



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA AMBIENTAL, HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FOLHA
AMARGOSA – SD.24-VD-II, CENTRO SUL DA BAHIA

JOSIMAR ANDRÉ DA SILVA

SALVADOR

2021

**HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FOLHA
AMARGOSA – SD.24-VD-II, CENTRO SUL DA BAHIA**

Josimar André da Silva

Orientador: Prof. Dr. Natanael da Silva Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

SALVADOR

2021

S586 Silva, Josimar André da

Hidroquímica das águas subterrâneas da Folha Amargosa –
SD.24-VD-II, Centro Sul da Bahia / Josimar André da Silva. –
Salvador, 2021.

47 f.

Orientador: Prof. Dr. Natanael da Silva Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Geociências, 2021.

1. Águas Subterrâneas. 2. Hidroquímica. 3. Aquíferos. I.
Barbosa, Natanael da Silva. II. Santos, Cristovaldo Bispo dos.
III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDU 556.3

JOSIMAR ANDRÉ DA SILVA

**HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FOLHA
AMARGOSA – SD.24-VD-II, CENTRO SUL DA BAHIA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos em 24/09/2021.

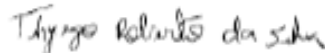
APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:



Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos (Coorientador) – (UFBA/
CPRM)



Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes (UFC)



Dr. Thyego Roberto da Silva (APAC-PE)

Salvador – BA
2021

“Tua palavra, tua história, tua verdade fazendo
escola e tua ausência fazendo
silêncio em todo lugar. Metade de mim agora é
assim: *De um lado a poesia, o verbo, a saudade,
do outro a luta, a força e a coragem pra chegar
no fim.*

(...) *Só enquanto eu respirar, vou me lembrar de
você(s).*

Só enquanto eu respirar.”

Com gratidão, a **Dona Elza e Sr. Otávio**,
meus avós (In Memoriam) e fonte de inspiração,
dedico.

(adaptado da música O anjo mais velho, O teatro
Mágico)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo, ser luz, meu sustento, minha fortaleza e abrigo. Obrigado senhor, por me possibilitar chegar até aqui e por colocar anjos ao meu redor.

A dona Elza e Sr. Otávio, meus avós e fonte de inspiração. Foram seus princípios e ensinamentos, que me guiaram até aqui. As minhas mães: Rosimeire, Miralva e Dinalva, porque não precisa gerar, basta amar. Aos meus irmãos e minha irmã, tios, tias, primos e primas (que também são irmãos), sobrinha e afilhado por acreditarem e por toda força.

A minha noiva e companheira Jucy Aragão, por todo amor, compreensão, parceria e cuidado. A minha sogra, Jucélia, por todo carinho, pela acolhida e pela mão estendida. Estendo a toda sua família que se tornou também minha família.

Ao professor Dr. Natanael por ter aceitado esse desafio, pela orientação e por todas as contribuições. Ao professor Dr. Cristovaldo Bispo que desde a graduação embarcou nessa jornada comigo, por todo apoio e incentivo.

Ao programa de Pós-Graduação em Geologia da UFBA, ao NEHMA e todos (as) professores (as) e funcionários (as) do IGEO que contribuíram com o meu mestrado. A Cerb pela cessão dos dados e à CAPES pela concessão da bolsa. O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES – Código de financiamento 001.

Aos amigos do Km Cem, velhos companheiros de caminhada. Aos da época da graduação, da residência estudantil e a todos que vem agregando nesse caminhar e torcendo por mim.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite e por todas as contribuições.

Os caminhos que me trouxeram até aqui, tem os passos daqueles que me estenderam as mãos e caminharam comigo. E eu, sou extremamente grato a todos.

RESUMO

Investigações hidrogeoquímicas foram realizadas para identificar os processos que afetam a química das águas subterrâneas na região que compreende a folha de Amargosa. Esta área localiza-se na porção Centro-sul da Bahia, é delimitada pelos paralelos 13°00'S e 13°30'S e os meridianos 39° 30'W e 40°00' W, e possui uma área de aproximadamente 2.996 km². As unidades geológicas que a compõem, integram o contexto tectônico do Bloco Jequié, umas das entidades geotectônicas arqueanas pertencentes ao Cráton do São Francisco, estruturado após a colisão paleoproterozóica. Para alcançar os objetivos, análises físico-químicas de 49 poços representativos foram utilizadas e interpretadas segundo a química dos íons principais, gráficos convencionais e bivariados. A ampla variação de fácies hidroquímicas demonstra a heterogeneidade do meio aquífero, predominando fácies HCO₃⁻ nas regiões de clima subúmido e fluxo ativo enquanto as fácies Cl ocorrem em condições semiáridas e fluxo lento. Os mecanismos de interação água-rocha e evaporação controlam a química das águas subterrâneas com destaque para os processos geoquímicos de intemperismo dos silicatos (plagioclásios, piroxênios e biotita); desequilíbrio cloro-alcálico, comuns nas fácies HCO₃⁻ e reação de troca de base, representativos das fácies Cl. Os resultados dessa pesquisa permitiram elevar o conhecimento de um sistema complexo e lançar as bases para uma exploração mais racional de aquíferos anisotrópicos.

Palavras-chave: Fácies hidroquímicas; processos hidrogeoquímicos; aquíferos do embasamento cristalino.

ABSTRACT

Hydrogeochemical investigations were carried out to identify the processes that affect the chemistry of groundwater in the region that comprises the Amargosa sheet. This area is located in the Center-South portion of Bahia, is delimited by the parallels 13°00'S and 13°30'S and the meridians 39°30'W and 40°00'W, and has an area of approximately 2,996 km². The geological units that compose it are part of the tectonic context of the Jequié Block, one of the Archean geotectonic entities appurtenant to the São Francisco Craton, structured after the Paleoproterozoic collision. To reach the objectives, physicochemical analyses of 49 representative wells were used and interpreted according to the main ion chemistry, conventional and bivariate graphs. The wide range of hydrochemical facies demonstrates the heterogeneity of the aquifer environment, with HCO₃⁻ facies predominating in regions of sub-humid climate and active flow, while Cl facies occur in semi-arid and slow flow conditions. The mechanisms of water-rock interaction and evaporation control the groundwater chemistry, highlighting the geochemical weathering processes of silicates (plagioclases, pyroxenes and biotite); chlorine-alkaline imbalance, common in the HCO₃⁻ facies and base exchange reaction, representative of the Cl facies. The results of this research made it possible to increase the knowledge of a complex system and establish the basis for a more rational exploration of anisotropic aquifers.

Keywords: Hydrochemical facies; hydrogeochemical processes; Crystalline basement aquifers.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	07
CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1: PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS E EVOLUÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO CRISTALINO DA FOLHA AMARGOSA, SD.24-VD-II, CENTRO-SUL DA BAHIA.....	12
CAPÍTULO 3 – CONCLUSÕES.....	37
APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS AUTORES.....	39
APÊNDICE B – TABELAS COM DADOS BRUTOS.....	40
ANEXO A- REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS....	42
ANEXO B – COMPROVANTE DE PUBLICAÇÃO DO ARTIGO.....	44

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Os aquíferos dependem da interação de fatores geológicos, hidrológicos, climáticos e antropogênicos, que condicionam as formas de recarga, armazenamento, circulação, descarga e qualidade das águas subterrâneas (MATTHESS, 1982; DEHNAVI et al., 2011). Destes, os aquíferos cristalinos são heterogêneos e anisotrópicos, com porosidade e permeabilidade associada a um sistema de fraturamentos interconectados (ABDEL MONEIM, 2004; EMBABY et al., 2016). Assim, a exploração eficiente e gestão integrada desses meios, requer uma compreensão da potencialidade, bem como do comportamento hidrogeoquímico (UMAR et al., 2001).

A evolução dos parâmetros químicos e os fatores que influenciam a mudança da composição química das águas subterrâneas são investigados através de análise estatística descritiva, *box plots*, gráficos de dispersão, cálculo dos índices cloro-alcalinos, diagramas de classificação de fácies hidrogeoquímicas, entre outros (PIPER, 1944; DUROV, 1948; ELANGO e KANNAN, 2007; MONDAL et al., 2010; MAHMOUDI et al., 2017). Estas investigações permitem analisar as tendências composicionais e determinar a evolução dos parâmetros químicos e suas relações com o fluxo subterrâneo, cinética da solução, das interações rocha-água e das fontes de contaminação (TOUMI et al., 2015; YUSIF e EL-AASSAR, 2018).

Ademais, o entendimento da evolução hidrogeoquímica desses aquíferos desempenha um papel importante na avaliação e classificação da qualidade da água

22 subterrânea. São os mecanismos hidrogeoquímicos, tais como a precipitação
23 atmosférica, interação água-rocha e evaporação, que condicionam os processos
24 responsáveis por modificações na composição e variam sazonal e espacialmente
25 (MATTHESS, 1982; KUMAR, 2014). No entanto, embora as águas subterrâneas
26 constituam mecanismo importante para o desenvolvimento socioeconômico,
27 principalmente nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro, os estudos referentes aos
28 processos hidrogeoquímicos atuantes nestes aquíferos cristalinos são escassos.

29 Por exemplo, têm-se as regiões como àquelas existentes na Folha Amargosa, SD-
30 24-VD-II, Centro Sul da Bahia, que ocorrem em condições de déficit hídrico superficial
31 que agravam a disponibilidade hídrica. Inserida no médio trecho da bacia hidrográfica
32 do Rio Jiquiriçá, essa folha é limitada pelas coordenadas 13°00' e 13°30' de latitude sul
33 e 39°30' e 40°00' de longitude oeste e corresponde a uma área de aproximadamente
34 2.996 km². Geotectonicamente, é parte integrante do Bloco Jequié, entidade que
35 compõe o Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1977; BARBOSA e SABATÉ, 2004). Por
36 consequência, devido às características litológicas de rochas cristalinas granulíticas, o
37 potencial hidrogeológico dessa região é condicionado pela natureza e comportamento
38 das estruturas do tipo rúptil e o conhecimento da qualidade das águas subterrâneas é
39 inexistente.

40 Neste cenário, esta pesquisa tem como objetivo identificar os processos
41 hidrogeoquímicos que controlam a assinatura geoquímica do aquífero cristalino na
42 região da Folha Amargosa, na escala 1:100.000, tomando como base a química dos
43 íons principais (APÊNDICE B) que possibilitou desenvolver gráficos convencionas para

44 revelar a evolução hidroquímica das águas subterrâneas da área. Os resultados dessa
45 pesquisa contribuem para suprir a lacuna de informações hidrogeológicas e
46 hidrogeoquímicas que afetam a qualidade e a evolução das águas subterrâneas em
47 aquíferos nas regiões semiáridas.

