

# AValiação DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA EM AQUÍFERO CÂRSTICO NO CERRADO BRASILEIRO

1309

---

*André Silva Tavares*

*Universidade de Brasília*

*Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900*

*E-mail: andresttavares@gmail.com*

*Rogério Elias Soares Uagoda*

*Universidade de Brasília*

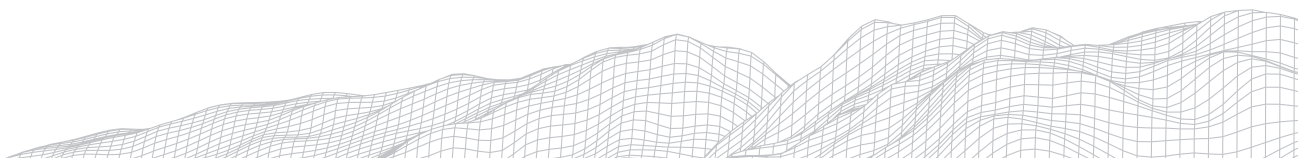
*Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900*

*E-mail: rogeriouagoda@unb.br*

### Resumo

Amostras de água superficial e subterrânea foram coletadas em um sistema cárstico onde alterações na cobertura vegetal nativa deu origem a áreas agropecuárias degradadas em meio aos afloramentos dos carbonatos. Um desnível topográfico negativo acentuado na intersecção dos Grupos Urucua e Bambuí permite que águas dos arenitos tributam para a região dos carbonatos. Essa recarga natural eleva o potencial hídrico e é favorável a viabilização de projetos de irrigação, diante dos baixos índices pluviométricos e mananciais de com baixa vazão. Portanto, análises físico-químicas em rios, poços e cavernas foram realizadas nos períodos de seca e cheias. Os resultados indicaram que a composição química reflete a compartimentação estrutural dos aquíferos. A diluição química nos períodos de cheia reduziram os valores de pH e podem estar associados a contribuição de águas do aquífero superior. No entanto, um monitoramento permanente é necessário para dar suporte à exploração sustentada na região.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Cárstica. Qualidade da Água. Bioma Cerrado.



## 1. Introdução

O cárste é uma paisagem em que o intemperismo químico, por meio da dissolução da rocha, determina as formas do relevo. Tal processo gera em superfície um terreno de depressões fechadas, drenagens descontínuas e sistemas de drenagens subterrâneas. Com a combinação da alta solubilidade da rocha e porosidade secundária (subterrânea) bem desenvolvida o cárste evolui para formas de drenagem singulares, com fraturas alargadas e discontinuidades (WHITE, 1988).

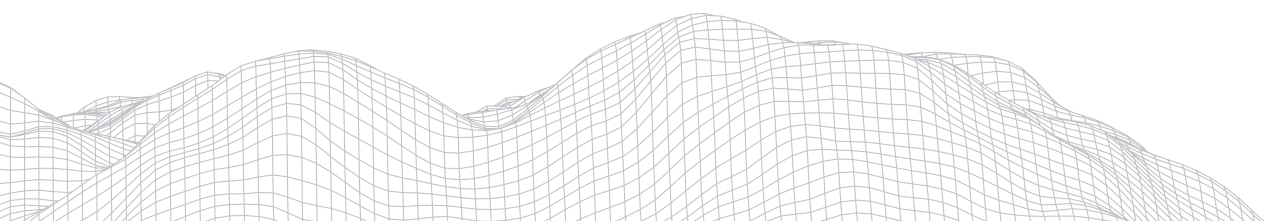
A interação entre água-rocha, independentemente da composição mineral da rocha, pode sofrer dissolução dependendo da condição e ambiente específico. Em temperatura elevada a dissolução é mais lenta, devido a quantidade de gás carbônico retido na água. Apesar disso, em regiões tropicais a vegetação compensa esta relação, devido a maior quantidade de gás carbônico produzido (MOURA, 1990). Logo, aquíferos cársticos são sensíveis a pequenas alterações na superfície, visto que dualidades na dinâmica de armazenamento de água, como a infiltração difusa/lenta nos microporos e concentrada/rápida nas fraturas, e fluxo rápido/turbulento nos condutos subterrâneos, torna-os ambientes mais suscetíveis a poluição por diferentes fontes (FORD; WILLIAMS, 2007).

