

Geomorfologia e hidrogeologia: avaliação da dureza da água subterrânea e sua relação com a morfologia do terreno em Lagoa Santa (MG)

Miguel F. Felipe - geógrafo, mestrando em Geografia e Análise Ambiental, IGC/UFMG; felippegeo@yahoo.com.br

Brenner Maia-Rodrigues - graduando em Geografia, IGC/UFMG; bhmrodrigues@yahoo.com.br

Sônia Souza - geógrafa, Pós-graduanda em Geoprocessamento, IGC/UFMG; soniageo2003@yahoo.com.br

Marina R. Leão - graduando em Geografia, IGC/UFMG; marinaleaoml@yahoo.com.br

Rafael B. S. Righi - graduando em Geografia, IGC/UFMG; rafaeligc@yahoo.com.br

Abstract: This paper traces the relationship between the hydrogeology and geomorphology in Lagoa Santa (MG). Most of the city aquifers hold influence of carbonate rocks, therefore the underground water tends to be rich in salt. In spite of that, the water distributed by Copasa has more than 200 mg CaCO₃/liter, provoking complaints by local people. Therefore, some questions emerged: can the people drink water of better quality in Lagoa Santa? Where – in geomorphologic sense – this water could be captured?

Keywords: underground water; sanitation; Lagoa Santa.

Resumo: Esse artigo traça a relação entre hidrogeologia e geomorfologia em Lagoa Santa (MG). A maioria dos aquíferos do município possui influência de rochas carbonáticas, por isso a água subterrânea tende a ser rica em sais. Em função disso, a água distribuída pela Copasa possui dureza superior a 200 mg CaCO₃/litro, o que tem suscitado reclamações pela população local. Portanto, algumas questões emergem: as pessoas podem beber água de melhor qualidade em Lagoa Santa? Onde – em termos geomorfológicos – essa água poderia ser captada?

Palavras-chaves: água subterrânea; saneamento; Lagoa Santa.

1. Introdução e caracterização geomorfológica da área de estudo

O município de Lagoa Santa possui 232 km² e está localizado 35 km ao norte de Belo Horizonte, na bacia do rio das Velhas. O território apresenta relevo acidentado, do tipo côncavo-convexo com formas superficiais próprias que resultam da dissolução de rochas carbonáticas e da estruturação de uma hidrografia com importantes componentes subterrâneos (Berbert-Born, 2002; Parizzi, 1993). Parte do município possui exemplos de carste tropical brasileiro, que apresenta uma grande importância arqueológica e paleontológica (Kohler, 1989; Parizzi, 1993).

A área localiza-se na depressão do Alto-Médio Rio São Francisco (IBGE, 2006), embasada por rochas clasto-químicas do Grupo Bambuí e, em menor escala, por depósitos aluvionares recentes, associados à deposição do rio das Velhas e do ribeirão da Mata, e pelo complexo granítico-gnáissico-migmatítico no sudeste do município (CPRM, 2000).

O abastecimento doméstico de água é realizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), através da extração de águas subterrâneas em diversos pontos no município. Nesse caso, em função da existência de formações geológicas caracterizadas por rochas clasto-químicas, o teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) tende a ser elevado. Todavia, há a possibilidade de existência de água subterrânea de melhor qualidade, ou seja, com menor dureza.

Sabe-se que “na maioria das regiões o conhecimento da litologia, estratigrafia e estrutura guia diretamente para o entendimento da distribuição dos aquíferos” (Freeze; Cherry, 1979, p. 145). A litologia é determinante devido à composição mineral, granulometria e distribuição dos grãos, que alteram as condições de movimento da água. É importante observar as relações de idade entre os sistemas adjacentes, além disso, a granulometria também pode se alterar com a profundidade, influenciando a permeabilidade. As feições estruturais, produzidas por deformações após a deposição e cristalização da rocha, promovem a permeabilidade secundária.

Em termos qualitativos, a água dos aquíferos passa por um tratamento natural durante a percolação que envolve processos bio-geoquímicos e filtração (Rebouças, 1999). Todavia, em subsuperfície os recursos hídricos podem se enriquecer de alguns minerais que são solubilizados. Destacam-se, nesse contexto, os ambientes cársticos onde a água possui alta concentração de CaCO_3 devido à dissolução da calcita (Mourão et. al., 2001, Feitosa; Manoel-Filho, 1997).