48 A presente dissertação está estruturada em capítulos, constando do artigo, a
49 saber: (i) Processos hidrogeoquímicos e evolução das águas subterrâneas do aquífero
50 cristalino da Folha Amargosa, SD.24-VD-II, Centro-Sul da Bahia, submetido e aceito
51 para publicação pela Revista Águas Subterrâneas.

52 Referências

53 ABDEL MONEIM, A. A. Overview of the geomorphological and hydrogeological
54 characteristics of the Eastern Desert of Egypt. Hydrogeology Journal, 13(2), 416–425,
55 2004. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0364-y>

56 ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências.7, 349-
57 364, 1977. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1977349364>

58 BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic crust of the São
59 Francisco Craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. Precambrian Research 13,1–
60 27,2004. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.03.001>

61 DEHNAVI, A.G.; SARIKHANI R.; NAGARAJU, D. Hydro geochemical and rock water
62 interaction studies in east of Kurdistan, N-W of Iran. International Journal of
63 Environmental Sciences and Research.1(1),16–22, 2011.

64 DUROV, S. A. Natural waters and graphical representation of their composition. Doklady
65 Akademii Nauk USSR. 59,87-90, 1948.

66 ELANGO, L.; KANNAN, R. Chapter 11 Rock–water interaction and its control on
67 chemical composition of groundwater. Developments in Environmental Science, 229–
68 243, 2007. [https://doi.org/10.1016/s1474-8177\(07\)05011-5](https://doi.org/10.1016/s1474-8177(07)05011-5)

69 EMBABY, A.I.; RAZACK, M; LECOZ, M.; POREL, G. Hydrogeochemical assessment of
70 groundwater in the Precambrian rocks, South Eastern Desert, Egypt. Journal of Water
71 Resource and Protection. 8, 293–310, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.83025>

72 KUMAR, P. J. S. Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi
73 Industrial Area: Differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination.
74 Chemie Der Erde - Geochemistry, 74(4), 641–651,
75 2014. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2014.02.002>

76 MAHMOUDI, N.; NAKHAEI, M.; PORHEMMAT, J. Assessment of hydrogeochemistry
77 and contamination of Varamin deep aquifer, Tehran Province, Iran. Environmental Earth
78 Sciences, 76(10), 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6698-2>

79 MATTHESS, G. The properties of groundwater. Wiley, New York, p 498, 1982.

80 MONDAL, N. C.; SINGH, V. P.; SINGH, V. S.; SAXENA, V. K. Determining the
81 interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions
82 chemistry. Journal of Hydrology, 388(1-2), 100–111,
83 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.032>

84 PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses.
85 Transactions, American Geophysical Union, 25(6), 915–923,
86 1944. <https://doi.org/10.1029/tr025i006p00914>

87 TOUMI, N.; HUSSEIN, B. H. M.; RAFRAFI, S.; EL KASSAS, N. Groundwater quality and
88 hydrochemical properties of Al-Ula Region, Saudi Arabia. Environmental Monitoring and
89 Assessment, 187(3), 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4241-4>

90 UMAR, A.; UMAR, R.; AHMAD, M.S. Hydrogeological and hydrochemical framework of
91 regional aquifer system in KaliGanga sub-basin India. Environmental Geology. 40(4–5),
92 602–661, 2001. <https://doi.org/10.1007/s002540000215>

93 YOUSIF, M.; EL-AASSAR, A. H. M. Rock-water interaction processes based on
94 geochemical modeling and remote sensing applications in hyper-arid environment:
95 cases from the southeastern region of Egypt. Bulletin of the National Research Centre,
96 42(1), 2018. <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0004-7>

97 **CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1:**
98 **PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS E EVOLUÇÃO DAS**
99 **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO CRISTALINO DA**
100 **FOLHA AMARGOSA, SD.24-VD-II, CENTRO SUL DA BAHIA**

101 **Hydrogeochemical Processes and Groundwater Evolution of the Crystalline**

102 **Aquifer of Amargosa Sheet, SD.24-VD-II, South-Central of Bahia**

103 Josimar André da Silva¹, Natanael da Silva Barbosa¹, Cristovaldo Bispo dos Santos^{1,2}

104 ¹Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA) - Universidade Federal da Bahia, Serviço Geológico do
105 Brasil²

106 (josimar.geologar@gmail.com, ndbarbosa@ufba.br, bispo@ufba.br)

107 **Resumo**

108 Investigações hidrogeoquímicas foram realizadas com o objetivo de identificar os
109 processos que afetam a composição química das águas subterrâneas na região centro-
110 sul da Bahia, que compreende a folha Amargosa. Quarenta e nove análises
111 hidroquímicas de poços representativos na área foram utilizadas e seus resultados
112 interpretados conforme a química dos íons principais, por meio de gráficos
113 convencionais e bivariados. Ocorre ampla variação de fácies hidroquímicas,
114 predominando espécies catiônicas mistas (Ca-Na+K) e Cl⁻ e HCO₃⁻ como as fácies
115 aniônicas dominantes. Em geral, as fácies HCO₃⁻ ocorrem nas regiões de clima
116 subúmido e fluxo ativo enquanto as fácies Cl⁻ ocorrem em condições semiáridas e fluxo
117 lento. Os mecanismos de interação água-rocha e evaporação são os principais
118 processos hidrogeoquímicos que controlam a química das águas subterrâneas, com
119 destaque para o intemperismo dos silicatos (plagioclásios, piroxênios e biotita);

120 desequilíbrio cloro-alkalino, comuns nas fácies HCO_3^- e reação de troca de base,
121 representativos das fácies Cl^- . Assim sendo, a pesquisa contribui para suprir lacunas e
122 apresentar informações contextuais acerca dos processos que controlam a assinatura
123 geoquímica do aquífero cristalino e possíveis variações da qualidade da água
124 subterrânea de modo a elevar o conhecimento de um meio complexo e estabelecer as
125 bases para uma exploração mais racional destes aquíferos anisotrópicos.

126 **Palavras-chave:** Fácies hidroquímicas; processos hidrogeoquímicos; aquífero
127 cristalino.

128 **Abstract**

129 Hydrogeochemical investigations were carried out in order to identify the processes
130 that affect the chemistry of groundwater in the south-central region of Bahia that
131 comprises the Amargosa sheet. Forty-nine hydrochemical analysis of representative
132 wells in the area were used and their results interpreted according to the chemistry of
133 the major ions, using conventional and bivariate graphs. There is a wide range of
134 hydrochemical facies, with mixed cationic species (Ca-Na + K) and Cl^- and HCO_3^-
135 predominating as the dominant anionic facies. In general, HCO_3^- facies occur in regions
136 of sub-humid climate and active flow while the Cl^- facies occurs in semi-arid conditions
137 and slow flowlines. The mechanisms of water-rock interaction and evaporation are the
138 main hydrogeochemical processes that control the chemistry of groundwater, with an
139 emphasis on the weathering of silicates (plagioclases, pyroxenes and biotite); chlorine-
140 alkaline imbalance, common in HCO_3^- facies and cation exchange reaction,
141 representative of Cl^- facies. Therefore, this work contributes to fill gaps and present

142 contextual information about the processes that control the geochemical signature of the
143 crystalline aquifer and possible variations in the quality of groundwater, in order to raise
144 the knowledge of a complex system and establish the basis for a more rational
145 exploration of anisotropic aquifers.

146 **Keywords:** Hydrochemical facies; hydrogeochemical processes; crystalline aquifer.

147 **1. Introdução**

148 A escassez de água é um desafio crescente nas regiões áridas e semiáridas do
149 mundo (KINZELBACH et al., 2010; SCANLON et al., 2006). Nessas regiões, onde os
150 recursos hídricos superficiais são deficitários e muitas vezes, escassos, as águas
151 subterrâneas desempenham um papel importante na irrigação e no abastecimento
152 (ZAKI et al., 2019). Muitas vezes, são consideradas a única fonte provável de água
153 doce, devido à sua disponibilidade quantitativa e espacial (MACDONALD et al., 2012).
154 Não obstante, esses recursos são, por vezes, águas fósseis não renováveis (SULTAN
155 et al., 2007) e sua composição química é controlada por fatores naturais (*i.e.*, interação
156 água-rocha, intemperismo, troca iônica e intrusão da água do mar) e atividades
157 antropogênicas que atuam de maneira individual ou coletiva (DOMENICO e
158 SCHWARTZ, 1990; GULER e THYNE, 2004; AYENEW et al., 2008; GIRIDHARAN et
159 al., 2008; ALY, 2014). As interações desses fatores resultam em uma combinação de
160 várias assinaturas hidrogeoquímicas das águas.

161 Os processos hidrogeoquímicos são responsáveis por modificações na
162 composição das águas subterrâneas e variam sazonal e espacialmente (MATTHESS,
163 1982; KUMAR et al., 2009). Desse modo, a assinatura hidrogeoquímica desempenha

164 um papel importante na avaliação e classificação da qualidade da água subterrânea.
165 Destarte, embora as águas subterrâneas constituam um ativo importante para o
166 desenvolvimento socioeconômico dos domínios semiáridos, a exemplo da região da
167 Folha Amargosa (SD.24-VD-II), os estudos referentes aos processos hidrogeoquímicos
168 atuantes em aquíferos cristalinos são escassos. Desta forma, a gestão eficiente dos
169 recursos hídricos subterrâneos e o desenvolvimento de estratégias de proteção
170 requerem uma compreensão das suas propriedades hidrogeológicas e
171 hidrogeoquímicas (UMAR et al., 2001).

172 Nesse sentido, o artigo objetiva a identificação dos processos hidrogeoquímicos
173 que controlam a assinatura geoquímica do aquífero cristalino na região da Folha
174 Amargosa, na escala 1:100.000, com base na química dos íons principais, gráficos
175 convencionais e a evolução hidrogeoquímica das águas subterrâneas. Os resultados
176 deste estudo contribuirão para suprir a lacuna de informações hidrogeológicas e de
177 processos hidrogeoquímicos que influenciam a qualidade das águas subterrâneas em
178 aquíferos cristalinos do domínio semiárido.

