

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MINAS GERAIS

RESUMO EXECUTIVO 2013



BAMBUÍ
2005 - 2013

GUARANI
2009 - 2013

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

**SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS



Governo do Estado de Minas Gerais
Sistema Estadual de Meio Ambiente
Instituto Mineiro de Gestão das Águas
Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico

Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas de Minas Gerais: Bambuí e Guarani

RESUMO-EXECUTIVO 2013

Guarani 2009 - 2013

Bambuí 2005 - 2013

Belo Horizonte

Março/2014

Secretário

Adriano Magalhães Chaves

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Diretora Geral

Marília Carvalho de Melo

Diretora de Pesquisa, Desenvolvimento e Monitoramento das Águas

Jeane Dantas de Carvalho

Gerente de Monitoramento Hidrometeorológico

Wanderlene Ferreira Nacif, Química

Coordenadora do Programa Águas de Minas

Katiane Cristina de Brito Almeida, Bióloga

Coordenadora do Monitoramento das Águas Subterrâneas

Maricene Menezes Oliveira M. Paixão, Geóloga

ESPAÇO DESTINADO PARA INFORMAÇÕES DE

REALIZAÇÃO:

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Diretora de Pesquisa, Desenvolvimento e Monitoramento das Águas

Jeane Dantas de Carvalho

Gerente de Monitoramento Hidrometeorológico

Wanderlene Ferreira Nacif, Química

Coordenadora do Programa Águas de Minas

Katiane Cristina de Brito Almeida, Bióloga

Coordenadora do Monitoramento das Águas Subterrâneas

Maricene Menezes Oliveira M. Paixão, Geóloga

Equipe Técnica

Geraldo João Araújo, Técnico Ambiental

Charles Douglas Coelho, Técnico Ambiental

Maria do Carmo Fonte Boa Souza, Engenheira Química

Maricene Paixão, Geóloga

Matheus Duarte Santos, Geógrafo

Estagiário

Gabriel Luca Nascimento, estudante de Geologia.

EXECUÇÃO:



APOIO:

Análises Laboratoriais

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI – CETEC

Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Ambiental

Marcos Bartasson Tannús - Gerente de P&D Tecnologia Ambiental

Cláudia Lauria Fróes Siúves – Bióloga, Responsável Laboratório

Cláudia Márcia Perrout Cerqueira – Bióloga, Responsável Laboratório

Enrico Sette – Biólogo, Responsável Laboratório

Hanna Duarte Almeida Ferraz – Bióloga, Responsável Laboratório

Jordana de Oliveira Vieira - Bióloga

José Antônio Cardoso, Químico, Coordenador do Projeto

Márcia de Arruda Carneiro - Bióloga

Marina Andrada Maria - Bióloga

Marina Miranda Marques Viana - Responsável Qualidade

Mônica Alves Mamão - Bióloga

Nathália Mara Pedrosa Chedid – Bióloga, Responsável Laboratório

Patrícia Neres dos Santos - Química, Responsável Coleta

Patrícia Pedrosa Marques Guimarães - Química, Responsável Laboratório

Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Química

Olguita G. Ferreira Rocha, Química e Bioquímica Farmacêutica - Gerente

Andréa Moreira Carvalho Hot de Faria - Química

Renata Vilela Cecílio Dias – Química, Responsável Laboratório

RESUMO EXECUTIVO

Há uma preocupação crescente com a proteção dos aquíferos, em função do papel desempenhado pelos mesmos que, além de importantes fontes de abastecimento, são responsáveis pela manutenção do fluxo, da qualidade e da ecologia das águas de superfície e vice-versa. Daí a necessidade de monitorar as águas subterrâneas, acompanhando sua evolução ao longo do tempo, o que permite seu gerenciamento eficaz.

A rede mineira de monitoramento das águas subterrâneas, operada pelo IGAM desde 2005, tem como objetivo a análise e caracterização qualitativa dos recursos hídricos subterrâneos e a avaliação das condições de qualidade, a partir das quais é possível assegurar o uso adequado dessas águas e também fornecer subsídios para ações de prevenção e controle da poluição.

Demais objetivos do monitoramento dos aquíferos incluem:

- ◆ Obter dados sobre as águas subterrâneas com abrangência e duração adequadas ao acompanhamento de possíveis alterações espaciais e temporais na qualidade e quantidade destas águas, apontando inclusive possíveis tendências de aumento na concentração de poluentes em determinadas áreas;
- ◆ Ampliar a base de conhecimento hidrogeológico dos aquíferos, visando inclusive à classificação, determinação de valores orientadores ou de background e enquadramento das águas;
- ◆ Gerar série histórica de informações essenciais ao estabelecimento de políticas de exploração;
- ◆ Subsidiar a gestão integrada de recursos hídricos, bem como as estratégias, as ações preventivas e políticas de uso, proteção e conservação destes recursos;
- ◆ Supervisionar continuamente a qualidade da água (de poços e nascentes) destinada a diferentes usos, por meio da verificação do atendimento aos padrões legais e a outros valores de referência (como os de intervenção);
- ◆ Subsidiar a identificação e a adoção de medidas corretivas associadas a possíveis contaminações da água;
- ◆ Acompanhar a eficácia das medidas de proteção da qualidade da água.

Esquema de um ciclo modelo de um programa de monitoramento das águas subterrâneas é apresentado na Figura a seguir.

FIGURA 1: Ciclo ideal de um programa de monitoramento de águas subterrâneas.



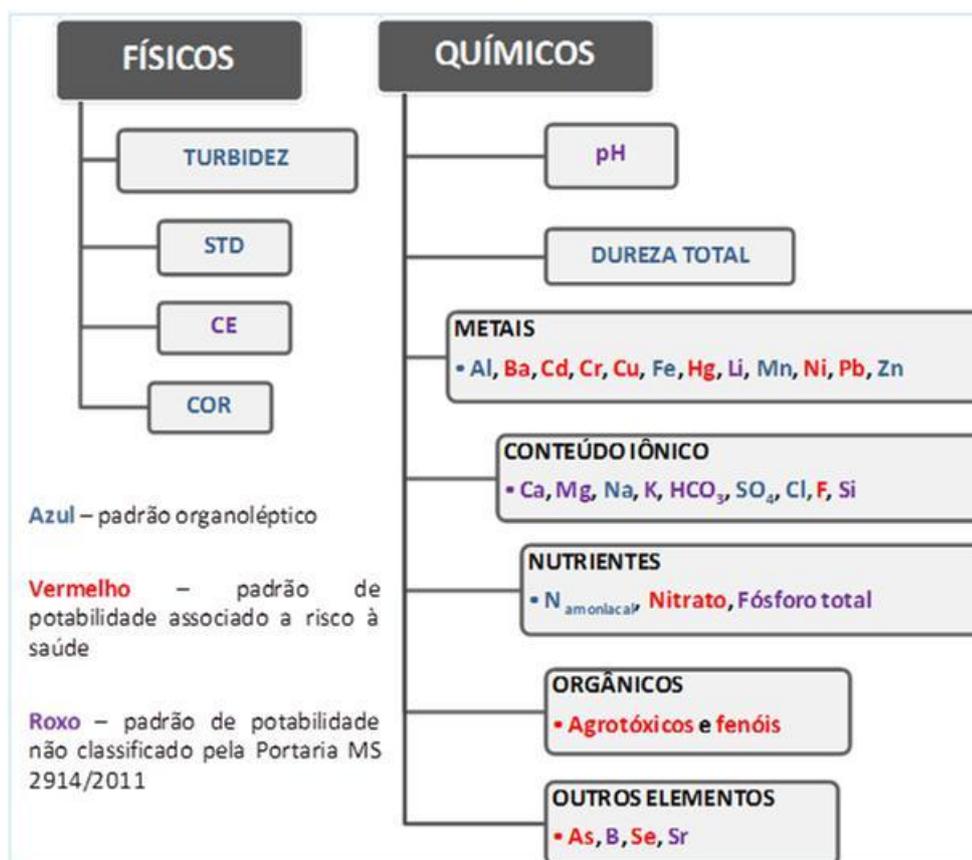
Fonte: Adaptado de European Communities, 2007.