A dureza é um dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade da água. Ela indica a concentração de cátions multimetálicos em solução (Von Sperling apud Magalhães Jr., 2007). O mesmo autor propõe a seguinte classificação: água mole (até 50 mg/l de CaCO_3); água moderada (de 50 até 150 mg/l de CaCO_3); água dura (de 150 até 300 mg/l de CaCO_3); água muito dura (acima de 300 mg/l de CaCO_3).

Assim, tendo em vista as características hidrogeológicas do município de Lagoa Santa, associadas às constantes reclamações da população residente quanto à elevada dureza da água distribuída pela Copasa, este trabalho objetiva fazer um levantamento dos diversos sistemas aquíferos existentes no município, comparando-os em termos da dureza de suas águas. Concomitantemente, busca-se uma interpretação que integre as características hidrogeológicas às geomorfológicas do sítio, possibilitando indicar à população leiga a localização – em termos morfológicos – de regiões com melhor qualidade das águas.

2. Procedimentos Metodológicos

A fim de solucionar as questões propostas, foi realizado um levantamento dos dados de captação de água, tais como localização e profundidade dos poços, características geológicas do aquífero e dureza da água. Em função da escassez de dados e da pouca variabilidade dos

valores de dureza no tempo, considerou-se válida a utilização de informações sobre poços na década de 1980, disponíveis em Souza (1995).

A compartimentação hidrogeológica foi feita a partir de carta geológica disponibilizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na escala de 1:100.000, através dos seguintes procedimentos: vetorização semi-automática, assistida; interpretação da carta, considerando litologia, estrutura e estratigrafia das formações geológicas identificadas; e a delimitação e classificação dos sistemas aquíferos. Para o tratamento cartográfico utilizou-se o software *ArcGIS 9.1*.

Foram coletadas 10 amostras de água em poços, canais de drenagem e residências de forma que todos os aquíferos delimitados anteriormente fossem contemplados. Assim, houve, ao menos, uma coleta em cada sistema aquífero. Ressalta-se que na inviabilidade de coletar amostras na porção lagoa-santense do aquífero plutônico, as análises foram feitas a partir da água do município vizinho de Santa Luzia, em região do mesmo sistema aquífero.

Os testes de dureza foram realizados *in locu* a partir do EcoKit, que determina, entre outros parâmetros, a dureza total da água. Para evitar que problemas no manuseio dos reagentes pudessem alterar as análises, foram feitos dois testes para cada amostra, sendo os valores apresentados neste trabalho o resultado da média aritmética dos testes. Devido a possíveis variações nas características hidrológicas, dadas as condições atmosféricas momentâneas, todos os testes foram realizados no mesmo dia, 10 de novembro de 2007..

3. Relação hidrogeologia/geomorfologia no município de Lagoa Santa

O município de Lagoa Santa tem seu território inserido em uma região onde estão presentes litologias do Grupo Bambuí. Dentre as divisões estratigráficas do Grupo presentes no município, há a formação Serra de Santa Helena composta por metapelitos, filitos, ardósias calcíferas e lentes de calcário cinza impuro; ocupando uma expressiva área e que segundo Kohler (1989) ocorre nas terras altimetricamente mais elevadas, acima de 850 metros e possui espessura de cerca de 200 metros.

Há também o Membro Pedro Leopoldo da Formação Sete Lagoas composto por metassiltitos, filitos, calciofilitos, calcários silicosos cinza escuros, dentre outros (CPRM, 2000). É formado, portanto por calcários “impuros” ou silicosos, onde predominam calcissiltitos e

calcilutitos, com freqüentes intercalações argilosas. O teor de carbonato de cálcio está sempre abaixo de 90%, podendo chegar a 60% próximo ao contato com o embasamento cristalino (Berbert-Born, 2002). Já o Membro Lagoa Santa da Formação Sete Lagoas é essencialmente carbonático, com teores de carbonato de cálcio superior a 94%, e algumas contribuições de filitos e metassiltitos (Berbert-Born, 2002, CPRM, 2000).

Os depósitos aluvionares, formados prioritariamente por sedimentos de tamanho argila, areia e cascalho, estão relacionados à deposição fluvial. Além disso, no sudeste do município, existe a área onde predominam rochas do complexo granítico-gnáissico-migmatítico (CPRM, 2000), que possui comportamento que difere do restante do município no que diz respeito à dinâmica hidrogeológica.

