

**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DE USO DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA MICRORREGIÃO DE UNAÍ, BACIA DO SÃO FRANCISCO, NW  
DE MINAS GERAIS - BRASIL.**

**Maria Antonieta A. Mourão<sup>1</sup>; Angélica Garcia Soares<sup>2</sup>; Eduardo Jorge Machado  
Simões<sup>3</sup>; Ely Soares de Oliveira<sup>4</sup>; Reynaldo Murilo D. A. de Brito<sup>5</sup>; Décio Antônio  
Chaves Beato<sup>6</sup> & Haroldo Santos Viana<sup>7</sup>**

**Resumo** - O Projeto Bacia do São Francisco está sendo realizado no Estado de Minas Gerais, em área de 220.000 km<sup>2</sup>, pelo Serviço Geológico Brasileiro – CPRM, em convênio com a Secretaria de Estado de Minas e Energia – SEME através da Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG. O levantamento hidrogeológico iniciou-se, em meados de 1999, pela microrregião administrativa de Unaí. Três unidades hidrogeológicas são identificadas. Os aquíferos fissurados são representados pelas rochas da Formação Paracatu, Vazante e Três Marias, pelo Grupo Paranoá e Subgrupo Paraopeba. Os cársticos correspondem às rochas carbonáticas do Grupo Paranoá e Subgrupo Paraopeba, enquanto os granulares compreendem sedimentos cretácicos, terciários e quaternários. As águas diferenciam-se pelos valores médios de dureza, concentração de bicarbonatos e condutividade. Ficou constatado que as atividades agrícolas e a pecuária são as maiores fontes potenciais de contaminação. A vulnerabilidade dos aquíferos é agravada pela existência de inúmeros poços tubulares incorretamente construídos ou inadequadamente desativados. As características hidroquímicas favorecem o uso das águas para irrigação de cultivos agrícolas em qualquer tipo de solo, contudo aquelas dos aquíferos fissurados e cársticos não são recomendadas para utilização nas indústrias, em

<sup>1</sup> Hidrogeóloga - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Brasil, 1731 Belo Horizonte – MG (31) 261-0384

<sup>2</sup> Hidrogeóloga – Fundação Gorceix Rua Conde Bobadela, 150 Ouro Preto – MG (31) 261-0364

<sup>3</sup> Hidrogeólogo – Fundação Gorceix Rua Conde Bobadela, 150 Ouro Preto – MG (31) 261-0364

<sup>4</sup> Hidrogeólogo – Fundação Gorceix Rua Conde Bobadela, 150 Ouro Preto – MG (31) 261-0364

<sup>5</sup> Engenheiro de Minas – CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Brasil, 1731 Belo Horizonte – MG (31) 261-0364

<sup>6</sup> Hidrogeólogo – CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Brasil, 1731 Belo Horizonte – MG (31) 261-0415

<sup>7</sup> Hidrogeólogo – CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Brasil, 1731 Belo Horizonte – MG (31) 261-0386  
- Fax (31) 261-4484. E-mail: cprmnels@estaminas.com.br

virtude da elevada dureza. A ampliação das áreas de cultura e o represamento das veredas para irrigação, tem comprometido o fluxo de drenagens superficiais, intensificando o aproveitamento do recurso subterrâneo, conforme verificado no levantamento de campo.

**Palavras-chave** - hidroquímica, contaminação de água subterrânea, Bacia do São Francisco.

## 1. INTRODUÇÃO

O “Projeto Bacia do São Francisco” compreende o mapeamento geológico básico, o cadastramento de recursos minerais e o levantamento dos recursos hídricos da área da bacia em Minas Gerais.

O principal objetivo é oferecer um diagnóstico atualizado da situação dos recursos hídricos subterrâneos, possibilitando o desenvolvimento de ações integradas que visem sua utilização racional.

A microrregião de Unaí foi escolhida como área piloto por se tratar de uma região com grande vocação agropecuária, o que implica utilização crescente de recursos hídricos (figura 1). A etapa de campo, realizada no período de julho a dezembro de 1999,



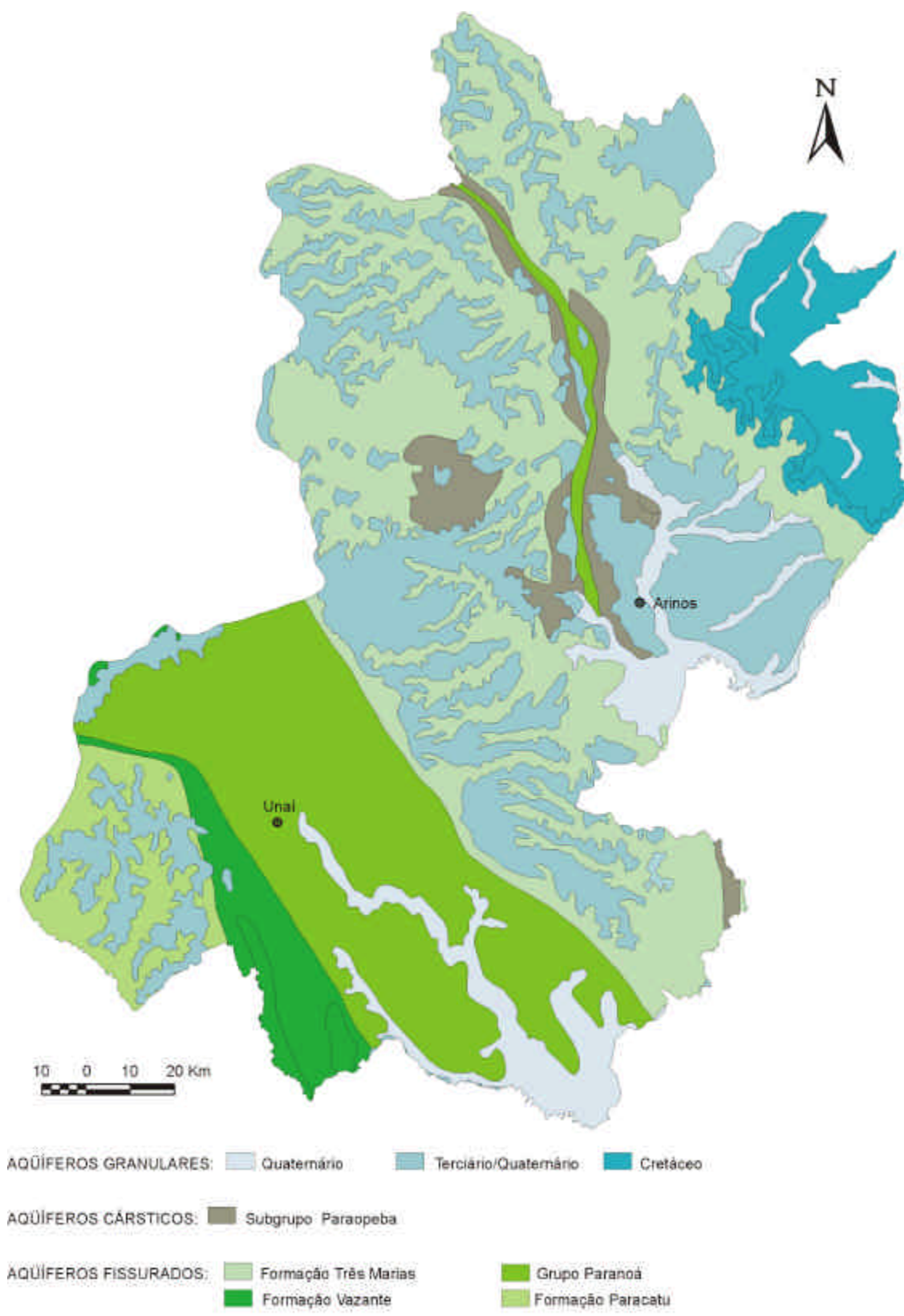
Figura 1 Localização da micro-região de Unaí

compreendeu o cadastramento de 824 poços, abrangendo as características gerais e locais, construtivas, geológicas, além da coleta de 86 amostras para análise química. Estas informações foram consolidadas em um banco de dados, permitindo seu posterior tratamento através dos programas específicos. Cartas de distribuição de condutividade elétrica das águas subterrâneas, vazão e diagramas de classificação de águas foram elaborados e realizado o tratamento estatístico das informações.

