ativa quimicamente. Interage com minerais da rocha mãe no sistema litológico e pedológico, com os sedimentos dispersos no meio, compondo espécies químicas bastante variáveis nesses reservatórios.<sup>2</sup>

O material lixiviado e a dominância dos processos hidroquímicos e geológicos modificam a composição das águas, quantificadas em termos de razões entre os íons dissolvidos.<sup>3</sup> O aumento na temperatura e salinidade da água reduzem a concentração de gás carbônico no meio. Assim, tende a elevar a concentração molar cálcica com incremento de alcalinidade e dureza. Tal processo é ocasionado pelas variações climáticas no semiárido brasileiro e remete à ocorrência de certos mecanismos de troca dominantes. Ocorrem modificações com razões iônicas distintas, porém, destacam-se:  $[Na^+ + K^+]/[Na^+ + K^+ + Ca^{2+}]$  e  $Cl^-/[Cl^- + HCO_3^-]$ . Essas razões caracterizam a presença de cátions móveis e a razão de troca de base com sedimentos.<sup>4,5</sup> Essas razões certificam que processos hidroquímicos sobressaem na bacia, através das variações nas composições iônicas e da determinação dos mecanismos de troca dominantes, tais como a salinização. Nos reservatórios, as pressões hidrostáticas menores acontecem pela redução significativa no volume disponível. Isso propicia um desequilíbrio iônico e acúmulo de matéria orgânica, evidenciada com liberação de hidróxido aquoso e dificuldade da manutenção de tamponamento no meio, ocasionado especialmente por dissociação do bicarbonato (1).



A determinação dos constituintes presentes se dá por reações de trocas iônicas ocasionadas por intemperismo químico dos sedimentos, em que ocorre oxidação da matéria

orgânica e remineralização por algas e organismos terrestres. Assim, existe aumento de carbono inorgânico e de compostos silicosos, seguido por estabilização do metal silício e do cátion alcalino potássio.<sup>6</sup> Caso haja poluição antrópica nas proximidades do manancial, com aporte de águas residuais (de origem doméstica, agrônômica ou industrial), tem-se como resultado um intemperismo de ânions, fortalecendo a relação  $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/HCO_3^-$ , além de contribuir com  $Cl^-$ . Dessa forma, a existência de silício determina a presença de ânions  $Cl^-$ . No entanto, se o intemperismo ocorrer em halita, há redução nas concentrações de  $Na^+$  no solo por trocas com  $Ca^{2+}$ , enriquecendo o teor de sódio dissolvido na água e, então, favorecendo a razão  $Na^+/Cl^-$ .<sup>7</sup>

Regiões áridas e semiáridas possuem saturação de íons carbonáticos, com variação de concentrações no decorrer do dia, devido a alterações diurnas em taxas de remoção de  $CO_2$  dissolvido durante a fotossíntese pela respiração de produtores primários. Em paralelo, o aquecimento climático tem ligação com efeitos consideráveis à ecologia de superfícies aquáticas, devido à supersaturação de nitrogênio e fósforo, elevando a biomassa de cianobactérias tóxicas aos peixes, zooplânctons e fitoplânctons.<sup>8</sup>

O estudo geoquímico do conteúdo iônico das águas dos reservatórios auxilia na avaliação do tipo de sedimento responsável pelo processo e na análise de transferência de nutrientes e de matéria orgânica no meio.<sup>9</sup> A distribuição característica das espécies iônicas nas águas superficiais das bacias do trópico semiárido é fundamental para o conhecimento dos mecanismos dominantes reacionais, expandindo a literatura na área. Além disso, a abordagem hidroquímica assegura melhorias nas ferramentas de gestão ambiental, refletindo em perspectiva viável à ótica química. A escassez hídrica é mais latente na quadra seca, período em que o agricultor necessita de maior água para irrigação do solo e os reservatórios se encontram com baixo volume hídrico.<sup>10-11</sup> Assim, faz-se necessário verificar a qualidade da água retirada desses reservatórios para irrigação como uma ferramenta de gestão hídrica e auxílio à agricultura de subsistência.