179 **2. Caracterização Geológica e da Área de Estudo**

180 A folha Amargosa (SD.24-VD-II) localiza-se na porção Centro-sul da Bahia. É
181 delimitada pelos paralelos 13°00'S e 13°30'S e os meridianos 39° 30'W e 40°00' W, e
182 possui uma área de aproximadamente 2.996 km². O clima da região é marcado por uma
183 zona de transição com predomínio do tropical semiárido a semiúmido, a leste (IBGE,
184 2002). A precipitação média anual compreende faixas decrescentes de isoietas que
185 variam de 1000 a 600 mm/ano para as porções ocidentais, indicando uma tendência

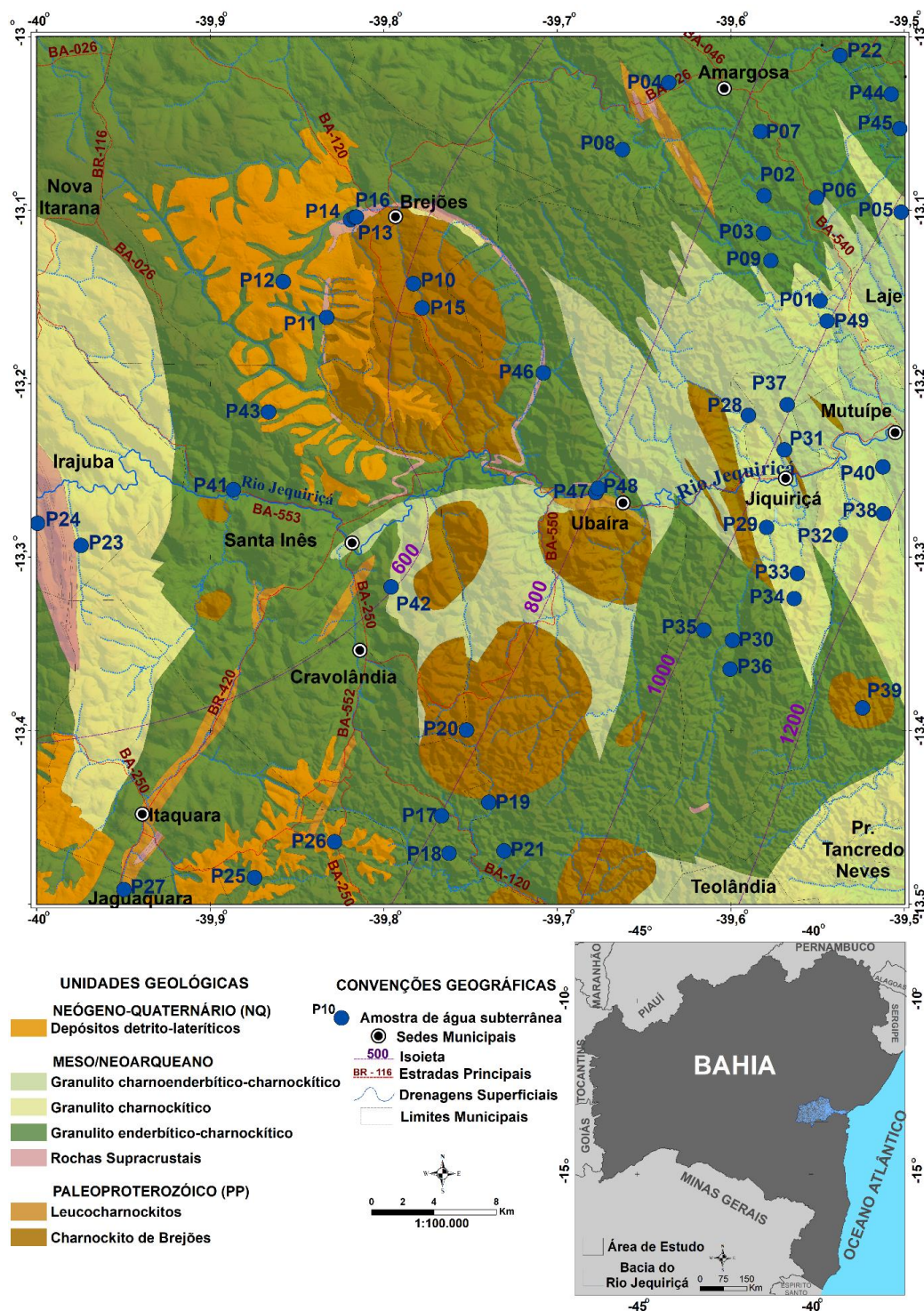
186 crescente à semiaridez. Em geral, as maiores cotas pluviométricas são registradas
187 entre os meses de dezembro a março.

188 O relevo possui morfologia de serras marginais com colinas, morros e interflúvios
189 quase sempre alongados, com controle estrutural sobre as drenagens (BRASIL, 1981).
190 As principais drenagens superficiais estão inseridas na bacia hidrográfica do rio
191 Jequiriçá, composta por rios predominantemente intermitentes, com a exceção do rio
192 homônimo, que tem comportamento perene, dispostas em um padrão
193 predominantemente subdendrítico e localmente retangular.

194 As unidades geológicas integram o contexto tectônico do Bloco Jequié, umas das
195 entidades geotectônicas arqueanas que compõem o Cráton do São Francisco,
196 estruturado após a colisão paleoproterozóica (ALMEIDA, 1969; 1977; BARBOSA e
197 SABATÉ, 2002; 2003; 2004). O Complexo Jequié integra o arcabouço geológico (Figura
198 1), composto por granulitos heterogêneos de granulação média, charnockitos e
199 enderbitos e rochas supracrustais, intrudidos por leucocharnockitos, gabro-anortositos e
200 domos charnockitos (FORNARI e BARBOSA, 1994; CRUZ et al., 2014). Sobreposta ao
201 embasamento cristalino, ocorrem coberturas arenosas detrítico-lateríticas cenozoicas,
202 na porção oeste.

203 Em termos hidrogeológicos, as rochas do Complexo Jequié compõem aquíferos
204 fissurais esparsos, descontínuos e de pequena extensão. Em geral, perfaz dois
205 sistemas estruturais: o primeiro, de orientação NNE-SSW, representado por falhas
206 normais e fraturas abertas e outro compressivo, associado a transcorrências WNW-ESE
207 (CRUZ et al., 2014; BARBOSA et al., 2006; MACEDO, 2006). Adicionalmente, as
208 coberturas detríticas lateritizadas cenozoicas ocorrem de maneira descontínua sobre o

209 embasamento (CRUZ et al.,2014; SANTOS et al., 2010), as quais podem se constituir
 210 como um meio de armazenamento, transmissão e recarga para os aquíferos
 211 subjacentes.



213 **Figura 1:** Mapa Geológico da folha Amargosa com a localização dos pontos de
214 amostragem das águas subterrâneas (modificado de CRUZ et al., 2014).

215 3. Materiais e Métodos

216 A composição química das águas subterrâneas na área de estudo foi analisada
217 em termos dos constituintes iônicos maiores, tais como o cálcio (Ca^{2+}), magnésio
218 (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e
219 sulfato (SO_4^{2-}), dos constituintes iônicos menores: nitrato (NO_3^-), ferro total (Fe), fluoreto
220 (F^-) e sílica (SiO_2) e dos parâmetros físico-químicos: pH e condutividade elétrica (CE).
221 Foram utilizados 49 dados de análises hidroquímicas de poços tubulares da base de
222 dados da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB). As
223 análises químicas seguiram procedimentos analíticos padrão e as metodologias do
224 *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON et al., 1995).

225 Os critérios para definição dos processos e fácies hidroquímicas foram
226 determinados através de análise estatística descritiva *box plots*, gráficos de dispersão,
227 cálculo dos índices cloro-alcalinos e diagramas de classificação de fácies
228 hidrogeoquímicas. Essas representações auxiliam na compreensão da evolução dos
229 parâmetros químicos com o fluxo da água no aquífero.

230 Na classificação e comparação dos tipos de água, com base na composição
231 iônica, os diagramas de Piper (1944) e Durov (1948) foram aplicados para análise das
232 tendências composicionais na água subterrânea e determinar a evolução dos
233 parâmetros químicos como resultado da relação com o fluxo subterrâneo, cinética da

234 solução, das interações rocha-água e das fontes de contaminação (TOUMI et al., 2015;
235 YUSIF e EL-AASSAR, 2018).

236 Os fatores que influenciam a mudança da composição química das águas
237 subterrâneas podem ser investigados pela relação gráfica da diferença das
238 concentrações em miliequivalentes de ácidos fracos (HCO_3^-) e fortes (Cl^- e SO_4^{2-})
239 *versus* a diferença dos elementos alcalino-terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e alcalinos (Na^+ e K^+).
240 As fontes principais dos íons dissolvidos são determinadas nos diagramas de Gibbs
241 (1970) que estabeleceu uma relação simples de STD *versus* a razão $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$,
242 bem como, STD *versus* a razão $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ e fornece informações sobre a
243 importância relativa dos mecanismos que controlam a composição química da água
244 subterrânea: (1) precipitação atmosférica, (2) interação água-rocha e (3) evaporação
245 (ELANGO e KANNAN, 2007; MONDAL et al., 2010; MAHMOUDI et al., 2017). Ademais,
246 diagramas bivariados entre os constituintes dissolvidos da água subterrânea
247 evidenciam o equilíbrio estequiométrico entre as diferentes espécies iônicas e os
248 processos hidrogeoquímicos que afetam a solução.

249 **4. Resultados e Discussão**

250 **4.1 Composição Química das Águas Subterrâneas**

251 A composição química da água subterrânea é resultado dos processos
252 geoquímicos atuantes durante o fluxo através dos materiais geológicos, da interação
253 com clima e de ações antropogênicas. A Tabela 1 mostra o resumo estatístico dos
254 parâmetros físicos e químicos das amostras de água subterrânea com valores mínimo,
255 máximo, médio, desvio padrão e o valor máximo permitido para consumo, segundo a

256 Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) e a Portaria nº 888/2021, do Ministério da
 257 Saúde (BRASIL, 2021). O pH varia de levemente ácido (pH 5,36) devido,
 258 provavelmente, à produção de CO₂ no solo pela respiração radicular e a lixiviação de
 259 ácidos orgânicos decorrentes da decomposição da matéria orgânica, a ligeiramente
 260 alcalino (pH 8,52), em função da lixiviação dos constituintes dissolvidos na água
 261 subterrânea (e.g., bicarbonato) (KIM et al., 2000).

