

## Estabilidade hidroquímica em águas freáticas de diferentes classes de solo, Sul do Tocantins <sup>(1)</sup>

**Julio Henrichs de Azevedo<sup>(2)</sup>; Jose Elói Guimaraes Campos<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília.

<sup>(2)</sup> Analista Ambiental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Brasília, DF, e-mail: julio.henrichs@gmail.com; <sup>(3)</sup> Professor Associado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, DF, e-mail: eloi@unb.br.

**RESUMO:** Águas freáticas da região de São Salvador do Tocantins e Paraná, Sul do Estado do Tocantins, foram investigadas sob o ponto de vista hidroquímico, visando a melhor compreensão da relação existente entre os padrões físico-químicos e os condicionantes geológicos e pedológicos. Os sítios amostrais compreendem 30 poços, integrantes do sistema de abastecimento de lotes rurais, cujas águas apresentaram o mesmo grau de dureza química nas diversas épocas do ano. Foram realizadas duas campanhas para análises laboratoriais no período seco e chuvoso e onze campanhas de monitoramento (análises *in situ*). Por meio dos resultados analíticos, da avaliação das condições indutoras de favorabilidade geoquímica e das condições de fluxo do solo, foi possível estabelecer os equilíbrios químicos predominantes no sistema freático, particularmente no que se refere aos processos de solubilização e precipitação do carbonato de cálcio. Evidenciou-se que a entrada de água de chuva no sistema durante o período chuvoso propicia alteração do pH das águas freáticas, porém, sem que haja alteração nas concentrações de sais, uma vez tratar-se de sistema tamponado.

**Termos de indexação:** Hidroquímica; água subterrânea; pedologia.

### INTRODUÇÃO

O abastecimento doméstico na região Sul do Tocantins se dá, predominantemente, pelo aproveitamento de águas subterrâneas, sejam elas provenientes de poços tubulares profundos, ou freáticos. A opção por essa forma de abastecimento é motivada pela disponibilidade das águas subterrâneas e, ainda, pelo fato de que a viabilidade econômica dos sistemas convencionais de abastecimento, baseados no aproveitamento de águas superficiais, acaba sendo prejudicada nos casos em que há menor demanda per capita.

O aproveitamento de águas de aquíferos profundos ou rasos, em geral, também é influenciado por variáveis econômicas, de forma que populações de mais baixa renda e desprovidas de sistema oficial de abastecimento ficam restritas à

opção de menor custo, ou seja, representada pela captação de águas freáticas, através de poços escavados (cisternas ou cacimbas).

Em alguns casos, o grau de mineralização das águas freáticas dificulta a operacionalização de sistemas de abastecimento mais simplificados, a exemplo do que ocorreu em diversas propriedades rurais integrantes de reassentamentos originários da implantação da Usina Hidrelétrica de Peixe Angical (Campos & Fiori, 2009). Vários dos lotes que compõem esses reassentamento tiveram estruturas originais de abastecimento, captação de águas freáticas, prejudicadas em função da matriz iônica das águas freáticas, tendo como consequência a necessidade de implantação de sistemas mais complexos, baseados na captação de águas profundas.

A mineralização das águas subterrâneas é caracterizada por Feitosa et al. (2008) como produto das interações entre fatores endógenos (sistemas de fluxo, tipo litológico, tipo de estruturas, processos geoquímicos e microbiológicos em subsuperfície) e exógenos (aspectos climáticos e geofísiofráficos) e constitui-se em um extenso campo de pesquisa, principalmente quando consideradas as condições de intemperismo típicas de regiões tropicais.

Premissa similar é apresentada por Gastmans et al. (2010). Esses autores avaliam que a composição final das águas subterrâneas é produto da associação entre a mineralogia das rochas que as contêm e dos fatores climáticos.

Sendo os solos produto de intemperismo das rochas, a também pedologia passa a ter importância estratégica no entendimento dos fatores de mineralização das águas subterrâneas, em particular das freáticas.

Portanto, é no contexto da necessidade de melhor compreensão sobre os fatores abióticos que contribuem para a definição da matriz iônica das águas subterrâneas, particularmente geologia e pedologia, que se insere o presente trabalho.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da Área Experimental

A Caracterização da área se deu por meio de pesquisa bibliográfica sobre a geologia e pedologia,



reconhecimentos de campo, para aprimoramento de informações, e amostragens, destinadas à coleta de água subterrânea para análises físico-químicas.

