

Distribuição de parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas na região da Lagoa da Confusão - TO - Brasil

Distribution of groundwater hydrochemical parameters in the surrounds of Lagoa da Confusão - TO - Brazil

Karine Beraldo Magalhães Oliveira^{1(*)}

Fernando de Moraes²

Luís de Almeida Prado Bacellar³

Resumo

As águas subterrâneas têm grande importância para o abastecimento, economia e conservação ambiental, contudo, fatores naturais e antrópicos podem alterar sua disponibilidade e qualidade, tornando-as vulneráveis à contaminação. Neste sentido, esse trabalho buscou entender a distribuição de parâmetros hidroquímicos na região da Lagoa da Confusão, no estado do Tocantins, por meio de análises físico-químicas de amostras de água subterrânea. As análises físico-químicas das amostras coletadas em poços mostraram que as águas da região tem sua hidroquímica controlada prioritariamente pelo bicarbonato, cálcio e magnésio. As amostras apresentaram, em sua maioria, concentrações em conformidade com o padrão brasileiro de potabilidade (Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011). A distribuição dos parâmetros demonstra que a hidroquímica na área está relacionada à geologia da região, marcada pela ocorrência de carste, bem como a dinâmica de fluxo subterrâneo.

Palavras-chave: Hidroquímica; Águas subterrâneas; Lagoa da Confusão.

Abstract

Groundwater has great importance for the supply, economy and environmental conservation, however natural and man-made factors can alter their availability and quality, making them vulnerable to contamination. In this sense, this work sought to understand

1 MSc.; Engenheira Ambiental; Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, IFTO, *Campus* Paraíso do Tocantins; Endereço: Distrito Agroindustrial, BR-153, km 480, CEP: 77600-000, Paraíso do Tocantins, Tocantins, Brasil; E-mail: karine@ifto.edu.br (*) Autor para correspondência.

2 Dr.; Geógrafo; Professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins, UFT, do Curso de Geografia e dos Programas de Mestrado em Geografia *Campus* de Porto Nacional e em Ciências do Ambiente *Campus* de Palmas; Endereço: Rua 3, Quadra 17, s/n, Jardim dos Ipês, CEP: 77500-000, Porto Nacional, Tocantins, Brasil; E-mail: morais@uft.edu.br

3 Dr.; Geólogo; Professor Associado do Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, *Campus* Morro do Cruzeiro; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: UFOP – *Campus* do Morro do Cruzeiro, CEP: 35400-000, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil; E-mail: bacellar@degeo.ufop.br

the hydrochemical parameters distribution in the region of Lagoa da Confusão, in the State of Tocantins through physical and chemical analyzes of groundwater samples. The results obtained from the analysis of these samples demonstrated that the water of the region has its hydrochemical primarily controlled by bicarbonate, calcium and magnesium. Most samples had parameter concentrations in accordance with the Brazilian standard for drinking water (Ordinance of the Ministry of Health Act. 2.914 of December 12, 2011). The distribution of the parameters shows that the hydrochemistry in the area is related to the geology of the region, marked by the occurrence of karst as well as to the subterranean flow dynamics.

Key words: Hydrochemical; Groundwater; Lagoa da Confusão.

Introdução

As águas subterrâneas naturais, como consequência de sua composição química bem como das condições do meio onde se encontram, apresentam uma série de propriedades ou características físicas e químicas como cor, turbidez, temperatura e condutividade elétrica, concentração de íons, que variam de acordo com o espaço e no tempo (RAVE, 2009).

A mobilidade geoquímica dos elementos dissolvidos na água está relacionada com a capacidade de trânsito no sistema litosfera-biosfera-hidrosfera-atmosfera, e está sujeita a fatores como a capacidade do elemento participar de processos de troca iônica, de suas ligações com a litosfera e biosfera e da solubilidade, que depende do potencial iônico de cada um dos íons (RAMAGE, 2005).

Nesse sentido, a hidroquímica fornece informações sobre a distribuição dos elementos e sua evolução espacial e temporal em sistemas hídricos, a partir de análises das principais variáveis físico-químicas. Os resultados são a expressão dos processos químicos, físicos e biológicos que regem o meio aquático e ajudam a caracterizar os aquíferos e definir

seus problemas ambientais e planos de remediação (RIQUELME, 2009).

Na porção centro-oeste do estado do Tocantins, ocorre uma série de lagoas associadas ao grande sistema fluvial da planície do médio Araguaia. Dentre essas lagoas, uma se destaca por suas dimensões, a Lagoa da Confusão, a qual, segundo estudos realizados por Pontalti (2010), bem como por Pereira e Moraes (2012), encontra-se integrada a um sistema cárstico, oriundo da dissolução de rochas calcárias.

O Carste configura-se como uma importante fonte de água, pois, cerca de 20-25% da população global depende em grande parte ou inteiramente de águas subterrâneas armazenada em suas feições. Contudo, esses recursos estão sob crescente pressão e carecem de estudos que visem sua reabilitação e gestão sustentável (FORD; WILLIAMS, 2007).

As águas subterrâneas do entorno da Lagoa da Confusão configuram-se como recurso natural imprescindível ao desenvolvimento socioeconômico e manutenção ambiental da região. Contudo, dada à carência de estudos em escala regional que tratam desse tema e tendo em vista o acelerado desenvolvimento agrícola que

esta área tem experimentado nos últimos anos, esses recursos naturais podem ter sua quantidade e qualidade comprometida, tornando-se vulneráveis a contaminação.

Logo, devido à importância de estudos que envolvam o sistema cárstico, sua presença na região e a intensa ligação entre as águas superficiais e subterrâneas desta área, este trabalho tem por objetivo principal complementar a pesquisa realizada por Oliveira e Morais (2013)¹, na qual foram levantadas informações preliminares da hidroquímica das águas subterrâneas da região na estação chuvosa, permitindo verificar a distribuição das características hidroquímicas das águas subterrâneas do entorno da Lagoa da Confusão em duas diferentes estações.

Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido no município de Lagoa da Confusão, que possui área de 10.564,661 km², população de pouco mais de 10 mil habitantes e está situado na porção centro-oeste do Estado do Tocantins (IBGE, 2013).

Esta área apresenta clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, precipitação média anual de 1.750 mm e temperatura média anual de 28 °C. Pertence à região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, fazendo parte da bacia do rio Formoso e da sub-bacia do rio Urubu. Sua rede de drenagem é formada pelo rio Urubu, córregos e pequenos rios, inúmeras nascentes, lagos e lagoas, destacando-se a Lagoa da Confusão,

que dá nome ao município. Devido às suas dimensões e características propícias para lazer, esta lagoa é tida como um atrativo turístico. (SEPLAN, 2008; SEPLAN, 2011).

A Lagoa da Confusão e seu entorno estão inseridos em um ecótono que engloba características de Cerrado, da Amazônia e do Pantanal, tornando-a uma região rica em biodiversidade. Apesar de ser uma área de transição, a região apresenta majoritariamente fitofisionomias do cerrado, classificando-a como parte desse bioma. Predominam na paisagem o campo cerrado e o cerradão, complementados por inclusões florestais, como as florestas de galeria e ciliares, as matas secas sobre os afloramentos calcários, assim como um tipo vegetacional peculiar denominado regionalmente de *ipuca*, que são fragmentos naturais de florestas inundáveis, que surgem de forma descontínua em meio à fisionomia campestre. Os solos da região são em sua maioria Plintossolos, sendo encontrados Gleissolos ao redor do rio Urubu e no interior das *ipucas* (BRITO et al., 2006; SEPLAN, 2008; SEPLAN, 2011).

A área encontra-se em região que compreende a Planície do Bananal e a Depressão do Araguaia, sendo caracterizada como uma planície flúvio-lacustre por se encontrar em meio a extensas planícies, com baixas cotas altimétricas, que são periodicamente inundadas pelas cheias dos rios que a drenam (VALENTE, 2007; SEPLAN, 2008; GORAYEB, 2011).

Sua geologia é composta por embasamento neoproterozóico do Supergrupo Baixo Araguaia, que é subdividido nos Grupos Estrondo e Tocantins. O Grupo Tocantins, que ocupa a área em estudo, se constitui de afloramentos calcários da Formação Couto Magalhães, filitos, ardósia, metargilito, metarenito e quartzitos subordinados, recobertos por sedimentos

1 O trabalho citado, intitulado “Hidroquímica das águas subterrâneas do entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil” foi publicado por Oliveira e Morais no XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos no ano de 2013.

