

O ARSÊNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE OURO PRETO-MG

José Augusto Costa Gonçalves – Univ. Federal de Ouro Preto - costa@degeo.ufop.br
 Margarete Aparecida Pereira – Univ. Federal de Ouro Preto - margarete@degeo.ufop.br
 José Fernando Paiva – Dequi – ICEB - Universidade Federal de Ouro Preto
 Jorge Carvalho de Lena – Dequi – ICEB - Universidade Federal de Ouro Preto



INTRODUÇÃO

Águas utilizadas para consumo humano com concentrações de As (arsênio) acima dos limites estabelecidos pelos órgãos de controle ambiental são consideradas perigosas para a saúde humana (Hopenhayn-Rich et al., 1996; National Research Council, 1999).
 O As é encontrado na constituição de uma longa lista de minerais, em que os sulfatos, arsenatos e sulfatoarsenatos são os mais comuns. Arseniais naturais, o As ocorre em compostos inorgânicos e orgânicos. Em solução, os compostos orgânicos encontrados nas águas em condições de Eh alto a moderado são H₂AsO₄, H₂AsO₃, HAsO₂⁻, HAsO₃²⁻ e em condições oxidantes o H₂AsO₄, onde o As se apresenta nos estados de oxidação 3 e 5+ (Thornton & Fargo, 1997).
 O As é um elemento tóxico e carcinogênico. As principais patologias provocadas pela ingestão de água crônica de As são problemas no metabolismo, tumores cutâneos, úlceras, gastrites, diarreias, arritmias cardíacas, câncer de pâncreas e pulmão, maior frequência de abortos espontâneos, febre com baixo peso, dores de cabeça, confusão mental e anemias (Hutton, 1987; Morton & Dumette, 1994; Chen & Lin, 1994; USEPA, 2000; WHO, 2001).

No município de Ouro Preto, o abastecimento público domiciliar, bem como as fontes e chaparias existentes nas ruas e praças, é através da captação de águas superficiais, de nascentes e também de águas subterrâneas provenientes de poços tubulares e de antigas minas de ouro. A possibilidade da ocorrência de contaminação dessas águas por As, em função das litologias constituintes dos aquíferos, as tornaria impróprias para o consumo humano.

Geograficamente, o As se distribui nas rochas do Quadrilátero Ferrífero, numa retinação associada com as rochas arcaicas sulitadas. A origem do As nas águas, solos e sedimentos, se deve a uma anomalia natural desse elemento. Esta anomalia está relacionada com a gênese dos depósitos auríferos. Naturalmente, o ítermpério é realizado com teores anômalos de As promovendo a liberação deste, para o ambiente.

Nesse trabalho é realizado um estudo hidrogeológico das águas servidas à população de Ouro Preto, através do comportamento temporal do As, monitorado periodicamente entre janeiro a junho de 2004.

2 - Características Gerais da Área Estudada

A área em estudo está inserida regionalmente na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero compreende uma área de 7.200 Km², localizada na porção centro-sul do estado de Minas Gerais. A constituição geológica da cidade de Ouro Preto, Figura 1, compreende um conjunto de rochas metamórficas e metavolcânicas pertencentes aos Supergrupos Minas e Rio das Velhas.

O clima de Ouro Preto, de acordo com Rodrigues (1966), adotando a classificação internacional de Köppen, é do tipo Cwb (tropical de altitude), ou seja, mesotérmico úmido, com inverno seco e verão brando.

Nas cidades de Ouro Preto, grande parte da área urbana, está localizada em um vale formado entre a Serra do Itacolomi e a Serra de Ouro Preto, sendo suas cotas variando entre 1000 a 1420 m de altitude.

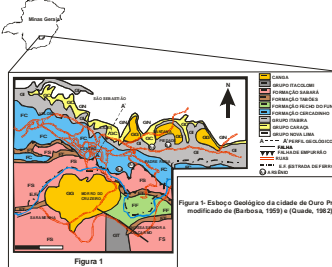


FIGURA 1 – Esboço Geológico da cidade de Ouro Preto modificado de (Barbosa, 1959 e Guade, 1982).

