

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ARAGUAÍNA/TO

Luís Eduardo Bovolato¹; Manoel Carlos Toledo Franco de Godoy²

RESUMO --- No Município de Araguaína, localizado ao norte do Estado do Tocantins, com população urbana estimada em 127.000 habitantes, o abastecimento público de água é feito exclusivamente através da captação em poços profundos, não havendo redes coletoras para a disposição da água servida. Todo o saneamento é feito “*in situ*”, fato que pode interferir na qualidade de suas águas subterrâneas. Uma pesquisa de caráter pioneiro no Estado de Tocantins foi realizada, com o objetivo de determinar parâmetros físico-químicos das águas que abastecem a cidade de Araguaína, classificando-as segundo os seus principais tipos do ponto de vista de sua assinatura geoquímica e verificando a sua qualidade com referência às normas de potabilidade vigentes no Brasil. As informações obtidas possibilitaram classificar as águas nos tipos bicarbonatadas-cálcicas-magnesianas em sua maior parte, demonstrando também que elas são potáveis e comportam um tratamento de custos muito mais baixos do que aqueles mais comumente exigidos para o suprimento através de águas superficiais no Brasil.

ABSTRACT --- Araguaína, with an urban population estimated in 127.000 inhabitants, is located in the northern portion of Tocantins State. All the drinking water used by its population is provided by deep wells, exploiting the Sambaíba aquifer of the Parnaíba Basin. The sewage disposal is done only on site, by means of pit latrines or septic tanks, which may impact the groundwater. A research carried out in this city enabled an interpretation of the suitability of the supplied water to Brazilian standards for drinking water, as well a classification of the majority of it as calcium-magnesium-bicarbonated water. One of the advantages of supplying groundwater in this city is related to the reduced costs of treatment as compared with supplying surface water in Brazil.

Palavras-chave: água subterrânea, hidrogeoquímica, qualidade da água

¹ Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Araguaína, Rua Humberto de Campos, s/n, Bairro São João, cep: 77800-000, Araguaína/TO, (63) 3412-1000, lebovolato@uol.com.br

² Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp, Rua Roberto Simonsen, 305, Centro Educacional, cep: 19060-900, Presidente Prudente/SP, (18) 3229-5388, mf.godoy@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

O aspecto da qualidade da água subterrânea para uso pelo ser humano é tão importante quanto o aspecto qualitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para diversas formas de uso é condicionada à qualidade físico-química, biológica e radiológica.

O estudo hidroquímico possibilita classificar as águas disponíveis para uso de acordo com a sua adequabilidade ao atendimento de variadas demandas do ser humano.

Um estudo, que deve ser considerado pioneiro no Estado pelo seu escopo e pelo alcance dos recursos da pesquisa empregados, foi executado com a finalidade de determinar importantes características físico-químicas das águas subterrâneas da Formação Sambaíba (Bacia Sedimentar do Parnaíba) na cidade de Araguaína, Estado do Tocantins (Figura 1). Nesta cidade, o abastecimento público é feito exclusivamente a partir da captação de águas subterrâneas, contando com uma rede de poços tubulares profundos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