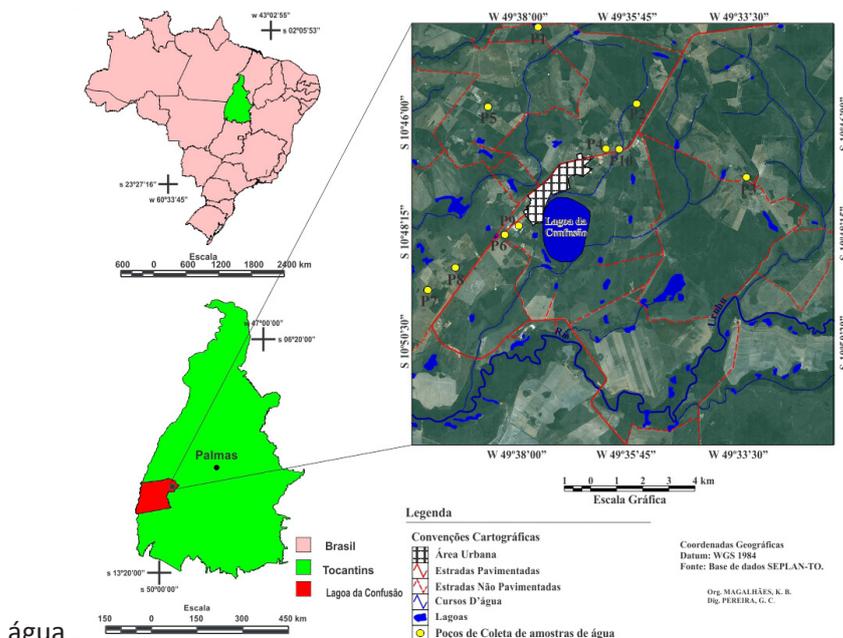
quaternários da cobertura sedimentar do Bananal, com depósitos aluvionares, arenosos e argilosos, consolidados e inconsolidados. Na área há três morrotes de calcário alinhados na direção SO-NE, destacados topograficamente na planície quaternária circundante (BRASIL, 1981; GORAYEB, 2011; PEREIRA; MORAIS, 2012).

Cabe destacar, ainda, a presença de carste, constatado pela abrangência litológica regional dos afloramentos calcários, correspondentes ao Grupo Tocantins, bem como pela presença de drenagem subterrânea no interior de cavidades encontradas no local e também pelas evidências de dissolução/erosão do calcário que ali ocorre. Na área podem ser identificadas feições do tipo *boxworks* no exocarste, que evidenciam processos de dissolução da rocha calcária, sendo a própria Lagoa da Confusão uma lagoa cárstica associada aos mogotes calcários (PONTALTI, 2010).

Devido a sua riqueza em recursos hídricos, essa área é identificada como de alto potencial para produção agropecuária, o que ocasionou que nela fossem instalados grandes projetos agrícolas, como o de arroz (o município possui 60% do arroz irrigado do estado do Tocantins) e de melancia (o maior produtor de melancia irrigada do Brasil). Na área são cultivadas também soja, melão, feijão, milho, centeio, algodão bem como outros produtos (SEPLAN, 2011). Entretanto, essa vocação agrícola demanda a grande utilização de recursos hídricos e a alteração de sua qualidade, dada a exposição da água aos fertilizantes e defensivos agrícolas.

Para o local de estudo foi delimitado, dentro do perímetro do município, uma área 256 km², que incluísse toda a rede de drenagem superficial que contribui com a Lagoa da Confusão, bem como o rio Urubu. Esta área está enquadrada entre as coordenadas geográficas 10° 43' 45", 10° 52' 45" de latitude Sul, e 49° 31' 15", 49° 40' 15" de longitude Oeste (Figura 1), englobando todo o perímetro urbano de Lagoa da Confusão.

Figura 1 – Localização da área de estudo com os poços onde foram coletadas amostras de



água
Fonte: Oliveira e Moraes (2013).

Metodologia

Foram realizadas duas campanhas de coleta de água, nos meses de abril (fim da estação chuvosa) e setembro (fim da estação seca), em dez poços localizados na área de estudo (Figura 1). A escolha dos poços para coleta levou em consideração os seguintes aspectos: obtenção de autorização para coleta e fácil acesso.

A água foi coletada na boca de cada um dos poços após ser expurgada e bombeada por cerca de 20 minutos, tempo suficiente para renovar a água do poço. Para tanto, foram utilizados recipientes apropriados de plástico polietileno com tampa vedante, devidamente lavados e descontaminados em laboratório.

A coleta de amostra de água foi feita em superfície, diretamente, através de frasco de coleta. Foram efetuadas medidas *in situ* de pH com medidor portátil e condutividade elétrica, com condutivímetro digital portátil.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de saneamento ambiental (LABSAN) do *Campus* Paraíso do Tocantins do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) para análise dos parâmetros cor, turbidez, dureza total, alcalinidade, concentração de carbonato e bicarbonato, cálcio, magnésio, cloreto, sólidos totais dissolvidos, sódio, sulfato, potássio, nitrato e ferro. As análises seguiram as metodologias analíticas descritas na tabela 1, conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 1 – Parâmetros medidos em laboratório e metodologias analíticas

Parâmetro	Unidade	Método Analítico
Cor	UC	Leitura direta em Fotômetro
Turbidez	NTU	Leitura direta em Turbidímetro
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	Gravimétrico
Dureza Total, Alcalinidade, Bicarbonato e Cloreto	mg/L	Titulométrico
Magnésio	mg/L	Calculo matemático
Sódio e Potássio	mg/L	Espectrometria de emissão de plasma
Sulfato e Nitrato	mg/L	Espectrofotometria
Ferro	mg/L	Colorimétrico com fenantrolina

Fonte: Autores (2013).

Os resultados obtidos foram compilados em tabelas e planilhas tipo Excel com elaboração de gráficos e tratamento estatístico. Para a classificação do tipo químico das águas subterrâneas de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, foi elaborado o diagrama triangular de Piper, utilizando o *software QualiGraf*.

Para a melhor compreensão da ocorrência e distribuição dos parâmetros hidroquímicos analisados, foram geradas

através do programa *Surfer* 11.0, curvas de isovalores com a distribuição na área de cada parâmetro analisado. Para a confecção dos mapas de distribuição hidroquímica dos elementos, foi utilizada a interpolação por *krigagem*. De acordo com Landim (2006), a *Krigagem* se constitui como um método de estimativa geoestatística que se inclui entre as técnicas de estimação que minimizam o erro na variância, apresentando vantagens sobre outros interpoladores oferecidos pelo programa, sendo assim importante

para o mapeamento de superfícies que procuram modelar a distribuição de variáveis geoquímicas, geofísicas, hidrogeológicas, geotécnicas, etc.

Resultados e Discussão

As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados analíticos das águas amostradas.

Tabela 2 – Resultados das análises de parâmetros físico-químicos das amostras

Amostra	Unidade	Parâmetro					
		CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Cor (UH)	Turbidez (UNT)	SDT (mg/L)	
P1	C	17,1	6,3	1,1	0,49	89,0	10,0
	S	67,8	6,8	9,4	1,95	40,0	16,0
P2	C	172,1	6,3	3,4	0,68	124,0	236,0
	S	170,9	6,4	2,6	0,44	68,0	66,0
P3	C	112,6	6,1	2,9	0,70	135,0	116,0
	S	120,8	6,5	6,0	1,02	221,0	24,0
P4	C	62,2	6,0	0,8	0,37	98,0	36,0
	S	67,8	6,6	2,8	0,35	21,0	20,0
P5	C	71,1	6,2	2,4	1,33	105,0	140,0
	S	148,1	6,3	3,4	0,83	38,0	96,0
P6	C	14,5	5,9	5,5	1,13	73,0	10,0
	S	8,1	6,5	6,8	2,53	8,5	10,0
P7	C	169	6,7	1,8	1,05	109,0	200,0
	S	159	6,6	1,2	0,18	385,0	70,0
P8	C	19	6,6	0,4	0,25	74,0	10,0
	S	13,9	7,2	3,0	0,41	9,5	10,0
P9	C	11,7	6,3	8,0	2,83	78,0	10,0
	S	12,1	7,1	4,5	1,26	11,0	10,0
P10	C	140,2	6,9	3,9	0,25	75,0	100,0
	S	168,7	7,0	1,7	0,35	40,5	120,0

Fonte: Modificada de Oliveira e Moraes (2013).

Nota: P - Poço; S - Estação Seca; C - Estação chuvosa; CE - Condutividade Elétrica; SDT - Sólidos Dissolvidos Totais.