No processo de evolução da paisagem cárstica, na dissecação do relevo, a água carrega informações relevantes sobre o tipo, a quantidade e qualidade material transportado, podendo revelar aspectos importantes do funcionamento do aquífero, em termos de poluição e vulnerabilidade diante das mudanças climáticas (HARDT, 2011). Assim, os constituintes presentes na água estão sujeitos a uma série de processos e reações, com influência de fatores endógenos e exógenos ao sistema, como processos de dissolução progressiva de minerais do aquífero, reações de troca catiônica, mudanças nas condições de oxidação-redução, infiltração de águas provenientes de outras unidades aquíferas ou de recarga da própria chuva (CPRM, 2007).

No contexto deste estudo, uma região entre o Oeste do Estado da Bahia e o Nordeste do Estado de Goiás ocorre um desnível topográfico negativo acentuado na intersecção entre os arenitos (Grupo Urucuia) e os carbonatos (Grupo Bambuí), interligados nas escarpas da Serra Geral de Goiás. O caminho dessa intersecção contém sedimentos residuais colúvio-eluvionares sustentados por coberturas detríticas arenosas terciário-quadernárias, até os níveis mais baixos, onde as rochas carbonáticas e pelítico-carbonáticas do Grupo Bambuí são expostas (GASPAR; CAMPOS, 2007).

Na região em questão, sobretudo no Oeste Baiano, ocorreram mudanças expressivas no uso e ocupação da terra a partir da década de 1980, devido a supressão da vegetação nativa do Cerrado e a expansão do agronegócio, com destaque para os cultivos de soja, milho, sorgo e algodão. Nas últimas duas décadas, com o uso de irrigação, tecnologias e insumos agrícolas em larga escala, foi constatado o aumento dos níveis de degradação dos solos na região (PIMENTEL et al., 2011).

De tal modo, Faquim et al. (2017) descreve que o aquífero superior (Urucuia) contribui, devido ao desnível topográfico, com nascentes e condutos subterrâneos que fluem para os patamares aplainados no sopé da Serra Geral, alcançando os afloramentos de calcários da Formação Lagoa do Jacaré. Essa recarga natural nos calcários puros, fraturados e carsificados do Bambuí, eleva o potencial hídrico subterrâneo e é favorável a viabilização de projetos de irrigação agropecuária, diante dos baixos índices pluviométricos e mananciais de superfície com baixa vazão.



Nesse sentido, a discretização de amostras de água para a análise geoquímica permite avaliar sinais de qualidade e/ou origem das águas conforme os principais componentes químicos. Logo, este estudo teve como objetivo avaliar parâmetros físico-químicos da água entre os Sistemas Aquífero Urucuia (SAL) e Bambuí (SAB), com ênfase na sensível região cárstica, uma vez que a mesma recebe a contribuição de águas advindas das fontes superiores do aquífero Urucuia, ou seja, de uma região de intensiva produção agroindustrial.

Assim, campanhas de coleta discreta de água superficial e subterrânea em períodos de seca e cheias foram realizadas entre os anos de 2018 e 2021. As amostras foram coletadas em rios, poços e cavernas. Os resultados das análises geoquímica e dos parâmetros físico-químicos podem servir de auxílio no planejamento e gestão da Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APA NRV) (Decreto de 27 de setembro de 2001), responsável pela preservação do patrimônio espeleológico da região.

## 2. Área de Estudo

Entre as bacias hidrográficas do rio São Francisco e Tocantins-Araguaia, a bacia do rio Corrente está localizada na região nordeste do Estado de Goiás (Figura 1), na Formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí), e entre os divisores topográficos da Serra da Saudade, Formação Três Marias e os Grupos Urucuia e Areado (CPRM, 2008). Em grande parte da bacia há um acúmulo de sedimentos clasto-químicos (rochas carbonáticas) que são favoráveis à carstificação.