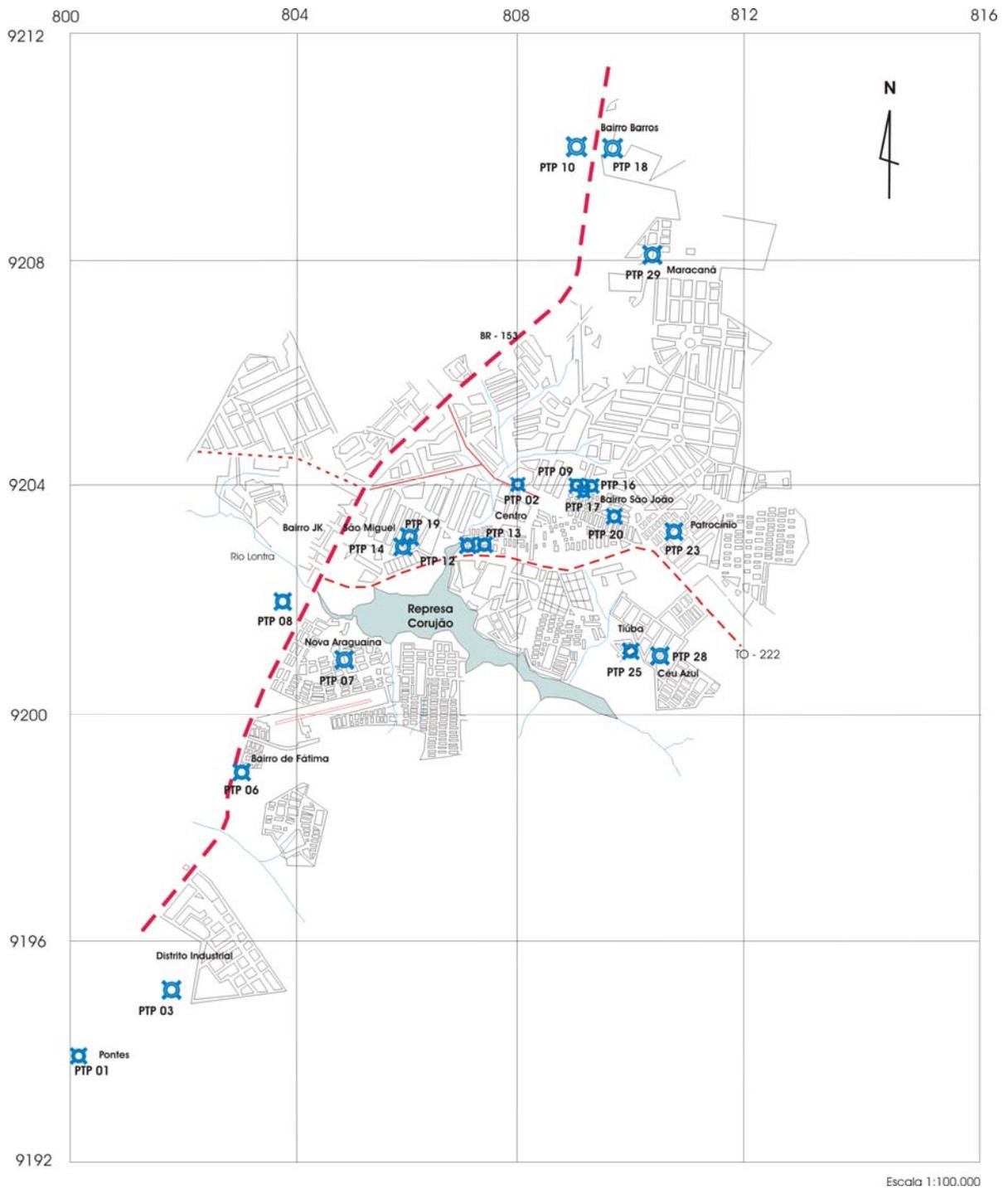
A coleta, a reservação, análises bacteriológicas, químicas e físico-químicas de amostras de água de 22 poços profundos localizados na área urbana (Figura 2) foram efetuadas segundo os padrões estabelecidos pela American Public Health Association (1995), para amostras de água para consumo humano.

No laboratório da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins) em Araguaína foram realizadas as análises bacteriológicas (presença/ausência de coliformes totais e fecais) utilizando o reagente Collilert. Também neste mesmo laboratório foram efetuadas análises para a determinação de pH, temperatura, cor, turbidez, nitrato e sulfato utilizando-se o espectrofotômetro de marca de fabricação HACH, modelo DR-2010 para NO_3^- e SO_4^{2-} .

No laboratório do Centro de Tecnologia do Senai em Araguaína foram efetuadas as análises para a concentração de bicarbonato através do método de titulação.

Os demais elementos químicos como os principais cátions, ânions e metais, foram analisados no Laboratório de Geoquímica Ambiental, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, utilizando o Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte Plasma, marca Spectro, modelo Ciro CCD com Visão Radial, tendo as amostras sido coletadas e filtradas em filtros de seringa (0,45 μm) e acidificadas com ácido nítrico a 10% para efeitos de preservação das mesmas.

Para a tabulação dos dados hidrogeoquímicos e elaboração do Diagrama de Piper e definição dos tipos de água segundo as concentrações de cátions e ânions, utilizou-se o programa “AQUACHEM 4.0”, desenvolvido pela “Waterlloo Hydrogeologic Company”.



PTP – Poço tubular profundo

Figura 2. Planta de localização dos poços profundos na área urbana de Araguaína/TO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cidade de Araguaína e seu entorno está assentada sobre rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba, representando uma ampla depressão intracratônica, cuja característica original é a deposição horizontalizada de seus estratos, tendo sido implantada, provavelmente, durante o Siluriano, com a subsidência da área cratônica devido a fraturamentos N-S, NE-SW e NW-SE, responsáveis pela evolução estrutural da bacia, originados a partir dos primeiros pulsos tectônicos que ocasionaram a separação da América do Sul do Continente Africano.