Tabela 3 – Concentrações de elementos químicos nas águas subterrâneas amostradas

Amostra		Parâmetros (mg/L)								
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Fe
P1	C	2,40	0,97	0,773	0,60	24,44	7,50	0,3	0,6	0,07
	S	6,19	1,92	0,680	0,86	35,00	6,46	< 1,0	0,6	0,04
P2	C	68,94	15,56	1,567	10,50	117,31	3,90	3,4	0,4	0,08
	S	16,00	5,00	2,200	12,00	118,00	8,45	< 1,0	0,1	0,03
P3	C	28,06	11,18	1,516	7,85	97,76	4,10	0,7	0,4	0,25
	S	7,21	4,10	1,550	6,28	71,00	3,98	< 1,0	0,1	0,05
P4	C	1,60	7,78	0,550	1,88	48,88	3,60	0,3	0,7	0,06
	S	8,40	4,75	0,315	0,64	45,00	9,94	< 1,0	0,3	0,04
P5	C	48,10	4,86	0,398	1,04	53,77	4,30	0,0	0,7	0,08
	S	14,00	7,30	0,675	0,87	104,00	9,94	< 1,0	0,2	0,03
P6	C	2,40	0,97	0,614	0,52	17,11	4,80	0,5	0,6	0,09
	S	1,91	0,21	0,265	0,40	7,00	3,98	< 1,0	0,2	0,43
P7	C	76,95	1,94	1,903	24,70	146,64	4,10	3,3	0,6	0,08
	S	12,80	4,57	2,130	14,20	113,00	7,45	< 1,0	0,1	0,02
P8	C	2,40	0,97	0,187	0,35	29,33	3,80	0,0	0,6	0,07
	S	0,81	0,56	0,146	1,10	12,00	3,90	< 1,0	0,1	0,01
P9	C	1,60	1,46	0,684	1,02	22,00	3,80	0,1	0,4	0,06
	S	0,58	0,23	0,728	0,68	8,00	3,90	< 1,0	0,5	0,03
P10	C	32,06	4,86	1,242	23,9	114,87	3,30	5,3	0,6	0,07
	S	33,00	2,08	1,760	2,30	140,00	13,42	< 1,0	0,1	0,02

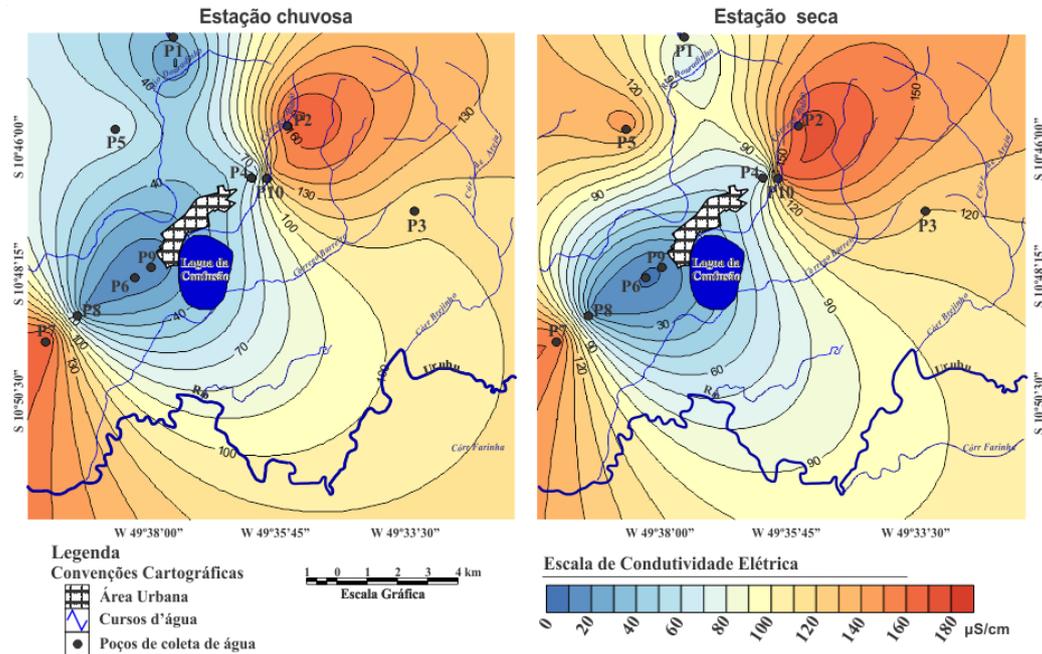
Fonte: Modificada de Oliveira e Moraes (2013).

Nota: P - Poço; S - Estação Seca; C - Estação chuvosa; < - menor que o limite de detecção do m.

A condutividade elétrica (CE) corresponde à capacidade da água em transmitir a corrente elétrica pela presença de íons (cátions e ânions), a qual se origina da dissociação de substâncias que se encontram dissolvidas ou em suspensão na água. Para a estação chuvosa, o valor médio da condutividade elétrica das águas analisadas na área foi de 99,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando de 11,7 a 172,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já para a estação seca, foi de 108,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando de 8,1 a 170,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses resultados demonstram que as águas amostradas são pouco mineralizadas e apresentam

baixa salinidade. A figura 2 representa a distribuição da condutividade elétrica na área de estudo nas duas estações analisadas. Nota-se por esta ilustração que na estação chuvosa as áreas com valor máximo de condutividade elétrica ocorrem que nos poços P2 e P7, sendo encontrados valores elevados nos poços P3 e P10. Na estação seca, além dos anteriores (P2, P7, P3 e P10), o poço P5 apresentou valor elevado para este parâmetro. Verifica-se que os poços localizados mais próximos à área urbana de Lagoa da Confusão obtiveram os menores valores de condutividade elétrica.

Figura 2 - Distribuição de condutividade elétrica

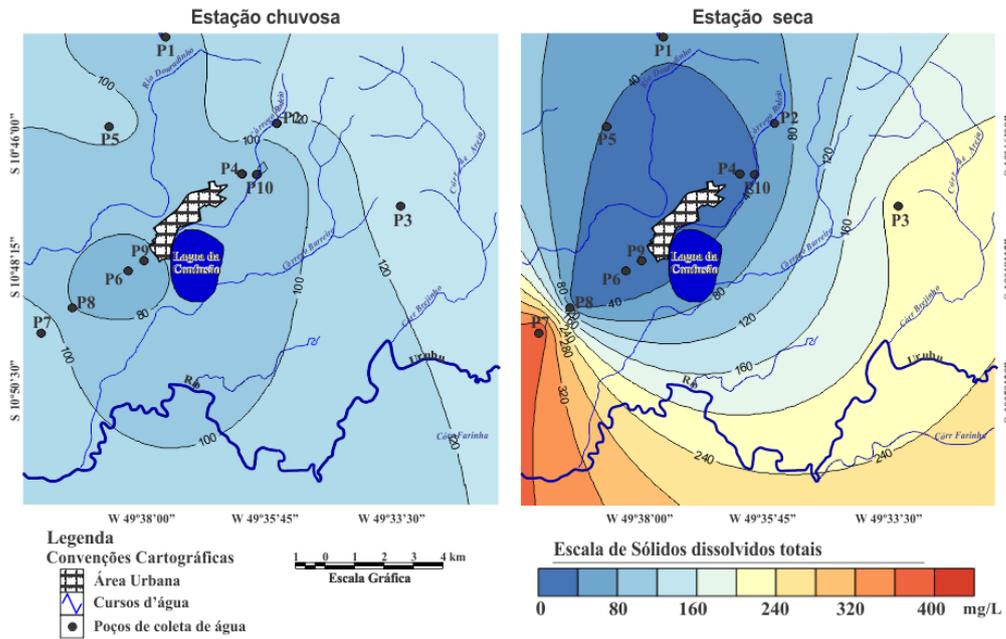


Fonte: Autores (2013).

A concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) representam a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. O valor médio obtido pelas análises do parâmetro é da ordem de 121,2 mg/L para a estação chuvosa e 90,9 mg/L para a estação seca, o que classifica essas águas como doces. O mapa de distribuição desse parâmetro na área de estudo (Figura 3) demonstra que as maiores concentrações de SDT ocorrem na estação seca, devido aos processos de evaporação que diminuem a quantidade de água nos poços, aumentando a concentração de sólidos por litro.