## 2. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Três grandes unidades hidrogeológicas foram diferenciadas: aquíferos fraturados, granulares e cársticos. Os primeiros são representados pelas rochas da Formação Paracatu e Vazante, pelos metapelitos do Grupo Paranoá e Subgrupo Paraopeba e pelos arcóseos e siltitos da Formação Três Marias. Os aquíferos granulares compreendem os sedimentos cretácicos, terciários e quaternários. A unidade cárstica abrange os sedimentos carbonáticos do Grupos Bambuí e Paranoá (Figura 2 ).

Quanto ao contexto geotectônico, as rochas dos municípios de Unaí, Natalândia e Dom Bosco inserem-se na Faixa Brasília, enquanto que as rochas da porção nordeste do município de Unaí e dos demais municípios da microrregião, encontram-se no domínio



FONTE: Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. COMIG, 1994.

Figura 2 Distribuição dos sistemas aquíferos

das coberturas cratônicas (Grupo Bambuí). Os litotipos da Faixa Brasília encontram-se intensamente deformados, apresentando estruturas dúcteis, tais como xistosidade plano axial, zonas de cisalhamento, dobras fechadas, *kinks* e falhas inversas (Fuck et. al, 1993). Estas e outras estruturas tais como dobras com o flanco rompido e transposto, foliação plano axial vertical, superfícies “sc” e dobras de arrasto, podem ser observadas em vários afloramentos na serra do Pico e serra Geral do Rio Preto. As rochas do Grupo Bambuí mostram-se subhorizontais, com amplas e suaves ondulações de planos axiais verticais.

Todas essas rochas foram submetidas a uma deformação rúptil, caracterizada por famílias de fraturas com atitudes N40°-50°E/80-90° e N40°-50°W/80-90°.

As maiores vazões foram obtidas em poços localizados no município de Buritis, com alguns ultrapassando 30m<sup>3</sup>/h, enquanto a média na microrregião é de 10m<sup>3</sup>/h (Figura 3). A condutividade elétrica (média de 240μS/cm) para estes poços indicam exploração de aquíferos cársticos.

## **2.1 AQUÍFEROS FISSURADOS**

Ocorrem ao longo de toda a Superfície Velhas (Depressão Sanfranciscana) representados pelos arcóseos e metapelitos da Formação Três Marias, quartzitos e siltitos do Grupo Paranoá, ardósias da Formação Vazante e filitos sericíticos e cloríticos da Formação Paracatu (Figura 2 ).

Porosidade e permeabilidade primárias das rochas são praticamente nulas. A potencialidade de armazenamento da água está intimamente associada à extensão, continuidade e interligação dos fraturamentos, bem como da abertura e densidade destas estruturas. A recarga depende da interseção das fraturas com as drenagens ou por infiltrações verticais através do manto de intemperismo.

## **2.2 AQUÍFEROS GRANULARES**

Ocorrem ao longo dos extensos pediplanos e dos principais rios, especialmente o Urucua, Piratinga, São Miguel, São Domingos e o rio Preto (Figura 2). São classificados em depósitos não consolidados que envolvem os aquíferos aluviais e os depósitos de pedimento terciário-quarternários e os aquíferos de depósitos clásticos consolidados (CETEC, 1981).

### **2.2.1. AQUÍFEROS ALUVIAIS**

Os aquíferos aluviais são constituídos por materiais muito finos, resultantes da erosão das ardósias e metapelitos do Grupo Bambuí, e por areias originadas da Formação Três Marias e das rochas cretácicas. Por conseguinte, apresentam grande variação granulométrica, desde areias de granulação fina a média, até areias argilosas. As espessuras desses depósitos variam de 1 a 50m e chegam a atingir até dezenas de quilômetros de largura (CETEC, 1981).

A alimentação das aluviões é feita diretamente pela infiltração vertical das águas de chuva e lateralmente através dos cursos d'água ou recebendo contribuição de outros sistemas aquíferos, com os quais estejam em comunicação.

Devido à topografia plana e rebaixada das planícies aluviais, os níveis estáticos estão normalmente próximos à superfície, e raramente ultrapassam os 15 metros.

Com base na composição granulométrica, pode se admitir um valor médio para o coeficiente de transmissibilidade da ordem de  $150\text{m}^2/\text{dia}$  ( $1,7 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ ) e uma porosidade eficaz de 0,15 (CETEC, 1981).

### **2.2.2 AQUÍFERO DE DEPÓSITOS DE PEDIMENTO TERCIÁRIO-QUATERNÁRIOS**

Corresponde aos depósitos detríticos de cobertura, constituídos por areias e areias argilosas. Distribuem-se no topo das chapadas e chapadões representativos do aplainamento Sulamericano (Figura 2). Geralmente, as espessuras desses depósitos variam entre 1 e 80m (CETEC, 1981).

A recarga ocorre diretamente pela infiltração das águas meteóricas. Em áreas restritas, são também alimentados pelas aluviões subjacentes. Quando as rochas recobrem zonas cársticas, há infiltração "per descensum", enquanto que nas áreas onde esses depósitos recobrem as rochas impermeáveis e semi-impermeáveis do Grupo Bambuí, aparecem as fontes e surgências. Algumas delas possuem vazão elevada e contribuem de forma relevante na alimentação dos cursos d'água.

Os níveis estáticos chegam a 30m, como nos poços perfurados na chapada a nordeste da cidade de Unai.

A porosidade eficaz pode variar muito devido à heterogeneidade da textura desses sedimentos, mas valores típicos estão próximos de 0,10. A permeabilidade varia com a proporção de argilas e intercalações de leitos argilosos (CETEC, 1981).

### **2.2.3 AQUÍFEROS CRETÁDICOS**

São representados pelos grupos Urucuia e Areado, de restrita distribuição superficial. O primeiro ocorre na porção sudeste do município de Formoso e nordeste de Arinos, enquanto o Areado, sotoposto ao Urucuia, está presente somente no município de Arinos ( Figura 2 ).

O Grupo Areado é representado por uma seqüência vulcano-sedimentar, constituída por arenitos, conglomerados, pelitos, cherts, vulcanoclásticas e derrames e intrusões ultrabásico-alcálicas. O Grupo Urucuia é composto por arenitos avermelhados e, de forma subordinada, por conglomerados.