A partir do levantamento das características geológicas do município, pode-se discernir os sistemas aquíferos de Lagoa Santa em cinco principais: i) aquífero aluvial; ii) aquífero pelítico; iii) aquífero carbonato-cárstico; iv) aquífero pelito-carbonático e v) aquífero plutônico. A Figura 1 apresenta sua distribuição espacial no município.

Os aquíferos aluviais, que estão associados a sedimentos inconsolidados de deposição fluvial, são encontrados nas planícies do rio das Velhas e do ribeirão da Mata. Com porosidade intersticial, conferem à água elevada capacidade de movimentação, estando, em termos hidráulicos, diretamente ligados aos cursos d'água. Além disso, a pequena profundidade do seu nível freático facilita a captação de suas águas para os mais diversos usos. Devido às características litológicas, espera-se que a concentração de carbonatos nas águas desse aquífero seja baixa.

O sistema de aquíferos pelíticos, caracterizados como de meio fissurado, estão associados à Formação Serra de Santa Helena, onde predominam metapelitos, filitos, ardósias calcíferas e lentes de calcário cinza (CPRM, 2000). Trata-se do sistema com maior abrangência territorial e que, portanto, é de fundamental importância para o município. Nesse tipo de aquífero predominam argilas, que apesar de serem muito porosas, são relativamente impermeáveis devido à falta de conexão entre os poros.

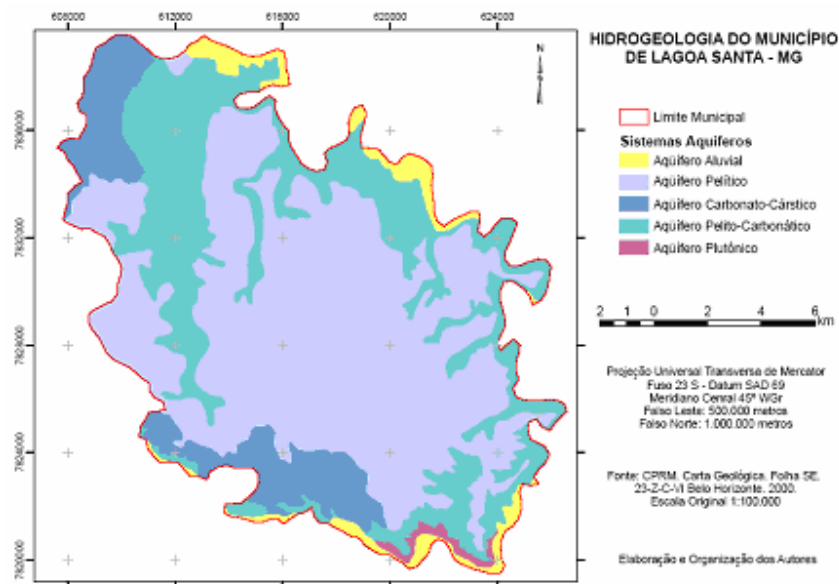


Figura 1: Hidrogeologia do Município de Lagoa Santa-MG. Fonte: CPRM, 2000. COMO A FIGURA FOI REDUZIDA, TEM QUE TIRAR A ESCALA NUMÉRICA!!!!

A existência de calcário nesses aquíferos contribui para a elevação da dureza de suas águas. Não obstante, em regiões com predomínio litológico de pelitos ou sem conexão hidráulica com calcários, esses aquíferos podem apresentar águas de melhor qualidade quanto a esse parâmetro. Geomorfologicamente, são encontrados nos topos ou regiões de maior altitude, devido à condição estratigráfica que se encontram, como pode ser observado na Figura 2.