3 - Hidrogeologia - Os Sistemas Aquíferos: Descrições e Caracterizações

Foram identificadas três categorias de sistemas aquíferos: um meio granular, caracterizado por mantos de alteração e coberturas detriticas indelimitadas, um meio granular-fissurado, constituído pelas rochas tabularíticas e um meio fissural, representado pelas rochas xistosas e quartizosas.

Quadro 1 – Os sistemas aquíferos, litologias predominantes e unidades geológicas associadas (Modificado de IGA, 1995)

Sistemas Aquíferos	Litologia Predominante e Unidades Geológicas
Aquíferos em Manto de alteração e Coberturas detriticas indelimitadas	Meio Granular
	Saprolitos, colúvios, areias finas, capas lateríticas e formações de canga.
Aquífero tabularítico	Meio Granular – Fissurado
	Tabarite e tabarite dolomítico da Formação Casa / Fítilo dolomítico e as formações ferríferas da Formação Gandarela
Aquífero Xistoso	Meio Fissurado
	Xisto, clorita-fítilo e xisto, quartzo-clorita e quartzo-clorita-xistoso do Grupo Novo Lima / Fítilo dolomítico, fítilo e xisto da Formação Ferro do Fim / Mica e clorita-xisto, quartzo da Formação Sabará
Aquífero Quartizoso	Quartzito, quartzo ferruginoso, fítilo da Formação Cercadinho / Quartzito conglomerático do Grupo Itacolomi

4 – Materiais e métodos

Dentre as várias captações de água subterrânea e superficial utilizadas pela população da cidade Ouro Preto, foram selecionados 17 pontos de amostragem (P.A.), para estudo. As amostras de água subterrânea e superficial (Tabela 1) foram coletadas ao longo do ano de 2003, em seis campanhas de amostragem (C.A.), nos meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro. Em cada ponto de coleta foram medidos, in situ, o pH, a temperatura, sólidos totais (D.S.O.) e condutividade elétrica.

O método de análise de especiação de As utilizado, foi por voltametria de onda quadrada. (Gonçalves et al., 2004). Os experimentos voltamétricos foram realizados em um polarógrafo Metrohm, modelo 757 VA Computar, dotado de um eletrodo de trabalho de gota pendente de mercúrio, um eletrodo de referência Ag|AgCl|KCl 3 mol.L⁻¹ e um eletrodo auxiliar de platina.

5 - Resultados e Discussões

Dos 17 pontos estudados (Tabela 1), em 13 não foi encontrada a presença de As. Entretanto, em 4 localidades, o As(V) foi detectado em concentrações que variaram entre 3 a 224 µg.L⁻¹. Do total de amostras de água analisadas, os valores das concentrações de As, em 75% das amostras, estão em valores compatíveis ao consumo humano, que é de 10 µg.L⁻¹ de As (FUNASA, 2001). Em todas as amostras de água estudadas, não foi detectado a presença do As(III), espécie mais tóxica de As.

As amostras de água que apresentaram concentrações de As impróprias para o consumo humano, foram encontradas nos pontos de amostragem P.A. 14 (Mina do Chiquinho), P.A. 15 (Chatraz – Rua do Barão), P.A. 16 (Pedada-Tassara) e P.A. 17 (Biquinha da Rua Santa Rita – Mina Velha).

A direta e estreita relação entre a sazonalidade do clima e os valores das concentrações de As, encontradas nas águas de alguns pontos estudados (P.A. 14, P.A. 15, P.A. 16, P.A. 17), é evidenciada na (Figura 2). Em todos esses pontos as curvas representativas dos índices de chuva e dos valores das concentrações de As, mostram a mesma tendência, ou seja, nos períodos de maior incidência de chuva são também os que apresentam os maiores valores nos teores de As nas águas analisadas. Períodos estes compreendidos entre os meses de dezembro a março.