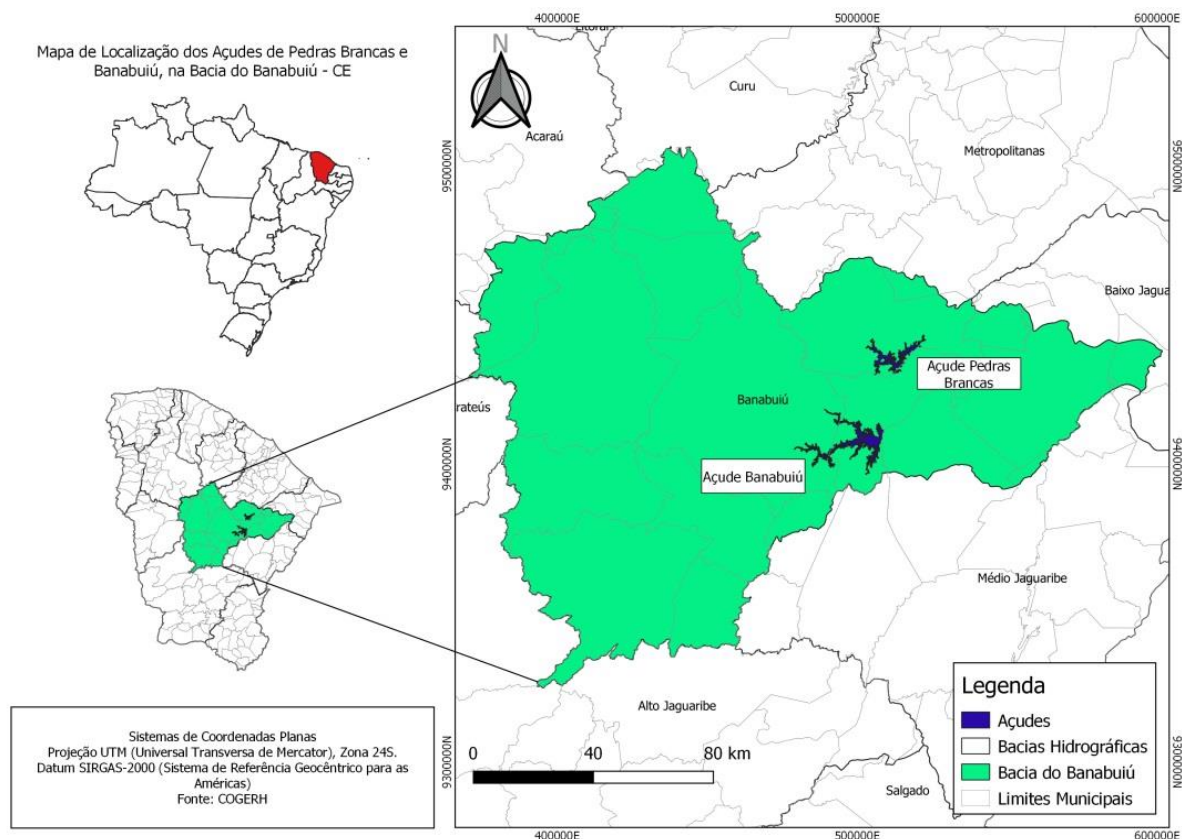
Dessa forma, o presente estudo visa analisar razões iônicas face ao efeito de climático (i.e. variações sazonais e atmosféricas), discutindo os processos mais relevantes. Enseja ainda, considerar a qualidade das águas para uso na irrigação e suas restrições. Para tanto, o estudo tratou de dois reservatórios no Estado do Ceará, Nordeste brasileiro.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Banabuiú abrange uma área de 14.249,5 km<sup>2</sup>. Integrante da Bacia do Jaguaribe, compreende os dois reservatórios do estudo: Banabuiú e Pedras Brancas, localizados em áreas de semiaridez críticas, no sertão central do Ceará. Ambos os reservatórios apresentam predomínio de rochas de embasamento cristalino, representadas por gnaisses migmatíticos e granitos, associados a xistos, quartzitos, metacalcários e anfibolitos. Além disso, há ocorrência de sedimentos detríticos conglomeráticos, arenosos e argilosos.<sup>12</sup>

O reservatório Banabuiú possui barragem do tipo Terra Zoneada, localizada a 5° 19' 46" sul e 35° 55' 23" oeste, com cota de coroamento de 132 m (a.n.m). Encontra-se localizado entre os municípios de Banabuiú e Quixeramobim, apresentando capacidade para 1.601 hm<sup>3</sup> e bacia hidrográfica de cerca de 14.000 km<sup>2</sup>.<sup>13</sup> Com sua barragem localizada no município de Quixadá, o reservatório Pedras Brancas tem barramento localizado a 5° 09' 02" sul e 38° 52' 43" oeste. O rio barrado é o Sitiá, com cota de coroamento de 133 m (a.n.m), capacidade de 431,3 hm<sup>3</sup> e bacia hidrográfica de 1987,7 km<sup>2</sup>. Os dois reservatórios estudados estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1. Localização geográfica dos reservatórios Banabuiú e Pedras Brancas



**3 PARTE EXPERIMENTAL**

As amostras de águas superficiais dos reservatórios foram coletadas com frequência trimestral, de fevereiro de 2005 a novembro de 2017. As coletas ocorreram no período da manhã (entre 9h e 10h30) na área de tomada de água dos reservatórios, a uma profundidade de 30 cm abaixo da superfície da coluna líquida.