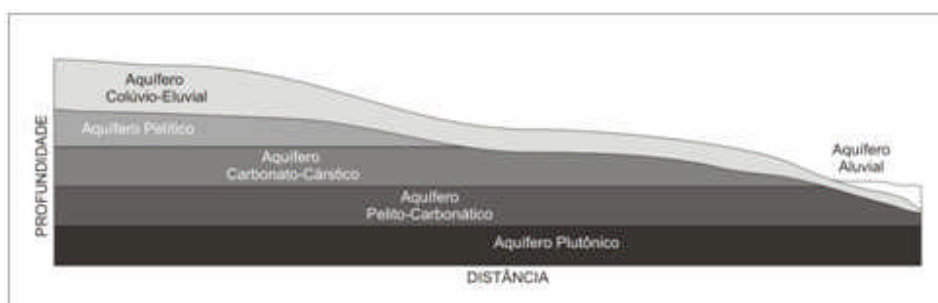


Figura 2: Esquema da variação estratigráfica dos aquíferos de Lagoa Santa quanto à morfologia do terreno.

Os aquíferos carbonato-cársticos são constituídos, sobretudo, por calcários puros do Membro Lagoa Santa (CPRM, 2000). Trata-se do sistema de aquíferos com maior concentração de calcita, o que favorece o processo de dissolução com aumento na concentração de sais na água, principalmente carbonato de cálcio, e, conseqüentemente, elevação na dureza e a alcalinidade que limita seus possíveis usos (Mourão, et al., 2001). Além disso, a dissolução é

responsável pela formação de feições cársticas subsuperficiais, às quais propiciam uma série de características peculiares quanto à transmissividade do aquífero. Em termos conceituais, esses aquíferos são os menos indicados ao abastecimento urbano de Lagoa Santa, sendo encontrados, sobretudo, nas vertentes de declividade média do sul e noroeste do município.

O aquífero pelito-carbonático é representado por metassiltitos, filitos, calciofilitos, calcários silicosos cinza escuros do Membro Pedro Leopoldo da Formação Sete Lagoas (CPRM, 2000). As rochas pelíticas associadas às carbonáticas, constituem os aquíferos fissurado-cársticos. Tais sistemas possuem maior potencial hídrico nas porções tectonizadas, quando existirem, devido à permeabilidade secundária. As características dos aquíferos dessa natureza são intermediárias entre os sistemas cársticos e os sistemas fissurados.

Em Lagoa Santa, esses aquíferos são encontrados, sobretudo, nos vales dos canais de drenagem superficiais, onde a erosão fluvial já escavou as demais formações, exumando esta, que é estratigraficamente inferior (Figura 2). Apesar de serem parcialmente carbonáticos, esses aquíferos tendem a não possuir elevada concentração de sais dissolvidos na água, posto que a predominância litológica é de rochas clásticas.

Os aquíferos plutônicos têm pouca expressão espacial no município. Encontram-se na planície do ribeirão da Mata, sotopostos aos aquíferos aluviais. Entre os principais litotipos encontram-se granitos, gnaisses, granulitos e migmatitos (CPRM, 2000). Esse tipo de aquífero possui uma grande variabilidade nos parâmetros hidráulicos, sobretudo em função do grau de intemperismo das rochas e da densidade de estruturas (Mourão, et al., 2001).

De uma forma geral, os espaços intercrystalinos são pequenos e desconexos, o que promove reduzida permeabilidade primária e baixa eficiência aquífera. Assim, as zonas de fraturas são as mais eficientes em termos de disponibilidade hídrica, sendo as principais fontes de água dos aquíferos plutônicos (Todd; Mays, 2005; Feitosa; Manoel-Filho, 1997). No município de Lagoa Santa, esse aquífero é o único não-granular que está livre de rochas carbonáticas, tendendo à baixa dureza da água.

Por fim, o aquífero colúvio-eluvial é o que possui a maior abrangência territorial, visto que está associado ao manto de intemperismo. A espessura desse aquífero varia bastante, em função principalmente do relevo. Encontra-se hidráulicamente conectado aos aquíferos sotopostos, sendo influenciado por estes, mas devido a suas características, possui uma dureza

menor do que os aquíferos associados a calcários. Trata-se, portanto, de um aquífero granular, cuja permeabilidade primária é de fundamental importância em sua dinâmica hidrogeológica. Percebe-se que, apesar do aquífero colúvio-eluvial perpassar todo o município, a variabilidade estratigráfica é grande (Figura 2).