Tabela 1 - Localização dos Pontos de Amostragem (P.A.) e concentrações químicas das amostras de água subterrânea	
P.A.01 - Rua Tenente Vasconcelos - CBF (Bom Sucesso) - Tipo de Captação: Artificiais de curto prazo - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.02 - Travessa Sacramento/rua Carlos - Tipo de Captação: Nascentes - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.03 - Travessa Sacramento/rua Carlos - Tipo de Captação: Águas Minerais - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.04 - Quilômetro 3000 - Tipo de Captação: Superfície - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.05 - Alameda Lima - Casa 4 (Quilômetro 3000) - Tipo de Captação: Nascentes - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.06 - Alameda Lima - Casa 5 (Bela Vista) - Tipo de Captação: Nascentes - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.07 - Rua Santa Rita de Cássia - Tipo de Captação: Superfície - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.08 - Sertãozinho de Minas - Tipo de Captação: Superfície - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.09 - Rua São Sebastião - Tipo de Captação: Poço Tubular - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.10 - Estrada de Yamantara - Tipo de Captação: Superfície - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.11 - Rua S. M. de Paula (rua da 1000) - Tipo de Captação: Águas Minerais de Curo - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.12 - Mina do Bonfim - Tipo de Captação: Águas Minerais de Curo - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.13 - Mineirão - Tipo de Captação: Superfície - Não foi detectado As ao longo do ano	
P.A.14 - Mina do Chiquinho - Tipo de Captação: Arco Minero de Curo	
Meio Granular	
P.A.15 - Córrego - Tipo de Captação: Nascentes	
Meio Granular - Fissurado	
P.A.16 - Córrego - Tipo de Captação: Arco Minero de Curo	
Meio Fissurado	
P.A.17 - Biquinha da Rua Santa Rita (Mina Velha) - Tipo de Captação: Águas Minerais de Curo	

Meio Granular	Meio Granular - Fissurado	Meio Fissurado
P.A.15 pH: 7,20; Teor: 350; SDO: 0,26; Eh: 0,41; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	P.A.16 pH: 7,16; Teor: 542,9; SDO: 0,26; Eh: 0,39; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	P.A.17 pH: 7,07; Teor: 30,7; SDO: 0,26; Eh: 0,36; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00
P.A.16 pH: 7,27; Teor: 36,7; SDO: 0,26; Eh: 0,40; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	P.A.17 pH: 7,10; Teor: 32,7; SDO: 0,26; Eh: 0,40; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	P.A.14 pH: 6,62; Teor: 19,0; SDO: 20,15; Eh: 0,43; An: 14,8; Ar: 1,80; Na: 0,40; Al: 1,03; Ca: 1,05; Mn: 127,00; Fe: 1,00; Ba: 0,27
P.A.17 pH: 6,67; Teor: 17,0; SDO: 20,00; Eh: 0,48; An: 1,2; Ar: 1,70; Na: 0,00; Al: 1,00; Ca: 1,00; Mn: 124,00; Fe: 1,00; Ba: 0,30	P.A.03 pH: 6,37; Teor: 18,0; SDO: 20,00; Eh: 0,38; An: 1,2; Ar: 1,20; Na: 0,00; Al: 1,00; Ca: 1,00; Mn: 123,10; Fe: 1,00; Ba: 0,37	P.A.04 pH: 6,30; Teor: 20,0; SDO: 20,15; Eh: 0,43; An: 1,2; Ar: 1,60; Na: 0,40; Al: 1,00; Ca: 1,00; Mn: 127,00; Fe: 1,00; Ba: 0,30
P.A.05 pH: 6,46; Teor: 20,0; SDO: 15,10; Eh: 0,38; An: 1,2; Ar: 1,60; Na: 0,40; Al: 1,00; Ca: 1,00; Mn: 124,00; Fe: 1,00; Ba: 0,37	Meio Granular - Fissurado	
P.A.06 pH: 7,16; Teor: 19,0; SDO: 20,00; Eh: 0,39; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
P.A.07 pH: 6,54; Teor: 19,0; SDO: 20,00; Eh: 0,37; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
P.A.08 pH: 6,38; Teor: 18,0; SDO: 19,40; Eh: 0,46; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
P.A.09 pH: 6,67; Teor: 18,2; SDO: 19,40; Eh: 0,35; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
P.A.10 pH: 7,02; Teor: 19,3; SDO: 19,40; Eh: 0,35; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
P.A.11 pH: 7,31; Teor: 20,7; SDO: 19,40; Eh: 0,36; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Fissurado	
Meio Granular - Fissurado		
P.A.14 pH: 6,62; Teor: 19,0; SDO: 20,15; Eh: 0,43; An: 14,8; Ar: 1,80; Na: 0,40; Al: 1,03; Ca: 1,05; Mn: 127,00; Fe: 1,00; Ba: 0,27	Meio Granular - Fissurado	
P.A.16 pH: 7,27; Teor: 36,7; SDO: 0,26; Eh: 0,40; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Granular - Fissurado	
P.A.17 pH: 7,10; Teor: 32,7; SDO: 0,26; Eh: 0,40; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Granular - Fissurado	
P.A.15 pH: 7,20; Teor: 35,0; SDO: 0,26; Eh: 0,41; An: 0,11; Ar: 0,25; Na: 68,8; Al: 0,2; Ca: 0,5; Mn: 0,04; Fe: 0,07; Ba: 0,00	Meio Granular - Fissurado	