Afloram nos domínios da área urbana de Araguaína e seu entorno, rochas pertencentes às Formações Motuca (folhelhos de coloração vermelho-tijolo, com lentes delgadas de calcário e anidrita, de idade Permiana Superior a Triássica), Sambaíba (arenitos finos a médios, bem classificados e selecionados com grãos foscos e colorações avermelhadas a róseas, de idade Triássica) e Mosquito (basaltos toleíticos, amigdalólides, contemporâneos aos arenitos da Formação Sambaíba). Os basaltos da Formação Mosquito capeam localmente os arenitos da Formação Sambaíba, conferindo ao aquífero condições de confinamento.

Atualmente estão em operação 22 poços profundos distribuídos por toda a área urbana. Na Tabela 1, são apresentados os dados de profundidade e vazão de exploração dos poços operados pela Companhia de Saneamento do Tocantins (SANEATINS).

Tabela 1. Poços profundos na área urbana de Araguaína

POÇO	LOCAL	PROFUNDIDADE	VAZÃO (m ³ /h)
PTP 01	Bairro Ponte	120	8,0
PTP 02	Laboratório (St. Noroeste)	65	20,0
PTP 03	Distrito Industrial	80	20,0
PTP 06	Bairro de Fátima	114	6,5
PTP 07	Setor Nova Araguaína	110	8,0
PTP 08	Setor JK	120	20,0
PTP 09	Centro de Produção 2	200	160,0
PTP 10	Barros	150	6,3
PTP 12	Centro de Produção 1	105	200,0
PTP 13	Centro de Produção 1	80	200,0
PTP 14	Centro de Produção 1	94	173,8
PTP 16	Centro de Produção 2	195	180,0
PTP 17	Centro de Produção 2	201	200,0
PTP 18	Barros	155	7,00
PTP 19	Centro de Produção 1	100	200,0
PTP 20	Servaz (Bairro São João)	235	110,0
PTP 26	Novo Horizonte	96	11,0
PTP 23	Vila Patrocínio	90	11,0
PTP 24	Barra da Grota	90	4,00
PTP 25	Setor Tiúba	150	70,0
PTP 28	Céu Azul	198	260,0
PTP 29	Maracanã	213	172,0
TOTAL			2.047,6

Os dados físico-químicos apresentados na tabela 2 mostram que as águas dos poços profundos que abastecem a cidade de Araguaína apresentam temperatura média de 28,5° C, sendo que a menor temperatura é de 27° C e a maior de 31° C (Poço PTP 28 – Setor Céu Azul). Quanto aos valores de turbidez³ e TDS⁴, tomando-se por referência a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004), as águas apresentam na sua totalidade, valores inferiores aos valores máximos permitidos (VMP).

Em relação ao pH, há predomínio de águas ácidas (pH inferior a 7,0), exceto as águas dos poços PTP's 10 e 18 (Setor Barros) que, com valor de pH 7,2 são consideradas neutras (figura 3).