O monitoramento dos aquíferos no estado de Minas Gerais iniciou-se, em 2005, em parceria com a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, no âmbito das sub-bacias SF6 – rios Jequitaí e Pacuí, SF9 - afluentes mineiros do médio São Francisco e SF10 – rio Verde Grande, inseridas na mesorregião do Norte de Minas Gerais (bacia do rio São Francisco). A partir de 2009, o IGAM implantou pontos de monitoramento na área confinada do aquífero Guarani, no território mineiro, em consonância com as ações do PEA – Programa Estratégico de Ações, inserido no Projeto Aquífero Guarani.

Para o monitoramento, foram selecionados parâmetros que propiciassem avaliações quanto a indícios de contaminação das águas em função das características de uso e ocupação dos solos, bem como para a medição, *in loco*, de íons que estão associados a diferentes classes de águas subterrâneas. Além dos parâmetros físico-químicos de qualidade, sempre que possível, são medidos os níveis d'água para caracterização do fluxo subterrâneo e zonas de recarga e descarga dos aquíferos.

A representatividade e a confiabilidade do monitoramento da qualidade da água dos aquíferos dependem, dentre outros, do número, da densidade (relação número/área) e da distribuição de poços de monitoramento em operação. Os custos envolvidos no monitoramento – tanto na implantação das redes, quanto na operação das mesmas – impõem restrições à quantidade dessas instalações, resultando que se recorra, frequentemente, ao uso de poços de produção para o monitoramento do aquífero.

FIGURA 2: Principais parâmetros monitorados nas águas subterrâneas no Estado.

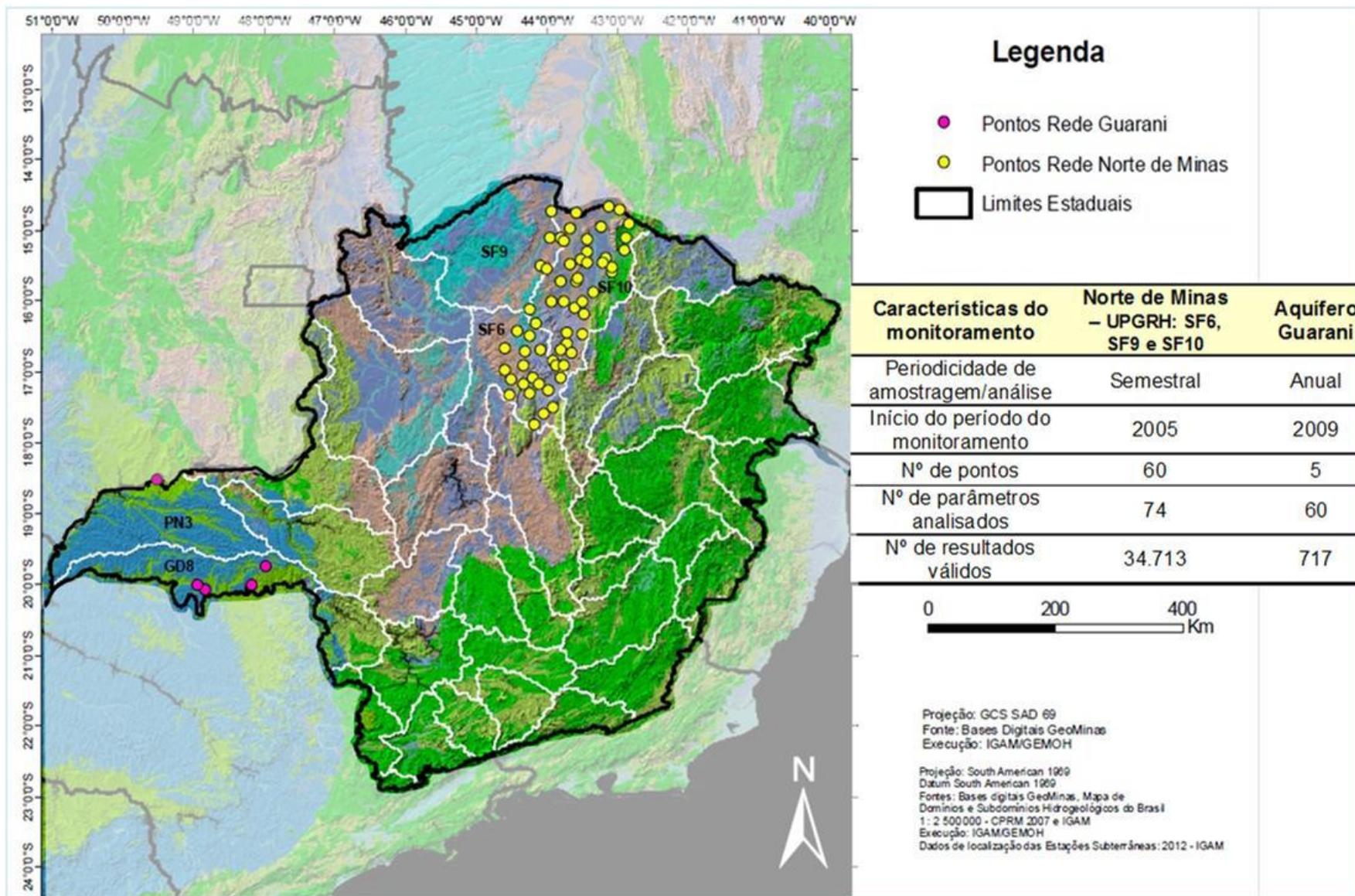


A maior parte dos poços no Norte de Minas extrai do aquífero Bambuí. Nesta região, foram executadas 15 campanhas, totalizando mais de 30.000 resultados até o presente. Foram incluídos no ano de 2010, além dos parâmetros constantes de todas as campanhas, os parâmetros relacionados aos agrotóxicos (20 compostos constantes da legislação, medidos em dois semestres consecutivos). Para fins de comparação dos resultados obtidos, foram considerados os padrões da Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde (Nº 2914-2011) e a Resolução Conama Nº 396/2008, conjuntamente.

Os pontos de monitoramento foram selecionados a partir de bancos de dados existentes, tendo sido implantados com base em levantamentos de campo. Os principais bancos de dados utilizados foram: outorgas do SIAM - Sistema de Informações Ambientais do estado de Minas Gerais e cadastros de poços do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas subterrâneas da CPRM – Companhia de Pesquisa Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. A definição da configuração das redes de monitoramento considerou a adequação de cada poço no que se refere às informações construtivas e às condições de amostragem. O IGAM opera a rede de monitoramento com equipe própria para a execução das coletas. As análises são realizadas por laboratório terceirizado.

Na Figura a seguir são mostrados os pontos de monitoramento sobre o mapa de domínios hidrológicos e são apresentadas as principais características do monitoramento dos aquíferos, por região.

FIGURA 3: Domínios hidrogeológicos de Minas Gerais com os pontos de monitoramento de águas subterrâneas da rede mineira e com os limites das UPGRH, além das principais características do monitoramento por região/aquífero monitorado no Estado de Minas Gerais.



Com relação ao aquífero Guarani, o número de medições é ainda relativamente pequeno e, por isso, menos representativo. Em função disso, optou-se por não se executar, por hora, o tratamento estatístico destes dados. Evidente é a importância da continuidade do monitoramento para uma avaliação futura adequada da qualidade deste aquífero no Estado. Assim, para as águas do aquífero Guarani, foram elaborados os gráficos de torta, buscando a verificação da adequação de suas águas aos diferentes usos, e a estatística descritiva.