**3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

Em campo, foram analisados os parâmetros temperatura da água, pH e condutividade elétrica (CE). Em laboratório, foram determinados sólidos totais dissolvidos (STD), dureza total (DT) e os íons maiores: sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA.<sup>14</sup>

**4 RESULTADOS E DISCUSSÃO****4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

O sumário estatístico dos parâmetros considerados no estudo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água nos reservatórios do estudo (2005 a 2017).

Parâmetros <sup>a</sup>	Banabuiú				Pedras Brancas			
	$\mu$	$\sigma$	Min	Max	$\mu$	$\sigma$	Min	Max
Temp.	28,7	1,0	26,7	31,1	28,7	1,1	26,6	30,4
pH	8,08	0,38	7,26	8,97	8,37	0,31	7,73	8,96
CE	513	262	290	1203	1254	845	275	3421
STD	336	164	197	771	806	522	195	2120
$\text{HCO}_3^-$	134,3	14,0	112,8	181,8	93,4	26,8	60,8	157,3
$\text{CO}_3^{2-}$	9,8	2,6	5,4	16,0	26,7	22,2	0,1	78,0
$\text{Cl}^-$	80,8	36,7	31,7	168,5	330,7	252,3	38,2	1007,7
$\text{SO}_4^{2-}$	10,9	5,5	4,6	24,6	3,3	2,9	0,3	7,7
$\text{NO}_3^-$	0,55	0,39	0,06	1,50	0,41	0,11	0,09	0,64
$\text{Na}^+$	52,8	19	25	88,4	156,0	98,5	29,0	395,0
$\text{K}^+$	11,5	3,4	6,2	18,2	25,7	11,1	5,6	49,0
$\text{Ca}^{2+}$	26,7	6,3	19,2	48,2	31,5	8,0	16,5	47,7
$\text{Mg}^{2+}$	20,4	8,4	13,1	41,6	38,7	28,2	10,0	115,7
DT	150,5	47,7	119,9	291,1	237,8	127,9	94,2	577,9

<sup>a</sup>Unidades:  $\text{mg.L}^{-1}$ , exceto temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH (adimensional), CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e dureza total ( $\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ ).

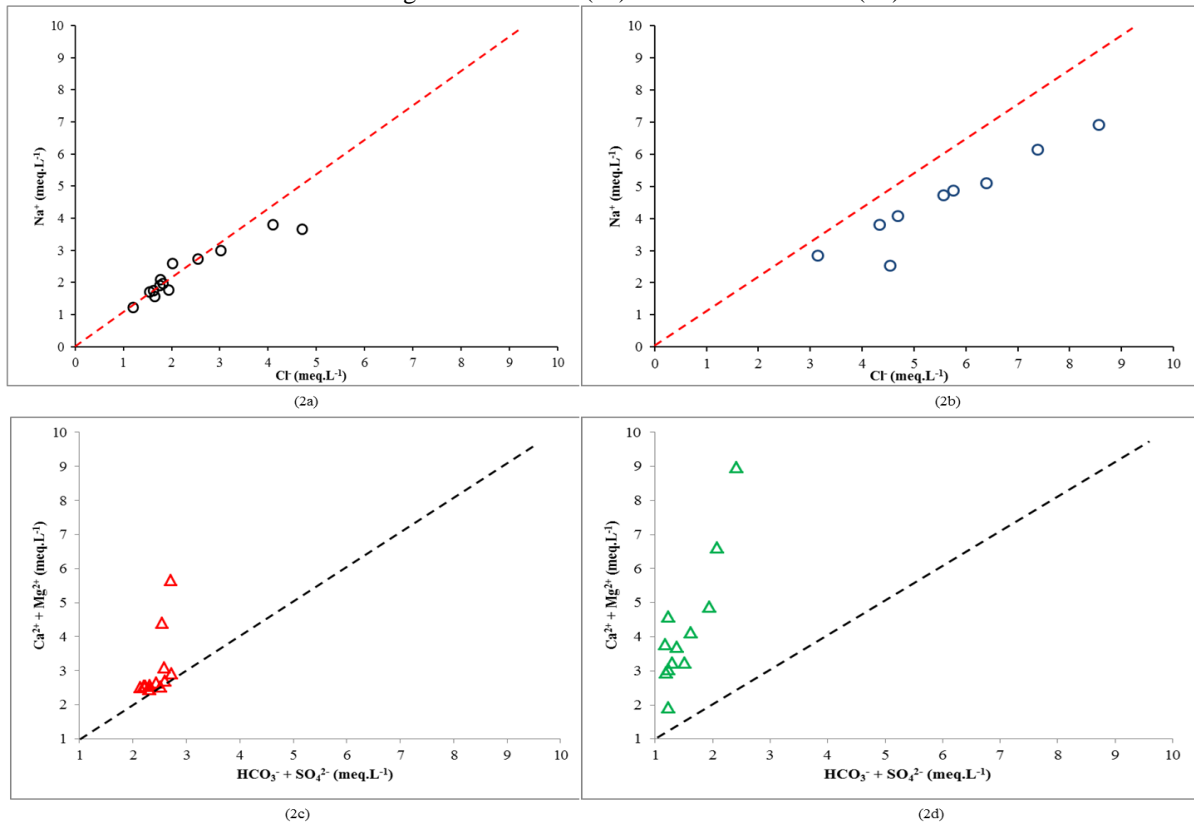
É importante observar a dominância catiônica em cada manancial, sendo representada por:  $rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$  (40,4; 29,5; 24,6 e 5,6%, respectivamente) para o Banabuiú e:  $rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$  (53,8; 24,8; 15,7 e 5,8%, respectivamente) para o Pedras Brancas. O predomínio de cátions móveis, tais como sódio e magnésio, tem relação com o aquecimento atmosférico, refletido em incremento de temperatura nas águas superficiais e, por conseguinte, na redução da capacidade de adsorção desses íons por sólidos suspensos.<sup>15</sup> A salinização também se encontra como um fator destacado nesse processo, devido às reações de troca iônica ocasionadas por intemperismo químico e consequente liberação desses cátions móveis. Ressalta-se que Si e K não se enquadram como móveis em razão da oxidação frequente da matéria orgânica, caracterizada por ser reversível e, assim, remineralizar essas espécies novamente em solução por atividade enzimática de algas e organismos terrestres.<sup>16</sup>