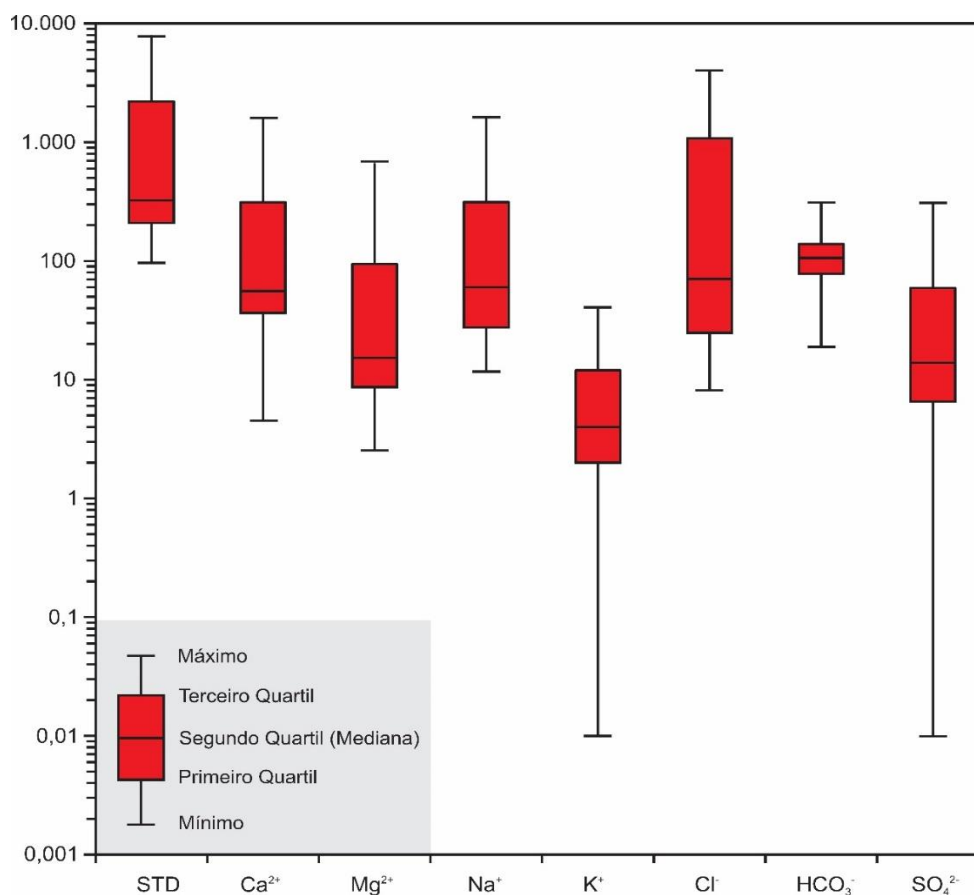
262 Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e a Condutividade Elétrica (CE) variam de
 263 97,90 a 7.813,00 mg.L⁻¹ e de 150,60 a 12.020,00 µS.cm⁻¹, com valores médios de
 264 1.417,12 mg.L⁻¹ e 2.181 µS.cm⁻¹, respectivamente. Via de regra, 53% das águas são
 265 doces, 16% salobras e 31% salgadas. Já a CE indica que 63% das amostras são
 266 apropriadas para o consumo humano e se concentram, principalmente, na porção
 267 centro-sudeste da área. Em geral, 51% das amostras se adequam aos valores máximos
 268 permitidos de potabilidade (VMP), para os parâmetros analisados na tabela 1. Essas
 269 águas, em sua maioria, ocorrem na região leste e estão associadas a precipitações
 270 maiores que 800 mm/ano.

271 Os blox plots (Figura 2) ilustram a variação estatística da concentração dos íons
 272 maiores e demonstram que a composição química das águas subterrâneas é dominada
 273 pelos ânions Cl⁻ e HCO₃⁻ e pelos cátions Ca²⁺ e Na⁺.

Parâmetros	Mín.	Máx.	Média	Desvio Padrão	WHO 2011	MS 888/2021	% Amostras abaixo do VMP
pH	5,36	8,52	7,48	0,60	6 – 9	6 – 9	98
STD (mg.L⁻¹)	97,90	7.813,00	1.417,12	1.878,32	1.500	500	53
Ca²⁺ (mg.L⁻¹)	4,58	1.582,00	262,96	410,57	200	--	71
Mg²⁺ (mg.L⁻¹)	2,55	668,00	84,04	135,35	150	--	82

Na⁺ (mg.L ⁻¹)	12,00	1.600,00	211,84	301,68	200	200	71
K⁺ (mg.L ⁻¹)	0,00	40,00	7,48	8,48	13	--	80
Cl⁻ (mg.L ⁻¹)	8,33	3.999,00	656,52	1.004,34	600	250	59
HCO₃⁻ (mg.L ⁻¹)	0,00	309,00	110,75	59,53	--	--	--
CO₃⁻ (mg.L ⁻¹)	0,00	63,00	2,79	10,84	--	--	--
SO₄²⁻ (mg.L ⁻¹)	0,01	304,00	40,09	61,59	600	250	96
NO₃⁻ (mg.L ⁻¹)	<LDM	6,51	0,39	1,01	--	10	100
F⁻ (mg.L ⁻¹)	<LDM	3,71	0,63	0,85	--	1,5	88
SiO₂ (mg.L ⁻¹)	12,30	181,00	57,35	29,08	--	--	--
CE (μS.cm ⁻¹)	150,6	12.020,00	2.180,18	2.889,72	1.500	--	63

274 **Tabela 1:** Estatística descritiva dos parâmetros físicos e químicos das águas
 275 subterrâneas da folha Amargosa na região centro-sul da Bahia e padrões de referência
 276 de potabilidade da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) e da Portaria nº
 277 888/2021, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).



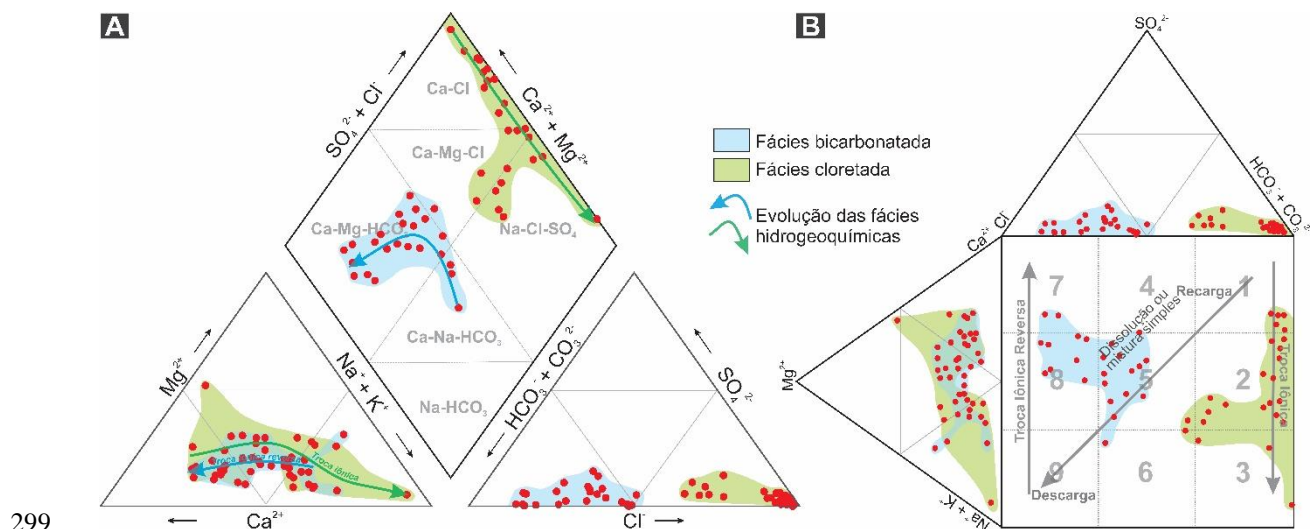
279 **Figura 2:** Distribuição de valores dos íons principais e sólidos totais dissolvidos nas
280 águas subterrâneas dos aquíferos cristalinos da folha Amargosa na região centro-sul da
281 Bahia.

282 4.2. Fácies hidrogeoquímicas

283 As fácies hidrogeoquímicas e a relação entre os íons dissolvidos são analisados
284 plotando os dados hidroquímicos em miliequivalentes no diagrama tri linear de Piper
285 (1944) (Figura 3a). Oito fácies foram identificadas: Ca-Na-HCO₃ (22,4%), Ca-Na-Cl
286 (20,4%), Ca-HCO₃ (18,4%), Na-Cl (16,3%), Ca-Cl (12,2%), Na-HCO₃ (6,1%), Ca-Cl-
287 HCO₃ (2%) e Mg-Cl (2%). As fácies catiônicas predominantes são mistas (Ca-Na+K)
288 enquanto Cl⁻ e HCO₃⁻ são as fácies aniônicas dominantes.

289 Em geral, as fácies HCO₃⁻ estão associadas às regiões de clima subúmido com
290 recarga ativa das águas subterrâneas. Já as fácies Cl⁻, ocorrem em condições
291 semiáridas de fluxo subterrâneo lento.

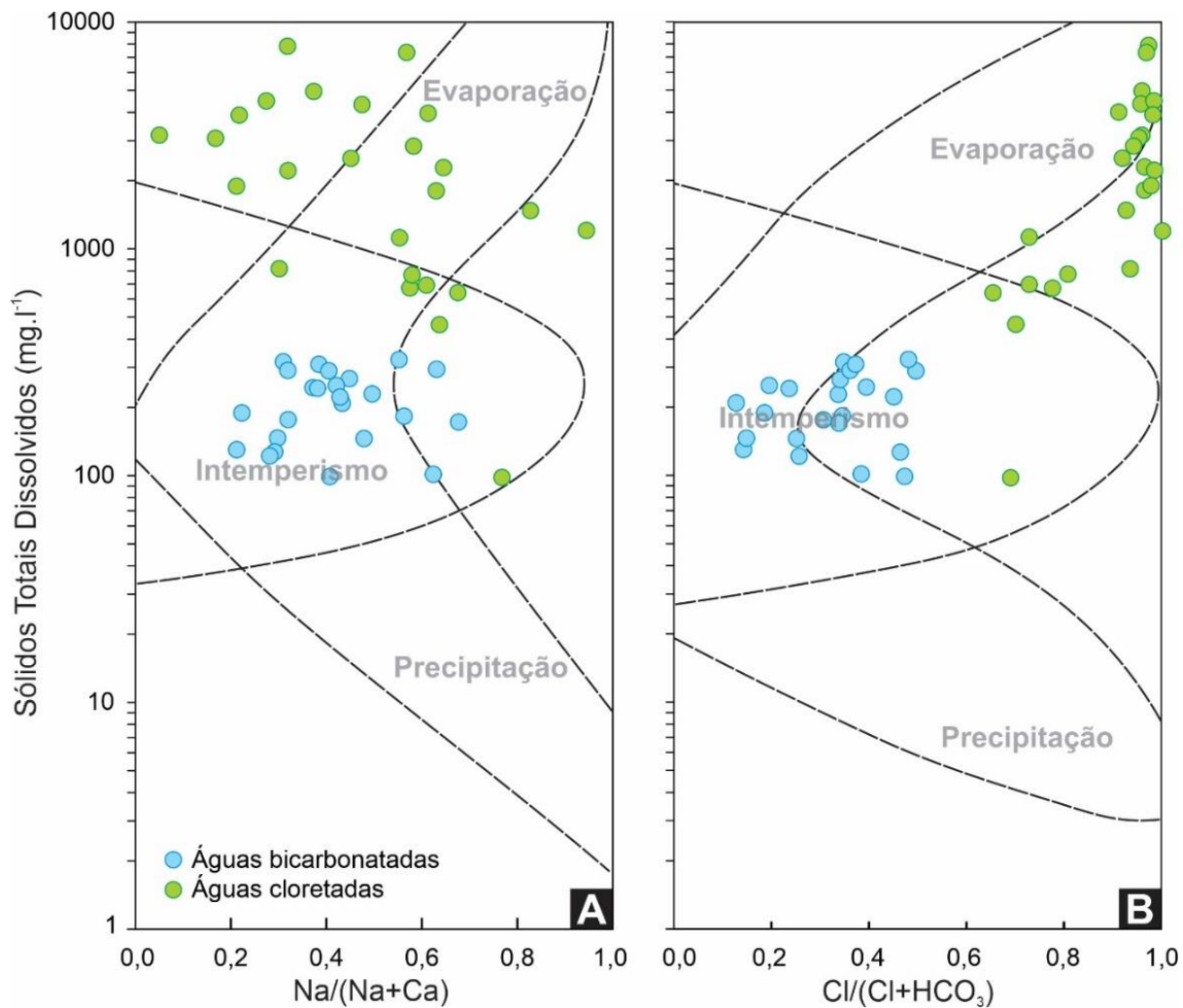
292 O diagrama de Durov (1948) exhibe a relação dos tipos de água com os processos
293 hidrogeoquímicos (CHADHA, 1999) (Figura 3b). As amostras no diagrama de Durov
294 indicam processo de troca iônica ou desequilíbrio cloro-alcálico nos campos 2 e 3, onde
295 o Ca²⁺ e Mg²⁺ da água subterrânea reage com os argilominerais para liberar íons Na⁺;
296 troca iônica reversa ou reação de troca de base nos campos 7 e 8, quando Na⁺ e K⁺ na
297 água são substituídos por íons Mg²⁺ e Ca²⁺ e; o campo 5 que representa águas que
298 exibem dissolução ou mistura simples.