Estes aquíferos fazem parte dos denominados “Planaltos Residuais do São Francisco”, conformando extensos chapadões, em cotas próximas a 1100m, que se distribuem em torno da Superfície Velhas.

A recarga se faz através das infiltrações de águas de chuva, onde as rochas desses depósitos estão aflorantes. Valores de coeficientes de infiltração situam-se entre 9 a 15% (CETEC,1981).

As áreas de descargas principais situam-se no sopé das elevações, junto ao contato com o substrato impermeável do Subgrupo Paraopeba. Nestes locais formam-se as veredas que constituem feições geomorfológicas notáveis.

Cabe destacar o papel dos aquíferos cretácicos como reguladores do regime dos principais rios da região, contribuindo para a manutenção dos seus fluxos de base. O represamento das águas das veredas para irrigação pode comprometer esta parcela substancial do escoamento total. Estimativas de infiltração e análise dos hidrogramas, indicam que a contribuição total dos aquíferos cretácicos para os rios é da ordem de  $4,25 \times 10^9 \text{m}^3/\text{ano}$  (CETEC,1981).

### **2.3. AQUÍFEROS CÁRSTICOS**

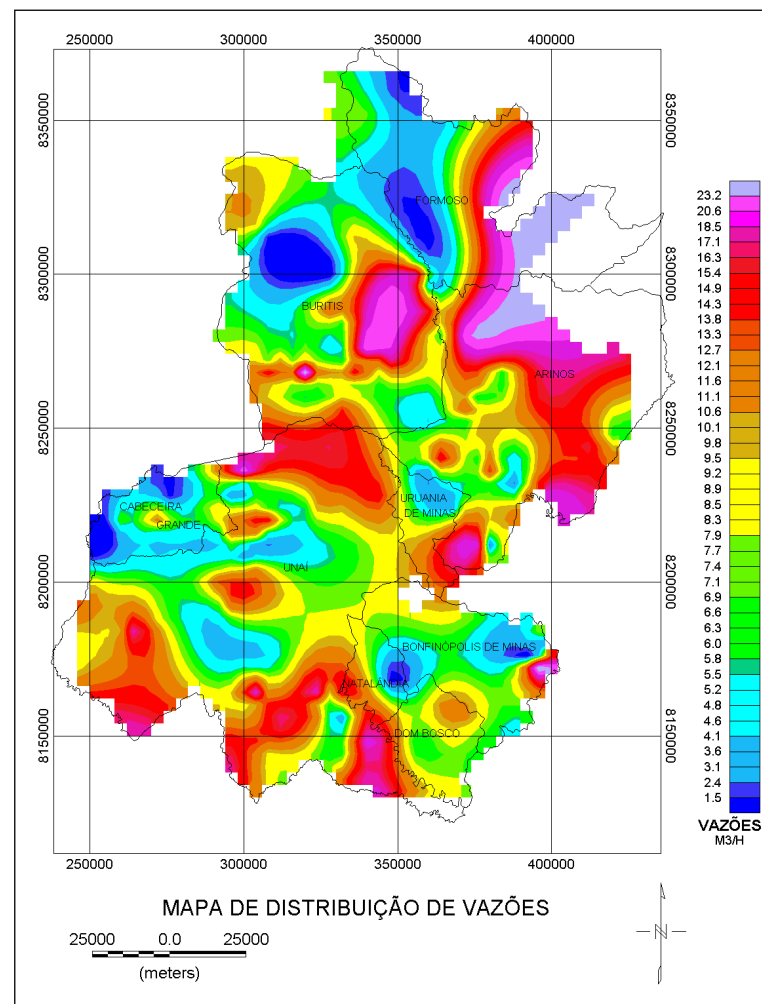
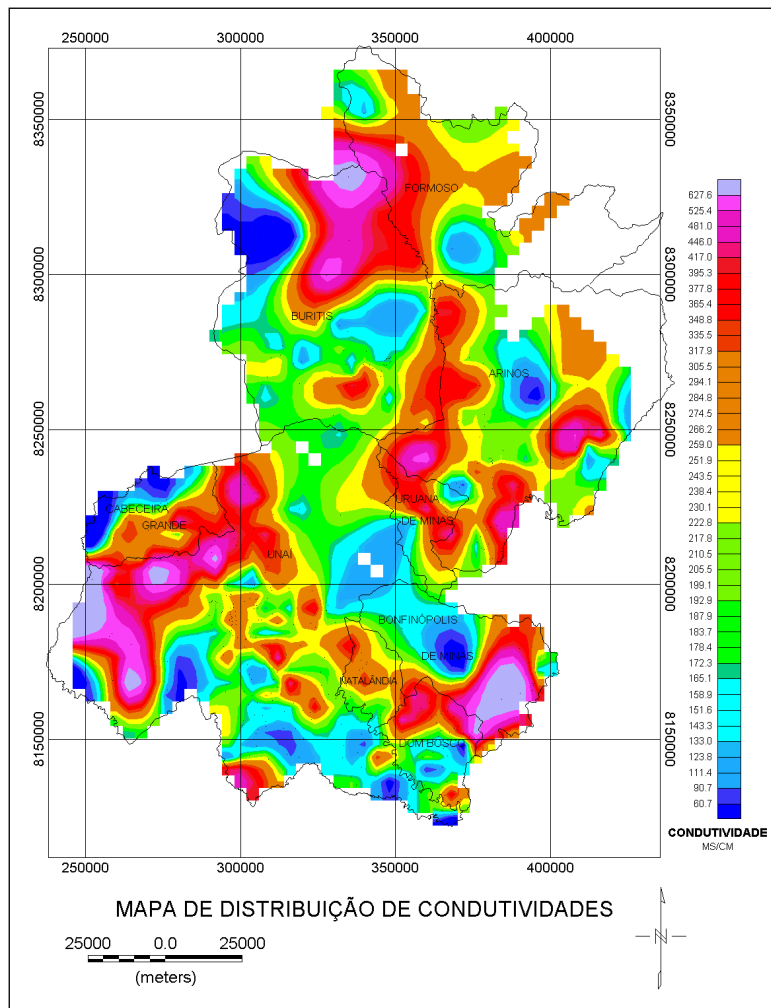
Afloram ao longo da serra do Meio, em uma estreita faixa, na porção leste da área, e ocorrem subjacentes à Formação Três Marias e aos metapelitos do Grupo Paranoá, em praticamente toda a região (Figura 2). A grande maioria dos poços perfurados, nestes dois últimos anos, exploram água de rochas carbonáticas, demonstrando ser o potencial destes aquíferos superior ao dos fissurados e granulares.

As rochas carbonáticas do Grupo Paranoá diferem-se das do Subgrupo Paraopeba, não só por estarem deformadas, mas também por inserirem-se em uma seqüência constituída por quartzitos piríticos, siltitos, dolomitos, *cherts* e conglomerados, enquanto o Subgrupo Paraopeba é representado por uma extensa seqüência argilo-carbonatada. O

potencial hidrogeológico das rochas carbonáticas do Subgrupo Paraopeba é mais expressivo em virtude de sua maior extensão e espessura.

A recarga dos aquíferos se processa por infiltração das águas meteóricas e subordinadamente por perdas “per descensun” dos aquíferos sobrepostos.