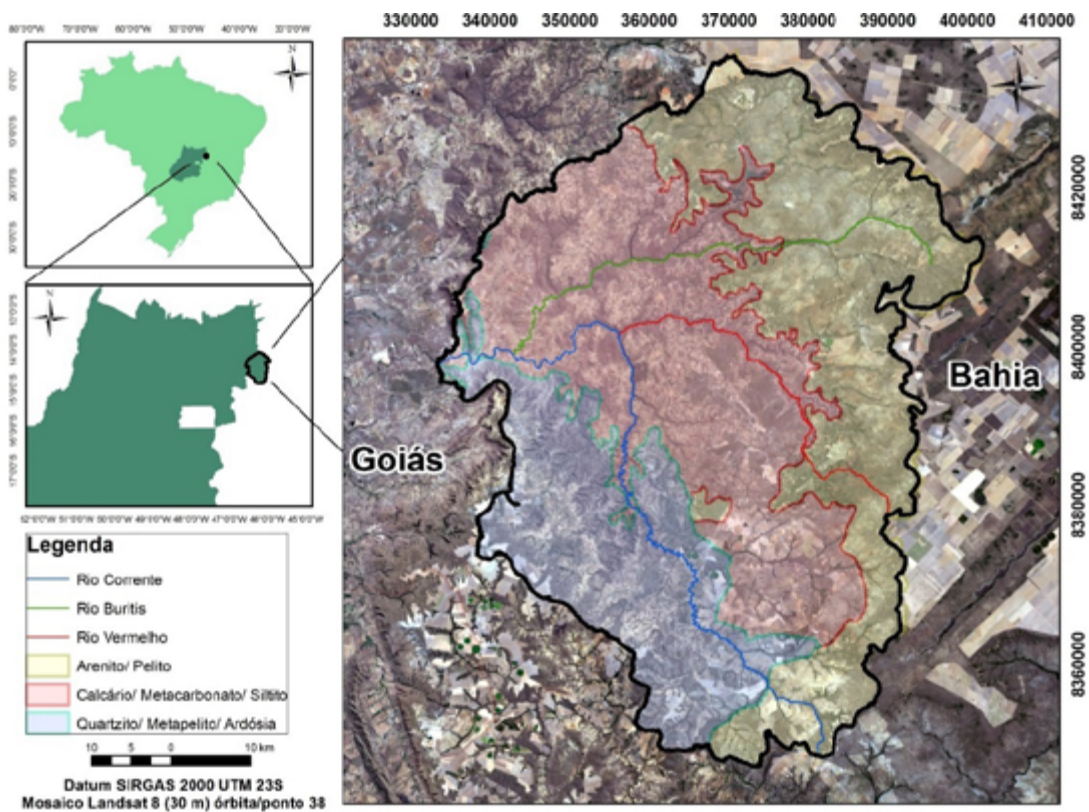


Figura 1: Hidrogeologia da bacia do rio Corrente e seus principais afluentes. Fonte: Autores.

A geomorfologia é composta pelo Chapadão Central (porção superior), originário da superfície Sulamericana que constitui o Grupo Urucuia, formado por arenitos que apresentam sedimentos siliciclásticos inconsolidados, e a porção inferior (Vão do Paranã) com rochas pelíticas intercaladas aos carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí).

Conforme explicitado no decreto de criação da APA NRV (Art. 4º - inciso III), o sistema cárstico da região é sensível a pequenas alterações no uso das terras, e por consequência são proibidas atividades que coloque em risco a erosão das terras, assoreamento dos rios e poluição do aquífero. No entanto, é visto que ocorre uma sucessiva substituição da cobertura vegetal do Cerrado para a produção de pastagens, principalmente próximas aos afloramentos do carbonato, onde a mecanização é inviabilizada.

### 3. Metodologia

As coletas de água foram realizadas em dezoito rios, dez cavernas e sete poços tabulares (Figura 2). O período amostral foi entre os anos de 2018 e 2021, totalizando três campanhas em cada uma das estações (seca e chuvosa). A escolha dos pontos foi orientada pelas áreas mais acessíveis no transector dos Sistemas Aquífero Urucuaia (SAU) e Sistema Aquífero Bambuí (SAB), considerando também as orientações das principais cavernas mapeadas pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV).