Por outro lado, na estação mais seca, entre os meses de junho a setembro, os valores das concentrações de As nas águas apresentaram os menores valores, sendo que para os pontos (P.A. 14 e P.A. 16), nesses meses, o As não foi detectado. Para todos os pontos com presença de As nas águas, o valor máximo e mínimo dos teores de As, coincide com os valores máximo e mínimo dos índices pluviométricos.

Duas condições hidrogeológicas podem levar à variação da qualidade das águas (Rose et al., 1991):
 a) o declínio dos níveis de água após as estações chuvosas, propiciam o início dos processos de oxidação nos sistemas aquíferos;
 b) nos períodos chuvosos, os sais formados nas zonas de oxidação, durante o período seco, são solubilizados e transportados.

Somado às condições climáticas, e atuando de forma concomitante, os caminhos das precipitações atmosféricas, tanto pelo escoamento superficial, como pelas águas infiltradas, encontram na geomorfologia e no relevo abrupto da cidade, condições propícias para fluxos rápidos, facilitando as interações água-rocha, a solubilização e o transporte de quantidades maiores de substâncias e elementos.

Em sistemas aquíferos existentes, também contribuem de forma relevante na solubilização e liberação do As para o ambiente. Tanto os filitos e quartzitos ferruginosos, rochas da Formação Cercadinho (aquífero fissural), como principalmente os tabaritos e tabaritos dolomíticos, Formação Casa, filitos dolomíticos e formações ferríferas doleíticas da Formação Gandarela, rochas xistosas (aquífero granular-fissural), apresentam boas condições de porosidade e permeabilidade, densa malha de fraturas, microfaturas e planos de foliação. Nessas formações, onde se localizam os pontos em que ocorrem As em águas subterrâneas, são observados, as presenças de minerais sulfetados oxidados e minerais carbonatados, expostos superficialmente.
 A oxidação dos corpos minerais sulfetados, tem início com a redução do aporte de água no fim do período chuvoso, estendendo-se por todo o período seco, podendo produzir considerável quantidade de sais solúveis. Essas condições ocorrem inicialmente e principalmente nas áreas de recarga da água subterrânea e emostas, onde os processos ítermpéricos na zona não saturada, ricos em O₂ livre, provocam a oxidação dos minerais sulfetados, como principalmente a arsenopirita. A reação de oxidação da arsenopirita, segundo Plumlee (1999) é: FeAs₂ + 3,25O₂ + 1,5H₂O = Fe₂S₃ + 2H₂ + HAsO₄⁻ + SO₄²⁻. Sob essas condições, os tabaritos e tabaritos dolomíticos, Formação Casa, são liberados das rochas mineralizadas através de processos orgânicos ou biológicos, Nordstrom & Southam (1997).
 Borba (2002), credita principalmente a esse mineral e à sua dissolução incongruente, em decorrência da elevação do pH do meio, a presença de As em águas subterrâneas de algumas minas de Ouro Preto e na mina de Passagem em Mariana. No Vale do Zimapan, no México, Armenta et al. (2001), relatam a contaminação de águas subterrâneas por As, proveniente de processos de oxidação da arsenopirita e da dissolução da escordolita, originárias de mineralizações sulfetadas encaixadas em rochas carbonáticas.