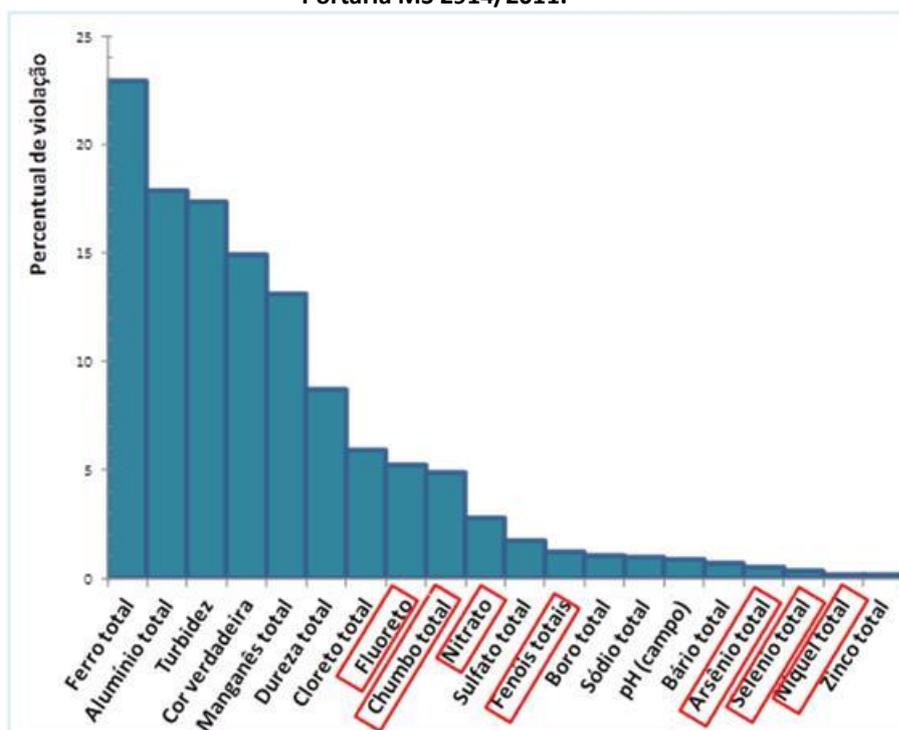
RESULTADOS OBTIDOS

(A) NORTE DE MINAS (BAMBUÍ)

Ao se considerar parâmetro de consumo humano associado a risco a saúde, 33% dos poços tiveram, em pelo menos uma das medições, concentração superior ao limite estabelecido, com destaque para: fluoreto, chumbo e nitrato. É exigível, nestes casos, a restrição/vedação do consumo destas águas. Com algumas exceções, a maior parte dos poços (91,6%) apresenta águas com características organolépticas indesejáveis (aquelas associadas a gosto ou odor desagradáveis e, portanto, relacionadas à rejeição da água). Assim, a avaliação dos resultados obtidos no período 2005-2013 demonstra que, de forma geral, as águas subterrâneas no Norte de Minas não apresentam qualidade adequada para o consumo humano, sendo desejável tratamento prévio ou restrições, em alguns casos.

Na Figura a seguir, são apresentadas as frequências percentuais de violações aos padrões de consumo humano por parâmetro e para o total das medições executadas.

FIGURA 4: Frequência de violações por parâmetro monitorado, nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10, no Norte de Minas para o período 2005-2013 - destaque para os parâmetros associados a risco à saúde segundo a Portaria MS 2914/2011.

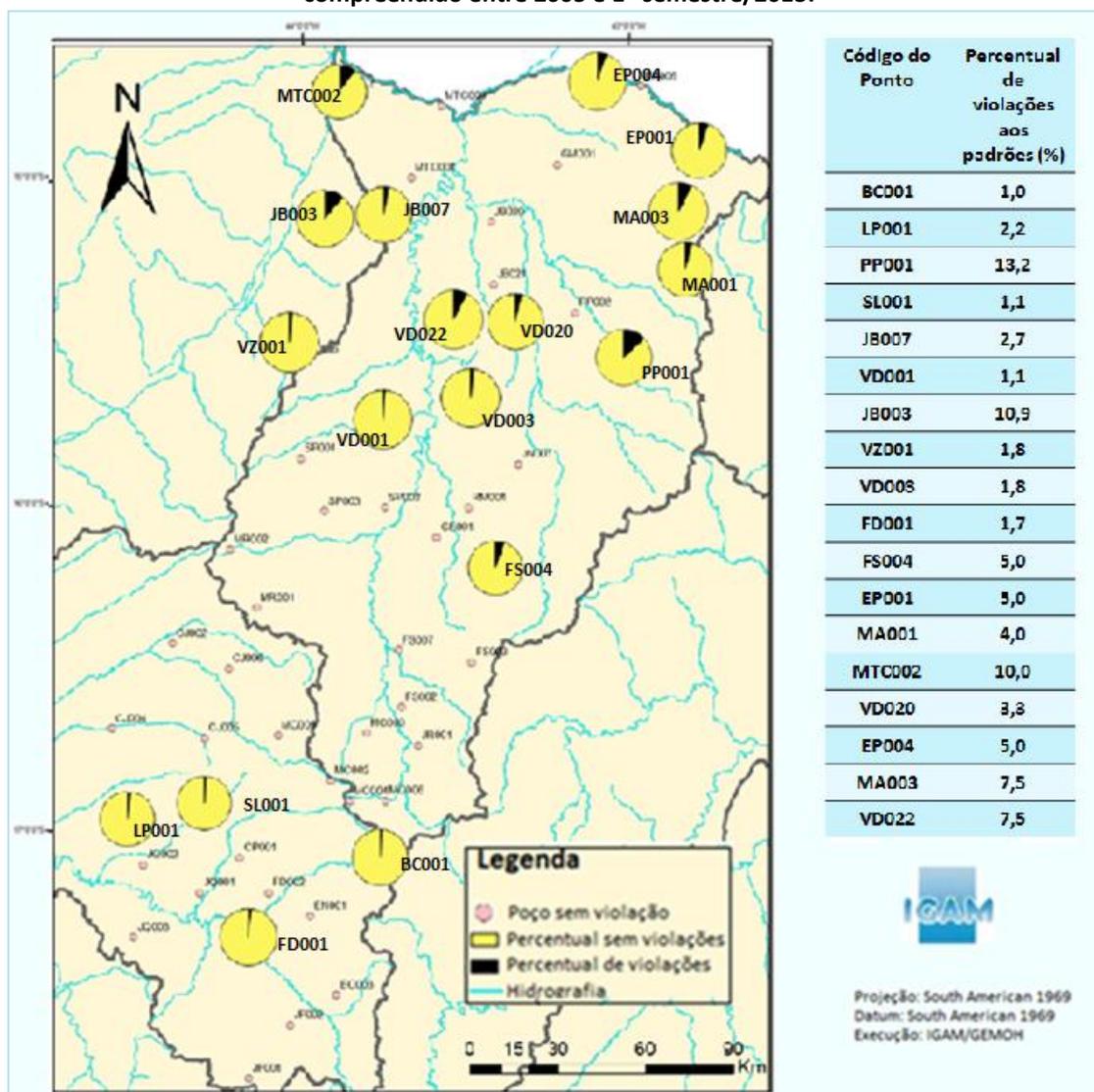


Dentre os parâmetros organolépticos mais comuns estão: ferro, alumínio, turbidez, cor, manganês e dureza. Os parâmetros associados a risco a saúde humana e para os quais houve mais violações foram: fluoreto, chumbo, nitrato e fenóis totais.

Do total de medições executadas, o percentual de violações a padrões para consumo humano foi relativamente pequeno, igual a 5,4% (2.219 violações em 40.946 medições). Todavia, ao se considerar o total de poços, estes percentuais tornam-se consideráveis (como mencionado anteriormente 91,6% dos poços com pelo menos uma violação a padrão organoléptico – 55 poços em 60 – e 30% para padrão associado a risco à saúde humana – 20 poços em 60).