A relação de dominância aniônica para o Banabuiú foi:  $rHCO_3^- > rCl^- > rCO_3^{2-} > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$  (45,2; 43,4; 6,7; 4,5; 0,2%, respectivamente), enquanto que para o Pedras Brancas:  $rCl^- > rHCO_3^- > rCO_3^{2-} > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$  (75,3; 16,4; 7,6; 0,6; 0,2%, respectivamente). Com as secas, há elevação dos níveis de carbono inorgânico total e de condutividade elétrica, acarretando em liberação de ânions móveis e mais dissociáveis. Para o açude Banabuiú, houve predominância de bicarbonato, ocasionada por maior dissolução do gás carbônico em água e, assim, liberação de  $H^+$  e  $HCO_3^-$ . A maior concentração de cloreto para Pedras Brancas é refletida após a lixiviação dos sedimentos, rochas e solos.<sup>17</sup>

As amostras foram disseminadas ao longo da linha 1:1 e distribuídas entre os eixos x e y (Figura 27). A razão molar  $rNa^+/Cl^-$  foi gradualmente tendendo a 1 quando ocorre aumento da concentração de  $Cl^-$  (acima de 3,5 meq.L<sup>-1</sup>), sugerindo que a dissolução de halita pode ser a principal fonte de  $Na^+$  e  $Cl^-$ .<sup>18</sup> O aumento da razão  $rNa^+/Cl^-$  (observada no reservatório Jaburu I) pode ser atribuída ao intemperismo de minerais ricos em  $Na^+$  <sup>(19)</sup> ou de processos secundários, como troca iônica de  $Ca^{2+}$  ou  $Mg^{2+}$  por  $Na^+$ .<sup>20</sup>

A relação entre as concentrações obtidas por  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  versus  $HCO_3^- + SO_4^{2-}$  permitiu observar que as concentrações desses íons nas amostras de águas superficiais podem ser mais ou menos próximas da linha de dissolução de carbonato e gesso (linha 1:1). Se a troca iônica entre carbonato e gipsita for predominante, há tendência de deslocamento dos pontos para a direita. Ocorrendo troca reversa, o deslocamento ocorrerá para a esquerda devido ao excesso de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ .<sup>21</sup> Os reservatórios analisados demonstraram tendência de deslocamento para a direita, indicando que o processo geoquímico dominante se baseia na dissolução de carbonato e gipsita.<sup>22</sup>

Figura 2. Variação das razões catiônicas  $r\text{Na}^+/\text{rCl}^-$  no Banabuiú (2a) e no Pedras Brancas (2b), e  $r\text{Na}^{2+}/\text{rMg}^{2+}$  no Banabuiú (2c) e no Pedras Brancas (2d)