Quanto ao contexto geológico, as áreas estão inseridas na porção externa da faixa de dobramentos Brasília, a qual evoluiu durante o neoproterozóico, sendo assentada sobre embasamento granítico-gnáissico, Arqueano/Paleoproterozóico. Os litotipos presentes na região incluem rochas dos grupos Araí e Serra da Mesa, além da Sequência Metavulcanossedimentar de Palmeirópolis. O embasamento é associado à Suíte Aurumina (Dardenne, 2000).

O substrato das áreas de investigação é representado por filitos, quartzitos, metabasaltos, calcifilitos, xistos e mármore estratificados ou na forma de lentes, com frequentes intercalações de lentes de mármore (Campos & Fiori, 2009).

Ainda de acordo com Campos & Seidel (2005), existem três sistemas freáticos na região de estudo. São eles: Sistema Freático I, disposto sob Neossolos Flúvicos e aluvios, relacionados ao vale fluvial e ao paleo canal do Rio Tocantins; Sistema Freático II, que ocorre em áreas de Latossolos Vermelho-amarelos de textura arenosa; e Sistema Freático III, sob Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos.

Refinamentos de campo permitiram diagnosticar sistemas freáticos em Nitossolos, que ocorrem na forma de pequenas manchas na interface de alguns Latossolos com Neossolos Litólicos.

Estudos anteriores (Campos & Fiori, 2009), constataram que os sistemas freáticos intergranulares dessas áreas são recarregados diretamente por infiltração de águas de precipitação pluvial (Campos & Fiori, 2009), reforçando a importância dos solos nos processos de mineralização lá existentes.

### Amostragens e Análises

As amostragens foram realizadas em trinta poços freáticos, constituintes da estrutura de abastecimento de alguns dos lotes rurais provenientes dos reassentamentos da Usina Hidrelétrica de Peixe Angical, nos domínios dos municípios tocantinenses de São Salvador do Tocantins e Paranã.

As amostragens para análises laboratoriais foram realizadas nos meses de fevereiro e setembro de 2011, representando os períodos seco e chuvoso.

A caracterização hidroquímica foi realizada em trinta sítios amostrais representados por poços freáticos localizados em lotes rurais de

reassentamentos da Usina Hidrelétrica de Peixe Angical, nos domínios dos municípios tocantinenses de São Salvador do Tocantins e Paranã, e que apresentavam problemas relacionados à dureza química.

A escolha dos parâmetros para fins de análises laboratoriais foi baseada no conhecimento prévio da geologia e pedologia da região, das formas de uso e ocupação e, ainda, na premissa de que os padrões de qualidade das águas subterrâneas são produtos da interação com o meio (Boaventura & Freitas, 2006).

Os procedimentos analíticos se deram no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília, sendo baseados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, edição da *American Public Health Association* (APHA, 1998), da *American Water Works Association* (AWWA), e da *Water Pollution Control Federation* (WPCF), sendo que a qualidade dos dados foi verificada por meio de cálculo do erro analítico.

Foram determinados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, ferro, silício, alumínio, sódio, potássio, flúor, cloro, nitrato, sulfato, alcalinidade em bicarbonato e gás carbônico dissolvido.

Também foram realizadas onze campanhas para análises *in situ*, com a utilização de sondas multiparâmetros, e que objetivaram o acompanhamento da evolução dos valores de pH, condutividade elétrica e temperatura. Essas campanhas se estenderam de novembro de 2010 a fevereiro de 2012.

### Análises Estatísticas

Para avaliação das variações de pH, que indica a entrada de água de chuva no sistema, e de condutividade elétrica, que representa a concentração íons nas águas subterrâneas, utilizou-se do "t" de Student.

A avaliação das espécies químicas de maior relevância na matriz iônica do solo foi obtida por análises de correlação.

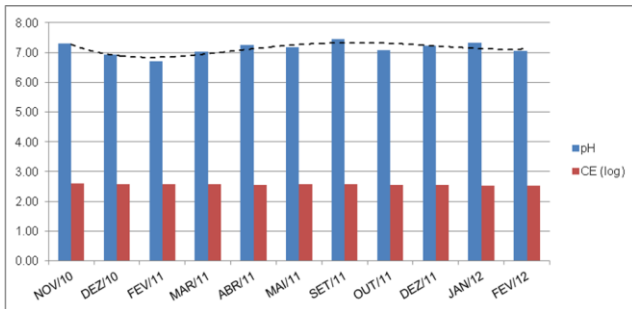
Ainda com no intuito de avaliar possíveis diferenças sazonais em cada unidade amostral e entre elas, empregou-se a técnica de Análise de Variância (ANOVA).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao pH, observaram-se variações de 6,18 a 7,42, no período chuvoso, e de 6,75 a 8,21, no período seco. As respectivas médias para esses