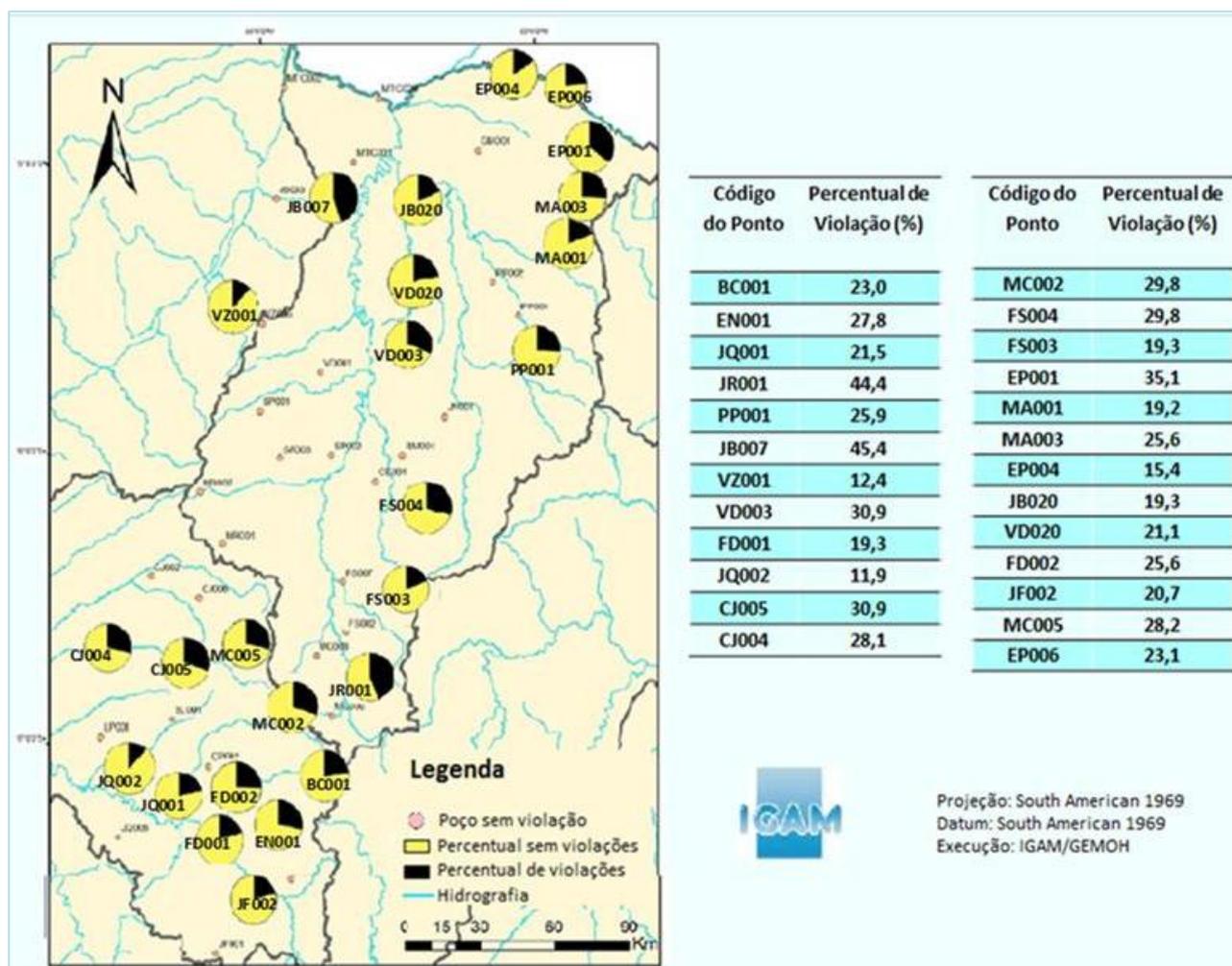
Os poços que tiveram restrições de uso das suas águas subterrâneas, ou seja, não conformidades frente aos limites de qualidade para consumo humano e com relação a parâmetros associados a risco à saúde, segundo o Ministério da Saúde, são mostrados na Figura 5.

FIGURA 5: Percentual de violação de padrões legais relacionados a consumo humano e associados a risco à saúde, segundo a Portaria de Potabilidade (nº 2914-2011) do Ministério da Saúde, em relação ao total de medições executadas em cada poço, nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10 (Norte de Minas), no período compreendido entre 2005 e 1º semestre/2013.



A Figura análoga para os poços que tiveram restrições de uso das suas águas por violações a limites de qualidade para consumo humano, mas com relação a parâmetros organolépticos, segundo o Ministério da Saúde, são mostrados na Figura 6.

FIGURA 6: Percentual de violação de padrões legais relacionados a consumo humano e organolépticos, segundo a Portaria de Potabilidade (nº 2914-2011) do Ministério da Saúde, em relação ao total de medições executadas em cada poço, nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10 (Norte de Minas); no período compreendido entre 2005 e 1º semestre/2013 – são mostrados apenas os poços cujos percentuais de violação excederam 15%.



Na Figura 7, são mostrados os percentuais relativos de violação, no período considerado, para as águas subterrâneas do norte mineiro, ou seja, o percentual de violação a padrões de consumo humano, de cada parâmetro e em relação ao total de violações, por poço, tanto para padrões organolépticos, quanto aqueles associados a risco à saúde, de acordo com a legislação. Os valores que permitem uma avaliação quantitativa dos dados, são apresentadas em sequência, na Tabela 1.

FIGURA 7: Percentuais relativos de violação de cada parâmetro em relação ao total de violações, para cada poço e frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor da água).