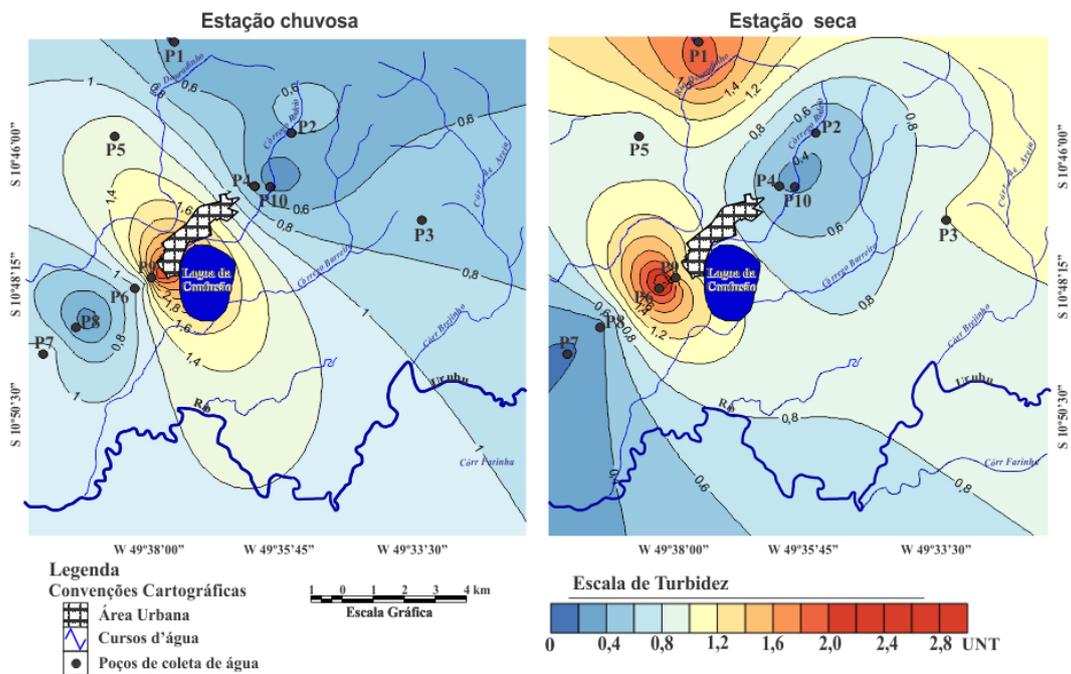
Ainda com relação ao teor de sólidos, as amostras apresentaram baixos valores de turbidez, o que é comum em águas subterrâneas. Todas as amostras apresentaram valores de turbidez inferiores a 5,0 UNT, padrão máximo para consumo humano estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde n° 2.914/2011. Verifica-se pela figura 4 que os maiores valores de turbidez encontram-se localizados próximos à Lagoa da Confusão (P9 e P6) nas amostras coletadas na estação chuvosa, e também próximos aos poços P1 e secundariamente P3, naquelas amostras coletadas na estação seca.

Figura 3 – Distribuição de sólidos dissolvidos totais



Fonte: Autores (2013).

Figura 4 – Distribuição de turbidez

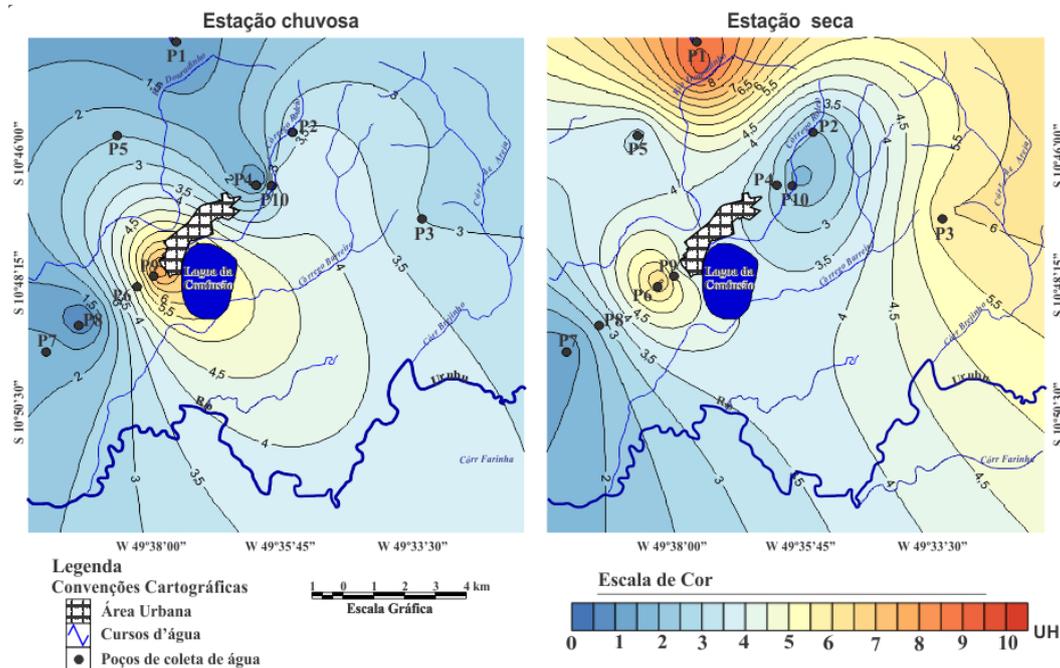


Fonte: Autores (2013).

A cor apresentou valores inferiores ao estabelecido para o padrão de consumo humano (valor máximo permitido de 15,0

Figura 5 – Distribuição de cor

UH), assim como o mesmo padrão de distribuição que a turbidez, tanto na estação seca quanto na chuvosa (Figura 5).

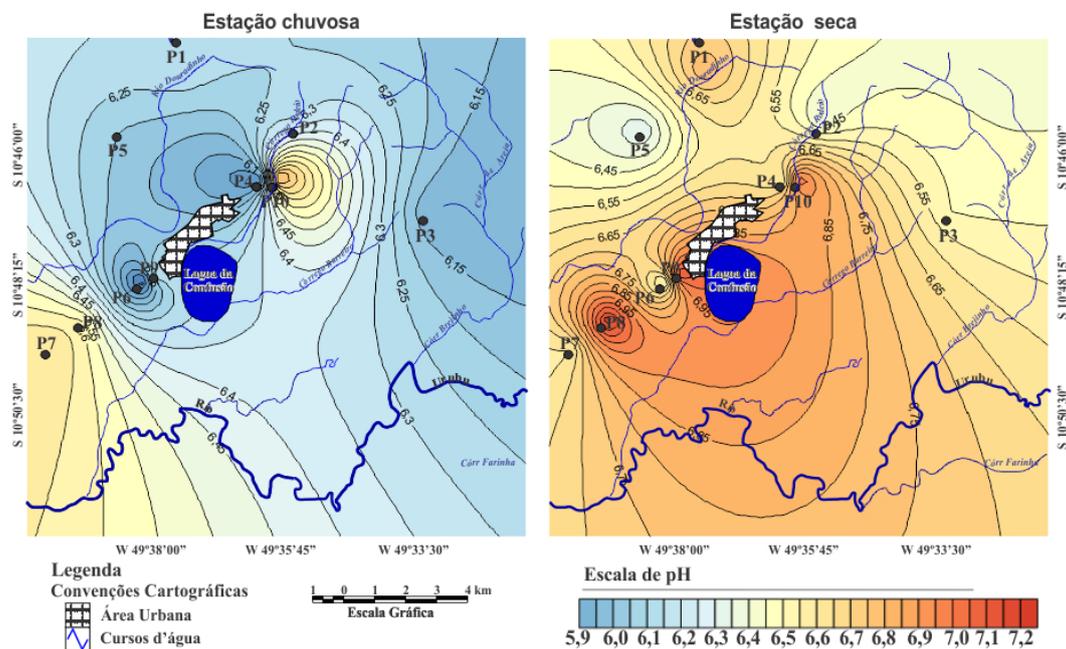


Fonte: Autores (2013).

No que diz respeito às características químicas, o termo pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Expressa o grau de acidez ou alcalinidade da água, em valores de 0,0 a 14,0. A tabela 2 demonstra que as águas subterrâneas da região tendem a ser pouco ácidas, mantendo seu caráter próximo a neutralidade, com pH médio de 6,3 na estação chuvosa e de 6,7 na estação seca. Pela figura 6 verifica-se que no fim da estação seca os valores de pH se mostraram menos ácidos do que no fim da estação chuvosa, principalmente nos poços localizados

próximos à Lagoa da Confusão. Esse fato pode demonstrar que durante a estação chuvosa os condutos subterrâneos dessa parte da área, formados por calcário (PONTALTI, 2010), sofrem processo de dissolução rochosa, formando ácido carbônico e diminuindo o pH das águas subterrâneas da área. De fato, valores próximos de pH aos demonstrados para a área de estudo foram encontrados por Amadi (1985), ao analisar o parâmetro para determinar padrões e mudanças na hidroquímica da água subterrânea em planícies cársticas no sul de Indiana nos Estados Unidos.

Figura 6 – Distribuição de pH



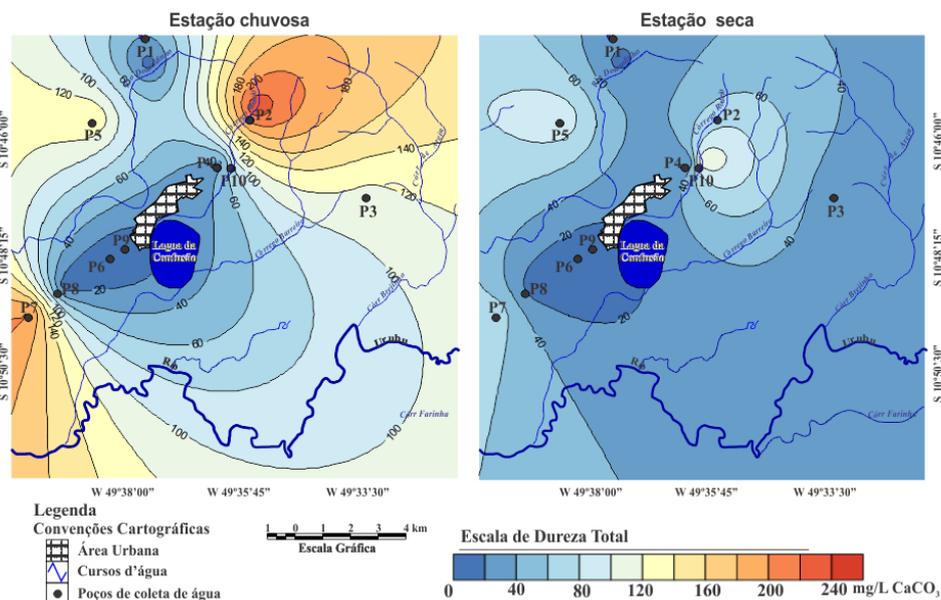
Fonte: Autores (2013).