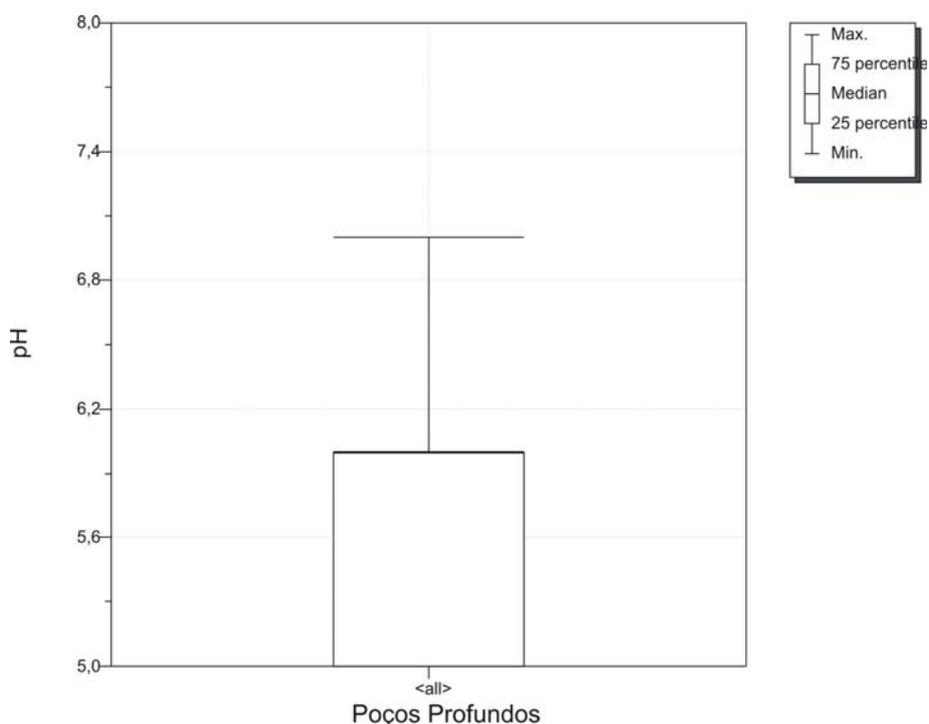


Figura 3. Valores de pH para as águas subterrâneas de Araguaína

Do ponto de vista da qualidade bacteriológica, em nenhum dos poços profundos foram constatados a presença de coliformes totais e fecais.

Após a conversão dos valores de concentrações dos principais cátions e ânions de mg/L (miligramas/litro) para meq/L (miliequivalente/litro), as concentrações iônicas de cada uma das amostras de água dos poços profundos foram tratadas no software “AQUACHEM 4.0” e, a partir deste, foi traçado o Diagrama de Piper.

³ Turbidez é a dificuldade da água para transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão que podem sujar a água, dificultando a passagem da luz.

⁴ TDS: Sólidos Totais Dissolvidos

Este diagrama é utilizado quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes, em cálcica, cloretada, bicarbonata, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista.

Na Tabela 3 são apresentados os dados das análises para os elementos secundários presentes nas amostras de água subterrânea.

A figura 4 mostra o Diagrama de Piper onde estão plotadas as concentrações iônicas das águas subterrâneas de Araguaína, havendo predomínio de águas de natureza bicarbonatas- cálcicas- magnesianas e cloretadas-cálcicas-magnesianas.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas, principais cátions e ânions das águas dos poços profundos de Araguaína

POÇO	T (°C)	pH	TURB.	TDS	Na⁺	K⁺	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Cl⁻	SO₄⁻	HCO₃⁻	NO₃⁻
PTP 01	28,0	6,8	0,23	130,073	1,19	5,30	13,09	5,01	45,00	8,00	52,00	1,30
PTP 02	27,0	6,1	0,17	162,022	3,37	0,88	15,41	10,37	65,00	0,00	66,00	3,20
PTP 03	29,0	6,2	0,59	85,026	1,95	1,49	9,91	3,85	25,00	9,00	36,00	1,30
PTP 06	28,0	5,5	0,12	60,016	1,31	0,22	3,81	2,25	45,00	0,00	8,00	1,20
PTP 07	28,0	4,9	0,12	58,019	0,48	0,12	0,36	0,05	35,00	0,00	22,00	1,40
PTP 09	29,0	6,3	0,14	75,005	2,71	0,67	9,04	5,81	16,00	1,00	38,00	3,60
PTP 10	28,0	7,2	0,15	44,015	0,97	0,19	1,81	1,18	20,00	0,00	18,00	3,00
PTP 12	27,0	6,0	0,15	60,0	2,06	0,57	7,40	4,24	10,00	1,00	34,00	1,80
PTP 13	27,0	5,9	0,15	102,019	3,34	1,08	9,79	5,10	10,00	1,00	40,00	1,50
PTP 14	27,0	5,8	0,15	51,057	3,22	0,53	5,89	3,73	10,00	1,00	24,00	2,70
PTP 16	29,0	5,5	0,18	41,005	0,72	0,51	2,85	1,27	10,00	1,00	20,00	1,60
PTP 17	29,0	6,0	0,56	45,00	1,32	0,69	5,06	2,27	12,00	1,00	22,00	1,90
PTP 18	28,0	7,2	0,15	95,00	2,23	1,05	14,02	5,75	20,00	1,00	48,00	3,00
PTP 20	29,0	5,4	0,18	34,024	0,90	0,47	3,47	1,62	12,00	1,00	16,00	1,50
PTP 23	29,0	5,0	0,33	34,071	0,46	0,13	0,00	0,00	10,00	2,00	21,00	1,30
PTP 25	30,0	5,8	0,16	54,030	2,26	3,13	5,43	2,18	20,00	3,00	18,00	1,20
PTP 28	31,0	5,9	0,16	71,029	2,34	3,23	5,39	2,15	20,00	8,00	30,00	1,10
PTP 29	30,0	5,2	0,15	24,027	0,71	0,41	1,69	1,01	8,00	1,00	8,00	1,00

* Concentração de cátions, ânions e TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) em mg/L.