**Figura 3** - Mapas de distribuição de vazões (302 pontos d'água) e de condutividades elétricas (544 pontos d'água) para a microrregião de Unai

### 3. HIDROQUÍMICA

O estudo hidroquímico foi realizado a partir de 107 amostras de águas subterrâneas captadas através de poços tubulares profundos. Buscou-se através de análises físico-químicas e bacteriológicas, definir as características hidroquímicas dos sistemas aquíferos, bem como conhecer a qualidade das águas subterrâneas utilizadas para o consumo humano, agrícola, urbano e industrial. Os parâmetros analisados foram: Cor, Turbidez, pH, Sólidos Totais, STD,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , dureza de carbonatos, dureza de não carbonatos, nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, nitrogênio orgânico, cloretos, sulfatos, fluoretos, fosfato, ferro total, manganês,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ , alumínio, sílica, zinco, sulfeto, bário, cobre, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais. Por se tratar de uma região de agricultura extensiva praticada nas chapadas, foram realizadas análises para detectar a presença de organoclorados, compostos constituintes dos agrotóxicos.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As características físico-químicas das águas subterrâneas podem ser influenciadas por fatores intrínsecos ao aquífero, como a composição e natureza mineralógica da rocha, condições de circulação e armazenamento da água além da extensão do percurso subterrâneo e também por fatores externos como o clima, poluição e recarga artificial.

Dentre as 107 amostras com análises físico-químicas, 42 referem-se ao sistema cárstico, 53 ao fissurado e 12 ao aquífero granular.

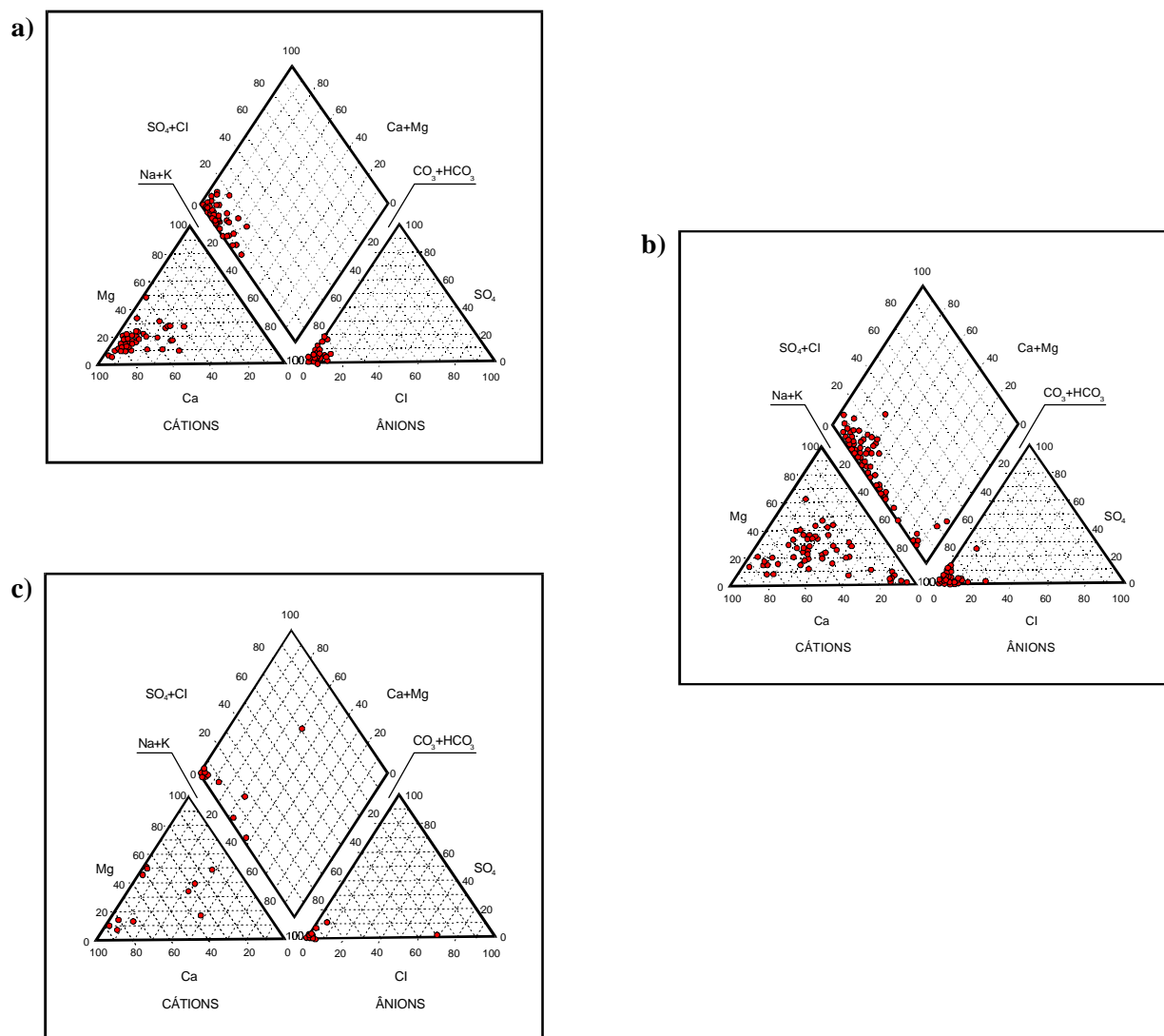
As águas do sistema aquífero cárstico, conforme o diagrama de Piper (Figura 4-a), classificam-se como águas bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, sendo predominantes as primeiras. Para o aquífero fissurado (Figura 4-b), a maioria das amostras encontra-se no campo das águas bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, porém, sendo comuns as bicarbonatadas sódicas. As águas do sistema aquífero granular (Figura 4-c), são bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, mas estão presentes águas mistas e raramente as bicarbonatadas cloretadas.

Levando em consideração as médias internas dos íons maiores (Figura 5), observa-se que o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  estão presentes em maior proporção no aquífero cárstico, devido à dissolução de calcários e dolomitos.

Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  ocorrem predominantemente no aquífero fissurado, como mostra a figura 10. O íon  $\text{Na}^+$  é assimilado pela água através de trocas iônicas com argilo-minerais constituintes dos metassiltitos e ardósias, mas este pode ser proveniente também, da dissolução de feldspatos sódicos presentes nos arcóseos. Os íons  $\text{Cl}^-$  originam-se de

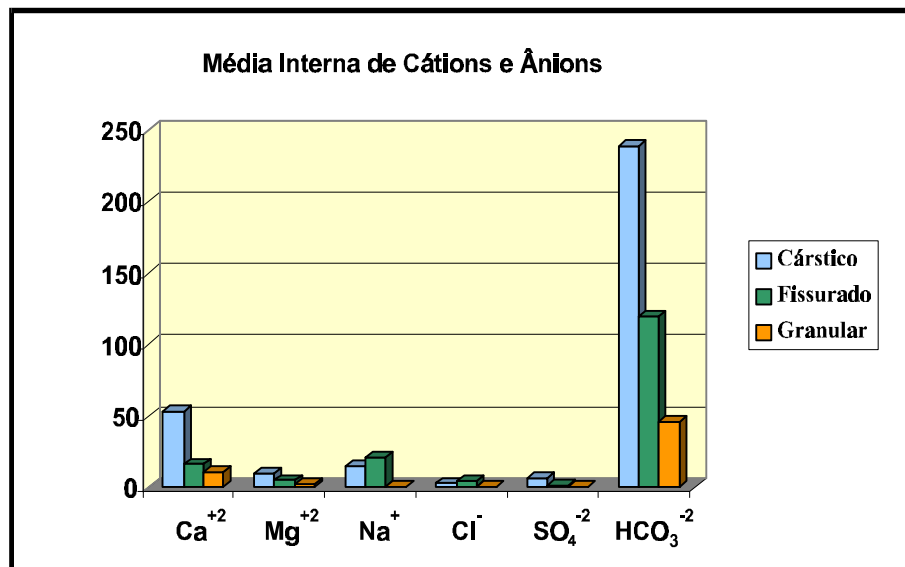
águas meteóricas e de sais concentrados no solo. Variações nas concentrações desses íons podem originar-se, também, pelos diferentes posicionamentos dos pontos amostrados, com relação às zonas de recarga e descarga. No sistema cárstico, os íons  $\text{Na}^+$  ocorrem de maneira subordinada e, neste caso, estão associados à presença de intercalações pelíticas.