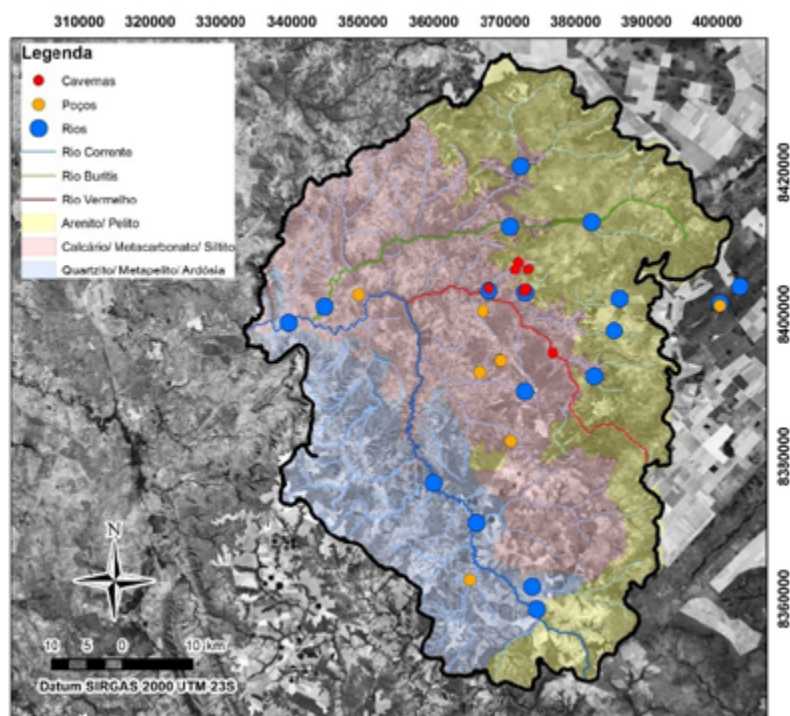


Figura 2: Pontos de coleta das amostras discretas de água na bacia do rio Corrente. Fonte: Autores.

A análise geoquímica foi realizada no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília, a partir dos procedimentos estabelecidos no “Standard Methods” (ALPHA, 2012). As amostras foram coletadas em frascos, filtradas e conduzidas ao Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) para a identificação dos principais cátions. Os ânions ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ) foram determinados por meio do Cromatógrafo Iônico modelo “Dionex ICS90”.

A alcalinidade (íon bicarbonato) foi obtida pelo Método Titulométrico, utilizando  $H_2SO_4$  0,02N padronizado com  $NaOH$  0,05N, por meio do titulador automático “Schott” modelo “Titroline Easy”, resultando no seguinte cálculo:

$$HCO_3^- = \frac{V * M * 61000}{V_a}$$
, onde: V = volume de ácido (ml) até pH 4,3; M = molaridade do ácido;  $V_a$  = volume da amostra (ml). Os parâmetros físico-químicos de Temperatura, pH e Condutividade Elétrica foram medidos em campo através de Sonda Multiparâmetro portátil WTW modelo “Multi350I”.

#### 4. Resultados e discussões

O grau de acidez ou basicidade da solução, expressado pelo valor do pH (potencial hidrogeniônico), apresentou uma média de 5,7 nas águas superficiais e 6,1 nas águas subterrâneas, ambas na formação arenítica do platô da Serra Geral, não ocorrendo variabilidade sazonal para os valores encontrados nos períodos de seca e chuvoso. Esses valores são considerados ligeiramente ácidos, como já era esperado encontrar no Grupo Urucuaia, devido a composição do substrato com baixa mineralização.

O grupo de amostras de águas superficiais coletadas na transição dos arenitos para os carbonatos apresentaram uma variação maior do pH, entre 6,2 e 8,5, revelando a forte associação com a presença dos carbonatos. Houve variação sazonal nesse grupo de amostras, com valores mais elevados nos períodos de seca em fluxos hora superficiais hora subterrâneos, e menores valores de pH no período chuvoso, o que pode estar associada a contribuição das águas do aquífero Urucuaia, devido a maior diluição química.

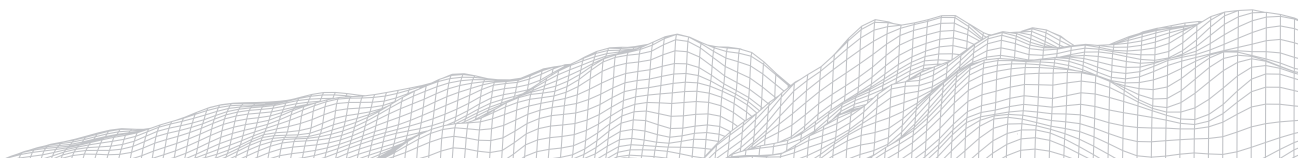
As águas subterrâneas em cavernas e poços em meio aos carbonatos apresentaram um pH médio de 8,1 e 8,6, respectivamente, indicando um grau de basicidade conforme os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (pH entre 6,0 e 9,0) para águas doces, não provocando modificações significativas no ambiente aquático, sendo consideradas levemente alcalinas. Não houve variação sazonal para esse grupo de amostras.