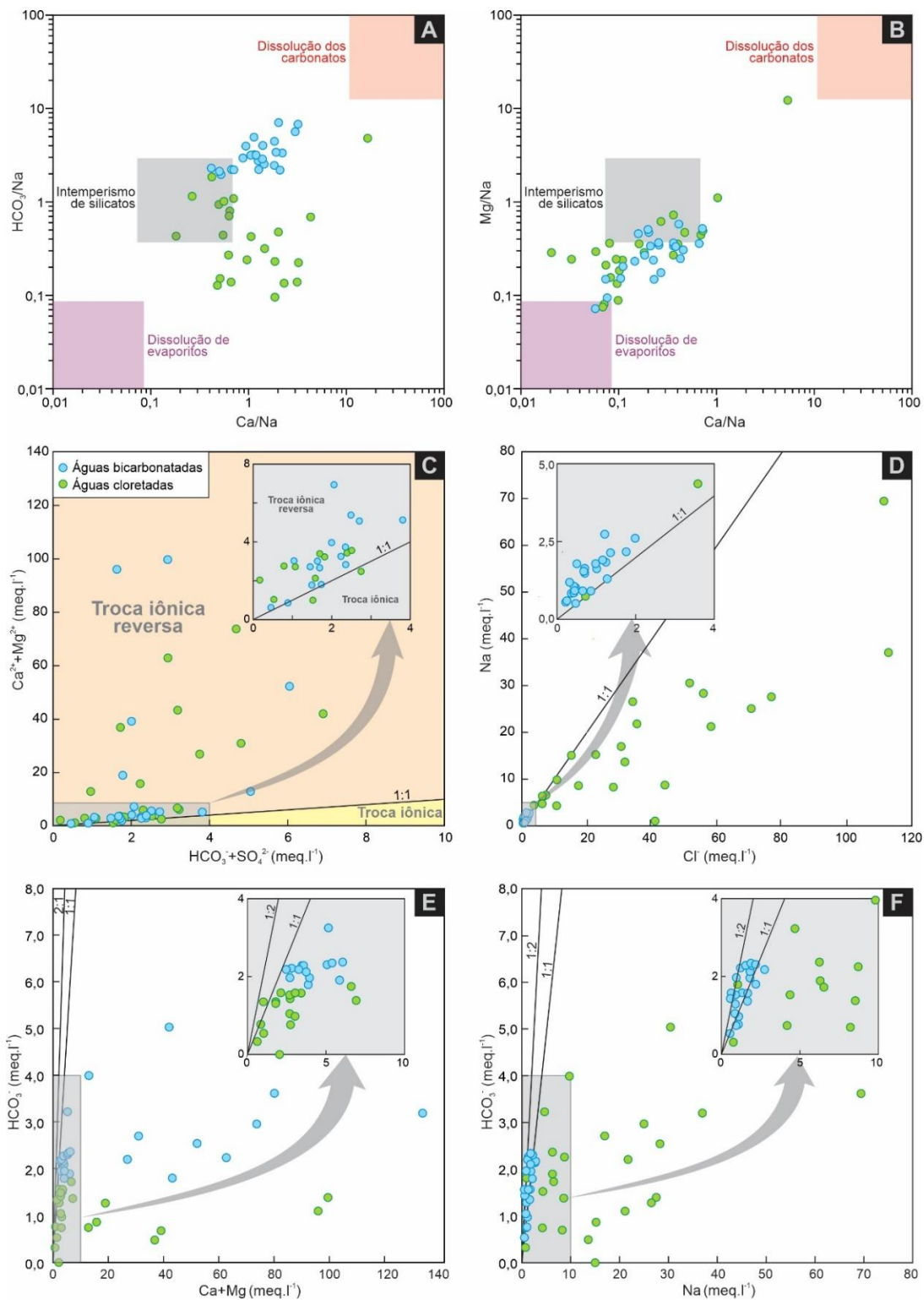
299
 300 **Figura 3:** Diagramas de classificação de fácies hidrogeoquímicas para as águas
 301 subterrâneas da folha Amargosa na região *centro-sul da Bahia*. (a) Classificação de
 302 acordo com o diagrama tri linear de Piper (1944); (b) Classificação de acordo com o
 303 diagrama de Durov (1948).

304 4.3. Mecanismos e processos que controlam a composição química da água 305 subterrânea

306 A concentração dos íons dissolvidos nas águas subterrâneas é controlada por
 307 mecanismos e processos hidrogeoquímicos que dependem dos litótipos, da solubilidade
 308 das rochas e da natureza das reações (KEBEDE et al., 2005; SRINIVASAMOORTHY et
 309 al., 2008; YOUSIF e EL-AASSAR, 2018). Um conjunto de processos hidrogeoquímicos
 310 ocorre durante o fluxo subterrâneo, tais como intemperismo, dissolução, troca iônica,
 311 oxidação e redução (JALALI, 2006; 2008). O diagrama de Gibbs (Figura 4) indica que,
 312 na área aqui estudada, o intemperismo e a evaporação são os principais mecanismos
 313 no controle da composição química das águas subterrâneas, relacionados às fácies
 314 bicarbonatadas e cloretadas, respectivamente.



315
 316 **Figura 4:** Mecanismos que controlam a composição química da água subterrânea na
 317 área de estudo, identificados por meio da relação entre STD e $Na/(Na+Ca)$ (A) e entre
 318 STD e $Cl/(Cl+HCO_3)$ (B) (modificado de GIBBS, 1970).



319
 320 Figura 5. Relação gráfica entre (A) $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ e $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$; (B)
 321 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ e $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$; (C)
 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ e $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$; (D) Na^+ e Cl^- ; (E) HCO_3^- e $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ e (F) HCO_3^- e

322 Na⁺, para identificar os principais processos hidrogeoquímicos atuantes na área de
323 estudo.

324 Mecanismos geoquímicos como interação água-rocha e evaporação (Figura 5)
325 exercem importantes influências em sistemas hidrogeoquímicos (KUMAR, 2014). Os
326 resultados dessas influências podem ser interpretados por meio dos gráficos bivariados
327 de HCO₃⁻/Na⁺ *versus* Ca²⁺/ Na⁺ (Figura 5A) e Mg²⁺/ Na⁺ *versus* Ca²⁺/ Na⁺ (Figura 5B).
328 Ambos os gráficos mostram que a dissolução de carbonatos é ausente nos aquíferos e
329 o principal processo atuante é o intemperismo dos silicatos e, em menor proporção, a
330 evaporação, que controla o conteúdo de soluto hidroquímico da água subterrânea.

331 As reações de troca iônica entre a água subterrânea e o aquífero hospedeiro
332 durante o trânsito e a residência são determinados por meio dos índices cloro-alcálicos
333 (CA) (SCHOELLER, 1967). Reações de troca de base (troca iônica) ocorrem quando os
334 íons de Na⁺ e K⁺ na água são substituídos por íons de Mg²⁺ e Ca²⁺, com índices CA
335 positivos. Quando os íons Mg²⁺ e Ca²⁺ da água são trocados por Na⁺ e K⁺ das rochas,
336 ocorre uma reação de troca indireta ou desequilíbrio cloro-alcálico, representados por
337 valores negativos (KUMAR, 2014). Os índices CA e a concentração de cátions e ânions
338 em meq.l são calculados usando as equações 1 e 2.

$$339 \text{ Índice cloro-alcálico I (CA1)} = \frac{\text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{NO}_3^-} \quad (\text{Equação 1})$$

$$340 \text{ Índice cloro-alcálico II (CA2)} = \frac{\text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{NO}_3^-} \quad (\text{Equação 2})$$

341 Os índices CA1 na área de estudo estão entre -2,59 e 0,99 com valor médio de -
342 0,22 e desvio padrão 0,81, enquanto os valores CA2 variam de -0,61 a 22,85 com
343 média de 2,80 e desvio padrão 5,17. Em geral, 51% das amostras apresentam razões
344 CA positivas como uma reação de troca direta de bases, representativos das fácies
345 cloretadas. Em contrapartida, 49% apresentam CA negativos, ilustrando um
346 desequilíbrio cloro-alcalino, como ocorre nas fácies bicarbonatadas.

347 Em geral, o Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- e SO_4^{2-} são derivados da dissolução de carbonatos
348 e sulfatos quando as amostras seguem a relação 1:1 no diagrama ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) *versus*
349 ($\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$). A maioria das amostras estão acima da linha 1:1 de modo que as
350 concentrações de ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) são superiores às de ($\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$) e sugerem que o
351 excesso de Ca^{2+} e Mg^{2+} ocorre devido ao processo de troca iônica reversa que é um
352 resultado significativo do intemperismo de silicatos (Figura 5C), como plagioclásios,
353 piroxênios e biotitas, minerais comuns na área de estudo (BARBOSA et al., 2006;
354 MACEDO, 2006).