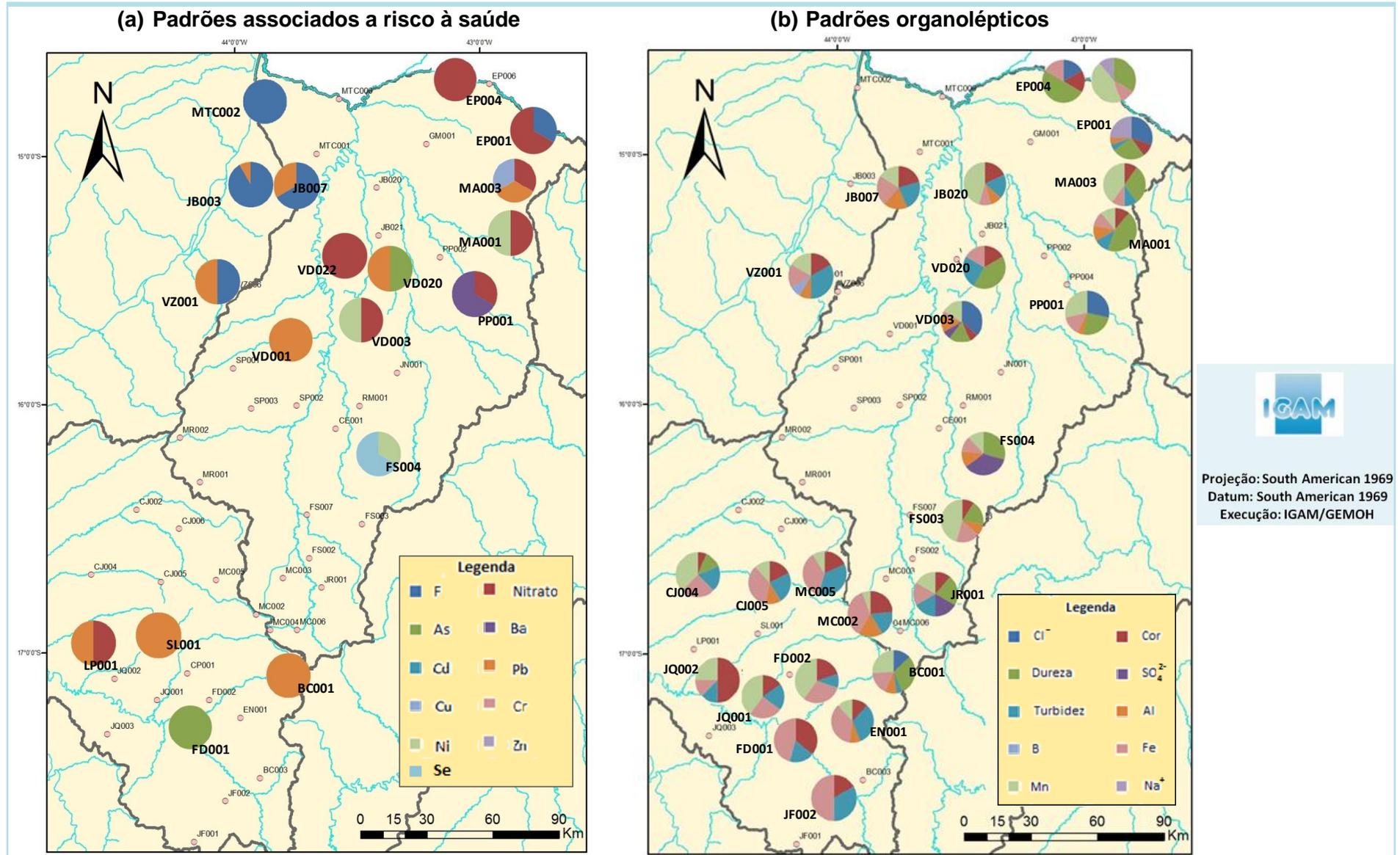


TABELA 1: Percentuais relativos de violação de cada parâmetro em relação ao total de violações, para cada poço e frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor da água).

Código do Ponto	Percentuais relativos de violações por parâmetro associado à risco à saúde (%)	Código do Ponto	Percentuais relativos de violações por parâmetro organoléptico (%)	Código do Ponto	Percentuais relativos de violações por parâmetro organoléptico (%)	
BC001	Chumbo: 100	BC001	Cloretos: 13 Alumínio: 9	JQ002	Cor: 50 Ferro: 13	
SL001	Chumbo: 100		Dureza: 31 Ferro: 17		Turbidez: 12 Manganês: 25	
VZ001	Chumbo: 100		Turbidez: 4 Manganês: 26	EP004	Cloretos: 16 Dureza: 50	
	Fluoreto: 50	Cor: 11 Turbidez: 17	Cor: 17 Ferro: 17			
JB003	Chumbo: 8	JR001	Dureza: 22 Ferro: 17	JB020	Cor: 18 Ferro: 9	
	Fluoreto: 92		Sulfato: 16 Manganês: 17		Turbidez: 18 Manganês: 46	
JB007	Fluoreto: 67		Cor: 12 Ferro: 36	JB007	Cor: 20 Ferro: 23	
VD001	Chumbo: 100	Turbidez: 32 Manganês: 12	Turbidez: 23 Manganês: 16			
EP004	Nitrato: 100	EN001	Alumínio: 8	VZ001	Cor: 17 Boro: 8	
EP001	Nitrato: 100		Cor: 17 Ferro: 50		Turbidez: 33 Ferro: 17	
FD001	Arsênio: 100	JF002	Turbidez: 33	VD003	Cor: 18 Ferro: 35	
FS004	Níquel: 33	FS003	Cor: 9 Ferro: 18		Cor: 17 Ferro: 3	
VD020	Arsênio: 50		Dureza: 18 Manganês: 46	Alumínio: 8 Manganês: 17	MC002	Turbidez: 18 Manganês: 6
	Chumbo: 50		Alumínio: 9	Cloretos: 36 Alumínio: 13		Cor: 23 Ferro: 35
LP001	Chumbo: 50	FS004	Dureza: 29 Ferro: 12	Dureza: 17 Manganês: 17		
	Nitrato: 50		Sulfato: 35 Manganês: 12	Sulfato: 7		
VD003	Chumbo: 50	PP001	Alumínio: 12	VD020	Cor: 17 Turbidez: 25	
	Nitrato: 50		Cloretos: 28 Ferro: 14		Dureza: 41 Ferro: 17	
MA001	Níquel: 50		Dureza: 24 Manganês: 29	CJ004	Cor: 6 Ferro: 25	
VD022	Nitrato: 50	Alumínio: 5	Dureza: 12 Manganês: 38			
MA003	Cobre: 33	MA001	Cor: 11 Alumínio: 11	FD001	Cor: 36 Ferro: 46	
	Nitrato: 33		Dureza: 45 Ferro: 11		Turbidez: 18	
PP001	Chumbo: 33	Turbidez: 11 Manganês: 11		FD002	Cor: 20 Ferro: 30	
	Nitrato: 33				Turbidez: 10 Manganês: 40	
MTC002	Fluoreto: 100					

Na Figura 6, observa-se que, embora variável, a ocorrência de violações, é relativamente baixa na maior parte dos poços, em comparação com o número total de análises realizadas nas águas de cada poço. Análises semelhantes para os demais usos – dessedentação animal, irrigação e recreação – mostram ocorrências ainda menores de violações. Os percentuais relativos por poço (Figura 7 e Tabela 1) mostram que, embora haja variações nos parâmetros mais preocupantes, predominam os organolépticos na maioria dos poços, na ordem já apresentada na Figura 4. Deverão ser realizados novos estudos, futuramente, para verificar a variação temporal dos principais parâmetros monitorados.

Dentre os parâmetros que apresentaram violação de padrões, alguns deles, como é o caso dos fenóis e dos nitratos, podem ter origem associada a fontes antrópicas difusas. Os fenóis podem, por exemplo, ser derivados da degradação de alguns agrotóxicos. Outros parâmetros, como o zinco, bário, selênio e o fluoreto, provavelmente, têm origens naturais, associadas à ocorrência de minerais-fonte. Parâmetros como o alumínio e o ferro resultam possivelmente de contaminação pelo próprio poço de extração.

Os parâmetros que apresentaram violações de forma constante no decorrer do monitoramento foram fluoreto (nos poços MTC002 e JB003), bário (no poço PP001) e STD – sólidos totais dissolvidos (nos poços: VD003 e FS004). Estes parâmetros foram selecionados para a elaboração dos respectivos gráficos de série temporal sobrepostos ao mapa do norte mineiro para melhor visualização dos níveis destes parâmetros e sua ocorrência espacial, os quais são apresentados na Figura 8.

O aquífero Bambuí apresenta três feições hidrogeológicas principais: carste, cárstico-fissurado e fissurado e suas águas refletem bem estes ambientes. De modo geral, as águas subterrâneas apresentam salinidade tolerável para consumo humano (condutividade elétrica - CE < 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em todas as medições); variam de ácidas a alcalinas, havendo predominância de águas com caráter neutro a levemente alcalino (6,5 < pH < 7,5 em 45% dos poços e pH > 7,5 em 34% dos poços); e são, predominantemente, muito duras (37% dos poços), e duras (26% dos poços). A classificação destas águas, feitas a partir do *Diagrama de Piper*, mostra que há predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas (85,5% das amostras), sendo a sequência mais frequente: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

A estatística descritiva é apresentada na Tabela 2, tendo sido elaborada a partir dos resultados obtidos para os principais parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, no norte mineiro, no período – 2005 ao 1º semestre de 2013.

FIGURA 8: Gráficos de série temporal (concentração x datas das amostragens) mostrando os resultados obtidos em cada poço de monitoramento e para parâmetro que apresentou violação à legislação no decorrer de todo o período monitorado e em relação a limite legal de consumo humano – período 2005-2013 (1º semestre), sobre mapa de domínios hidrogeológicos – as linhas vermelhas nos gráficos indicam os limites legais violados.