A dureza total é expressa pelo teor de carbonato de cálcio (mg/L de CaCO_3), sendo que seus valores em uma amostra de água são comumente interpretados da seguinte forma: dureza < 50 mg/L CaCO_3 – água mole; dureza de 50 a 150 mg/L CaCO_3 – dureza moderada, dureza 150 a 300 mg/L CaCO_3 – água dura e dureza > 300 mg/L CaCO_3 – água muito dura (VON SPERLING, 2005). Dessa forma, a maioria dos poços amostrados na área de estudo apresentou água classificada como mole ou de dureza moderada, tanto na estação chuvosa quanto na estação seca. Contudo, os poços P2 e P7, apresentaram, para a água amostrada na estação chuvosa, valores de dureza de 232 e 200 mg/L

CaCO_3 , classificando a água desses poços como dura.

De acordo com Von Sperling (2005), não há evidência que a dureza da água cause problemas sanitários, no entanto altos valores de dureza podem causar sabor desagradável, bem como ter efeito laxativo, reduzir a formação de espuma, implicando maior consumo de sabão, causando incrustações nas tubulações e limitando o uso industrial. Ainda no que concerne à dureza da água, a figura 7 demonstra a distribuição desse parâmetro na área, o que permite constatar que as maiores concentrações para o parâmetro ocorrem no fim da estação chuvosa, próximas aos poços P2, P7 e P5.

Figura 7 – Distribuição de dureza total

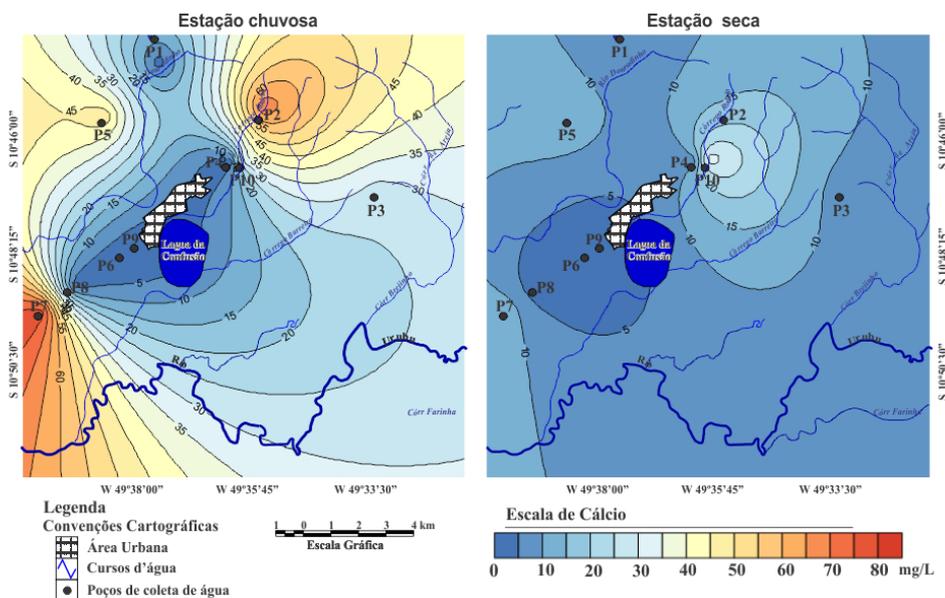


Fonte: Autores (2013).

O padrão de distribuição de cálcio nas águas amostradas na área de estudo (Figura 8), encontra-se muito próximo ao padrão de distribuição de dureza. Isso porque quase toda a dureza da

água subterrânea advém do cálcio e do magnésio, cujos íons originam-se principalmente da dissolução de bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos (VON SPERLING, 2005).

Figura 8 – Distribuição de cálcio



Fonte: Autores (2013).

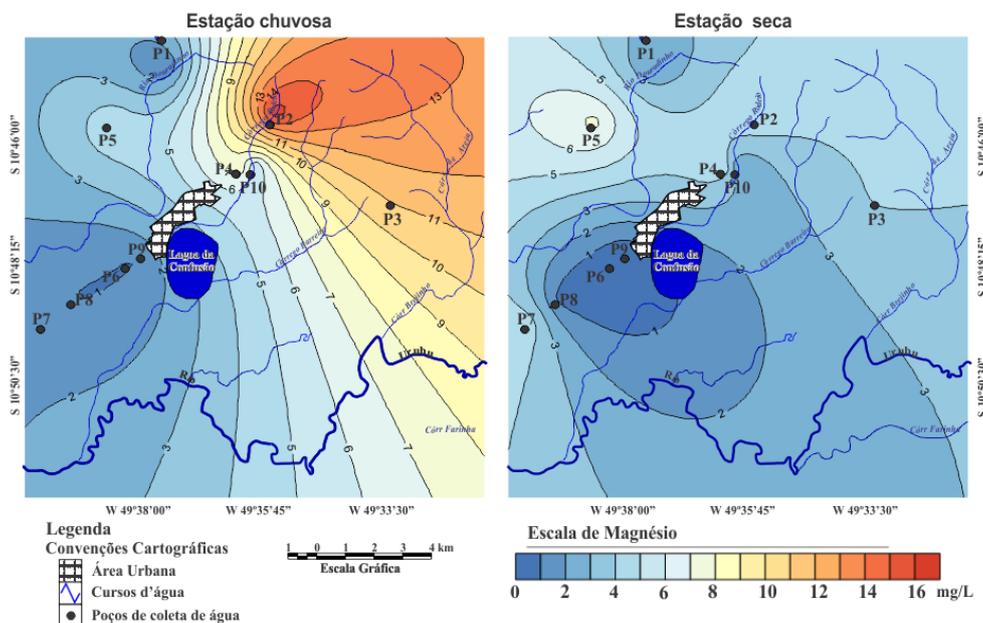
De acordo com Santos (2000), os sais de cálcio possuem elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3), o principal responsável pela dureza. Logo, nos poços onde o valor de dureza total foi elevado é possível observar uma maior concentração de cálcio e magnésio.

O magnésio apresenta propriedades similares às do cálcio, contudo, o primeiro é mais solúvel e difícil de precipitar, daí decorrem algumas diferenças na distribuição desse elemento na área, em relação ao cálcio (Figura 9). A razão magnésio/cálcio para as amostras coletadas

na estação chuvosa foi de 0,78, enquanto que para as coletadas na estação seca foi de 0,39. Os poços P4 e P9 foram aqueles que apresentaram maior razão magnésio/cálcio para as amostras coletadas na estação chuvosa, sendo calculada razão próxima de 1,0 para os dois poços. Valores próximos a 1,0 indicam provável influência de terrenos dolomíticos (SANTOS, 2000).

A interpretação de ensaios de sondagem elétrica vertical realizados por Oliveira (2014) nas proximidades desses poços demonstraram a ocorrência da Formação Couto Magalhães, a qual é constituída por rochas calcárias, como o dolomito.

Figura 9 – Distribuição de magnésio

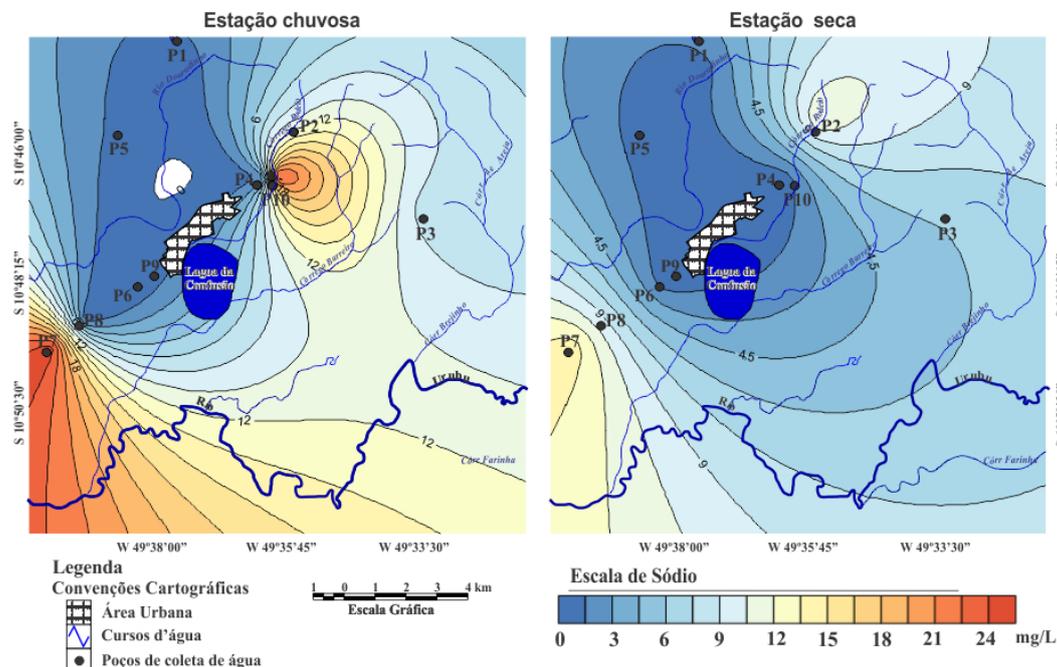


Fonte: Autores (2013).