O íon  $\text{HCO}_3^-$  ocorre em proporções elevadas em relação aos demais íons, e de maneira crescente nos aquíferos granular, fissurado e cárstico (Figura 5). Quantidades elevadas do bicarbonato em todos os tipos de água estudados, são devidos à presença de  $\text{CO}_2$  atmosférico ou resultante da decomposição de matéria orgânica e da dissolução de minerais carbonáticos.



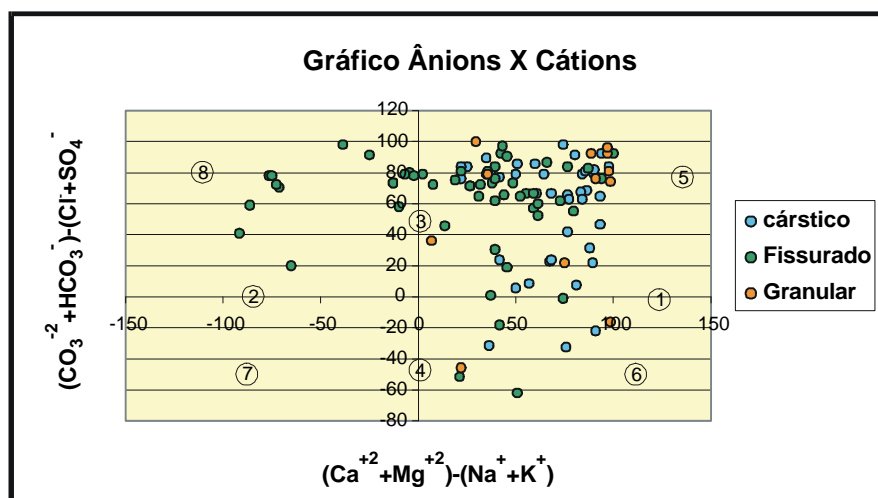
**Figura 4** – Diagramas de Piper para os aquíferos Cárstico (a), Fissurado (b) e Granular (c)

O íon sulfato, em geral ocorre em baixos teores, sendo mais comum no aquífero cárstico. Deve originar-se da oxidação de sulfetos e dissolução de sais presentes no solo.



**Figura 5** - Gráfico das médias internas (em mg/L) de cátions e ânions maiores para cada tipo aquífero

O diagrama proposto por Chadha (1999), figura 6, mostra com nitidez, as relações apresentadas acima. Há o predomínio de alcalino terrosos e de ânions de ácidos fracos. As amostras dos aquíferos fissurados mostram distribuição ao longo dos campos 5 e 8, evidenciando o papel das trocas de base catiônicas, na evolução das águas bicarbonatadas cálcicas para bicarbonatadas sódicas. As poucas análises projetadas no campo 6, caracterizam águas com proporções elevadas de alcalino terrosos e ânions de ácidos fortes, de dureza permanente.

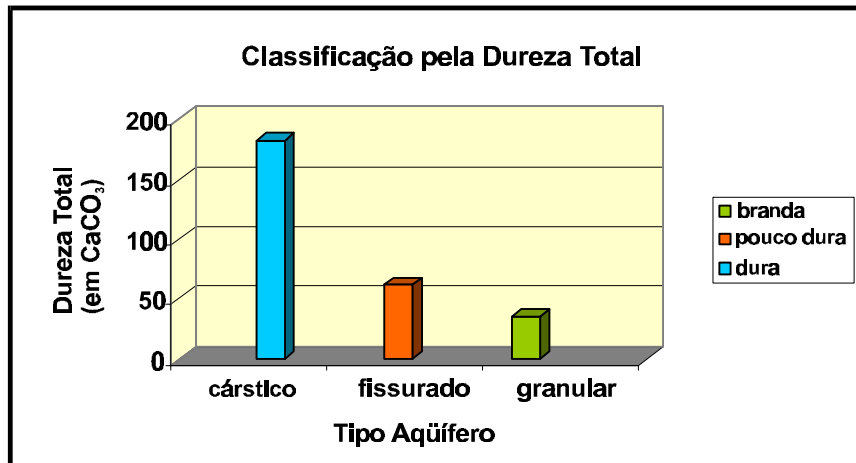


**Figura 6** Diagrama da diferença de percentagem em miliequivalentes entre metais alcalinos e alcalinos terrosos versus a diferença da percentagem entre ânions de ácidos fracos e fortes. Fonte: Chadha, 1999

A condutividade elétrica a temperatura de 25°C, obtida in loco, apresentou valor médio de 411,79  $\mu\text{S/cm}$  para o aquífero cárstico, 219,02  $\mu\text{S/cm}$  para o fissurado e de 87,52  $\mu\text{S/cm}$  para o aquífero granular. A média de sólidos totais dissolvidos para o aquífero cárstico é de 245,46 mg/L, enquanto que para os sistema fissurado e granular é de 154,32 e 72,48 mg/L, respectivamente. A relação STD/Condutividade é de 0,6 para o aquífero cárstico, 0,7 para o fissurado e 0,8 para o granular, valores estes comuns à maioria das águas subterrâneas naturais.

Em termos gerais, as maiores condutividades elétricas encontradas na área (Figura 3) distribuem-se ao longo de uma faixa que se estende desde o município de Dom Bosco até o município de Formoso, coincidente com a área de ocorrência de rochas carbonáticas do Subgrupo Paraopeba.

De acordo com a classificação das águas pela dureza total, proposta por CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), as águas do sistema cárstico mostram-se predominantemente duras, com valor médio de 183,35 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . No sistema fissurado o valor médio encontrado é de 62,27 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , sendo a água classificada como pouco dura. As águas do sistema granular, são brandas, com valor médio de 35,54 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 7).



**Figura 7** Gráfico de classificação das águas pela média da dureza total (em  $\text{CaCO}_3$ ), para cada tipo aquífero

O pH obtido in loco, para o sistema cárstico apresenta valor médio de 7,20, porém são comuns amostras com pH em torno de 8,0. O sistema fissurado apresenta valor de 7,23 e o granular de 6,61, mas são freqüentes, para o último, valores abaixo de 6,0.