Tabela 3. Principais elementos químicos secundários presentes nas águas de poços profundos de Araguaína.

Poço	Al	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Sc	Sr	V	Zn
PTP 01	23,67	<LQ	16,60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	16,06	5,74	2,38	<LQ	<LQ	65,90	<LQ	73,50
PTP 02	<LQ	<LQ	133,00	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,19	<LQ	<LQ	<LQ	57,60	7,03	21,72
PTP 03	<LQ	<LQ	31,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	51,30	<LQ	25,80
PTP 06	<LQ	<LQ	16,22	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,06	<LQ	<LQ	<LQ	12,27	<LQ	15,99
PTP 07	<LQ	<LQ	9,91	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,71	<LQ	12,21	<LQ	<LQ	1,31	<LQ	18,79
PTP 09	<LQ	<LQ	38,60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	30,99	<LQ	5,32
PTP 10	<LQ	<LQ	43,83	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7,31	1,06	15,86	<LQ	<LQ	7,58	<LQ	15,00
PTP 12	<LQ	<LQ	123,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	373,9	<LQ	<LQ	22,83	<LQ	23,36
PTP 13	<LQ	<LQ	308,9	<LQ	<LQ	10,33	<LQ	<LQ	<LQ	1,45	1357,00	<LQ	<LQ	36,79	<LQ	19,22
PTP 14	45,66	<LQ	23,56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	15,77	1,03	13,02	<LQ	<LQ	18,31	<LQ	11,91
PTP 16	<LQ	<LQ	26,11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,98	<LQ	<LQ	<LQ	9,35	<LQ	5,63
PTP 17	<LQ	<LQ	25,22	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5,23	<LQ	<LQ	13,87	9,34	<LQ
PTP 18	<LQ	<LQ	33,56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	39,04	8,73	26,35
PTP 20	18,00	<LQ	28,39	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,93	<LQ	<LQ	9,51	<LQ	5,91
PTP 23	<LQ	<LQ	6,09	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8,95	<LQ	2,36	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	70,90
PTP 25	12,52	<LQ	25,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,15	<LQ	<LQ	<LQ	36,28	<LQ	18,44
PTP 28	12,36	<LQ	24,12	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,12	<LQ	<LQ	<LQ	36,36	<LQ	17,73
PTP 29	<LQ	<LQ	21,34	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,32	11,21	1,08	2,16	<LQ	<LQ	7,23	<LQ	16,20

* Concentração dos elementos em µg/L.