O parâmetro sódio apresentou valor médio de 7,23 mg/L nas amostras coletadas na estação chuvosa, e de 3,93 mg/L nas amostras coletadas na estação seca. Observa-se pela figura 10 que a distribuição de sódio na área de estudo se dá no sentido do fluxo, sendo que nesta área o fluxo segue em direção

ao rio Urubu e noroeste da área de estudo (OLIVEIRA, 2014). De acordo com Santos (2000), há, em geral, um aumento gradativo dos teores de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção aos seus exutórios, tal como ocorre na área de estudo.

Figura 10 – Distribuição de sódio



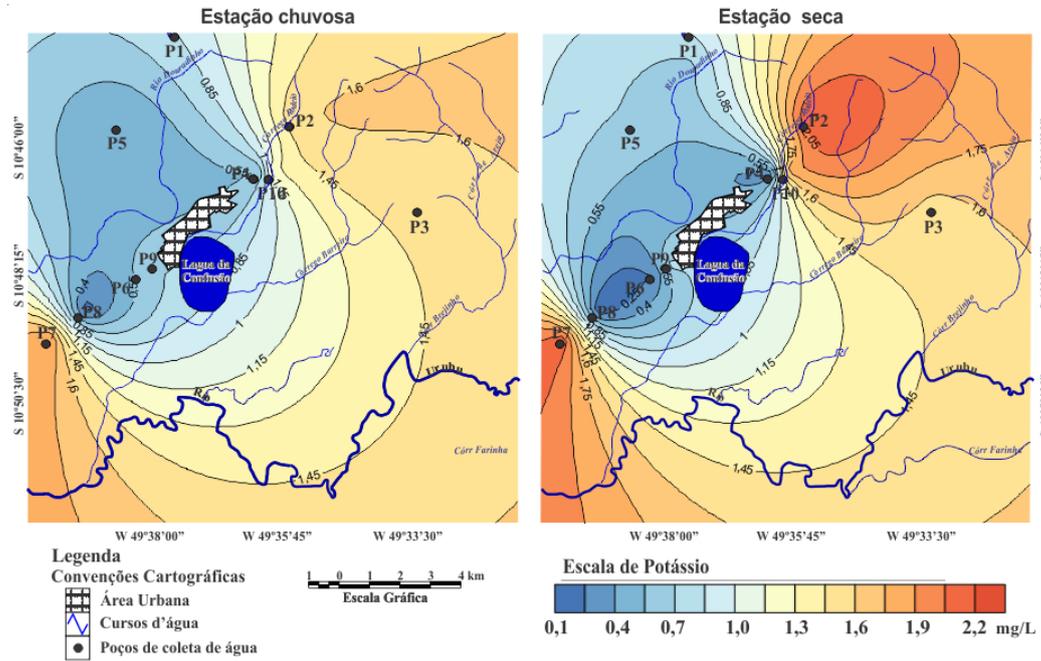
Fonte: Autores (2013).

O mesmo comportamento foi observado para a concentração de potássio (Figura 11), contudo seu teor em águas subterrâneas é geralmente baixo, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais.

As figuras 12 e 13 demonstram a distribuição dos íons cloreto e sulfato na área de estudo. Pode-se observar que os maiores valores para cloreto foram encontrados na estação seca, próximos aos poços P2, P4, P5 e P10, na porção noroeste da área de estudo. Contudo, os valores

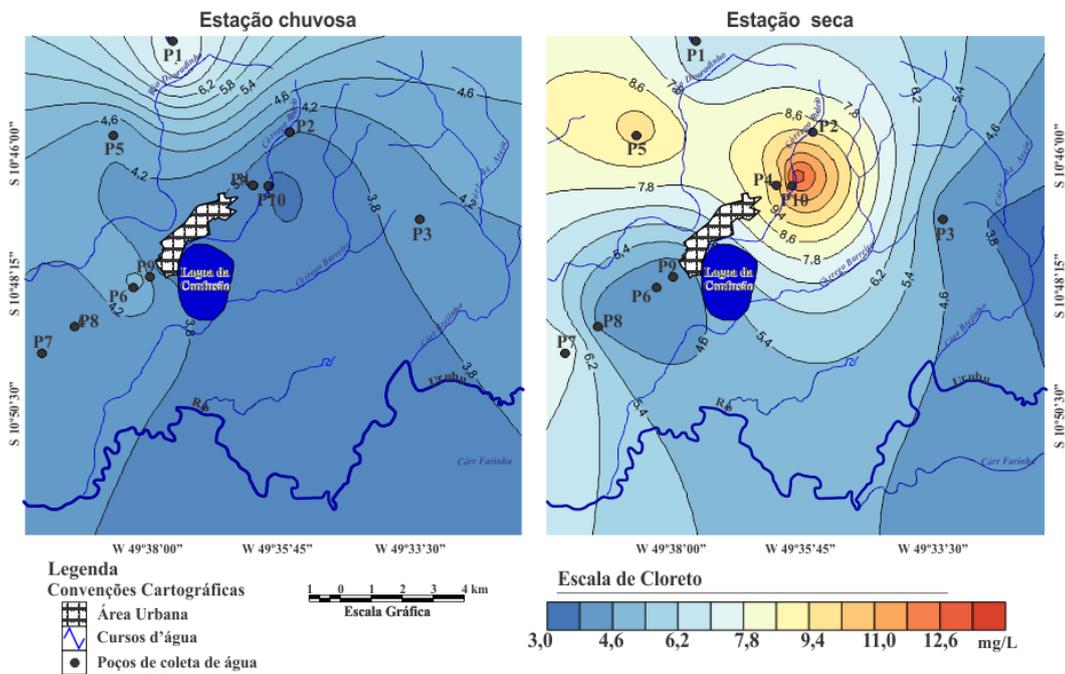
encontrados são considerados baixos (inferiores a 15 mg/L), e encontram-se de acordo com o estabelecido para o padrão de consumo humano (valor máximo permitido de 250,0 mg/L). Com relação ao parâmetro sulfato, sua concentração foi maior na estação chuvosa, próxima aos poços P2, P4, P7 e P10, sendo o maior valor encontrado de 5,3 mg/L no poço P10. Tal como o parâmetro cloreto, os valores encontrados na área de estudo para o parâmetro sulfato encontram-se de acordo com o estabelecido para o padrão de consumo humano (valor máximo permitido de 250,0 mg/L).

Figura 11 – Distribuição de potássio



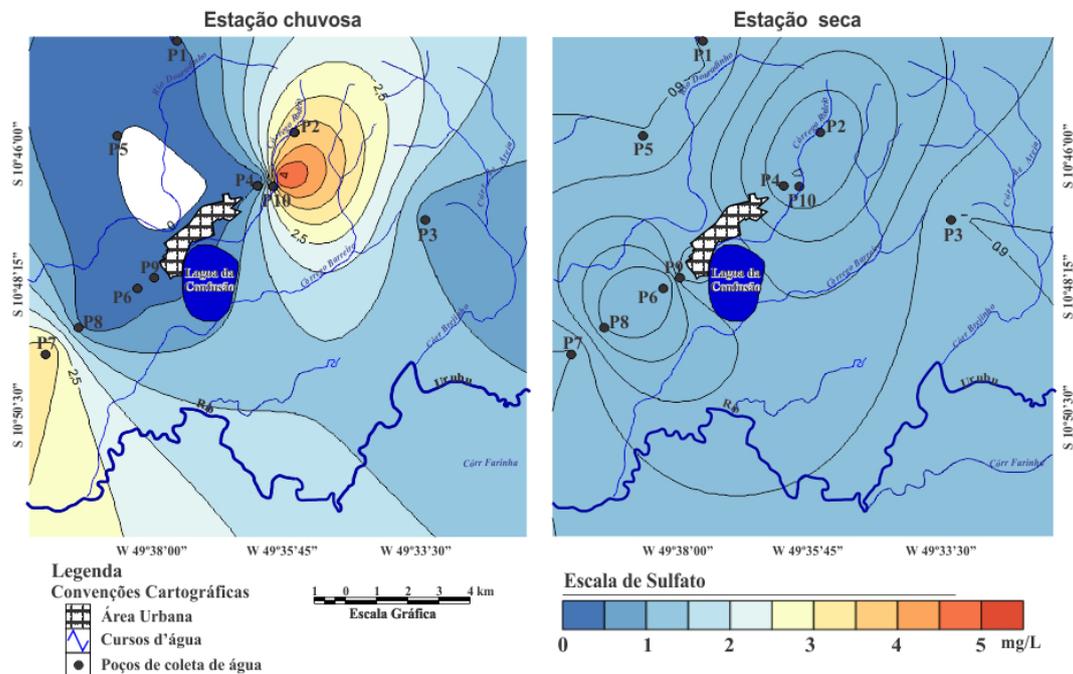
Fonte: Autores (2013).