355 A relação gráfica Na/Cl (Figura 5D) é usada para determinar o mecanismo de
356 salinidade, interação rocha-água e intrusões salinas (SIVASUBRAMANIAN et al., 2013).
357 As águas bicarbonatadas possuem razão Na/Cl maior que 1, sendo interpretado que o
358 Na^+ é liberado a partir do intemperismo de silicatos. Se o intemperismo do silicato é
359 uma fonte provável de Na^+ , as amostras têm HCO_3^- como o ânion mais abundante, pois
360 a reação dos feldspatos com o ácido carbônico na presença de água libera HCO_3^- . Já
361 as águas cloretadas com razão Na/Cl menor que 1 indica a possibilidade de outros
362 processos químicos, como a troca iônica reversa.

363 A razão $\text{HCO}_3^-/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$, em sua maioria, é maior que 1 (Figura 5E). Desse
364 modo, a dissolução de carbonatos (e.g., calcita e dolomita) não configura um processo
365 importante, com as concentrações excessivas de Ca^{2+} e Mg^{2+} afetadas por outros
366 processos hidroquímicos. Em geral, a razão molar $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ indica dissolução da
367 dolomita, calcita e de silicatos, quando é menor, maior e igual à unidade,
368 respectivamente. Nesse estudo, a maioria das amostras têm razões molares $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$
369 maiores que 2, demonstrando que a concentração de Ca^{2+} deve ser afetada pela
370 dissolução dos minerais silicáticos.

371 O gráfico bivariado HCO_3^- versus Na^+ (Figura 5F) mostra que as águas
372 bicarbonatadas apresentam um coeficiente de correlação alto (0,7) e uma razão HCO_3^-
373 $/\text{Na}^+$ maior ou igual a 1, revelando o intemperismo de minerais silicáticos (e.g.,
374 plagioclásios) nas águas subterrâneas. Já as águas cloretadas possuem razão HCO_3^-
375 $/\text{Na}^+$ menor que 1, de modo que o excesso de Na^+ se deve principalmente a processos
376 de troca catiônica.

377 5. Conclusões

378 Neste estudo, a análise química e os diagramas de distribuição dos íons principais
379 demonstram que a composição química da água subterrânea nos aquíferos cristalinos
380 da folha Amargosa, na região *centro-sul da Bahia*, resulta dos processos
381 hidrogeoquímicos que atuaram durante o fluxo através dos mecanismos de interação
382 água-rocha e da evaporação. Estes processos que controlam a composição química
383 das águas, compreendem o intemperismo dos silicatos (e.g. plagioclásios, piroxênios e
384 biotita), reações de troca de base e desequilíbrio cloro-alcalino.

385 Em geral, a qualidade da água subterrânea está intrinsecamente relacionada à
386 condição climática, com 51% das amostras, no que diz respeito aos parâmetros aqui
387 abordados, adequadas para consumo por humanos e distribuídas predominantemente
388 nas porções orientais e representadas por precipitações acima de 800 mm/ano.

389 As fácies catiônicas mistas (Ca-Na) e aniônicas Cl^- e HCO_3^- são dominantes.
390 Dessas, as fácies HCO_3^- se concentram nas porções orientais da área de estudo,
391 típicas de clima subúmido e precipitações acima de 800 mm/ano, onde o fluxo hídrico
392 subterrâneo é ativo. Já as fácies Cl^- , se concentram nas porções ocidentais, em
393 condições semiáridas e precipitações inferiores a 800 mm/ano.

394 Destarte, a pesquisa contribuiu com informações contextuais acerca dos processos
395 que controlam a assinatura geoquímica do aquífero cristalino e possíveis variações da
396 composição da água subterrânea na folha Amargosa, de modo a elevar
397 significativamente o conhecimento desse meio complexo e lançar as bases para uma
398 exploração mais racional de aquíferos anisotrópicos.

399 **Agradecimentos**

400 Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
401 Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, à Companhia de Engenharia Hídrica e de
402 Saneamento da Bahia (Cerb) pela concessão dos dados e ao Programa de Pós-
403 graduação em Geologia da UFBA.

404 **Referências**

- 405 ALMEIDA, F.F.M. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: Sociedade
406 Brasileira de Geologia, Congresso Brasileiro de Geologia, 23, Salvador, Anais: 29-46,
407 1969.
- 408 ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências.7: 349-
409 364, 1977.
- 410 ALY, A. A. Hydrochemical characteristics of Egypt western desert oases groundwater.
411 Arabian Journal of Geosciences, 8(9), 7551-7564, 2014.
412 <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1680-8>
- 413 EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. Standard
414 methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. Washington, DC:
415 American Public Health Association (APHA), 1995.
- 416 AYENEW, T.; DEMLIE, M.; WOHNLICH, S. Hydrogeological framework and occurrence
417 of groundwater in the Ethiopian aquifers. Journal of African Earth Sciences, 52:97–113,
418 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2008.06.006>
- 419 BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P. Geological features and the Paleoproterozoic collision
420 of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: a
421 synthesis. Anais Da Academia Brasileira de Ciências, 74(2), 343–359, 2002.
422 <https://doi.org/10.1590/s0001-37652002000200009>
- 423 BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. Colagem paleoproterozóica de placas arqueanas do
424 Cráton do São Francisco na Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 33(1-
425 Suplemento):7-14, 2003.

426 BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic crust of the São
427 Francisco Craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research* 13:1–27,
428 2004.

429 BARBOSA, J.; NICOLLET, C.; LEITE, C.; KIENAST, J.; FUCK, R.; MACEDO,
430 E. Hercynite–quartz-bearing granulites from Brejões Dome area, Jequié Block, Bahia,
431 Brazil: Influence of charnockite intrusion on granulite facies metamorphism. *Lithos*, 92(3-
432 4), 537–556, 2006. <https://10.1016/j.lithos.2006.03.064>

433 BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto Radam Brasil. Folha
434 SD.24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.
435 Rio de Janeiro. v.24 620p, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

436 BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o
437 Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para
438 dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para
439 consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 2021.
440 [https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562)
441 [318461562](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562)

442 CHADHA, D. K. A proposed new diagram for geochemical classification of natural
443 waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, 7(5), 431–439, 1999.
444 <https://doi.org/10.1007/s100400050216>

445 CRUZ, S. C. P.; LEAL, A. B. M.; DAMASCENO, G. C.; PALMEIRA, D. S. Carta
446 geológica: folha Amargosa - SD.24-V-D-II. Salvador: CPRM. Escala 1:100.000, 2014.
447 <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18290>

- 448 DOMENICO, P.A.; SCHWARTZ, F.W. Physical and chemical hydrogeology. Wiley, New
449 York, p 824, 1990.
- 450 DUROV, S. A. Natural waters and graphical representation of their composition. Dokl.
451 Akad. Nauk. USSR 59,87-90, 1948.
- 452 ELANGO, L.; KANNAN, R. Chapter 11 Rock–water interaction and its control on
453 chemical composition of groundwater. Developments in Environmental Science, 229–
454 243, 2007. [https://doi.org/10.1016/s1474-8177\(07\)05011-5](https://doi.org/10.1016/s1474-8177(07)05011-5)
- 455 FORNARI, A.; BARBOSA, J. S. F. Litogeoquímica do Batolito Enderbítico- Cranockítico
456 do Complexo Jequié, na região de Laje e Mutuipe, Bahia. Rev Bras Geoc 24 (1): 13-21,
457 1994.
- 458 GIBBS, R. J. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. Science, 170(3962),
459 1088–1090, 1970. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>
- 460 GIRIDHARAN, L.; VENUGOPAL, T.; JAYAPRAKASH, M. Evaluation of the seasonal
461 variation on the geochemical parameters and quality assessment of the groundwater in
462 the proximity of River Cooum Chennai India. Environ Monit Assess 143:161–178, 2008.
463 <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9965-y>
- 464 GULER, C. THYNE, G.D. Hydrologic and geologic factors controlling surface and
465 groundwater chemistry in Indian Wells–Owens Valley area southeastern California USA.
466 J Hydrol 285:177–198, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.08.019>
- 467 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de Clima do
468 Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. Escala 1:5.000.000, 2002.

- 469 JALALI, M. Chemical characteristics of groundwater in parts of mountainous region,
470 Alvand, Hamadan, Iran. *Environmental Geology*, 51(3), 433–446,
471 2006. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0338-6>
- 472 JALALI, M. Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of
473 Razan, Hamadan, Iran. *Environmental Geology*, 56(7), 1479–1488,
474 2008. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1245-9>
- 475 KEBEDE, S.; TRAVI, Y.; ALEMAYEHU, T.; AYENEW, T. Groundwater recharge,
476 circulation and geochemical evolution in the source region of the Blue Nile River,
477 Ethiopia. *Applied Geochemistry*, 20(9), 1658–1676,
478 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.04.016>
- 479 KIM, M. J.; NRIAGU, J.; HAACK, S. Carbonate ions and arsenic dissolution by groundwater.
480 *Environmental Science & Technology*, 34, 3094-3100, 2000. <https://doi.org/10.1021/es990949p>
- 481 KINZELBACH, W.; BRUNNER, P.; VON BOETTICHER, A.; KGOTLHANG, L.; MILZOW,
482 C. Sustainable water management in arid and semi-arid regions. In H. Wheater, S.
483 Mathias, & X. Li (Eds.), *Groundwater Modelling in Arid and Semi-Arid Areas*
484 (International Hydrology Series, pp. 119-130). Cambridge: Cambridge University Press,
485 2010. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760280.009>
- 486 KUMAR, P. J. S. Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi
487 Industrial Area: Differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination.
488 *Chemie Der Erde - Geochemistry*, 74(4), 641–651, 2014.
489 <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2014.02.002>

- 490 KUMAR, H.; SAINI, V.; KUMAR, D.; CHAUDHARY, R.S. Influence of trisodium
491 phosphate (TSP) anti-salant on the corrosion of carbon steel in cooling water systems.
492 Indian J Chem Technol 16:401–410, 2009.
- 493 MACDONALD, A.M.; BONSOR, H.C.; DOCHARTAIGH, B.É.Ó.; TAYLOR, R.G.
494 Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environ. Res. Lett. 7, 024009,
495 2012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024009>
- 496 MACEDO, E. P. Petrografia, Litogeoquímica, Metamorfismo e Evolução Geotectônica dos Granulitos das
497 Regiões de Amargosa, Brejões, Santa Inês, Jaguaquara e Itamari, Bahia, Brasil. Tese (Doutorado em
498 Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 336, 2006.
- 499 MAHMOUDI, N.; NAKHAEI, M.; PORHEMMAT, J. Assessment of hydrogeochemistry
500 and contamination of Varamin deep aquifer, Tehran Province, Iran. Environmental Earth
501 Sciences, 76(10), 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6698-2>
- 502 MATTHESS, G. The properties of groundwater. Wiley, New York, p 498, 1982.
- 503 MONDAL, N. C.; SINGH, V. P.; SINGH, V. S.; SAXENA, V. K. Determining the
504 interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions
505 chemistry. Journal of Hydrology, 388(1-2), 100–111,
506 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.032>
- 507 PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses.
508 Transactions, American Geophysical Union, 25(6), 914,
509 1944. <https://doi.org/10.1029/tr025i006p00914>

510 SCANLON, B.R.; KEESE, K.E.; FLINT, A.L.; FLINT, L.E.; GAYE, C.B.; EDMUNDS,
511 W.M.; SIMMERS, I. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid
512 regions. *Hydrol. Process.* 20, 3335–3370, 2006. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>

513 SCHOELLER, H. Geochemistry of groundwater. An international guide for research and
514 practice. UNESCO, chap 15, pp 1–18, 1967.