períodos foram 6,75 e 7,44. Esses resultados demonstram bem a entrada de água no sistema por meio dos mecanismos de Os valores médios de pH registrados nos períodos chuvoso e seco apresentaram diferença significativa, em nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Apesar de serem constatadas diferenças no comportamento da condutividade elétrica entre as unidades pedo-geológicas que abrigaram os conjuntos dos sítios amostrais e, ainda, de o pH manter elevada correlação com esse parâmetro, 0,94 no período seco e 0,96 no período chuvoso, no cômputo geral não existiram variações significativas para as médias desse parâmetro entre as duas épocas do ano. A figura 1 ilustra as variações de pH e as estabilidades de condutividade elétrica.



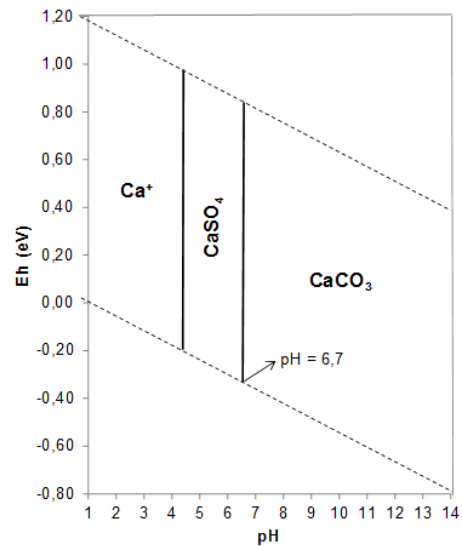
**Figura 1** - Variações de pH e estabilidade de Condutividade Elétrica (valores médios dos 30 sítios amostrais).

Tendo-se como base a análise de variância (ANOVA) do parâmetro condutividade elétrica (log), ao nível de significância de 5%, percebe-se que as variações das médias entre os diversos sítios amostrais são muito mais expressivas do que as variações, em meses distintos, para o mesmo sítio amostral (Tabela 1).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sítios amostrais	5,3437	20	0,2672	<b>70,72</b>	3,29E-74	<b>1,63</b>
Meses do ano	0,1447	9	0,0161	<b>4,26</b>	5,09E-05	<b>1,93</b>
Erro	0,6800	180	0,0038			
Total	6,1684	209				

**Tabela 1** - Análise de Variância (ANOVA) da condutividade elétrica (log) obtida nas análises "in situ".

Os dados das análises *in situ*, obtidos nas onze campanhas distribuídas entre novembro de 2010 e fevereiro de 2012, também demonstraram oscilação nas médias de pH e tendência à estabilidade nos valores médios de condutividade elétrica (Figura 2).



**Figura 2** - Diagrama de Eh x pH do sistema Ca-C-S-O-H ( $Ca = 10^{-3}$ ,  $C = 10^{-3,3}$  e  $S = 10^{-5}$ ).

Esses resultados indicaram que as concentrações iônicas das águas em estudo independem do volume hídrico contido no aquífero. Por outro lado, os processos geoquímicos e pedoquímicos são extremamente relevantes na definição dessas concentrações.

As maiores concentrações iônicas ocorreram nos ambientes em que a Sequência Meta Vulcanossedimentar de Palmeirópolis está presente, e sobre a qual se desenvolve os Niotossolos. Evidenciou-se ainda que a composição mineral desses solos, definida pelo intemperismo de mica xisto calcífero com veios de quartzo e carbonato, mármore impuro e anfíbolito fino (metabasalto), foram determinantes na definição da matriz iônica das águas subterrâneas destes ambientes.

Quanto aos cátions, o cálcio e o magnésio foram os que apresentaram maior influência na matriz iônica das águas. Essa influência foi comprovada pelos coeficientes de correlação entre esses elementos e a condutividade elétrica, que se apresentaram superiores a 0,8.

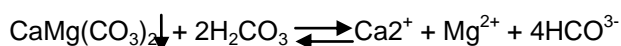
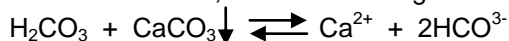
Quanto aos ânions, a maior relevância é do bicarbonato, cujo coeficiente de correlação com a condutividade elétrica chega a 0,94. A disponibilização desses íons em sistemas como os da área de estudo, que não apresentam qualquer característica de ambiente cárstico, podem ocorrer, por exemplo, pela transformação de feldspatos e plagioclásios em minerais secundários ou pelas interações com xistos carbonosos.