A variação da razão iônica  $r\text{HCO}_3^-/\text{rCl}^-$  infere que dentre os mecanismos dominantes para alta concentração de  $\text{Cl}^-$  está o intemperismo da biotita e pela liberação de  $\text{Cl}^-$  via decomposição vegetal. A origem de  $\text{HCO}_3^-$  ocorre devido à dissolução de  $\text{CO}_2$  na água. A proximidade com a atmosfera acelera as relações de troca do bicarbonato, por elevar os valores de gás carbônico dissolvido e, assim, deslocar o equilíbrio para formação de  $\text{HCO}_3^-$ . A degradação da matéria orgânica também é responsável pela alcalinização do meio aquoso, por liberar carbono orgânico total no meio na forma de espécies carbonatadas. Além disso, os processos de erosão química das rochas continentais controlam os transportes fluviais e pluviais de carbono inorgânico dissolvido por hidrólise de minerais silicatados (albita) ou a dissolução de minerais carbonatados (calcita), conforme as reações (2) e (3) a seguir.<sup>23</sup>



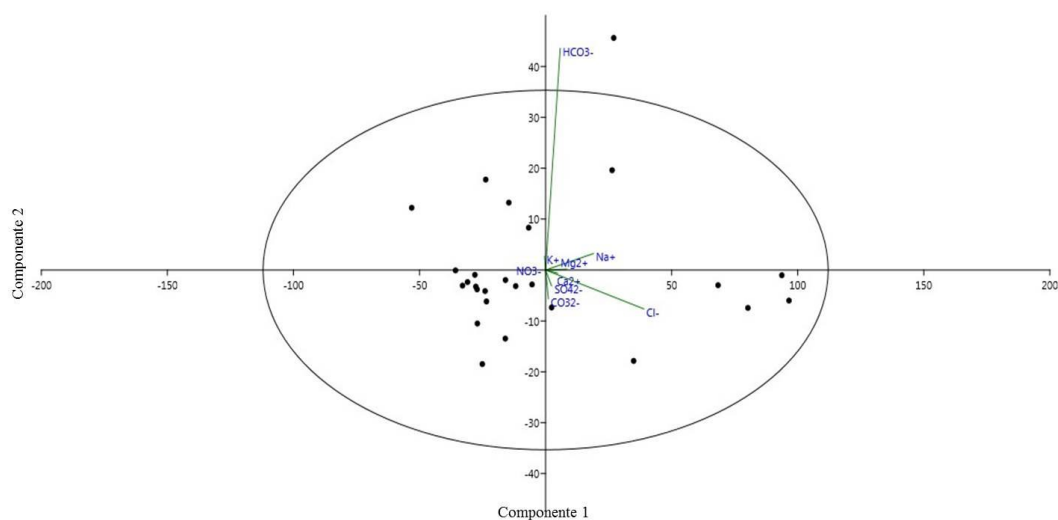


#### 4.2 ESTUDO ESTATÍSTICO E RAS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é recurso bem difundido na quimiometria. A partir de um determinado conjunto de dados, é possível condensar as informações mais relevantes em um número reduzido de novas variáveis, mantendo o foco nas relações entre os parâmetros analisados.<sup>24</sup> A matriz final foi selecionada a partir de uma sequência amostral dos íons detectados nos reservatórios, por semestre de cada ano ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

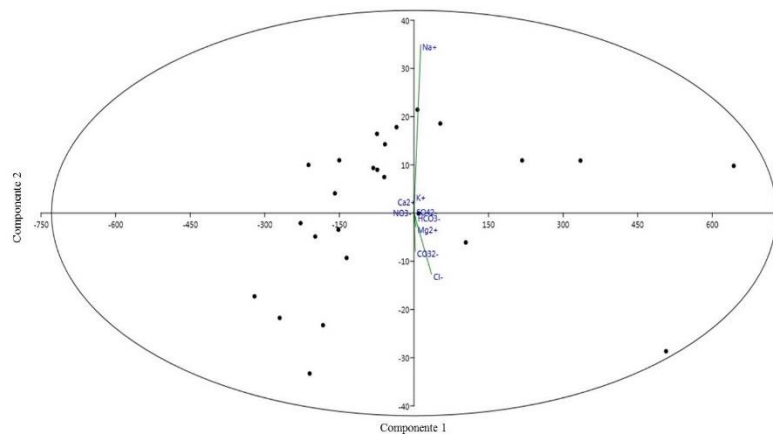
A composição das amostras semestrais para Banabuiú foi estipulada no gráfico das variáveis em termos dos íons, representados em duas componentes principais (Figura 4). A explicação da variância nas componentes 1 e 2 foi de 94,2%. Os íons são representados por vetores, cuja direção indica a região de crescimento da variável e a decomposição nos eixos compreende a importância da variável naquele eixo de discriminação entre as espécies químicas.<sup>25</sup> Analisando o gráfico da Figura 3, para a componente 1, todas as espécies químicas apresentam mesmo andamento das cargas de variância, se correlacionando positivamente. Para a componente 2, apenas são detectadas cargas de variância contrárias e correlações negativas. A maior carga fatorial do bicarbonato caracteriza o efeito da escassez hídrica e salinização nas águas do Banabuiú. Apesar da correlação positiva entre os íons maiores  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para a componente 1, o vetor  $\text{Cl}^-$  foi mais incidente. Algas verdes têm uma assimilação preferencial por compostos catiônicos, o que torna o meio saturado de espécies aniônicas, principalmente as de correlação positiva com condutividade elétrica, como o ânion cloreto.<sup>26</sup>