LQ = Limite de Quantificação do Equipamento

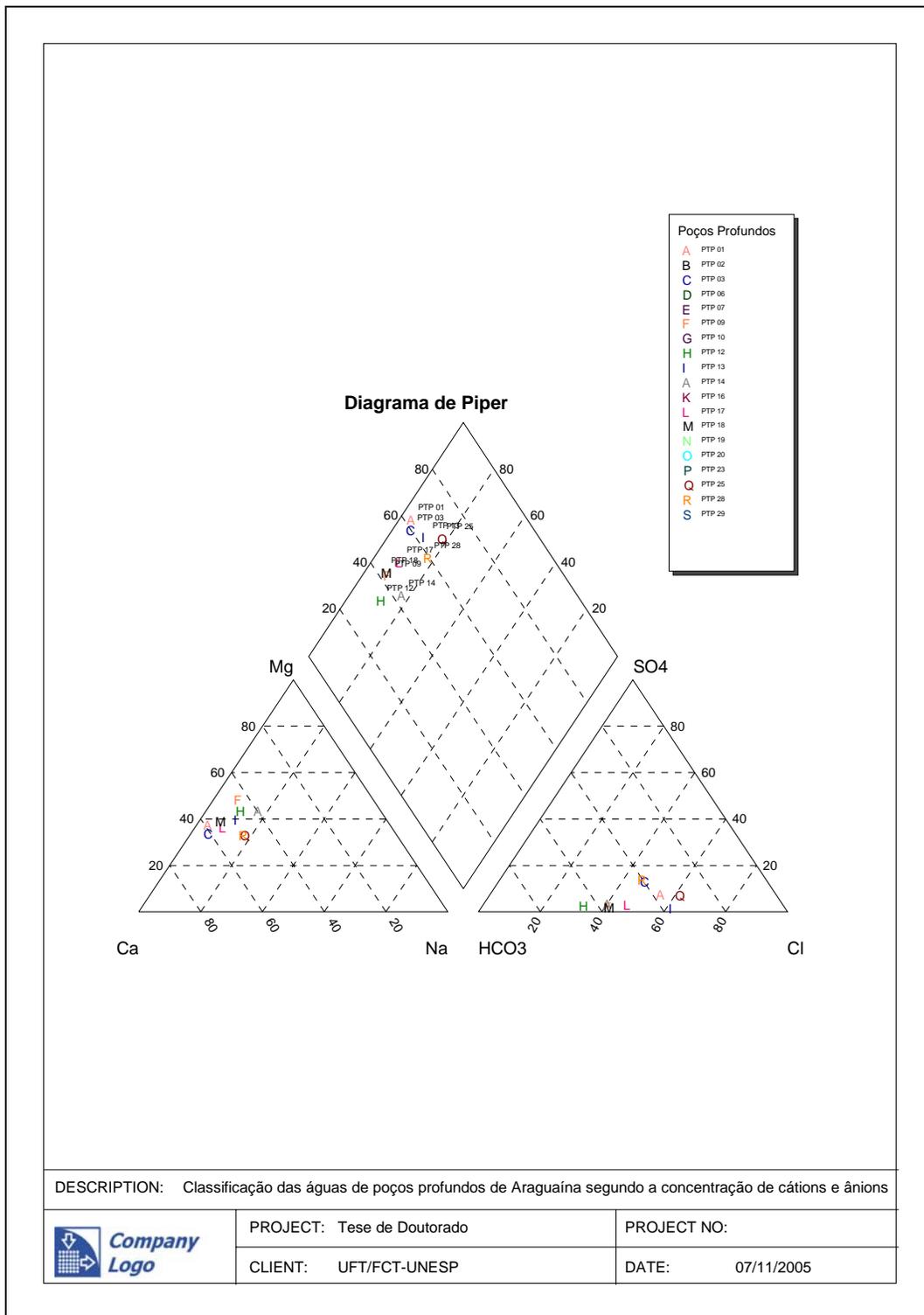


Figura 4. Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Araguaína.

Na figura 5 estão representados os principais constituintes iônicos das águas subterrâneas captadas nos poços profundos distribuídos pela área urbana de Araguaína.

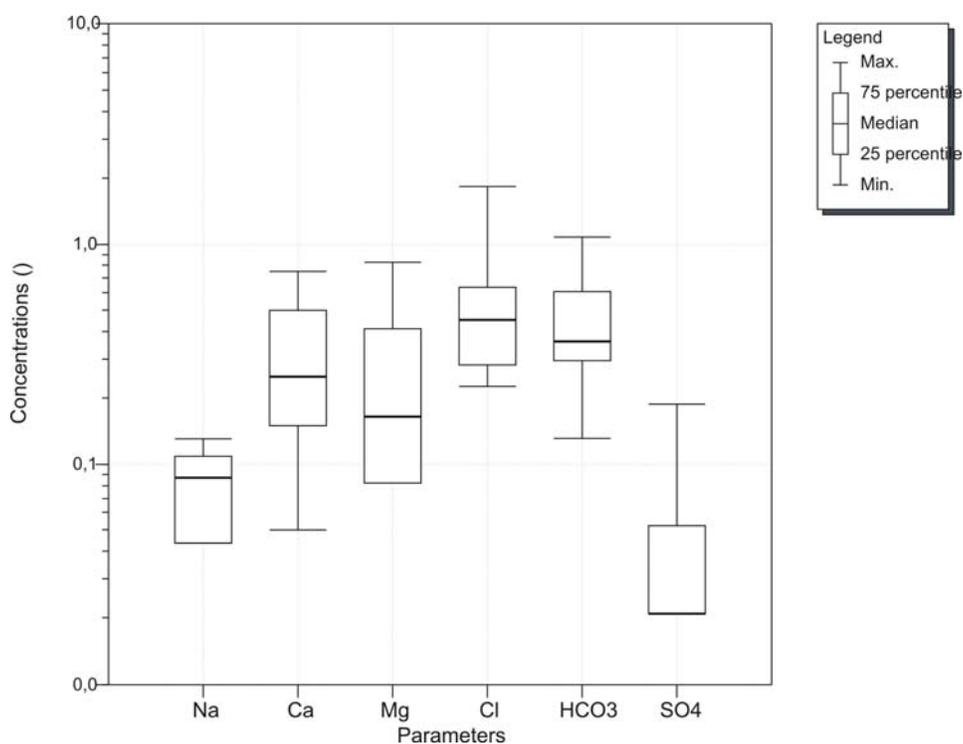


Figura 5. Concentração dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas de Araguaína