A condutividade elétrica, parâmetro relacionado a presença de íons dissolvidos na água ( $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , e outros), apresentou variação sazonal no grupo de amostras de águas subterrâneas (poços e cavernas). Nos poços os valores mais elevados foram verificados no período de seca, com variação entre 146 e 540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e variação entre 176,8 e 310  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso. No único poço tabular amostrado nos arenitos a variação foi entre 3,17 e 3,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nas cavernas a condutividade também apresentou variação sazonal, com valores mais elevados no período de seca, entre 116,4 e 388,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e valores ligeiramente menores no período chuvoso, entre 120,6 e 284  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os valores reduzidos da condutividade em águas subterrâneas no período chuvoso podem estar relacionados a diluição dos íons de bicarbonato na contribuição das águas do aquífero poroso, devido à ausência de sais na formação dos arenitos.

No caso das águas superficiais, não houve variação sazonal para os valores de condutividade, exceto nos rios Vermelho e Extrema, que apresentaram variações significativas. No rio Vermelho os maiores valores de condutividade foram verificados no período chuvoso (108,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), com valores bem reduzidos no período de seca (23,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). O mesmo ocorreu para o rio Extrema no período chuvoso (197,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e seco (118,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A dinâmica hora superficial hora subterrânea, com sumidouros e ressurgências, é uma possível explicação para o aumento dos valores de condutividade no período chuvoso, visto que os rios Vermelho e Extrema são abastecidos por afluentes subterrâneos (não rastreados) ricos em íons de bicarbonato (Figura 3).

A ausência ou presença de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e íons de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), expressos em termos de íons derivados de carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), pode ser indicada conforme as variações dos teores de alcalinidade ( $\text{mg}/\text{L}$ ). Esses íons básicos reagem quimicamente com soluções ácidas, ocorrendo a reação de neutralização. A variação média dos teores de alcalinidade das amostras coletadas em rios, cavernas e poços, variaram entre 14,64, 48,8 e 122  $\text{mg}/\text{L}$ , respectivamente. Uma correlação entre os valores de pH e alcalinidade revelou grupos distintos de água para o grupo de amostras superficiais (rios) e subterrâneas (cavernas e poços),