#### 4. CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O critério para coleta das amostras baseou-se em dois princípios: a representatividade quanto ao tipo aquífero e a presença de situação de risco que pudesse

comprometer a qualidade da água. Várias fontes potenciais de contaminação foram reconhecidas na região e são, em ordem decrescente, de importância dos seguintes tipos: atividades agrícolas e pecuárias, atividades domésticas, operação de poços equipados com compressor a diesel e derramamentos de óleo e derivados. A abordagem do estágio de contaminação dos pontos d'água baseia-se em 124 análises, sendo 86 coletadas durante este trabalho.

Os aquíferos mais propensos à contaminação correspondem aos sistemas granulares. Os aquíferos cársticos exibem alta vulnerabilidade nas regiões de afloramento, mas estas, por se tratarem de áreas serranas, não exibem atividade antrópica relevante. Os aquíferos fissurados mostram-se relativamente menos vulneráveis, em vista da cobertura cretácica ou terciário-quadernária. Na ausência desta, o grau de proteção dos metapelitos é maior que dos arcóseos, dadas as diferenças texturais. No entanto, cabe destacar a precariedade construtiva de grande parte dos poços tubulares e a existência de poços abandonados que podem atuar como conduto direto, sem diluição, dos contaminantes aos aquíferos. A condição de risco torna-se preocupante em virtude do número significativo de poços que captam água do aquífero cárstico subjacente.

#### **4.1 CONTAMINAÇÃO POR ATIVIDADES AGRÍCOLAS E PECUÁRIAS**

As atividades pecuárias constituem a principal fonte de contaminação para as águas subterrâneas. Grande número de poços tubulares foi encontrado nas proximidades de currais, pocilgas, granjas ou em áreas de pastagens. As análises mostram o grau de importância deste tipo de contaminação. Em 57% das amostras analisadas foram detectados coliformes totais e em 24%, estreptococos fecais, sendo estes frequentemente mais numerosos que os coliformes fecais (relação média de 5,0).

A agricultura contribui potencialmente para a introdução de diversos tipos de contaminantes no sistema aquífero. As principais formas de contaminação são decorrentes de: 1) irrigação contínua, provocando a salinização do solo; 2) utilização de fertilizantes orgânicos (dejetos humanos e de animais) e inorgânicos (a base de nitratos, fosfatos e potássio); 3) emprego de agrotóxico (inseticidas, herbicidas, praguicidas e etc.); 4) aplicação de sulfato de cálcio como corretivo do solo.

O uso de pesticidas é especialmente preocupante, em vista da expansão da área agricultável e a comprovação de seu lançamento maciço em alguns locais. Entretanto, não foram detectados organoclorados nas análises realizadas em poços situados em áreas de cultura. A ausência destes compostos nas amostras analisadas, não implica,

necessariamente, não contaminação do aquífero, podendo refletir a baixa mobilidade no meio. Águas de surgências no sopé das chapadas ocupadas por plantações deverão ser investigadas para melhor avaliação da contaminação nos aquíferos granulares.

#### **4.2 CONTAMINAÇÃO POR ATIVIDADES DOMÉSTICAS**

Compreende toda sorte de contaminação de natureza orgânica e biológica originada de fossas sépticas, fossas negras, vazamentos de redes de esgoto e chorumes de aterros sanitários. Na zona rural, vários poços foram encontrados localizados a pequena distância de fossas, enquanto que na zona urbana foram cadastrados poços em áreas de disposição de lixo ou próximo a essas. A existência de contaminação por rompimentos da rede de esgoto e por fossas nas sedes municipais, apesar de não constatada, é de ocorrência possível.

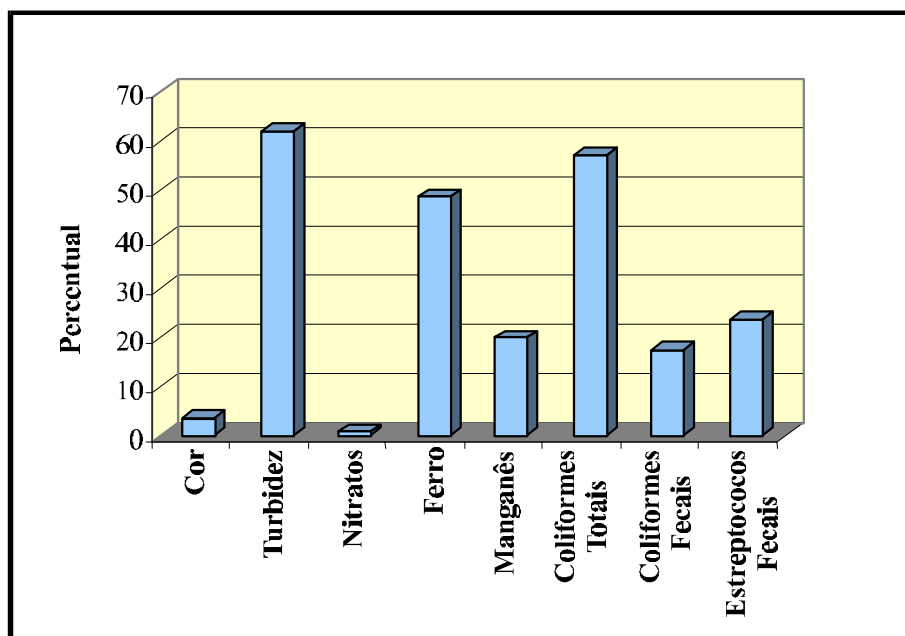
Poços contaminados com coliformes fecais constituem 17,5% das amostras analisadas sendo que metade destes apresentam valores bastante superiores aos de estreptococos fecais (relação média de 30,0 ) revelando origem humana da contaminação bacteriológica. Outros indicadores de degradação qualitativa das águas por efluentes domésticos (nitratos, TDS, cloretos etc) não apresentaram concentrações expressivas ou acima da média para os sistemas aquíferos.

#### **4.3 DERRAMAMENTO DE ÓLEO E DERIVADOS**

A contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo pode ocorrer pela operação incorreta ou a falta de manutenção de compressores a diesel, que resulta no extravasamento do óleo junto ao poço, ou ainda através de vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis. Foram encontrados, em especial na zona rural, vários poços localizados muito próximos aos compressores a diesel, freqüentemente no interior do próprio abrigo de máquinas, e com evidência de óleo derramado no solo ao seu redor. Não foram realizadas análises para detecção deste tipo de contaminação devido a sua menor importância quanto ao potencial poluidor, se comparado à outra forma de introdução de óleos e derivados. Esta fonte de contaminação destaca-se, no entanto, pela ocorrência significativa na região. A infiltração de combustíveis decorrentes de tanques danificados, foi aventada em um posto de gasolina, localizado no município de Unaí, tendo sido comprovada a presença de óleos e graxas na água do poço tubular que o abastece.

#### **4.4 FONTES QUE PODEM ATUAR COMO CONDUTORAS DE ÁGUA CONTAMINADA**

Os poços mal construídos e os abandonados não lacrados constituem importantes condutos para o fluxo vertical, direto e sem diluição, de poluentes que podem atingir zonas aquíferas relativamente protegidas da contaminação. As análises físico-químicas e bacteriológicas de poços em produção indicam a severidade e extensão do problema construtivo (Figura 8). Os parâmetros que ocorrem com maior frequência acima dos limites de potabilidade são turbidez, ferro, manganês e coliformes totais. A má qualidade das águas reflete a construção deficiente, seja por não apresentar selo sanitário e cimentação, seja pela má seleção ou falta de critério técnico na escolha da abertura dos filtros e da granulometria do pré-filtro ou mesmo pela ausência de desenvolvimento. A intensificação dos problemas, com o uso prolongado, leva muitas vezes ao abandono do poço.