Os valores para as concentrações dos principais cátions e ânions são em geral muito baixos, em comparação com os teores mais comuns para águas subterrâneas no Brasil e no mundo, conforme é resumido em Sz kay (1993). Esta mineralização relativamente baixa é uma indicação de que o arenito da Formação Sambaíba (aquífero) é muito poroso, com poucos clastos de líticos, poucos piroxênios, pouco cimento, principalmente o carbonático (pH baixo) e de óxidos e hidróxidos de ferro (apesar de ambiente deposicional desértico), assim como pode sugerir uma localização relativamente próxima de recarga.

Num primeiro exame, verifica-se um determinado grau de proporcionalidade entre o teor de Ca e pH, significando pouco cimento e talvez baixa contribuição das rochas basálticas.

Quanto à potabilidade das águas subterrâneas fornecidas à população de Araguaína, os dados referentes aos principais parâmetros estão muito abaixo dos VMP adotados oficialmente no país.

Especificamente no tocante ao NO_3^- (nitrato), que é um ânion muito móvel e que pode ser removido com facilidade das camadas superiores do solo para a zona saturada (Bower, 1978) e que representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica, teores acima de 22,15 mg/L ou 5,0 mg/l em parâmetro de N nítrico já indicam contaminação antropogênica da água subterrânea.

Para as águas captadas nos poços profundos de Araguaína, os valores estão muito abaixo desses referidos acima, conforme se evidencia na Tabela 2. Se, em determinado estágio de desenvolvimento da cidade, forem atingidos esses valores sintomáticos, deve ser atribuída a contaminação à existência generalizada de fossas, com a infiltração dos dejetos acumulados nesse esgotamento sanitário “*in situ*”, a qual, tomando-se por base os dados estatísticos e índices apresentados por Azevedo Neto et al (1998), gera um volume diário de 20.320.000 l/dia (127.000×200) \times 0,8) de efluentes.

A disposição de dejetos humanos “*in situ*” é um meio efetivamente favorável à geração de nitrato em nível comprometedor para a saúde humana (ZILBERBRAND ET AL, 2001).

De acordo com as normas vigentes no Brasil, o limite máximo permitido para a concentração de nitrato para águas de consumo humano é de 44,30 mg/L ou 10,0 mg/L em parâmetros de N nítrico. Portanto, as concentrações de nitrato na água subterrânea de Araguaína atendem às normas vigentes no país com referência aos padrões de potabilidade da água.

Quanto às concentrações dos elementos químicos secundários presentes nas águas subterrâneas de Araguaína, conforme valores apresentados na tabela 2 observam-se uma concentração anômala de manganês (Mn) nas águas dos poços PTP 13 e PTP 12 (localizados junto ao Centro de Produção I, foto 01), cuja concentração é de 1.357,0 µg/L (equivalente a 1,357 mg/L) e 373,9 µg/L (equivalente a 0,373 mg/L) respectivamente.

O limite máximo permitido pelas normas e padrões brasileiros de potabilidade para as concentrações de manganês em águas para consumo humano é de 0,1 mg/L. Portanto, as águas captadas através desses poços, estão em desacordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde no tocante a estes parâmetros.

O manganês assemelha-se ao ferro quimicamente e ocorre principalmente sob a forma de Mn^{2+} , podendo também ocorrer sob a forma de Mn^{3+} (MATHESS, 1982). O manganês, no estado Mn^{2+} , é instável na presença do ar, mudando para o estado MnO_2 quando a água que o contém é exposta ao ar, pois se oxida facilmente. O bicarbonato manganoso decompõe-se da mesma forma que o bicarbonato ferroso, deixando a água sob a forma de um depósito de cor negra e de aspecto fuliginoso, ao desprender-se o gás carbônico. Este aspecto fuliginoso tem sido observado pelos consumidores em suas residências, com a precipitação de particulados de coloração negra nos reservatórios (caixas d'água) e piscinas.



Foto 01. Poço PTP 13, Centro de Produção I.