515 SIVASUBRAMANIAN, P.; BALASUBRAMANIAN, N.; SOUNDANAYAGAM, J. P.;
516 CHANDRASEKAR, N. Hydrochemical characteristics of coastal aquifers of Kadaladi,
517 Ramanathapuram District, Tamilnadu, India. *Applied Water Science*, 3(3), 603–612,
518 2013. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0108-z>

519 SRINIVASAMOORTHY, K.; CHIDAMBARAM, S.; PRASANNA, M. V.;
520 VASANTHAVIHAR, M.; PETER, J.; ANANDHAN, P. Identification of major sources
521 controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain — A case study from Mettur
522 taluk, Salem district, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System Science*, 117(1), 49–58,
523 2008. <https://doi.org/10.1007/s12040-008-0012-3>

524 SULTAN, M.; YAN, E.; STURCHIO, N.; WAGDY, A.; GELIL, K.A.; BECKER, R.;
525 MANOCHA, N.; MILEWSKI, A. Natural discharge: A key to sustainable utilization of
526 fossil groundwater. *J. Hydrol.* 335, 25–36, 2007.
527 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.034>

528 TOUMI, N.; HUSSEIN, B. H. M.; RAFRAFI, S.; EL KASSAS, N. Groundwater quality and
529 hydrochemical properties of Al-Ula Region, Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and*
530 *Assessment*, 187(3), 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4241-4>

- 531 UMAR, A.; UMAR, R.; AHMAD, M.S. Hydrogeological and hydrochemical framework of
532 regional aquifer system in KaliGanga sub-basin India. *Environ Geol* 40(4–5):602–661,
533 2001. <https://doi.org/10.1007/s002540000215>
- 534 WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 4. ed.
535 Geneva, 2011.
- 536 YOUSIF, M.; EL-AASSAR, A. H. M. Rock-water interaction processes based on
537 geochemical modeling and remote sensing applications in hyper-arid environment:
538 cases from the southeastern region of Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*,
539 42(1), 2018. <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0004-7>
- 540 ZAKI, N.A.; HAGHIGHI, A.T.; ROSSI, P.M.; TOURIAN, M.J.; KLØVE, B. Monitoring
541 Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment
542 (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water*, 11, 1456, 2019.
543 <https://doi.org/10.3390/w11071456>

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

544 A análise com base na química e os diagramas de distribuição dos íons principais
545 foram eficazes na identificação dos processos hidrogeoquímicos atuantes na folha
546 Amargosa, na região centro-sul da Bahia. Os resultados demonstram que a composição
547 química destas águas subterrâneas resulta dos processos hidrogeoquímicos que
548 atuaram durante o fluxo através dos mecanismos de interação água-rocha e da
549 evaporação. Além disso, os processos que controlam a composição química das águas,
550 compreendem o intemperismo dos silicatos (e.g. plagioclásios, piroxênios e biotita),
551 reações de troca de base e desequilíbrio cloro-alcálico.
552

553 No que diz respeito a potabilidade, em geral, a qualidade da água subterrânea está
554 intrinsecamente relacionada à condição climática, com 51% das amostras, para os
555 parâmetros aqui abordados, adequadas para consumo por humanos e distribuídas
556 predominantemente nas porções orientais, associadas a precipitações maiores que 800
557 mm/ano.
558

559 Predominam as fácies catiônicas mistas (Ca-Na), enquanto Cl^- e HCO_3^- são as
560 aniônicas dominantes. Dessas, as fácies HCO_3^- se concentram nas porções orientais da
561 área de estudo, típicas de clima subúmido e precipitações acima de 800 mm/ano, onde
562 o fluxo hídrico subterrâneo é ativo. Já as fácies Cl^- , se concentram nas porções
563 ocidentais, em condições semiáridas e precipitações inferiores a 800 mm/ano.

564 Assim, a pesquisa contribuiu com informações contextuais acerca dos processos
565 que controlam a assinatura geoquímica do aquífero cristalino e possíveis variações da

566 composição da água subterrânea na folha Amargosa, de modo a elevar
567 significativamente o conhecimento desse meio complexo e lançar as bases para uma
568 exploração mais racional de aquíferos anisotrópicos.

569 **APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS**
570 **CO-AUTORES**

571 O co-autor Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos é professor associado I do
572 Departamento de Geofísica da Universidade Federal da Bahia e pesquisador em
573 Geociências do Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM - Companhia de Pesquisa de
574 Recursos Minerais. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em
575 Hidrogeologia e Recursos Hídricos, é mestre em Geoquímica e Meio Ambiente e doutor
576 em Geologia pela Universidade Federal da Bahia. É coorientador do discente nesta
577 pesquisa de mestrado e contribuiu de maneira efetiva com o trabalho do discente.

APÊNDICE B – TABELAS COM DADOS BRUTOS

Amostra	CE	STD	PH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	SiO ₂	N
P01	444,00	288,60	6,99	64,00	8,34	50,00	3,00	62,50	110,00	9,61	0,18	69,00	0,00
P02	1.066,00	692,90	7,16	80,00	24,80	143,00	3,90	223,00	145,00	40,30	0,51	83,50	2,25
P03	410,00	266,50	7,66	47,20	13,10	44,00	4,00	41,40	139,00	6,00	0,30	70,80	0,21
P04	4.360,00	2.834,00	7,22	312,00	135,00	500,00	11,00	1.254,00	135,00	73,80	1,65	56,50	0,48
P05	452,00	293,80	6,76	32,10	10,50	63,00	4,00	43,20	133,00	28,00	0,27	68,50	0,27
P06	372,00	241,80	7,37	49,30	13,30	35,00	3,00	24,80	139,00	11,80	0,14	68,30	0,02
P07	1.182,00	768,30	7,56	94,80	22,60	150,00	4,00	255,00	106,00	69,10	0,24	41,00	0,36
P08	1.028,00	668,20	7,79	93,30	14,50	145,00	2,00	231,00	116,00	18,90	2,89	21,40	0,03
P09	264,00	171,60	6,39	15,00	2,94	36,00	15,00	24,30	82,40	8,54	0,07	34,50	0,15
P10	3.400,00	2.210,00	7,33	582,00	94,10	313,00	8,83	1.120,00	29,90	59,10	0,25	44,00	0,19
P11	11.260,00	7.319,00	8,13	1.060,00	328,00	1.600,00	37,40	3.950,00	222,00	269,00	0,03	62,90	0,64
P12	1.847,00	1.200,60	5,36	18,00	13,70	346,00	8,59	538,00	0,00	8,42	0,03	13,50	1,84
P13	6.100,00	3.965,00	8,02	384,00	276,00	700,00	20,00	1.826,00	309,00	88,90	1,06	68,60	0,01
P14	7.590,00	4.933,50	7,26	840,00	386,00	575,00	12,00	2.501,00	182,00	81,80	1,60	40,70	1,15
P15	1.254,00	815,10	7,78	194,00	37,40	96,00	14,00	375,00	45,70	9,51	0,29	39,30	0,10
P16	711,00	462,20	8,15	49,60	9,09	100,00	5,00	127,00	93,80	13,90	3,50	24,00	0,00
P17	187,20	121,70	7,68	43,20	6,58	19,40	4,22	12,80	64,00	1,50	0,01	62,80	0,01
P18	152,00	98,80	7,39	15,20	3,18	12,00	2,00	16,90	32,60	0,01	0,14	40,50	0,19
P19	194,60	126,50	8,26	45,20	5,86	21,30	2,38	23,10	46,20	1,75	0,13	28,50	0,27
P20	376,00	244,40	8,16	55,60	7,39	38,00	4,00	36,00	95,90	6,53	3,71	36,00	0,00
P21	224,00	145,60	8,40	28,20	8,66	13,70	1,86	9,68	95,90	1,09	0,09	41,70	0,15
P22	3.850,00	2.502,50	6,99	414,00	124,00	390,00	8,00	1.077,00	166,00	100,00	0,86	72,80	0,00
P23	4.710,00	3.061,50	7,33	864,00	238,00	200,00	16,00	1.558,00	138,00	32,10	0,86	53,30	6,51