A manutenção dos mesmos patamares de concentração dos íons cálcio, magnésio e bicarbonato, independente da época do ano, fazem

com a que o sistema em estudo esteja sob forte influência do equilíbrio químico típico das espécies de carbono (Langmuir, 1997).

Consideradas as concentrações médias desses principais íons e, ainda do enxofre, que decorre da presença de sulfetos disseminados, foi possível produzir o diagrama de Eh-pH representado na figura 2, onde se evidencia o equilíbrio do sistema Ca-C-S-O-H, que se dá em torno pH 6,7.

Portanto, os menores valores de pH, provocados pelo maior aporte de água no sistema durante o período das chuvas, são compensados pelos equilíbrios entre precipitação e solubilização da calcita e dolomita, conforme as seguintes reações:



Embora parte do cálcio ionizado tenha condições de ser novamente precipitado na forma de sulfato de cálcio, o ânion bicarbonato permanece em solução, contribuindo para o equilíbrio de pH e para a manutenção dos valores da condutividade elétrica nos mesmos patamares da época da seca.

Quando cessado o aporte de água de chuva, os valores de pH tendem a se elevar e, como consequência, retorna-se ao processo de precipitação de carbonato de cálcio.

Dessa forma, as elevações nos volumes dos aquíferos freáticos são suficientes para modificarem o pH do sistema, porém, sem que ocorram alterações significativas nas concentrações iônicas.

Apesar dessa condição de tamponamento ser mais evidente nos Nitossolos da área de estudo, esse fenômeno também é observado em unidades pedológicas de Cambissolo, Neossolo Flúvico e Latossolo (com sistema freático no horizonte C), cujas composições minerais tenham contribuição de litotipos capazes de disponibilizar cálcio e bicarbonato ao sistema.

## CONCLUSÕES

Embora os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas possam ser traduzidos como assinaturas geoquímicas, os solos, por serem os primeiros receptores das águas de infiltração, também desempenham importante papel em sua matriz iônica, principalmente quando se trata de águas freáticas com mecanismo de recarga local.

Esse tipo de contribuição vai ser maior ou menor em função dos processos pedogenéticos e da localização da zona saturada.

Em geral a contribuição à matriz iônica das águas subterrâneas é maior em solos jovens, onde boa parte dos minerais ainda não foi lixiviada, ou em condições em que o aquífero freático se posicione na região do saprolito ou horizonte C.

Na área objeto de estudo essas contribuições são ainda mais evidentes. Mesmos não se tratando de região cárstica os solos são capazes de disponibilizar cálcio e bicarbonato ao sistema, de maneira a propiciar um ambiente em que os padrões naturais de qualidade das águas subterrâneas são definidos por mecanismos de tamponamento químico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradem as seguintes instituições: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/IBAMA, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília/IG-UnB, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq, Consórcio de Geração de Energia Peixe Angical/ENERPEIXE e empresa Ambiental Tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 20th. ed. Baltimore, Maryland. 1998.
- BOAVENTURA, G.R. & FREITAS, A.L.S.. Inorganic parameters as water quality indicators in acidic groundwater in a tropical region - Brasília-DF (Brazil). Water, Air, & Soil Pollution. 171(1):135-151, 2006.
- CAMPOS, J.E.G., FIORI, J.P.O. Relatório Técnico. Gestão do Sistema de Abastecimento de Água dos Reassentamentos Piabanha I e II, Jataí, Santa Cruz e Remanescentes, Estado do Tocantins. CTD/ UnB – ENERPEIXE, 74p, 2009.
- DARDENNE, M.A. the Brasília Fold Belt. In: CORDANI U.G.; MILANI, E.J. THOMAZ FILHO, A. CAMPOS, D.A. (eds). Tectonic Evolution of South America. In: 31st. Geol. Congr., Rio de Janeiro, 231-263, 2000.
- FEITOSA, F.A.C., FEITOSA, E.C., DEMÉTRIO, J.G.A. 2008. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª. Ed. CPRM, Rio de Janeiro, 2008. 812p.
- GASTMANS, D., CAHNG, H.K., HUTCHEON, I. Groundwater geochemical evolution in the northern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil) and its relationship to diagenetic features. Applied Geochemistry. 25(1):16-33, 2010.
- LANGMUIR, D. Aqueous environmental geochemistry. Prantice-Hall, Inc. New Jersey, 1997. 600p.



# XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO

28 de julho a 2 de agosto de 2013 | Costão do Santinho Resort | Florianópolis | SC