A origem das concentrações elevadas de manganês nos poços PTPs 12 e 13 provavelmente estão associadas à variações faciológicas locais dentro do pacote de arenitos da Formação Sambaíba, que por sua vez estão relacionadas à mudanças nas condições paleodeposicionais. Com o bombeamento da água nestes poços, houve um incremento na velocidade de circulação da água neste meio poroso (arenitos) fazendo com que o manganês presente neste local migrasse com maior facilidade.

O poço correspondente aos valores maiores deve ser tamponado. Quanto ao outro poço, dada a ausência no Estado do Tocantins de restrição legal ao recurso prático da mistura (blending) e a existência em Araguaína de um sistema unificado de tratamento anterior à operação de distribuição geral, a água fornecida por ele deve ser diluída, deste modo neutralizando o risco de seu uso representar para a saúde pública.

Em relação aos demais elementos químicos considerados secundários, destaca-se a presença de Bário (Ba) e Estrôncio (Sr) em amostras de água de todos os poços, Alumínio (Al), Lítio (Li), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Vanádio (V), Cobalto (Co) apenas em um poço, Manganês (Mn) e ausência de elementos tóxicos e carcinogênicos como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Níquel (Ni).

Em estudo realizado por BOVOLATO (2005) para a área urbana de Araguaína, aplicando a metodologia “GOD”, desenvolvida por Foster & Hirata (1988), constata a predominância nesta área das classes de vulnerabilidade desprezível a baixa, de acordo com as categorias adotadas por estes autores. Os dados químicos das amostras de água subterrânea confirmam que do ponto de vista da vulnerabilidade à contaminação, o aquífero que abastece a cidade encontra-se protegido.

Do ponto de vista do sistema de tratamento da água subterrânea, utiliza-se o sistema “Hidrogerox®”, solução individual para a maior parte dos poços onde, a partir da dissolução eletrolítica de uma solução de NaCl, separa-se o cloro que é adicionado por um dosador automático à água. Quanto à fluoretação, esta não é utilizada. Esta simplificação do tratamento em uma etapa apenas representa uma redução sensível de custos em comparação com os de tratamentos de águas superficiais captadas para abastecimento público no Brasil.

4. CONCLUSÕES

Uma pesquisa, inovadora no tocante à sua aplicação ao Estado do Tocantins, possibilitou o traçado de um retrato da qualidade das águas subterrâneas de Araguaína e constitui-se em exemplo a ser seguido para uma avaliação necessária em outros municípios importantes do Estado do Tocantins, sobre a qualidade das águas fornecidas à população.

A falta de contaminação de modo geral confirma uma pesquisa anterior onde se avaliou o grau de vulnerabilidade do aquífero à contaminação, apontando condições de baixa susceptibilidade.

Apesar do fator de risco representado pela quantidade diária de água residuária disposta em fossas, ainda não se encontram vestígios de contaminação de nitrato atribuível à influência destas condições de precariedade de saneamento básico.

O alto potencial das reservas, a qualidade das águas captadas e o custo relativamente baixo de seu tratamento demonstram uma condição de garantia apreciável de recursos hídricos viáveis e adequados para o abastecimento da cidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 th. Edition. New York: APHA, 1995.
- . ARAGUAÍNA, Município de. Plano Diretor Municipal. Araguaína, 2004.
- . AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ & FERNANDEZ, M.; ARAÚJO, R.; ITO, A. Manual de hidráulica. 8º ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1998, 669 p.
- . BOVOLATO, L. E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia “GOD” para a área urbana de Araguaína/TO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. Anais ... João Pessoa: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. p.
- . BOWER, H. Groundwater hidrology. New York: McBraw-Hill Book Company, 480 p. 1978.
- . BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, de 25 de Março de 2004, Brasília/DF, D.O.U. de 26/03/2004.
- . BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Grande Carajás. Folha SB-22-Z-D – Araguaína. Brasília:CPRM, 1994.
- . FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. C. A. Groundwater polution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO; 1988, 78 p.
- . MATHESS, G. The properties of groundwater. New York, John Wiley & Sons. 1982. 406 p.
- . SZKSAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG-USP. Série Didática. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, nº 1, maio de 1985, 159 p.
- . ZILBERBRAND, M.; ROSENTHAL, E.; SHACHNAI, E. Impact of urbanization on hydrochemical evolution of groundwater and on unsaturated zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel. Journal of Contaminant Hydrology. 50; 3-4: 175-208, 2001.