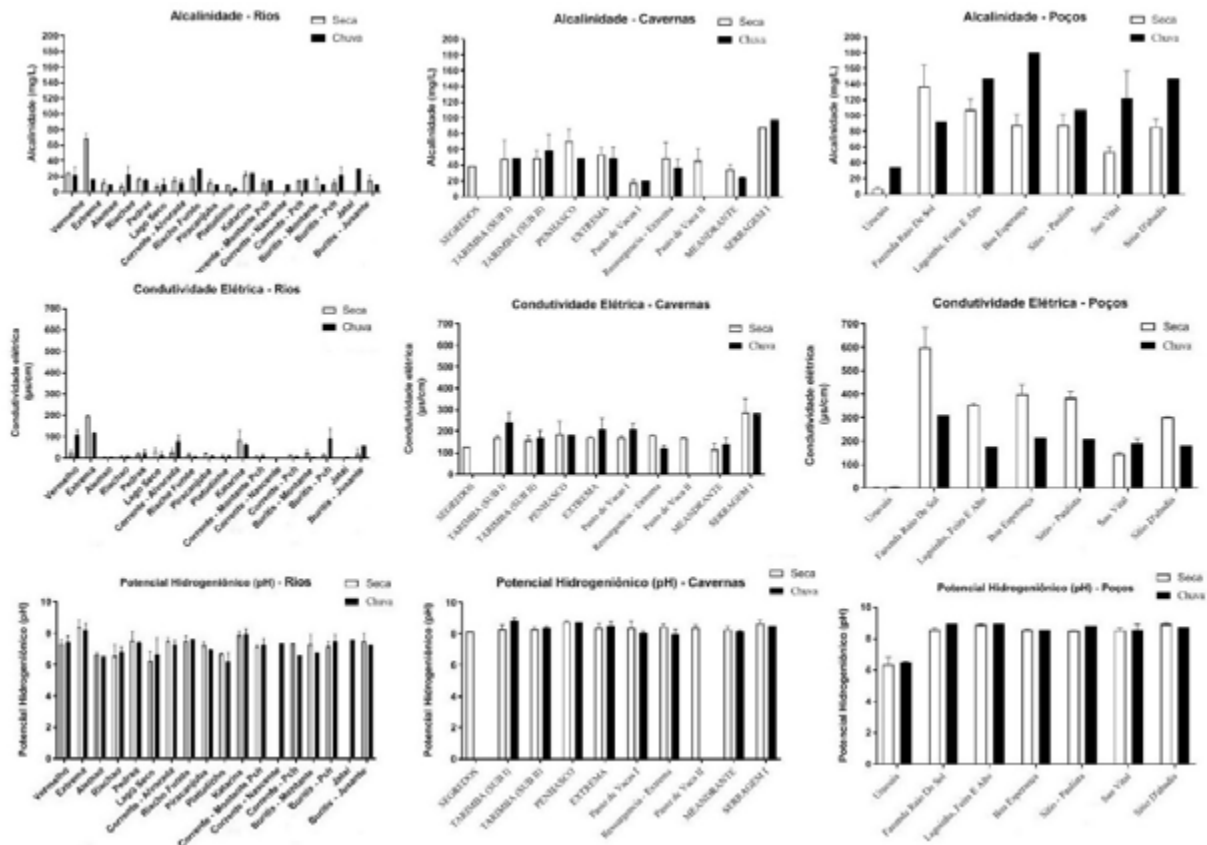


Figura 3: Média das concentrações de alcalinidade, pH e condutividade nas amostras em rios, cavernas e poços, nos períodos seco e chuvoso. Fonte: Autores.

Para representar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes foi utilizado o diagrama triangular de Piper (Figura 4), que ilustra as relações iônicas e permite caracterizar as águas associadas aos diferentes tipos litológicos. Nos três eixos triangulares do diagrama são demonstradas as concentrações dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ , enquanto o triângulo de ânions é composto pelos íons  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e alcalinidade ( $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-}$ ). Portanto, cada análise resultou em um ponto no triângulo de ânions e outro ponto respectivo no triângulo de cátions, sendo projetados diagonalmente e paralelamente até o seu ponto de interseção no losango central (MIZUNO, 2012).

Os pontos plotados no diagrama refletem o domínio dos íons principais. Os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  foram predominantes, seguido pelo íon  $\text{Mg}^{2+}$ , classificadas como águas cálcicas bicarbonatadas ( $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ ). Os teores elevados de nitratos ( $\text{NO}_3^{-}$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) em alguns pontos amostrados podem estar associados à adubos nitrogenados utilizados no cultivo agrícola, com destaque para as águas superficiais na transição entre os arenitos e os carbonatos, classificadas como sulfatadas ou cloretadas.

As águas subterrâneas (cavernas e poços) os teores de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) são mais elevados e podem estar associados a lixiviação em áreas cultivadas e dissolução de substâncias húmicas e fúlvicas presentes nos sedimentos aluvionares gerados pela decomposição da matéria orgânica.