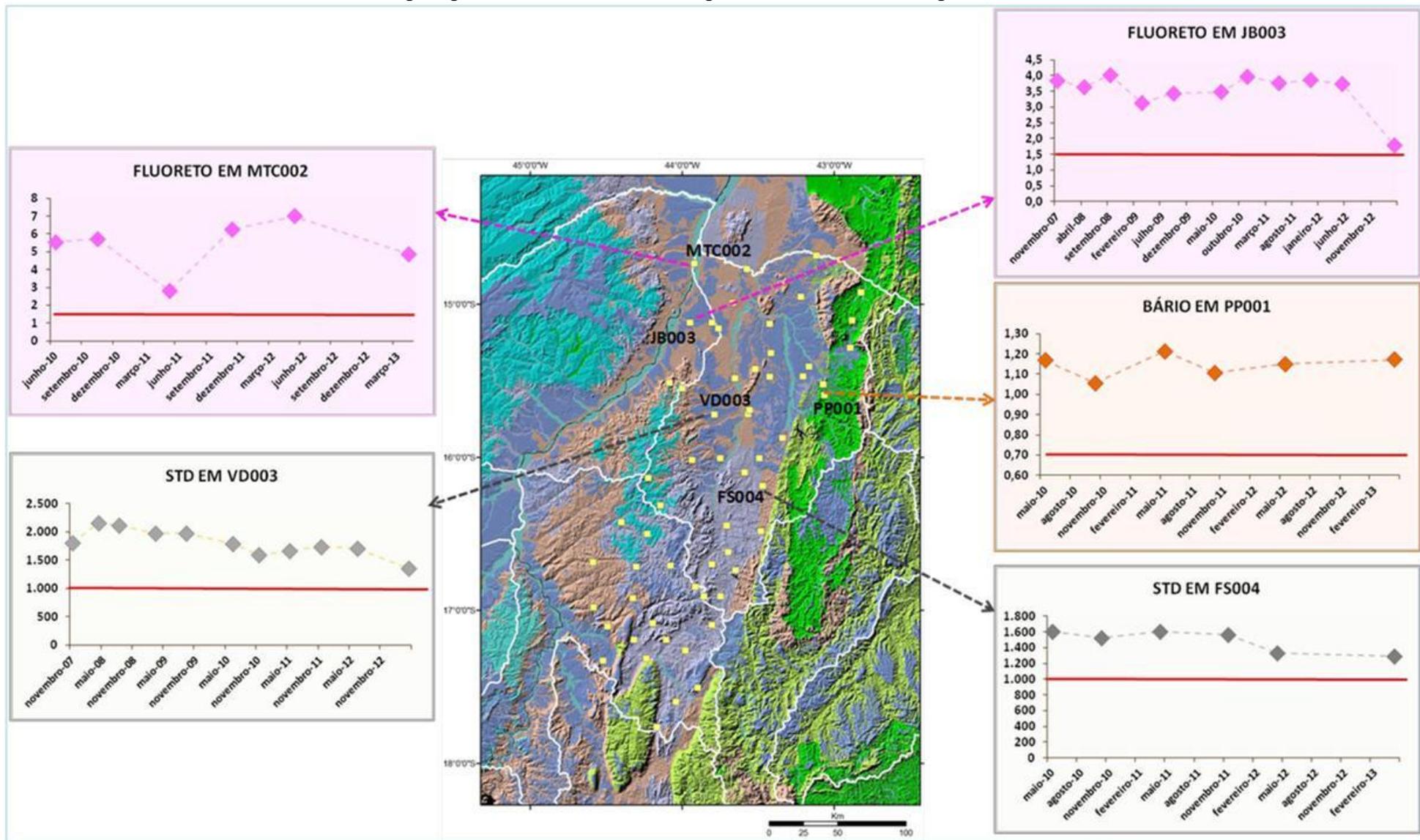


TABELA 2: Estatística Descritiva dos dados de monitoramento das águas subterrâneas no Norte de Minas – UPRH SF6, SF9 e SF10 – no período 2005/1º semestre 2013, para os principais parâmetros monitorados.

Parâmetro	% dados lidos	% Faltantes	% Censurados	% Outliers	Valor mínimo	Percentil 10%	Percentil 25%	Mediana	Média	Percentil 75%	Percentil 90%	Valor máximo	Amplitude	Coefficiente de Assimetria	Curtose	Desvio padrão
pH (campo)	96	4	0	3	5	7	7	7	7	7	8	9	3,7	0,2	0,8	0,5
Condutividade elétrica - µS/cm (campo)	96	4	0	5	9,2	282,8	460,2	649,1	776,7	944,2	1301,2	8774,0	8764,8	5,0	56,2	577,5
Oxigênio dissolvido - mg/L (campo)	22	78	0	0	1,7	3,2	4,7	5,9	5,9	7,4	8,0	9,4	7,7	-0,4	-0,5	1,8
STD (sólidos totais dissolvidos) - mg/L (campo)	90	10	0	4	6,0	180,0	302,5	448,1	527,8	658,8	917,3	2169,0	2163,0	1,9	5,0	363,8
Coliformes termotolerantes - NMP/100mL	47	13	40	14	1	1	1	2	346	30	170	50000	49999,0	13,8	228,2	2627,2
Escherichia coli - NMP/100mL	1	91	8	1	1	1	1	1	2	1	1	20	19,1	4,3	18,8	3,4
Alcalinidade bicarbonato - mg/L	98	2	0	1	7,4	134,1	214,4	282,8	266,2	331,2	372,6	438,1	430,7	-0,6	-0,2	90,5
Cloreto total - mg/L	94	1	5	10	0,2	0,8	3,6	25,3	64,5	68,3	168,0	801,0	800,9	3,5	14,5	115,2
Cor - Upt	46	10	44	9	2,5	2,5	2,5	5,0	14,6	12,0	25,0	746,0	743,5	12,0	183,4	41,5
Dureza total - mg/L	63	37	0	1	8,0	104,8	147,4	244,0	308,5	450,6	548,1	1261,0	1253,0	1,5	3,3	213,9
Fenóis totais - mg/L	21	8	71	10	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,010	0,0	5,7	49,8	0,0
Fluoreto - mg/L	74	1	25	10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	0,8	7,0	7,0	5,0	30,4	0,7
Fósforo - mg/L	61	1	38	13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03	0,1	2,3	2,3	13,0	217,5	0,1
Magnésio total - mg/L	65	35	0	4	0,4	2,9	4,8	9,7	14,2	18,9	32,6	66,7	66,3	1,7	2,8	13,5
Nitrato - mg/L	91	1	8	11	0,01	0,03	0,13	0,57	1,81	1,96	5,09	41,90	41,9	4,7	38,4	3,3
Sulfato total - mg/L	86	1	13	12	0,5	2,5	5,0	12,7	34,0	25,9	74,7	796,0	795,5	5,8	41,9	77,3
Turbidez - NTU	88	1	11	15	0,1	0,3	0,5	1,0	7,7	2,8	12,8	477,0	476,9	9,1	105,9	31,1
Alumínio total - mg/L	43	18	39	6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	19,8	19,7	15,8	290,7	1,0
Arsênio total - mg/L	3	18	79	3	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0287	0,0	14,9	247,7	0,0
Bário total - mg/L	75	23	2	3	0,003	0,015	0,033	0,055	0,088	0,109	0,163	1,214	1,2	6,3	47,8	0,1
Boro total - mg/L	8	60	32	8	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,13	0,92	0,9	4,4	19,3	0,1
Cádmio total - mg/L	1	18	81	1	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0027	0,0	11,5	134,0	0,0
Chumbo total - mg/L	6	18	76	6	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,481	0,5	20,3	438,9	0,0
Cromo total - mg/L	0	18	82	9	0,002	0,002	0,020	0,020	0,018	0,020	0,020	0,040	0,0	-2,4	5,0	0,0
Ferro total - mg/L	68	18	14	12	0,02	0,02	0,05	0,12	0,99	0,37	1,34	61,40	61,4	9,6	112,7	4,2
Manganês total - mg/L	60	18	22	12	0,002	0,002	0,002	0,011	0,073	0,052	0,199	4,940	4,9	14,2	263,4	0,3
Níquel total - mg/L	8	18	74	8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,025	0,0	5,1	31,2	0,0
Potássio Total - mg/L	71	29	0	9	0,46	0,96	1,30	1,83	2,84	2,44	5,05	28,16	27,7	3,8	16,0	3,6
Selênio total - mg/L	6	60	34	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0	7,0	55,5	0,0
Sódio total - mg/L	71	29	0	5	0,4	5,1	10,5	20,1	39,3	52,4	106,4	376,5	376,1	2,7	10,3	46,9
Zinco total - mg/L	78	18	4	7	0,01	0,03	0,06	0,10	0,19	0,18	0,32	7,24	7,2	10,0	137,3	0,4