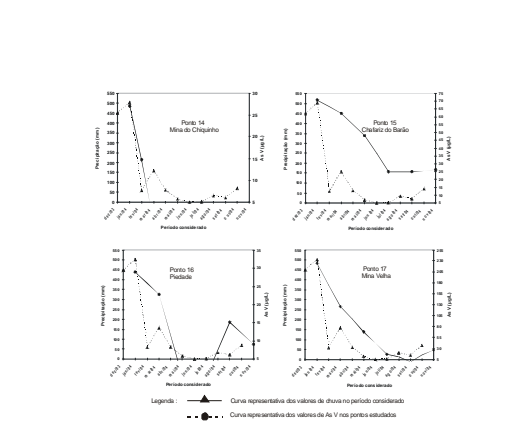


Figura 2 - Representação gráfica da relação entre as precipitações atmosféricas e as concentrações de As, em pontos de dezembro de 2003 a novembro de 2004 em pontos de captação de água para uso doméstico.

6 - Estado da presença do As nas residências do Bairro Padre Faria

O Bairro Padre Faria é abastecido por águas de várias captações. Amostras de água foram coletadas em 42 residências de algumas ruas desse bairro. Tabela 2, previamete sortadas para garantir a aleatoriedade dos pontos de amostragem. A residências foram selecionadas por amostragem sistemática, sendo selecionada uma a cada dez existentes na rua.

Tabela 2 - Concentrações de As Total em algumas residências do Bairro Padre Faria

AMOSTRA	As µg/L	AMOSTRA	As µg/L
PF 01	< L.Q.	PF 22	189,00
PF 02	< L.Q.	PF 23	9,88
PF 03	8,66	PF 24	10,76
PF 04	8,57	PF 25	7,47
PF 05	8,82	PF 26	55,52
PF 06	8,54	PF 27	16,11
PF 07	< L.Q.	PF 28	9,74
PF 08	9,23	PF 29	10,91
PF 09	0,62	PF 30	< L.Q.
PF 10	11,51	PF 31	< L.Q.
PF 11	9,90	PF 32	< L.Q.
PF 12	10,14	PF 33	< L.Q.
PF 13	< L.Q.	PF 34	< L.Q.
PF 14	< L.Q.	PF 35	7,47
PF 15	9,06	PF 36	< L.Q.
PF 16	9,42	PF 37	< L.Q.
PF 17	8,50	PF 38	< L.Q.
PF 18	8,17	PF 39	< L.Q.
PF 19	< L.Q.	PF 40	< L.Q.
PF 20	127,00	PF 41	< L.Q.
PF 21	13,46	PF 42	< L.Q.

PF - Padre Faria
 L.Q. - Limite de Quantificação

7 - Conclusões

No metodologia utilizada, as espécies inorgânicas As(III) e As(V) podem ser quantificadas em águas naturais, com custo relativamente baixo, resposta rápida e sensibilidade elevada. Teores acima de 5 µg.L⁻¹ podem ser facilmente determinados, cobrindo-se uma faixa extensa de concentrações. As respostas para as análises das amostras reais são perfeitamente similares as dos padrões, não havendo, portanto, interferências prejudiciais das matrizes.

Uma característica de áreas em que as águas subterrâneas apresentam elevados teores de As, com relação aos valores permitíveis para o consumo humano, é o grau de variabilidade espacial em concentrações de As. (Smeyd et al., 2002). Assim, pode ser difícil ou impossível prever a concentração de As, em uma nascente, pouco ou nada a partir dos resultados de nascentes ou poços vizinhos. Aquíferos afetados por As, podem ser restrito a certos ambientes, apresentando um comportamento espacial errático, a pararmos em execução à regra.

As variações das concentrações de As nas águas subterrâneas da área pesquisada, ao longo do período de um ano estão relacionadas a sazonalidade climática. Na estação de déficit pluviométrico, a redução do nível de água nos aquíferos, favorece a oxidação dos minerais sulfetados. Na estação chuvosa, ocorrerá a dissolução desses minerais, mobilizando e lixiviando o As (Banks et al., 1997; Frazee, J. & Cherry, 1994) para o ambiente. Assim, devido as concentrações do mesmo nas águas subterrâneas, no mesmo tempo em que podem diluir as concentrações originais. Os valores das concentrações de As determinadas nas amostras de água, são representativas do momento da amostragem e da estação do ano, podendo sofrer variações em seus valores, para mais ou para menos, ao longo do tempo.