**Figura 3.** Análise de Componentes Principais (ACP) dos íons dissolvidos no Banabuiú



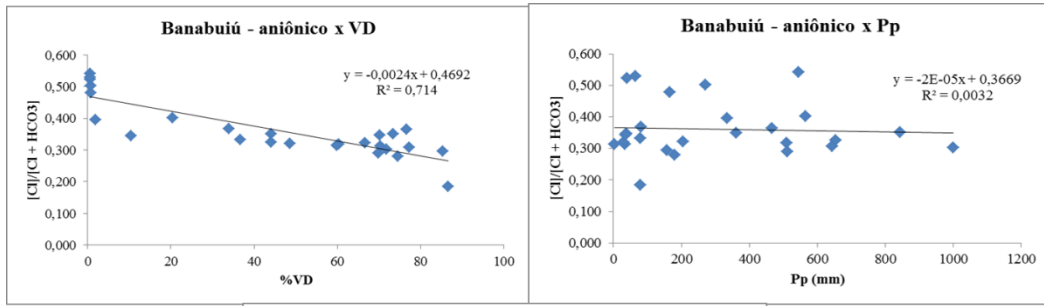
A Figura 4 apresenta o gráfico das variáveis (íons dissolvidos) nas duas componentes principais, para o reservatório Pedras Brancas. Ao todo, os eixos C1 e C2 (componentes 1 e 2, respectivamente) explicaram 99,58% da variação entre as espécies químicas estudadas. O eixo C1 apresentou correlação positiva entre as espécies químicas analisadas, com elevada incidência vetorial de  $\text{Na}^+$ , o que explica a predominância de salinização nesse reservatório. Dos Santos et al. (2000) também avaliaram a importância da salinização em amostras de água dos reservatórios no semiárido baiano e concluíram tendência crescente na concentração de sódio ao decorrer dos anos estudados, indicando evidência direta com o processo de salinização, favorecido por evaporação e redução da capacidade de volume no reservatório.<sup>27</sup> Devido às cargas de variância ocorrerem contrariamente no eixo C2, os íons analisados não demonstraram correlação positiva para essa componente.

**Figura 4.** Análise de Componentes Principais (ACP) dos íons dissolvidos no Pedras Brancas



Interações positivas são definidas quando  $r^2$  se aproxima de 1, indicando que as duas variáveis se movem juntas. Correlações negativas indicam valores de  $r^2$  próximos de -1 e as variáveis movem-se em direções opostas. Quando não há correlação significativa entre os pontos de dispersão, o resultado de  $r^2$  aproxima-se de zero.<sup>28</sup> Assim, analisando as correlações estabelecidas entre a relação aniônica e os parâmetros analisados, observa-se correlação positiva e direcional para o volume disponível. A relação entre precipitação volumétrica e índice de Lang aproximou-se muito de zero, indicando nenhuma correlação (Figura 5).

Figura 5 - Relação entre o perfil aniônico e os parâmetros %VD, Pp (mm), para Banabuiú



As Figuras 6 e 7 ilustram os diagramas de classificação das águas para irrigação USSL para Banabuiú e Pedras Brancas, respectivamente. As águas dos açudes Banabuiú foram predominantemente do tipo C2S1, representando águas de boa qualidade, com salinidade média e baixo risco de sodicidade. Essas águas podem ser recomendadas para a irrigação na maioria dos solos e culturas, desde que tenha um grau moderado de lixiviação de sais e baixo risco de desenvolvimento de níveis prejudiciais de sódio trocável. Conforme o diagrama da USSL para o Pedras Brancas (Figura 7), a concentração das amostras foi em C3S1, indicando elevado risco de salinidade, porém, com baixo risco de sodicidade. As amostras de 2012 a 2017 se concentraram em C3S2 e C4S2, conferindo risco de salinização muito alto e sodicidade moderada, o que impede o uso dessas águas como drenagem deficiente e apropriada, indicadas somente para irrigação de plantas tolerantes a sais.<sup>29</sup>