(B) AQUÍFERO GUARANI

O Sistema Aquífero Guarani – SAG – é uma unidade hidrogeológica formada por rochas sedimentares da Bacia do Paraná e Chaco-Paraná. Essas rochas sedimentares compreendem arenitos eólicos e depósitos flúvio-lacustres, sendo que o primeiro de idade Jurássica e o último de idade Triássica. A estrutura física atual do SAG é resultado dos derrames basálticos que recobriram os arenitos, da ativação de falhamentos e arqueamentos regionais e de soerguimentos das bordas da bacia.

Os poços monitorados do aquífero Guarani (cinco no total) são poços profundos, captando da área confinada, e atravessam, em alguns casos, os sedimentos do Grupo Bauru, e os derrames basálticos da Formação Serra Geral, até alcançar os arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu.

Os estudos realizados no âmbito do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do SAG, em 2009, levaram à diferenciação das águas subterrâneas desse aquífero em diferentes fácies e zonas hidroquímicas, sintetizados como segue:

- ◆ Tipo A – águas potáveis bicarbonatadas sódicas e calco-magnésicas e calco-sódicas.
- ◆ Tipo B – águas em sua maioria potáveis, bicarbonatadas sódicas com maior grau de mineralização e condutividade elétrica média.
- ◆ Tipo D – águas cloretadas sódicas com alta mineralização e condutividade elétrica maior que 10.000 $\mu\text{s/cm}$.

O número total de medições no aquífero Guarani executadas pelo IGAM é ainda relativamente pequeno para que possam ser conclusivas as análises de qualidade, bem como para que se avaliem tendências de comportamento espaço-temporal por meio de testes estatísticos. Foi elaborada a estatística descritiva a partir dos resultados obtidos para os principais parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, no norte mineiro e no período – 2009 a 1º semestre de 2013, que é resumida na Tabela 3.

Ao se verificar a conformidade das águas monitoradas aos padrões estabelecidos para o consumo humano, observam-se algumas violações conforme apresentado na Figura 9, a seguir. No entanto, apenas as águas captadas na estação UBR3 são efetivamente utilizadas no consumo humano. Para este poço específico, é necessário atentar para a possibilidade futura, caso prevaleça ao longo do tempo a ocorrência de fluoreto em níveis elevados, de necessidade de ações de restrição de uso. São apresentados os percentuais de violação absolutos (violações em relação ao número total de medições em um dado poço) – Figura 9 (a) e os percentuais de violação relativos (violações por parâmetro em relação ao total de violações – Figura 9 (b), ambos para o consumo humano.

FIGURA 9: Percentuais de violação a padrões legais relacionados a consumo humano segundo a Portaria de Potabilidade (nº 2914-2011) do Ministério da Saúde, para o monitoramento do aquífero Guarani (sub-bacias PN3 e GD8) no período entre 2009 e 1º semestre/2013: (a) percentuais de violação em relação ao total de medições executadas em cada poço e (b) percentuais relativos de violação de cada parâmetro em relação ao total de violações, para cada poço.

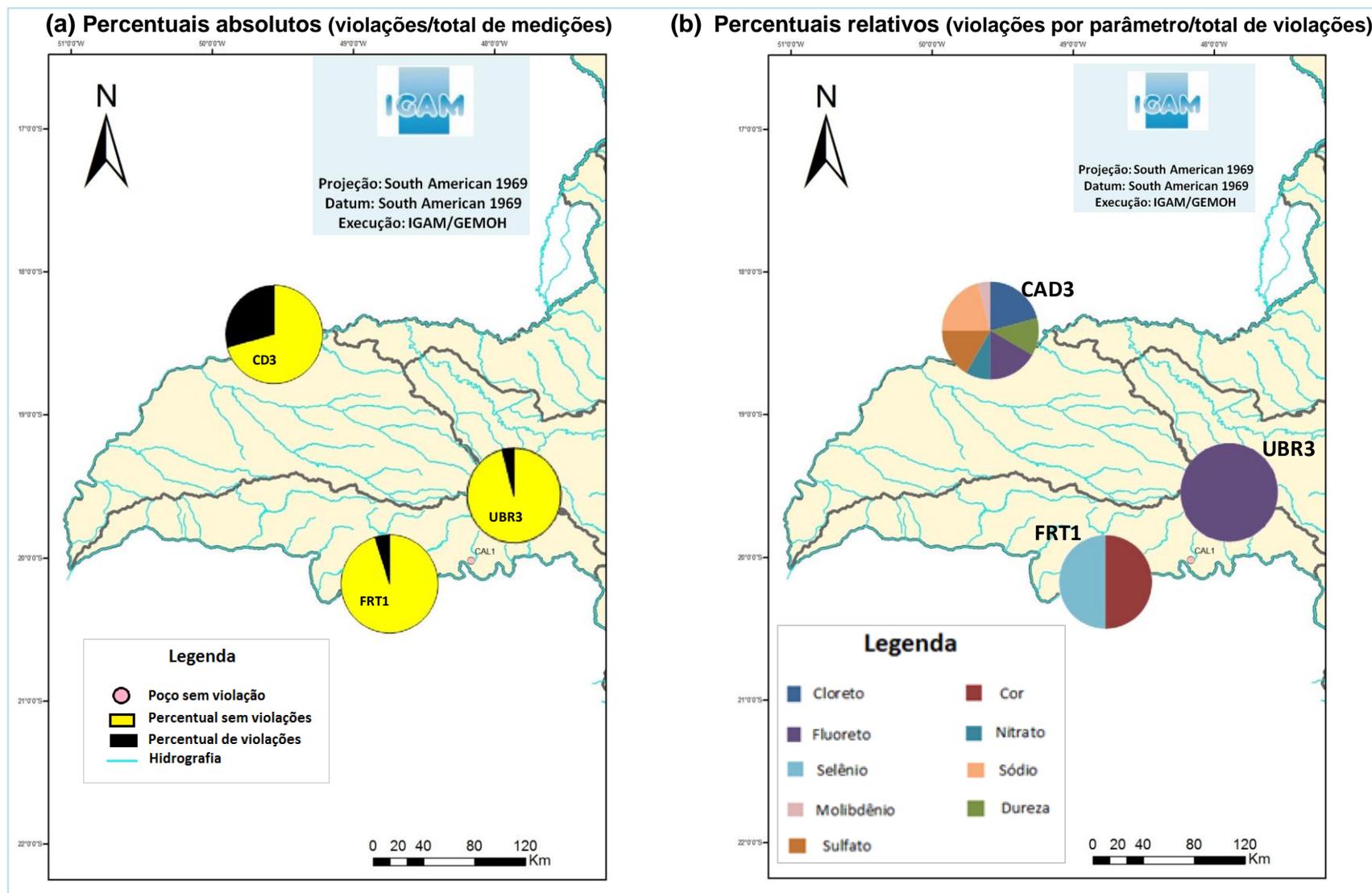


TABELA 3: Estatística descritiva dos dados de monitoramento das águas subterrâneas no aquífero Guarani (Triângulo Mineiro) – UGRH PN3 e GD89 – no período entre 2009 e 2013 (1º semestre), para os principais parâmetros monitorados.