Em decorrência da existência de As nas águas subterrâneas utilizadas pela população de águas barros da cidade de Ouro Preto, determina-se dos órgãos municipais responsáveis pela distribuição de água se fazem necessárias. A constituição de um eficaz e eficiente sistema de abastecimento de água que contemple a identificação e caracterização das áreas contaminadas, um inventário de todas as captações de água, elaboração de um plano de controle e monitoramento constante dessas águas.

8 - Referências Bibliográficas

ARMIENTA, M.A.; VILASENOR, G.; RODRIGUES, R.; ONGLEY, L.K.; MANGO, H. The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapan Valley, Mexico. Environmental Geology, 40 (4-5): 571 – 581, 2001.
 BANKS, D.; YOUNGER, P.; ARSENAULT, R.; IVERSEN, E.; BANKS, S. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. Environmental Geology, 37, 157 – 174, 1999.
 BARBOSA, A. L. M. Geologic map of the Ouro Preto, Mariana, Antônio Pereira e São Bartolomeu quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington, DNPM/USGS, U.S. Geological Survey Professional Paper, 641. Placas 7,8,9,10, 1969.
 BORDAS, R.P. Arsenito em águas subterrâneas: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas – São Paulo, 113 p. 2002.
 CHEN, C.; LIN, L. Human carcinogenicity and aetiology induced by chronic exposure to inorganic arsenic. In: Niwaig, J. O. (Ed.) Arsenic in environmental. Part. Human health and ecosystem effects. New York: John Wiley & Sons, 109 – 132, 1994.
 FREEZE, A. R.; CHERRY, J.A. Groundwater. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New York, 1994.
 FUNASA – 2001. Portaria n° 1469/2000, de 29 de dezembro de 2000: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001. 32 p.
 GONÇALVES, J.A.C.; PAIVA, J.F.; TEOFILO, R.F.; LENA, J.C.; NALINI JR, H.A. Determinação das espécies de arsênio em águas naturais utilizando voltametria de onda quadrada. IX Congresso Brasileiro de Geociências, Belém, Pará, Anais..., 304 – 305, 2004.
 HOPENHAYN-RICH, C.; M.L. BIGGS, A.H.; SMITH, D.A. KALMAN, AND L.E. MOORE. Methylation Study in a Population Environmentally Exposed to High Arsenic Drinking Water. Environmental Health Perspectives, 104(8): 520-5, 1996.
 HUTTON, M. Human health concerns of lead, mercury, cadmium and arsenic. In: Hutchinson, T. C.; Meema, K. (Ed.) lead, mercury, cadmium and arsenic in the environmental. New York: John Wiley & Sons, 53 – 68, 1997.
 INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (IGA). Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto – Microbacia do Ribeirão do Fundão, 1995.
 MOK, W. M.; FIEBIG, J.; WIL, C. M. Mobilization of arsenic in contaminated rivers waters. Water Resources, 22, 769 – 774, 1988.
 MORTON, W. E.; DUNNETTE, D. A. Health effects environmental arsenic. In: Niwaig, J. O. (Ed.) Arsenic in environmental. Part Human health and ecosystem effects. New York: John Wiley & Sons, 17 – 34, 1994.
 NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) - Arsenic in drinking water. Washington, DC. National Academic Press, 310 p. 1999.
 NORDSTROM, D.K.; SOUTHAM, G. Geochemistry of sulfide mineral oxidation. In: Banfield, J.F.; Nealson, K. (Ed.) : Geochemistry-Interactions between microbes and minerals. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 35: 361 – 390, 1997.
 PLUMLEE, G. S. The environmental geology of mineral deposits. In: G. S. Plumlee, & L. Logsdon. (Ed.) The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques, and health issues. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, v. 6A, 71 – 116, 1999.
 QUADE, H.W. Mapa Geológico da Região de Ouro Preto – Escala 1:10.000. Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.
 RODRIGUES, D.M.S. Condições Climáticas de Minas Gerais. Boletim Mineiro de Geografia – An. VII, 12, Belo Horizonte, 1966.
 USEPA – 2000. National Primary Drinking Water Regulations: Arsenic and Chlorofluorides to Comply and New Source Contaminants Monitoring, Proposed Rule. Federal Register, v. 65, no 121, June 22, 2000; 58888 – 38983, 2000.
 WHO (World Health Organization) – Limits National Guidelines Report on Arsenic in Drinking Water, Geneva, World Health Organization, 2001.