P24	4.860,00	3.159,00	7,28	382,00	292,00	23,10	18,10	1.450,00	111,00	65,90	0,01	72,90	0,00
P25	2.770,00	1.800,50	7,48	179,00	82,20	350,00	15,00	803,00	53,00	64,60	0,15	37,20	0,05
P26	342,00	222,30	7,75	34,80	15,40	30,00	2,00	45,40	95,70	3,93	0,06	66,60	0,42
P27	2.270,00	1.475,50	7,65	35,60	62,70	196,00	13,60	614,00	84,40	32,90	0,78	44,70	0,00
P28	271,60	176,50	8,30	45,50	9,10	24,50	1,80	15,10	59,40	3,21	0,11	30,50	0,13
P29	498,00	323,70	7,50	42,50	13,60	60,00	2,00	70,50	132,00	4,06	0,24	72,40	0,11
P30	156,00	101,40	7,57	12,60	2,55	24,00	1,00	16,80	46,80	5,70	0,26	56,60	0,37
P31	351,30	228,30	7,23	36,50	10,60	41,10	2,70	35,10	120,00	13,90	0,43	68,80	0,17
P32	487,10	316,60	7,22	82,10	15,50	42,30	1,90	44,10	143,00	7,95	0,89	181,00	0,02
P33	473,50	307,80	8,52	69,00	19,80	49,40	2,07	48,20	141,00	19,60	0,26	123,00	0,18
P34	223,60	145,30	6,66	19,00	10,00	20,00	0,00	15,20	78,60	10,60	0,02	36,80	0,10
P35	290,00	188,50	8,13	65,20	8,46	21,50	1,00	15,70	120,00	2,02	1,50	56,70	0,07
P36	150,60	97,90	6,13	4,58	4,70	17,30	1,60	25,60	19,90	6,13	0,20	12,30	1,39
P37	382,40	248,60	7,46	49,30	15,30	41,20	2,60	18,10	129,00	11,80	0,36	78,30	0,01
P38	321,00	208,70	6,94	31,50	15,20	27,50	1,59	11,40	135,00	7,73	0,26	103,00	0,00
P39	200,00	130,00	7,90	42,10	7,32	13,00	1,00	8,33	87,20	1,81	0,39	54,50	0,08
P40	1.723,00	1.120,00	7,85	158,00	59,80	225,00	3,30	378,00	245,00	50,60	1,00	58,00	0,30
P41	12.020,00	7.813,00	6,74	1.582,00	668,00	850,00	40,00	3.999,00	196,00	304,00	0,60	50,90	0,01
P42	6.660,00	4.329,00	7,86	627,00	253,00	650,00	13,00	1.976,00	156,00	168,00	1,91	60,50	0,13
P43	3.503,00	2.277,00	7,53	293,00	51,70	610,00	6,20	1.203,00	78,00	23,90	0,01	35,70	0,00
P44	280,90	182,60	7,88	25,50	6,37	37,60	2,27	25,10	82,70	18,70	0,64	63,10	0,00
P45	447,20	290,70	7,84	39,50	8,48	21,20	2,54	30,60	93,40	8,28	0,37	106,00	0,06
P46	2.900,00	1.885,00	7,13	613,00	103,00	189,00	5,76	996,00	42,30	62,70	0,01	49,10	0,00
P47	5.953,00	3.869,50	7,50	1.530,00	239,00	487,00	12,40	2.059,50	67,60	24,90	0,28	38,70	0,55
P48	6.877,00	4.470,10	7,87	1.460,00	326,00	632,00	16,60	2.720,00	85,30	73,70	0,23	29,90	0,07
P49	983,70	639,40	7,61	45,00	34,90	107,00	2,37	216,00	198,00	28,20	0,90	80,70	0,00

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Orientações para Preparação de Artigo Científico

O trabalho submetido para avaliação preliminar deverá ser elaborado em programa Word for Windows ou compatível, fonte Arial, tamanho 12, espaçamento duplo, em papel A4, margens de 2,5 cm, em uma única coluna, sem numeração de páginas e ter, no máximo, **6.000 (seis mil) palavras, já incluindo tabelas, e 10 (dez) figuras.**

O documento deverá ter a numeração de linhas visível e contínua a partir do seu título, visando acelerar o processo de revisão pelos pares.

IMPORTANTE: O(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) instituição(ções) e endereço(s) para correspondências NÃO DEVEM CONSTAR do texto, a identificação do trabalho será feita pelo preenchimento dos metadados da submissão e pelo número de identificação gerado automaticamente. Referências a publicação(ões) do(s) autor(es) dentro do texto ou na lista de referências devem aparecer somente como "AUTOR", de modo a garantir uma avaliação cega segura.

Serão aceitos trabalhos em **Português, Espanhol e Inglês** e serão publicados no idioma em que foi redigido originalmente. Os artigos deverão, obrigatoriamente, apresentar resumo em Português e Inglês. Além disso, caso o idioma escolhido não seja o Português, o título deverá obrigatoriamente ser apresentado secundariamente nesse idioma, sendo mantido o título original no idioma do artigo. O **título** do trabalho, com no máximo 140 toques, deverá aparecer na primeira página do trabalho, sem a identificação do(s) autor(es). Antecedendo o texto serão apresentados dois **resumos** em Português e Inglês. Para trabalhos redigidos em Espanhol, o segundo resumo será em Português e o terceiro em Inglês. O resumo deverá ser redigido em parágrafo único, variando entre 1.000 a 1.500 toques, apresentando de forma breve e objetiva a justificativa do trabalho, os métodos utilizados, os resultados e as conclusões. Após o resumo, incluir obrigatoriamente uma lista de até cinco palavras-chave que expressem o assunto do trabalho.

O texto deverá ser redigido de forma impessoal, objetiva, clara, precisa e coerente.

O título do trabalho deverá ser apresentado no idioma do trabalho e em Inglês. As abreviaturas deverão ser identificadas, por extenso, na primeira vez que aparecem no texto. As unidades das grandezas numéricas deverão obedecer aos padrões do Sistema Internacional de Unidades (SI).

As **tabelas** serão numeradas sequencialmente e inseridas normalmente dentro do texto. O título deve ser claro e conciso e colocado no topo da tabela. Outras informações relativas à tabela (origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da tabela, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal.

As **figuras** (mapas, fotos, perfis, esboços, gráficos, diagramas, etc.), devem ser numeradas sequencialmente. O título deve ser claro e conciso e colocado na base da figura. Outras informações relativas à figura (legenda, origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da figura, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal. As figuras devem ser preparadas em alta resolução (maiores que 1Mb). Para uma boa legibilidade, os símbolos e caracteres de texto das figuras devem ter tamanho mínimo de 1 mm, mesmo após a redução da figura.

As **citações** mencionadas no texto devem ser indicadas pelo sistema Autor-Data, obedecendo a norma ABNT NBR 10.520 (agosto/2002), ou a que estiver vigente.

Verificação de Plágio – Obrigatório

O trabalho deverá ser submetido à verificação de plágio pela Revista Águas Subterrâneas. Será utilizado o software CopySpider (<https://copyspider.com.br/main/pt-br>), gratuito. Recomendamos que os autores procedam à checagem antes da submissão, para evitar que o artigo seja recusado. Utilizamos os parâmetros internacionais: não serão aceitos artigos cujo índice de semelhança seja superior a 3%.

Fonte: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/about/submissions> <acesso em 15 de junho de 2021>.

ANEXO B – COMPROVANTE DE PUBLICAÇÃO DO ARTIGO



Artigos

Processos Hidrogeoquímicos e Evolução das Águas Subterrâneas do Aquífero Cristalino da Folha Amargosa, SD.24-VD-II, Centro-Sul da Bahia

Hydrogeochemical Processes and Groundwater Evolution of the Crystalline Aquifer of Amargosa Sheet, SD.24-VD-II, South-Central of Bahia

Josimar André da Silva¹; Natanael da Silva Barbosa¹; Cristovaldo Bispo dos Santos¹✉

¹Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA) - Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA

✉ josimar.geologar@gmail.com, ndbarbosa@ufba.br, bispo@ufba.br

Palavras-chave:

Fácies hidroquímicas;
Processos hidrogeoquímicos;
Aquífero cristalino.

Resumo

Investigações hidrogeoquímicas foram realizadas com o objetivo de identificar os processos que afetam a composição química das águas subterrâneas na região centro-sul da Bahia, que compreende a folha Amargosa. Quarenta e nove análises hidroquímicas de poços representativos na área foram utilizadas e seus resultados interpretados conforme a química dos íons principais, por meio de gráficos convencionais e bivariados. Ocorre ampla variação de fácies hidroquímicas, predominando espécies catiônicas mistas (Ca-Na+K) e Cl⁻ e HCO₃⁻ como as fácies aniônicas dominantes. Em geral, as fácies HCO₃⁻ ocorrem nas regiões de clima subúmido e fluxo ativo enquanto as fácies Cl⁻ ocorrem em condições semiáridas e fluxo lento. Os mecanismos de interação água-rocha e evaporação são os principais processos hidrogeoquímicos que controlam a química das águas subterrâneas, com destaque para o intemperismo dos silicatos (plagioclásios, piroxênios e biotita); desequilíbrio cloro-alcálico, comuns nas fácies HCO₃⁻ e reação de troca de base, representativos das fácies Cl⁻. Assim sendo, a pesquisa contribui para suprir lacunas e apresentar informações contextuais acerca dos processos que controlam a assinatura geoquímica do aquífero cristalino e possíveis variações da qualidade da água subterrânea de modo a elevar o conhecimento de um meio complexo e estabelecer as bases para uma exploração mais racional destes aquíferos anisotrópicos.

Keywords:

Hydrochemical facies;
Hydrogeochemical processes;
Crystalline aquifer.

Revisão por pares.
Recebido em: 24/03/2021.
Aprovado em: 01/08/2021.

Abstract

Hydrogeochemical investigations were carried out in order to identify the processes that affect the chemistry of groundwater in the south-central region of Bahia that comprises the Amargosa sheet. Forty-nine hydrochemical analysis of representative wells in the area were used and their results interpreted according to the chemistry of the major ions, using conventional and bivariate graphs. There is a wide range of hydrochemical facies, with mixed cationic species (Ca-Na + K) and Cl⁻ and HCO₃⁻ predominating as the dominant anionic facies. In general, HCO₃⁻ facies occur in regions of sub-humid climate and active flow while the Cl⁻ facies occurs in semi-arid conditions and slow flowlines. The mechanisms of water-rock interaction and evaporation are the main hydrogeochemical processes that control the chemistry of groundwater, with an emphasis on the weathering of silicates (plagioclases, pyroxenes and biotite); chlorine-alkaline imbalance, common in HCO₃ facies and cation exchange reaction, representative of Cl⁻ facies. Therefore, this work contributes to fill gaps and present contextual information about the processes that control the geochemical signature of the crystalline aquifer and possible variations in the quality of groundwater, in order to raise the knowledge of a complex system and establish the basis for a more rational exploration of anisotropic aquifers.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i2.30023>

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é um desafio crescente nas regiões áridas e semiáridas do mundo (KINZELBACH et al., 2010; SCANLON et al., 2006). Nessas regiões, onde os recursos hídricos superficiais são deficitários e muitas vezes, escassos, as águas subterrâneas desempenham um papel importante na irrigação e no abastecimento (ZAKI et al., 2019). Muitas vezes, são consideradas a única fonte provável de água doce, devido à sua disponibilidade quantitativa e espacial (MACDONALD et al., 2012). Não obstante, esses recursos são, por vezes, águas fósseis não renováveis (SULTAN et al., 2007) e sua composição química é controlada por fatores naturais (*i.e.*, interação água-rocha, intemperismo, troca iônica e intrusão da água do

mar) e atividades antropogênicas que atuam de maneira individual ou coletiva (DOMENICO e SCHWARTZ, 1990; GULER e THYNE, 2004; AYENEW et al., 2008; GIRIDHARAN et al., 2008; ALY, 2014). As interações desses fatores resultam em uma combinação de várias assinaturas hidrogeoquímicas das águas.

Os processos hidrogeoquímicos são responsáveis por modificações na composição das águas subterrâneas e variam sazonal e espacialmente (MATTHESS, 1982; KUMAR et al., 2009). Desse modo, a assinatura hidrogeoquímica desempenha um papel importante na avaliação e classificação da qualidade da água subterrânea. Destarte, embora as águas subterrâneas constituam um ativo importante para o desen-