Parâmetro	% dados lidos	% Faltantes	% Censurados	% Outiers	Valor mínimo	Percentil 10%	Percentil 25%	Mediana	Média	Percentil 75%	Percentil 90%	Valor máximo	Amplitude	Coefficiente de Assimetria	Curtose	Desvio padrão
pH (campo)	85	15	0	0	6	7	7	8	8	9,4	9,5	11,1	5,3	0	0	1
Condutividade elétrica - µS/cm (campo)	85	15	0	20	12,4	126,0	133,8	234,0	407,7	301,8	1227,6	1289,0	1276,7	1,4	0,4	437,9
Oxigênio dissolvido - mg/L (campo)	25	75	0	0	1,6	1,8	2,1	3,7	3,8	5,3	5,9	6,3	4,8	0,2	-2,2	2,0
STD - mg/L (campo)	100	0	0	15	10,9	11,4	84,3	109,4	1210,6	176,0	1550,7	11470,0	11459,1	2,9	7,2	3322,6
Escherichia coli - NMP/100mL	0	85	15	0	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,0	NA	NA	0
Coliformes termotolerantes - NMP/100mL	0	85	15	0	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	0,0	NA	NA	0
Alcalinidade bicarbonato - mg/L	100	0	0	0	0,0	47,7	65,8	81,1	102,8	134,0	206,3	211,0	211,0	0,6	-0,7	67,5
Cloreto total - mg/L	70	0	30	25	0,2	0,2	0,3	4,1	898,4	267,2	1206,6	13060,0	13059,9	4,3	18,6	2907,4
Cor - Upt	10	25	65	10	2,5	2,5	3,8	5,0	6,3	5,0	9,2	27,0	24,5	3,1	10,3	6,2
Dureza total - mg/L	75	25	0	5	7,5	8,5	28,3	52,2	175,3	267,0	539,8	679,0	671,5	1,3	-0,2	242,0
Fenóis totais - mg/L	25	25	50	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	-1,6	0,0
Magnésio total - mg/L	85	0	15	25	0,00	0,00	0,04	1,40	10,00	11,1	35,4	42,2	42,2	1,28	-0,20	15,27
Nitrato - mg/L	50	0	50	15	0,01	0,01	0,02	0,05	2,50	0,1	1,4	38,4	38,4	4,05	16,95	8,75
Sulfato total - mg/L	65	15	20	20	0,5	1,3	2,5	12,3	1387,2	32,4	5372,4	8231,0	8230,5	1,7	1,5	2656,9
Turbidez - NTU	25	25	50	5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	2,0	1,7	2,3	6,0	0,5
Alumínio total - mg/L	30	0	70	10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	1,5	1,5	3,9	16,0	0,3
Arsênio total - mg/L	25	0	75	25	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0041	0,001	0,013	0,040	0,040	3,2121	11,3953	0,0096
Boro total - mg/L	20	25	55	5	0,04	0,04	0,04	0,04	2,35	3,9	8,5	10,2	10,1	1,23	-0,46	4,01
Cálcio total - mg/L	100	0	0	25	0,9	0,9	1,6	12,7	42,5	48,4	143,9	152,3	151,4	1,2	-0,5	61,0
Chumbo total - mg/L	5	25	70	5	0,003	0,003	0,003	0,003	0,083	0,003	0,003	1,2	1,2	3,873	15,000	0,310
Cobre total - mg/L	15	0	85	15	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,012	0,034	0,0	2,847	7,593	0,009
Cromo total - mg/L	0	0	100	0	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,0	-1,083	-2,235	0,000
Estrôncio - mg/L	75	25	0	15	0,003	0,004	0,017	0,085	1,254	0,1	5,4	9,0	9,0	2,400	4,344	3,086
Ferro total - mg/L	20	25	55	10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1	0,1	1,87	2,56	0,02
Lítio - mg/L	45	25	30	5	0,003	0,003	0,003	0,008	0,428	0,5	1,2	2,8	2,8	2,146	4,662	0,822
Manganês total - mg/L	30	25	45	5	0,002	0,002	0,002	0,002	0,120	0,1	0,1	1,5	1,5	3,810	14,646	0,371
Mercúrio total - mg/L	0	25	75	0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1	0,1	0,1	0,0	-1,11	-2,33	0,00
Potássio Total - mg/L	100	0	0	5	0,33	0,41	0,82	2,20	6,41	9,0	20,4	21,8	21,5	1,19	-0,47	8,17
Selênio total - mg/L	30	25	45	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0,010	0,010	0,0	1,60	0,82	0,00
Silício dissolvido - mg/L	100	0	0	0	6,74	7,04	8,31	11,89	11,94	15,4	17,2	18,5	11,8	0,16	-1,39	3,98
Sódio total - mg/L	100	0	0	25	5,3	10,4	12,2	55,9	821,7	818,5	3163,3	3325,0	3319,7	1,3	-0,5	1399,4
Titânio Total - mg/L	0	25	75	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,0	NA	NA	0,00

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade das águas subterrâneas é diretamente influenciada pelo tipo de rocha em que as mesmas encontram-se armazenadas, como também pela água de recarga, tempo de contato no aquífero, a ocorrência de fontes potencialmente poluidoras, vulnerabilidade natural dos aquíferos, dentre outros. O monitoramento é a ferramenta utilizada, não só para a avaliação de sua qualidade e adequação aos diversos usos, em um determinado momento, mas principalmente para o acompanhamento da evolução da condição de qualidade das águas ao longo do tempo. O conhecimento da condição de qualidade das águas subterrâneas do Estado permite que ações, com vistas ao uso adequado, bem como para a proteção e a conservação sejam adotadas.

Buscando melhor interpretar os resultados de qualidade das águas subterrâneas, especialmente, para os poços de monitoramento, cujas análises mostraram alterações da qualidade natural, e orientar futuras ações necessárias à melhoria da qualidade dessas águas, o IGAM tem procedido ao tratamento dos dados obtidos no monitoramento, bem como elaborado mapas e gráficos, buscando melhor interpretar os resultados de qualidade das águas subterrâneas.

Medida necessária é a orientação dos usuários das águas quanto às restrições de uso, inclusive aquelas motivadas por causas naturais. Esta ação deve ser desenvolvida em conjunto com a Secretaria Estadual de Saúde e é desejável o envolvimento dos respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas.

No caso das águas subterrâneas na mesorregião Norte de Minas, são desejáveis também ações, junto às Prefeituras Municipais, no sentido de melhoria da qualidade dessas águas, especialmente para o consumo humano, as quais podem incluir a viabilização de pré-tratamento simplificado nas comunidades (tais como filtros para o abrandamento da água – redução da dureza), ou o uso combinado das águas subterrâneas com as águas pluviais, mediante armazenamento e tratamento simplificado, nos casos necessários.

REFERÊNCIAS

ARGENTINA/BRASIL/PARAGUAI/URUGUAI/GEF/BM/OEA. PROGRAMA ESTRATÉGICO DE AÇÃO - PEA. 2009. Relatório do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani / Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani: Informe Final de Hidrogeología – Consorcio Guarani. Organização dos Estados Americanos (OEA). Edição bilíngüe – Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai: janeiro 2009, 424 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2008. Resolução Conama N° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. DOU nº 66, 07/04/2008, Seção 1, p. 64 - 68. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília: Diário Oficial da União, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. DOU de 04/01/2012, Seção 1, p. 43 - 49. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.

EUROPEAN COMMUNITIES: Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance on Groundwater Monitoring, n.15, 2007, 54p.