4. Análise das amostras

Uma primeira análise foi feita na água distribuída pela Copasa, em uma residência do perímetro urbano. Esse procedimento foi de grande valia para comparações com os dados obtidos posteriormente, bem como para verificar quão plausíveis são as reclamações da população. A média da dureza encontrada foi de 205 mg CaCO₃/litro. Segundo informações secundárias, (Souza, 1995) todos os poços utilizados pela Copasa possuem grande profundidade, atingindo portanto as rochas. Esses poços profundos que em alguns casos chegam a atingir 200 metros, possuem uma nítida relação com elevado grau de dureza na água distribuída.

A amostra obtida para o aquífero aluvial foi coleta em poço residencial de 4 metros de profundidade, próximo à margem do rio das Velhas, e apresentou dureza de 125 mg CaCO₃/litro. Esse valor supera o esperado para este aquífero, mas resulta da pequena espessura da cobertura sedimentar e, conseqüentemente, do contato hidráulico com as rochas sotopostas (aquífero pelito-carbonático) que apresentam teores de carbonatos relativamente elevados enriquecendo em sais a água.

Para o aquífero carbonático foram obtidas duas amostras. Uma delas foi coletada em canal superficial cujas nascentes estão situadas em afloramento calcário a poucos metros a montante do local de coleta. Assim, a dureza obtida para esta amostra (190 mg CaCO₃/litro) já era esperada para um aquífero composto por rochas com elevado teor de pureza. Além disso, pode-se inferir que esse resultado pode ser ainda superior, já que os teores de carbonato devem ter se diluído devido ao evento chuvoso do dia anterior.

Todavia, a outra amostra, obtida em poço residencial com profundidade de 34m, apontou dureza muito baixa (45 mg CaCO₃/litro). Uma hipótese para tal fato se apóia na profundidade da “cisterna”. A água, provavelmente, não se encontra em contato direto com a rocha, pois o manto de intemperismo é muito espesso. Assim, essa água armazenada na zona saturada é resultado da infiltração das chuvas.

A mesma hipótese pode ser utilizada para explicar a baixa dureza (60 mg CaCO₃/litro) obtida na amostra coletada em poço residencial com 30 metros de profundidade, sobre o aquífero pelítico. Ao contrário disso, a segunda amostra obtida no aquífero pelítico a uma profundidade de 200 metros, apresentou valores de dureza bem significativos (média de 140 mg CaCO₃/litro). Essa profundidade indica que o poço alcança os aquíferos sotopostos, provavelmente atingindo o calcário, o que eleva sua dureza.

Para este aquífero observa-se que há uma correlação positiva entre a profundidade e dureza, o que também foi observado para os poços da Copasa. Na Sede Municipal, por exemplo, obteve-se 114 mg/L CaCO₃ a 78 metros de profundidade e em Lagoinha de Fora 228 mg/L CaCO₃ de dureza a 102 m de profundidade (Souza, 1995).

Para o aquífero pelito-carbonático, a correlação entre profundidade e dureza foi negativa. Uma das amostras, obtida em poço rural de 5 metros de profundidade, às margens de um pequeno curso d'água, apresentou dureza de 115 mg CaCO₃/litro. Assim como acontece com o aquífero aluvial do rio das Velhas, provavelmente há um contato hidráulico muito grande com o aquífero sotoposto. Ou seja, a água sofre influência direta da rocha devido à pequena profundidade do manto de intemperismo.

A amostra seguinte, coletada em poço de aproximadamente 50 metros, apresentou dureza de 95 mg CaCO₃/litro. Devido à localização desse poço, no topo, muito provavelmente ele não atingiu a rocha, por isso valores de dureza inferiores aos poços mais profundos. Todavia, a dureza mais elevada neste do que na maioria dos poços rasos é explicada pela maior proximidade com a rocha.

Diferentemente das duas últimas amostras, a correlação entre profundidade e dureza foi novamente encontrada nos poços da Copasa no mesmo aquífero. De acordo com Souza (1995), em Tavares foi encontrada dureza de 167 mg/L CaCO₃ a uma profundidade de 78,5 metros e na Lapinha a dureza foi de 180 mg/L CaCO₃ a 92 m de profundidade.

As amostras do aquífero plutônico foram obtidas em Pinhões, distrito de Santa Luzia vizinho à Lagoa Santa. O primeiro poço, possuía 80 metros de profundidade e a dureza encontrada foi de 115 mg CaCO₃/litro. Em princípio esse valor parece elevado, mas é explicado pela compartimentação geológica regional. A dureza no local pode ser atribuída ao fato de existirem intercalações do embasamento com o Grupo Bambuí. Assim, sabendo-se que os fluxos

subterrâneos tendem a ocorrer das áreas mais elevadas para as mais baixas, ocorre das áreas calcárias em direção ao embasamento, elevando a dureza das águas armazenadas.