Figura 6. Classificação das águas do açude Banabuiú segundo o diagrama de salinidade do USSL

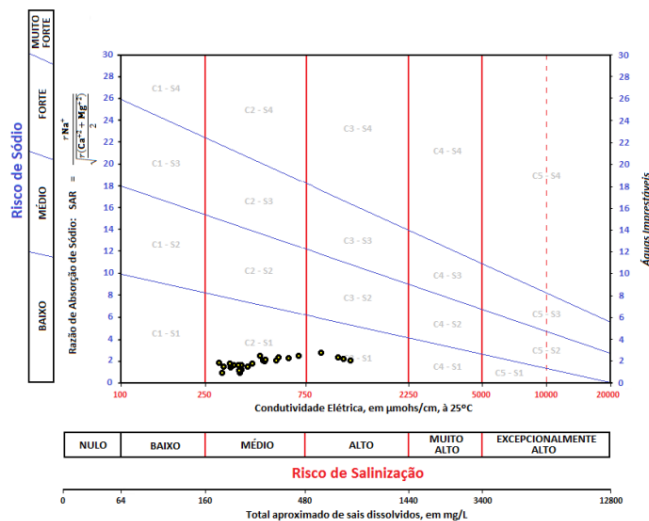
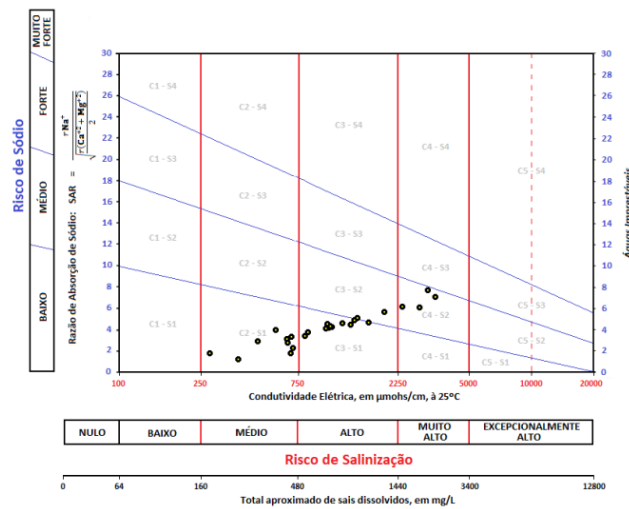


Figura 7. Classificação das águas do açude Pedras Brancas segundo o diagrama de salinidade do USSL



## 5 CONCLUSÕES

A análise descritiva dos parâmetros do estudo foi importante para inferir a ocorrência de salinização nos reservatórios, por elevados valores de CE e STD. Cátions móveis ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) foram dominantes para os dois reservatórios, devido ao intemperismo químico característico nas reações de troca iônica entre os sedimentos. Entre os ânions,  $\text{HCO}_3^-$  teve predominância para Banabuiú, devido a maior concentração de gás carbônico dissolvido, enquanto que para Pedras Brancas a incidência de salinização conferiu maiores concentrações de  $\text{Cl}^-$ , com mistura completa dos sedimentos.

A Análise de Componentes Principais (ACP) contribuiu significativamente para indicar o processo hidroquímico dominante nos reservatórios. A hidrólise de minerais silicatados forma espécies de  $\text{Na}^+$  facilmente dissolvidas no meio, indicando forte incidência de salinização, definida especialmente pela alta concentração vetorial de ânion  $\text{Cl}^-$  e altos valores de condutividade elétrica.

As correlações empíricas entre o perfil iônico e volume disponível e precipitação volumétrica representaram uma abordagem essencial para a análise hidroclimática, além de reunir os principais tópicos abordados nesse estudo.

Os diagramas de salinidade USSL definiram que as águas do reservatório Banabuiú podem ser classificadas como de boa qualidade, salinidade média e baixo risco de sodicidade. Essas águas podem ser recomendadas para a irrigação na maioria dos solos e culturas, diferentemente das águas do Pedras Brancas, descritas como de elevado risco salino e baixo risco de sodicidade para a maioria do período analisado.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP Project # PNE-0112-00042.01.00/16) pelo apoio para a realização do presente estudo.