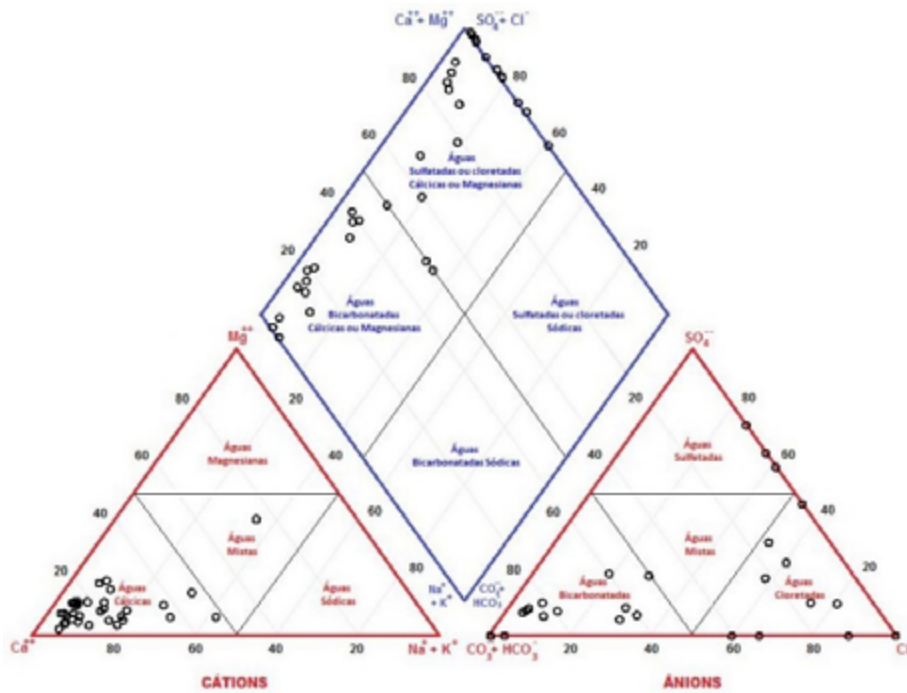


Figura 4: Diagrama de Piper para as amostras de água em rios, cavernas e poços. Fonte: Autores.

Os principais ânions foram destacados na Figura 5. Na distribuição dos pontos as maiores concentrações de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3^-$ ) estão nas amostras coletas em cavernas, enquanto o  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  predominam nas áreas mais elevadas, nos arenitos.

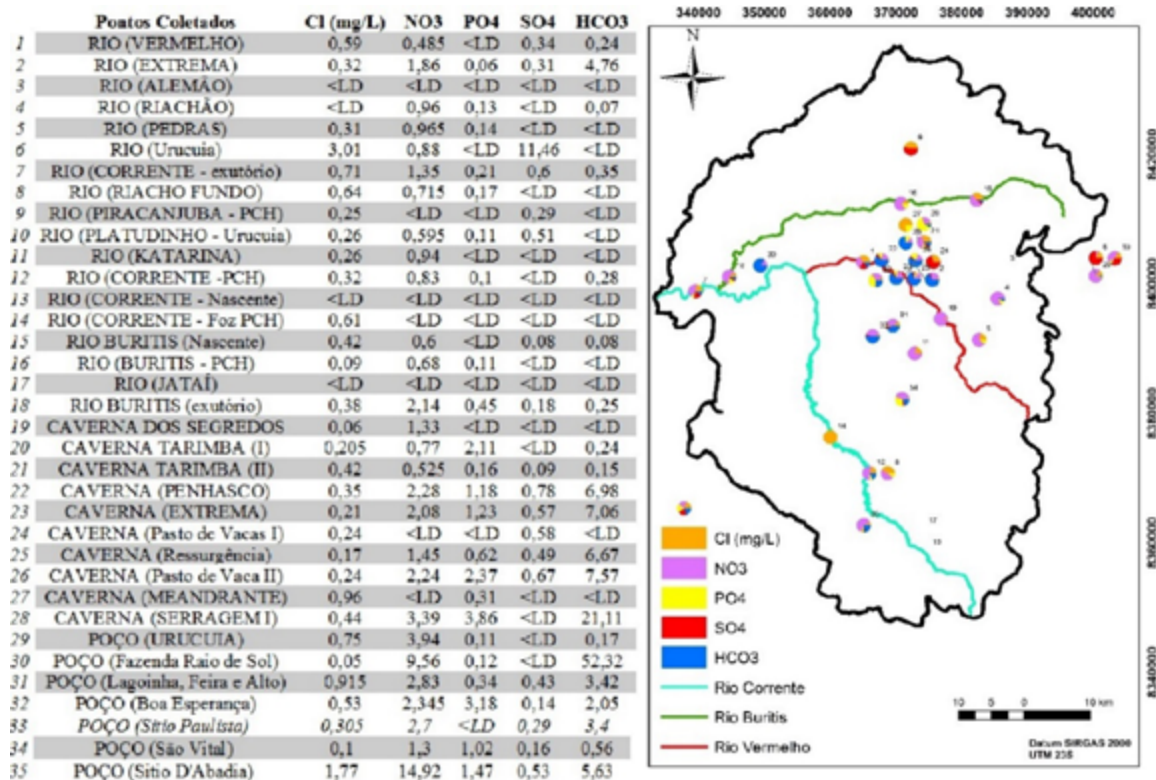


Figura 5: Média das concentrações dos íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e ácido nítrico ( $\text{HNO}_3^-$ ). \*LD = Abaixo do limite detectável. Fonte: Autores.