A outra amostra foi coletada em um poço de apenas 20 metros de profundidade, com a dureza de 90 mg CaCO₃/litro nos dois testes. A explicação desse valor perpassa o dito anteriormente. Adiciona-se que, a menor profundidade do poço indica uma maior distância da rocha e do fluxo de base, conseqüentemente, a dureza é comparativamente menor. Dentre os dados apresentados por Souza (1995), observa-se que este aquífero é o que apresenta a dureza total bem inferior chegando a uma redução 50% em relação aos aquíferos pelítico e pelito-carbonático.

5. Considerações Finais

De modo geral, os dados indicam que a dureza das águas não possui relação direta com o aquífero em que se encontram. Tal fato decorre da possibilidade dos poços atingirem aquíferos sotopostos, não se restringindo às características das formações superficiais. Isto denota a importância de se considerar a questão a partir de uma visão sistêmica e integrada afim de verificar as melhores alternativas ao abastecimento, minimizando os riscos a saúde humana.

Com a distribuição estratigráfica dos aquíferos estudados, esperava-se encontrar correlação positiva entre a profundidade dos poços e dureza da água. Todavia, esta foi observada somente para o aquífero pelítico e para os poços da Copasa. De qualquer forma, os testes de campo mostraram que as maiores profundidades estão associadas a altos valores de dureza. Salienta-se que o tempo gasto pela água ao atravessar litologias calcárias aumenta a possibilidade de dissolução. Em contrapartida, os poços rasos não apresentaram um padrão de dureza, o que, provavelmente, resulta das interações locais entre os aquíferos e mesmo das condições de coleta.

Os locais mais indicados para se encontrar água com menor teor de carbonato seriam as formações superficiais sem contato direto com litologias calcárias, tais como os poços no aquífero exclusivamente coluvial e os topos das colinas. Nas planícies, essas condições são possíveis apenas quando os aluviões são espessos. Embora este trabalho não tenha considerado cálculo de vazão dos poços, pode-se dizer que esses locais tendem a apresentar vazão insuficiente para coleta e distribuição pública. Daí a importância de estudos subsequentes que a partir da

correlação entre as características litológicas e geomorfológicas possam possibilitar a captação de água de melhor qualidade, com custos viáveis economicamente.

6. Referências

Berbert-born, M. L. C. (2002) Carste de Lagoa Santa, MG. In SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E.T. ; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Org.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. DNPM, Brasília, 1 ed.(1):415-430.

CPRM. (2000) Carta geológica de Belo Horizonte. Escala 1:100.000.

Feitosa F.A.C.; Manoel filho, J. (coord). (1997) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM, LABHID-UFPE, Fortaleza. 389p.

Freeze, R. A.; Cherry, J. A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 604p.

IBGE. (2006) Mapa de unidades de relevo do Brasil. Escala 1:5.000.000.

Kohler, H. C. (1989) Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa/MG. São Paulo. (Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo).113 p.

Magalhães Júnior, A. P. (2007) Geografia e Recursos Hídricos: Apostila básica para acompanhamento do curso. Belo Horizonte: [s.n.].

Mourão, M. A. A.; CRUZ, W. B.; GONÇALVES, R. L. F. (2001) Caracterização hidrogeológica da porção mineira da bacia do São Francisco. In PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. SBG/MG, Belo Horizonte: 327-349.

Parizzi, M. G. (1993) A gênese e a dinâmica da Lagoa Santa com base em estudos palinológicos, geomorfológicos e geológicos de sua bacia. Dissertação (mestrado) - UFMG/IGC. Departamento de Geologia. UFMG/IGC, Belo Horizonte.55p.

Rebouças, A. C. (1999) Águas subterrâneas. In REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (org.). Águas doces do Brasil. Editora Escrituras, São Paulo: 117-150.

Souza, S. M.T. (1995) Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais. Hidrosistemas, Belo Horizonte. 525p.

Todd, D. K. e Mays, L. W. (2005) Groundwater hydrology. John Willey & Sons, New York. 2 ed.:535p.