**REFERÊNCIAS**

1. Gama, A. F.; Oliveira, A. H. B.; Cavalcante, R. M. *Quim. Nova* **2013**, *36*, 462.
2. Andrade, C. F. F.; Niencheski, L. F. H.; Attisano, K. K.; Milani, M. R. *Quim. Nova* **2012**, *35*, 5.
3. Gomes, O. V. O. ; Aires, J. R.; Silva-Filho, E. V. *Águas Subterrâneas* **2013**, *27*, 1.
4. Boyd, C. E.; Trucker, C. S. Somridhivej, B. *J. World Aquacult. Soc.* **2016**, *47*, 6.
5. Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nöges, T., Nöges, P., Attayde, J. L., Zohary, T., Coppens, J., Bucak, T., Menezes, R. F., Freitas, F. R. S., Kernan, M., Sødergaard, M., Beklioglu, M. *Hydrobiologia* **2015**, *750*, 201.
6. Delpla, I.; Jung, A.-V.; Baures, E.; Clement, M.; Thomas, O. *Environment Int.* **2009**, *39*, 1225.
7. Havens, K., Jeppesen, E. *J. Water* **2018**, *10*, 1.
8. Kaushal, S.S., Duan, S., Doody, T.R., Haq, S., Smith, R.M., Newcomer Johnson, T.A., Newcomb, K.D., Gorman, J., Bowman, N., Mayer, P.M., Wood, K.L., Belt, K.T., Stack, W.P. *Appl. Geochem.* **2017**, *83*, 121.
9. Kumar, S.K.; Logeshkumaran, A.; Magesh, N.S.; Godson, P.S.; Chandrasekar, N. *Appl Water Sci* **2015**, *5*, 335.
10. Alves, J. C.; Araújo, R. G. O.; Souza, E. S.; Soares, S. C. R.; Cerqueira, J. R.; Garcia, K. S.; Queiroz, A. F. S.; Vale, M. G. R.; Borges, A. R. *Quim. Nova* **2018**, *41*, 417.
11. Andrade, A. S.; Queiroz, V. T.; Lima, D. T.; Drumond, L. C. D.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 1129.
12. <http://www2.dnocs.gov.br>, acessada em setembro 2018.
13. <http://www.hidro.ce.gov.br>, acessada em setembro 2018.
14. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*; 20<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, 1998.

15. Arheimer, B.; Donnelly, C.; Stromqvist, J. *Journal of Water Management and Research* **2013**, *69*, 201.
16. Elias, E.; Rango, A.; Smith, R.; Maxwell, C.; Steele, C.; Havstad, K. *Journal of Contemporary Water Research and Education* **2016**, *158*, 46.
17. Rehana, S.; Mujumdar, P. P. *Swiss J. Hydrol.* **2012**, *444*, 63.
18. Gastmans, D. *et al.* Geochemical evolution of groundwater in a basaltic aquifer based on chemical and stable isotopic data: case study from the Northeastern portion of Serra Geral Aquifer, São Paulo state (Brazil). **Journal of Hydrology**, v.535, p. 598–611, 2016.
19. Yin, L. *et al.* Hydrogeochemical and isotopic study of groundwater in the harbor lake basin of the Ordos plateau, NW China. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 6, p. 1575–1584, 2011.
20. Edmunds, W. M. *et al.* Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. **Applied Geochemistry**, v. 18, n.6, p. 805–822, 2003.
21. Liu, F. *et al.* The role of anthropogenic and natural factors in shaping the geochemical evolution of groundwater in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 327–340, 2015.
22. Huang, T.; Pang, Z. The role of deuterium excess in determining the water salinization mechanism: a case study of the arid Tarim River Basin, NW China. **Applied Geochemistry**, v. 27, n. 12, p. 2382–2388, 2012.
22. Santos, C. E. O.; Peixoto, J. S.; Alves, J. P. H. *Sci. Plena* **2017**, *13*, 10.
23. Mortatti, J.; Oliveira, H.; Bibian, J. P.; Lopes, R. A.; Bonassi, J. A.; Probst, J. L. *Geochim. Bras.* **2006**, *20*, 267.
24. Neto, B. B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. *Quim. Nova* **2006**, *29*, 1401.
25. Nobre, A. C. O.; Almeida, A. S. S. S.; Lemos, A. P. D.; Magalhães, H. C. R.; Garruti, D. *S. Molecules* **2015**, *20*, 9803.
26. Pessoa, E. K. R.; Lima, P. L. S. C.; Nascimento, W. S.; Chellappa, S.; Chellappa, N. *Biota Amazônia* **2017**, *7*, 59.
27. Dos Santos, J. S.; Oliveira, E.; Massaro, S. *Quim. Nova* **2000**, *23*, 453.
28. Loesch, C.; Hoeltgebaum, M. **Métodos estatísticos multivariados**. 1. ed. Editora Saraiva, Rio de Janeiro, 2017.
29. Cortes, J. E.; Muñoz, L. F.; Gonzalez, C. A.; Niño, J. E.; Polo, A.; Suspes, A.; Siachoque, S.C.; Hernández, A.; Trujillo, H. *Swiss J. Hydrol.* **2016**, *539*, 113.