## 5. Considerações Finais

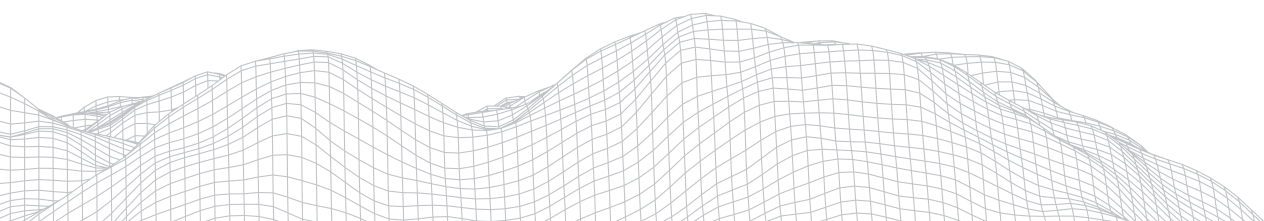
A partir das análises realizadas foi possível demonstrar distintos grupos de águas conforme as características **físico-químicas das amostras avaliadas. As águas subterrâneas e superficiais do aquífero Urucuia possui baixa mineralização e boa potabilidade para abastecimento humano, dessedentação** animal e irrigação.

As águas coletadas na Formação Lagoa do Jacaré indicaram um grau de basicidade que variou sazonalmente, indicando no período chuvoso uma relação com processos de diluição, na contribuição de águas com baixa mineralização do aquífero superior (arenitos). No entanto, mesmo no período de seca, as águas em meio aos carbonatos **não** provocam modificações significativas no ambiente aquático, sendo consideradas levemente alcalinas, conforme os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doces.

Contudo, um monitoramento permanente é necessário para dar suporte à exploração sustentada das águas superficiais e subterrâneas na região.

## Agradecimentos

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Agência Nacional de Águas (ANA), Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



## Referências

- APHA, American Public Health Association. **Standard methods for the examination of waste waters**, 22. Washington: American Public Health Association; 2012.
- BITTENCOURT, V. L. A.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; ROSA FILHO, E. F. Aspectos da Qualidade de Águas do Aquífero Cárstico em Almirante Tamandaré-PR. **Anais XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2002.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso: Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade**. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do nordeste brasileiro. Rede Cooperativa de Pesquisa: UFBA / CPRM, 2007.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de Goiás: corte cartográfico 1:250.000**. Folha SD23YB-Posse, 2008.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Wiley: Chichester p. 562, 2007.
- HARDT, R. **Carstificação em Arenitos: Aproximação com o suporte de geotecnologias**. Tese (doutorado). 224f. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro - SP, 2011.
- GILLIESON, D. **Caves: Processes, Development, Management**. Blackwell, 324p. 1996.
- CULIVER, D.C. & WHITE, W. **Encyclopedia of caves**. Elsevier Academic Press, 654p. London. 2005.
- BOGLI, A. **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Springer-Verlag, Berlim. 1980.
- FAQUIM, A. C. S.; ZANCOPÉ, M. H. C.; CHEREM, L. F. S. Potencial de Transferência de Sedimentos das bacias Contribuintes do Sistema Cárstico Terra Ronca. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 37, n. 3, p. 449-465, 2017.
- FORD, T. D. & CULLINGFORD, C. H. D. **The Science of Speleology**. Academic Press, London. 1976.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**. n. 37, pp. 216-226, 2007.
- JENNINGS, J. N. **Karst Geomorphology**. Brazil, Brackwell. 2ª ed. 1987.
- MIZUNO, M. G. M. **Hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal**. 135f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, UnB, Brasília-DF, 2012.
- MOURA, M.T.T. **O Cárste da região de Prudente de Moraes-MG**. Boletim Paulista de Geografia, n. 73, pp. 125-148, 1990.
- PIMENTEL, L. M.; SOUZA, T. C. L.; TÁVORA, G. S. G.; TURETTA, A. P. D. **Mudanças de uso da terra e expansão da agricultura no oeste da Bahia**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 27 p., 2011.
- WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. Oxford: Oxford University Press, p. 464,1988.