**Figura 8** Proporção dos parâmetros acima dos níveis de potabilidade para as 118 amostras analisadas

Os poços abandonados, de maneira geral, não recebem o tratamento recomendado que consiste na selagem com material impermeável ou cimento. São encontrados em várias situações, tais como: com a bomba em seu interior; com tampa de madeira ou de metal (soldada ou não); com cobertura de plástico ou borracha; destampados; preenchidos com areia ou cascalho e com evidências de solapamento das paredes laterais pela infiltração e percolação da água superficial ao longo do revestimento. Além de servirem de veículo para contaminantes podem ser também receptáculos de toda a espécie de resíduos desde produtos tóxicos até animais mortos e de dejetos. Alguns poços desativados na zona urbana encontram-se cobertos pela pavimentação das ruas, e



podem já representar fontes de contaminação, cuja determinação e controle da propagação é bastante difícil.

## **5. O USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

A água subterrânea vem se destacando, nos últimos anos, como uma importante fonte alternativa de abastecimento. Conforme observado no levantamento de campo, a ampliação das áreas irrigadas com o uso de pivôs, juntamente com o barramento de nascentes que alimentam os cursos d'água, têm provocado redução no fluxo, em especial naqueles de menor porte. Este fato reflete-se na intensificação das perfurações, de tal forma que 70% dos poços cadastrados foram construídos a partir de 1997.

A água subterrânea tem atualmente um papel significativo para o abastecimento público, contribuindo como parcela complementar no atendimento às áreas urbanas e como praticamente único manancial nas zonas rurais. O aproveitamento da água subterrânea é feito basicamente através de poços tubulares, poços escavados e captação de nascentes. Regiões com maior potencial hidrogeológico, em especial aquelas inseridas no domínio de terrenos cársticos, têm no recurso subterrâneo, uma fonte potencial importante.

O aproveitamento dos aquíferos granulares é feito comumente através de poços escavados. No entanto, poços tubulares são também encontrados nas chapadas onde as espessuras das coberturas sedimentares são mais expressivas. Quanto aos aquíferos fissurados e cársticos, a única forma de captação consiste de poços tubulares. Em muitos casos, os poços atravessam o material de cobertura, a seqüência metapelítica e captam água exclusivamente do sistema cárstico sotoposto.

Na zona rural, o recurso subterrâneo é utilizado basicamente para abastecimento doméstico e dessedentação animal. Nos períodos chuvosos, vários poços são paralisados e o atendimento da demanda é feito através do recurso superficial.

A aptidão para as diversas formas de uso (consumo humano, agrícola e industrial) da água subterrânea, relaciona-se às características hidroquímicas. As diferenças de concentrações e de propriedades físico-químicas demonstradas pelos sistemas aquíferos fazem com que estes apresentem vocações específicas.

### **5.1 CONSUMO HUMANO**

A análise da qualidade da água para o consumo humano baseia-se na portaria nº36/90 do Ministério da Saúde. Conforme demonstrado no item de contaminação, as águas subterrâneas da região apresentam, em proporção elevada, restrições de consumo

vinculados a alguns aspectos físicos, organolépticos, químicos e bacteriológicos. Grande parte dos problemas de qualidade da água está relacionada a fatores construtivos, operacionais ou de localização da obra de captação com referência a focos contaminantes.

A identificação destes fatores e sua correção são determinantes para manutenção da qualidade da água em termos satisfatórios para consumo humano. O tratamento deverá ser realizado quando, após adotadas as intervenções indicadas, houver ainda algum parâmetro fora dos limites de potabilidade. Os valores médios de turbidez (34UNT), coliformes totais (211 NMP/100ml), coliformes fecais (62 NMP/100ml) e estreptococos fecais (170 NMP/100ml), para as amostras com níveis acima do permitido, indicam a possibilidade de adoção de métodos simplificados de tratamento que envolvem a implantação de filtros lentos de areia, precedidos ou não de decantação e seguidos de desinfecção com cloro. Este procedimento deverá inclusive, remover parte do ferro e manganês retidos no material em suspensão.

Vale ressaltar que o nitrato, importante indicador de contaminação, foi detectado em 86 amostras (35% do total) em baixas concentrações (média de 0,8mg/L). Nitrato acima do limite de potabilidade foi encontrado em apenas um ponto.

## **5.2. USO INDUSTRIAL**

Em vista da ampla variedade de processos industriais adotam-se faixas específicas de variação para os parâmetros de maior interferência (SZIKSZAY, 1993): pH, dureza, alcalinidade, resíduo seco, cálcio, cloretos, ferro, manganês, nitrato, amônia, sulfatos, fluoretos e magnésio.

Os aquíferos granulares exibem características hidroquímicas que permitem seu uso generalizado para praticamente todas as atividades industriais. As águas dos aquíferos cársticos, ao contrário, não se adequam aos requisitos dos diversos tipos de indústria em decorrência dos valores médios elevados de dureza (183,35 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) e alcalinidade (196 mg/L de CaCO<sub>3</sub>). A utilização das águas do aquífero fissurado também é inviabilizada para a refrigeração e para as indústrias de bebidas, curtume, têxtil e papel, devido aos valores de dureza. O emprego extensivo das águas destes dois tipos aquíferos requer a adoção de técnicas de abrandamento.

Vale destacar que o ferro apresenta-se, para todos os tipos aquíferos, acima dos limites industriais aceitáveis. Conforme já foi salientado, é provável que estas concentrações decorram de problemas construtivos e operacionais, já que não é um elemento abundante nos aquíferos, em especial nos cársticos e fissurados. Portanto,

espera-se que poços corretamente construídos apresentem valores menores, permitindo o uso industrial mais abrangente.

### **5.3 USO AGRÍCOLA**

O uso da água na agricultura inclui o consumo por animais domésticos e a irrigação. No primeiro caso, a concentração de sólidos totais dissolvidos deve ser de no mínimo 2500 mg/L (Logan 1965, *in* Feitosa & Filho 1997). Esta especificação é atendida por todos os tipos aquíferos. No segundo, a classificação de adequabilidade é determinada pela concentração dos sais solúveis e pela relação dos valores de sódio com os de outros cátions os quais são determinantes, de maneira diferenciada, para o desenvolvimento dos diversos tipos de plantas.