Figura 12 – Distribuição de cloreto



Fonte: Autores (2013).

Figura 13 – Distribuição de sulfato

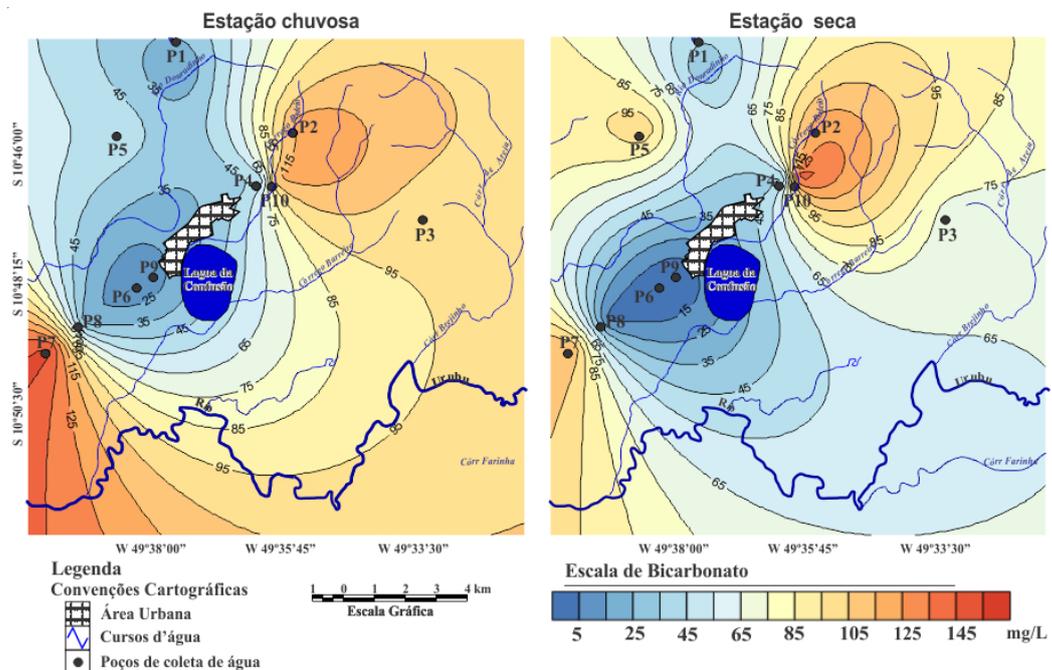


Fonte: Autores (2013).

O parâmetro bicarbonato apresentou para as amostras coletadas na área na estação chuvosa concentração de 67,2 mg/L, variando de 17,1 a 146,6 mg/L. Para a estação seca, o valor médio da concentração de bicarbonato foi de 65,3 mg/L, variando de 7,0 a 140,0 mg/L. Esses resultados demonstram o alto teor de bicarbonato contido nas águas amostradas. A figura 14 mostra a distribuição de bicarbonato na área de estudo, sendo que o padrão de disposição dos teores de bicarbonato se assemelha ao padrão de distribuição de cálcio e dureza. Cabe destacar que aparentemente o teor de bicarbonato tem forte influência sobre a condutividade.

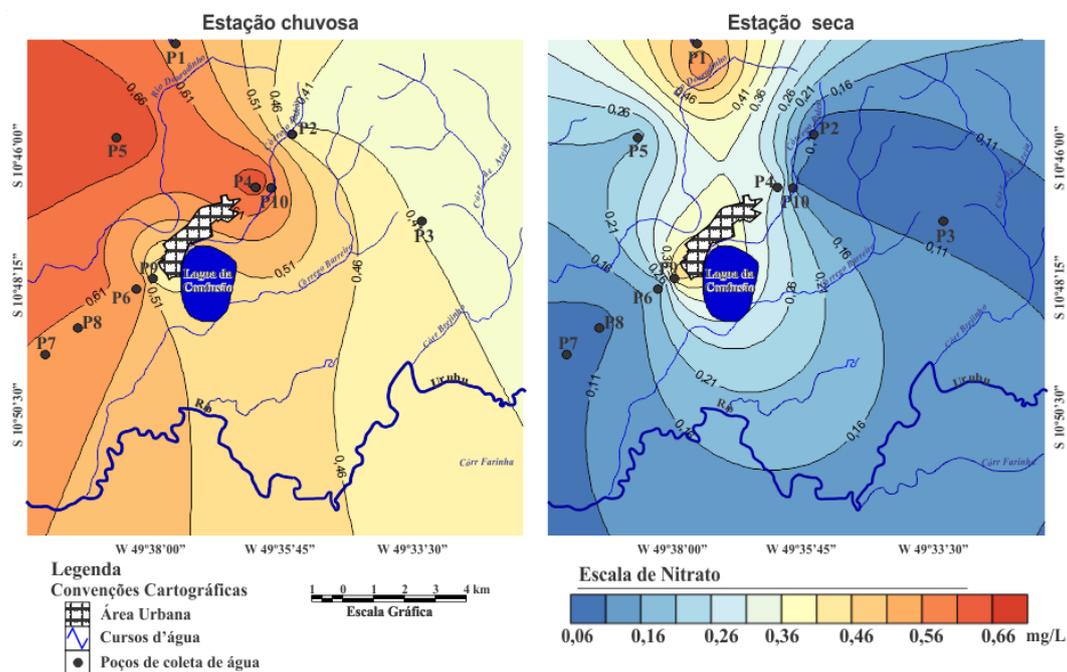
Com relação à concentração de nitrato, águas subterrâneas costumemente apresentam teores entre 0,1 e 10 mg/L, sendo que teores acima de 10 mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividade antropogênica, como esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios e adubos nitrogenados. As águas amostradas apresentaram valores de nitrato inferiores a 1 mg/L que atestam que a contribuição antropogênica à composição das águas subterrâneas da área é negligenciável. A figura 15 mostra que os maiores valores para concentração do parâmetro foram encontrados no fim da estação chuvosa, quando o nitrato do solo é lixiviado do solo, seguindo a direção do fluxo (OLIVEIRA, 2014).

Figura 14 – Distribuição de bicarbonato



Fonte: Autores (2013).

Figura 15 - Distribuição de nitrato

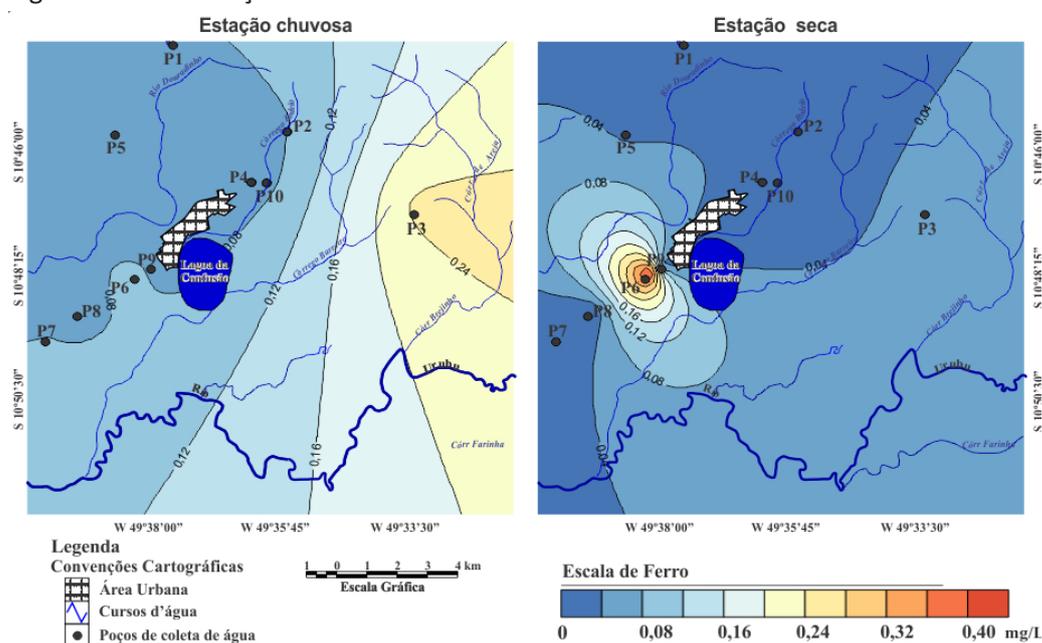


Fonte: Autores (2013).