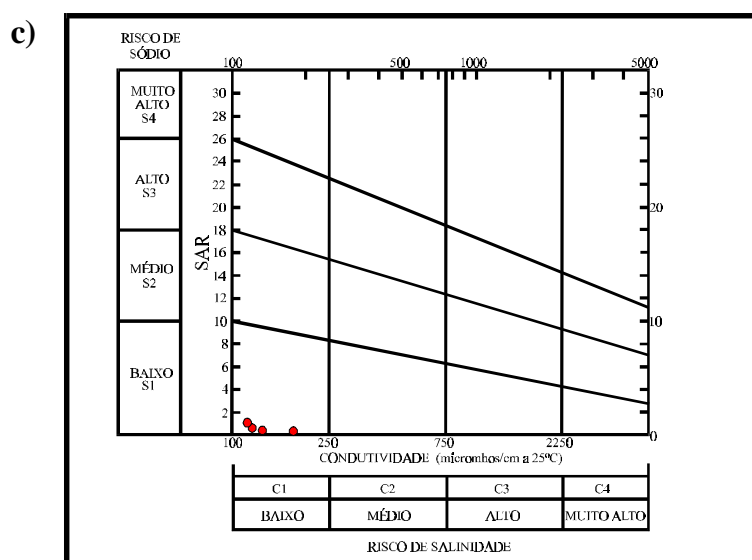
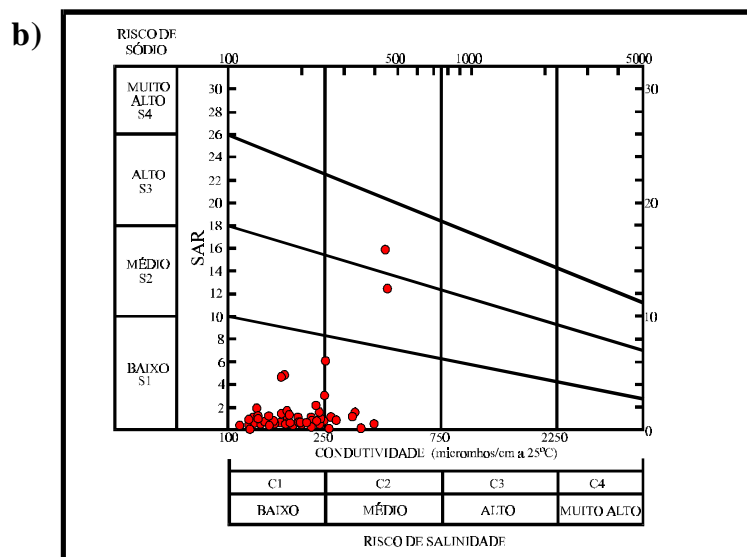
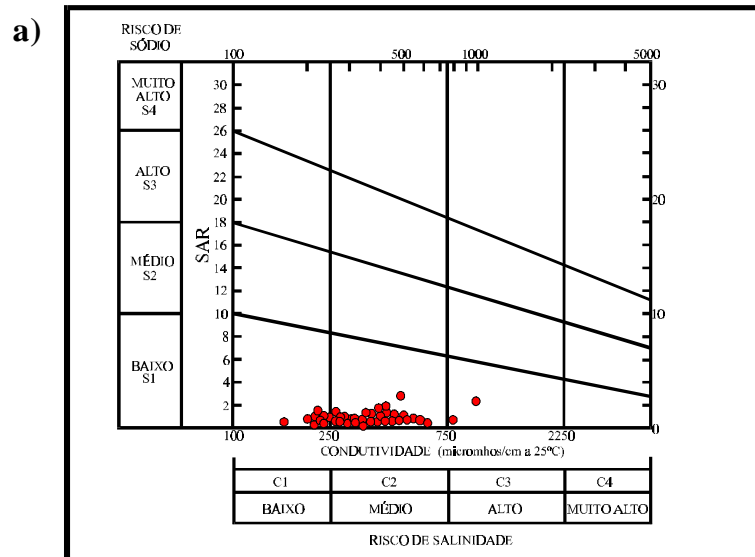
Para avaliar o risco de sodificação do solo foi adotado o critério proposto pelo United States Salinity Laboratory – U.S.S.L que baseia-se na razão de adsorção de sódio (SAR) e na condutividade elétrica. A análise dos diagramas elaborados para cada tipo aquífero (Figura 9 a, b e c) permite prever as suas aptidões para o cultivo.

As águas do sistema granular e de modo geral, do sistema fissurado são fracamente sódicas e de baixa condutividade, podendo ser utilizadas para a maioria das culturas, com risco muito baixo de desenvolvimento de salinização. Pequena proporção de amostras do sistema fissurado exibem condutividade média e razão de sódio baixa o que predispõe o uso para os vegetais de fraca tolerância salina. Apenas duas amostras apresentaram índice médio e alto de toxicidade de sódio, cujo emprego implica condições especiais do solo (boa permeabilidade e presença de matéria orgânica) e cultivos de vegetais com maior tolerância ao sódio.

O aquífero cárstico mostra um predomínio de águas com baixo sódio e condutividade elétrica média o que favorece a utilização para a maioria dos solos e culturas, com baixa probabilidade de alcance de concentrações elevadas de sódio adsorvido.

## **6. CONCLUSÕES**

O uso da água subterrânea, para consumo humano e dessedentação animal, foi intensificado nos últimos três anos. Informações obtidas junto aos proprietários rurais revelam que este fato advém da redução do fluxo dos cursos d'água, decorrente da ampliação das áreas agricultáveis e do barramento de nascentes. Como consequência, os aquíferos cársticos são os mais explorados em virtude de seu maior potencial hidrogeológico.



**Figura 9** Diagramas de Wilcox para os aquíferos Cárstico (a), Fissurado (b) e Granular (c).

No contexto hidroquímico, as águas dos aquíferos classificam-se, predominantemente, como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Os sistemas fissurados apresentam maiores concentrações em sódio resultantes, principalmente, de trocas iônicas com argilo-minerais e dissolução de feldspatos. Apresentam também, maior concentração de cloretos, que advêm da dissolução de sais concentrados no solo ou da água meteórica. A condutividade elétrica é um parâmetro indicador dos tipos aquíferos, visto a expressiva diferença nos valores médios: 411,79; 219,02 e 87,52  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para os aquíferos cárstico, fissurado e granular, respectivamente.

As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas correspondem às atividades pecuárias e agrícolas. Análises bacteriológicas indicam expressiva degradação qualitativa originada de excretos animais. Também foi detectada participação significativa das atividades domésticas na introdução de contaminantes (coliformes fecais). Organoclorados não foram identificados, apesar do uso comprovado de agrotóxicos nas culturas. Poços tubulares mal construídos ou inadequadamente abandonados potencializam o risco de comprometimento da qualidade das águas dos aquíferos.

De modo geral, as águas subterrâneas se prestam, sem restrições, ao uso agrícola. A utilização industrial das águas dos aquíferos cárstico e fissurado é parcialmente prejudicada pela alta dureza. As amostras analisadas exibem, com freqüência, parâmetros acima do limite de potabilidade (turbidez, ferro, manganês e coliformes), que devem estar relacionados a problemas construtivos e operacionais dos poços tubulares desta microrregião.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Planoroeste: hidrogeologia subterrânea. Belo Horizonte: CETEC, 1981. v.2.
- CHADHA, D. K. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. Hydrogeology Journal, New Delhy, v. 7, n. 5, oct., 1999, p.431-439.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M., R., Hidrologia Subterrânea Barcelona: Ed. Ômega, 1983. v.2.
- FEITOSA, F.A. Coord. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM / UFPE – Laboratório de Hidrogeologia, 1997. 412p. il.
- FUCK, R A., SÀ, E. F. J. de, PIMENTEL, M. M., As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1992, Salvador. Salvador: SBG / SGM / CNPq, 1993. p. 161-185.

PEDROSA-SOARES, A. C., DARDENNE, Marcel A., HASUI, Y., et al. Mapa Geológico de Minas Gerais. :\_escala 1:1.000.000 - Belo Horizonte: COMIG, 1994.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das Águas. São Paulo, Boletim IG, 1993. n.5.