A concentração de ferro na maioria das amostras de água coletadas na área apresentaram valores inferiores a 0,3 mg/L, valor máximo permitido pelo padrão brasileiro de água para consumo humano. Entretanto, a amostra coletada no poço P6 apresentou valor para o parâmetro de 4,3 mg/L, o qual é superior ao permitido pela norma brasileira

para consumo humano. Cabe destacar que a distribuição de ferro na área de estudo não foi homogênea e não seguiu um padrão (Figura 16), sendo assim os altos teores de ferro na água subterrânea podem estar ligados à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo a corrosão do revestimento ou filtro do poço (SANTOS, 2000).

Figura 16 - Distribuição de Ferro



Fonte: Autores (2013).

Para a interpretação dos dados quanto aos tipos iônicos de água foi empregado o diagrama hidroquímico de Piper, que consiste em um diagrama triangular que representa a composição da água deduzida a partir dos ânions e cátions e permite classificá-la em cálcica, cloretada, bicarbonatada, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista de forma a comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes (BOVOLATO, 2006).

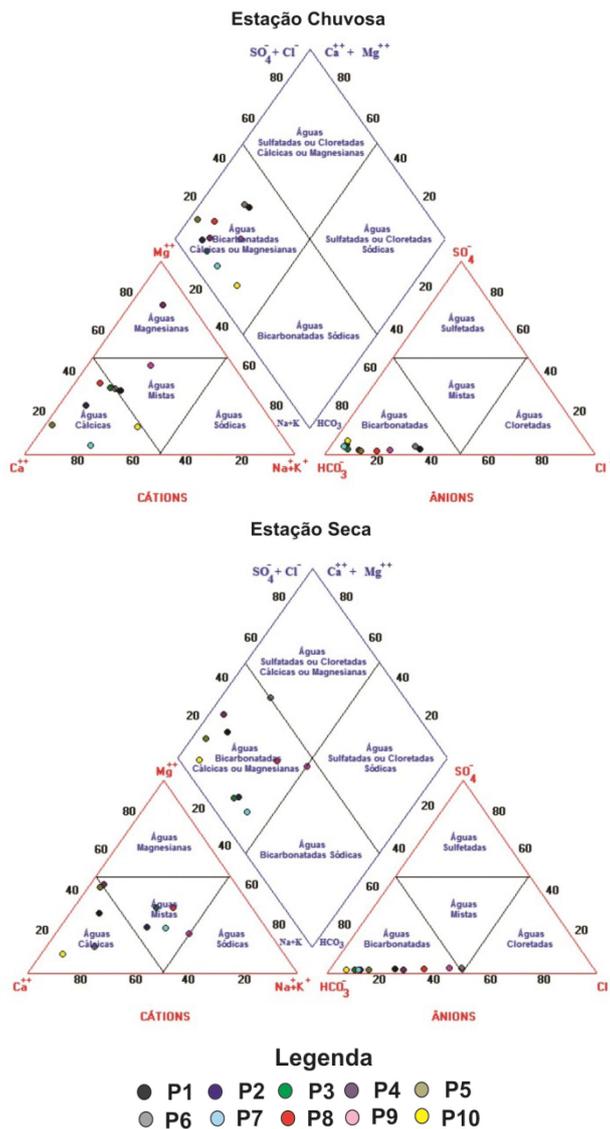
Conforme demonstrado pela figura 17, na estação chuvosa as águas subterrâneas

amostradas são bicarbonatadas, sendo sete amostras cálcicas (P2, P3, P5, P6, P7, P8 e P10), duas mistas (P1 e P9) e apenas uma magnésiana (P4). Na estação seca as águas amostradas são classificadas como bicarbonatadas (sendo a amostra P6 mista bicarbonatada-cloretada), onde quatro amostras são cálcicas (P1, P5, P6 e 10), e seis amostras são mistas do tipo cálcico-magnesianas-sódicas (P2, P3, P4, P7, P8 e P9). Esses dados ratificam que a hidroquímica dessas águas tende a ser controlada por essas espécies iônicas (HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+}).

A concentração de cálcio e magnésio nas águas amostradas está relacionada à ocorrência de calcário na área, marcada pela abrangência litológica regional dos afloramentos calcários, correspondentes

a Formação Couto Magalhães do Grupo Tocantins. Da mesma forma, a concentração de bicarbonato evidencia os fenômenos de carstificação que ocorrem ao longo da Lagoa da Confusão.

Figura 17 – Diagrama de Piper



Fonte: Oliveira e Moraes (2013).

Conclusão

A análise hidroquímica das amostras de água coletadas nos poços de abastecimento apresentaram, para os parâmetros analisados, valores em conformidade com o padrão brasileiro de qualidade para consumo humano para a maioria dos poços, sendo a hidroquímica das águas amostradas na região controlada prioritariamente pelas espécies químicas bicarbonato, cálcio e magnésio.

Os valores obtidos para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais demonstra que as águas amostradas em condições naturais são pouco mineralizadas, isto é, apresentam baixa salinidade.

A partir da construção de mapas de concentração de elementos, verificou-se que

os maiores valores de cálcio, magnésio, dureza e bicarbonato, bem como a diminuição do pH, ocorrem na estação chuvosa, nos poços próximos ao alinhamento entre Lagoa da Confusão e os mogotes calcários, evidenciando os fenômenos de carstificação ocorrentes nesta área.

Recomendação

A fim de ratificar as conclusões obtidas, recomendam-se novas campanhas de amostragem, que ponderem a sazonalidade climática da região, de modo que se possam diferenciar possíveis mudanças nas características das águas subterrâneas entre os períodos seco e úmido, bem como ampliar a rede de amostragem em direção ao rio Urubu e adicionar análises bacteriológicas.

Referências

AMADI, U. M. P. Flow pattern and changes in the chemistry of the ground water from the karst plains of Southern Indiana, U.S.A. In: **Karst Water Resources**. Proceedings of the Ankara - Antalya Symposium, n.161, jul. 1985. p.433-448.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22. ed. Washington: APHA, 2012.

BOVOLATO, L. E. Caracterização geoquímica das águas subterrâneas de Araguaína - TO. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.7, n.17, fev. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os Procedimentos e Responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Brasília, DF: Ministério das Minas e Energia, 1981. Folha SC. 22.

BRITO, E. R.; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; SILVA, E.; SILVA, A. F. Estrutura fitossociológica de um fragmento natural de floresta inundável em área de orizicultura irrigada, município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, out. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000500017&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 1 ago. 2013.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. London: John Wiley & Sons Ltd., 2007.

GORAYEB, P. S. S. Geologia do Estado do Tocantins: aspectos gerais e conhecimento Atual. In: MORAIS, F. (Org.). **Contribuições a Geografia Física do Estado do Tocantins**. Goiânia: Kelps, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Lagoa da Confusão – Dados Básicos**. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=171190#>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae didat**. Campinas, v.2, n.1, 2006. Disponível em: <http://pgegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-44072006000100003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 24 mar. 2014.

OLIVEIRA, K. B. M.; MORAIS, F. Hidroquímica das águas subterrâneas do entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

OLIVEIRA, K. B. M. **Estudo dos fluxos hídricos no entorno da Lagoa da Confusão – TO**. 2014. 195f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.

PEREIRA, G. C.; MORAIS, F. Geofísica aplicada ao estudo dos fluxos subsuperficiais no entorno da Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, Manaus, v.2, n.4, p.1475 – 1483, 2012.

PONTALTI, A. L. **Evolução espeleogenética da gruta casa de pedra, Lagoa da Confusão – TO, Brasil**. 2010. 74f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2010.

RAMAGE, L. **Hidrogeoquímica do sistema aquífero granular cenozoico do município de Porto Alegre, RS**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RAVE, J. C. G. **Geología, geofísica, hidrogeoquímica e isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero del municipio de Turbo**. 2009. 296 f. Dissertação (Magíster en Ingeniería – Recursos Hidráulicos) – Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2009.

RIQUELME, P. A. C. **Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del río Itata**. 2009. 66 f. Proyecto de Memoria (Curso de Ingeniería Agrícola) - Universidad de Concepción, Chillan, Chile, 2009.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM - LABHID, 2000.

SEPLAN - Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins. **Atlas do Tocantins:** subsídios ao planejamento da gestão territorial. 5.ed. Palmas: SEPLAN, 2008.

_____. **Avaliação de Impacto Social e Ambiental – AISA:** Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável PDRIS - Tocantins. Palmas: SEPLAN, nov. 2011.

VALENTE, C. R. **Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da bacia do rio Araguaia, Brasil Central.** 2007. 156f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - CIAMB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.