



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* À DISTÂNCIA EM
GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL**

RAFAEL RODRIGUES CAMARGO

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS
NO ENTORNO DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE MATOZINHOS,
CARSTE DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS.**

Belém – PA
2013

RAFAEL RODRIGUES CAMARGO

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO
ENTORNO DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE MATOZINHOS, CARSTE
DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS.

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Gestão Hídrica e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Milton Antônio da Silva
Matta

Belém-PA
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)

-
- C173q Camargo, Rafael Rodrigues
- Qualidade das águas superficiais e subterrâneas no entorno do lixão do município de Matozinhos, Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais / Rafael Rodrigues Camargo – 2013
78 f. : il.
- Orientador: Milton Antônio da Silva Matta
- Monografia (Especialização em Gestão Hídrica e Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* à Distância em Gestão Hídrica e Ambiental, Belém, 2013.
1. Controle de qualidade da água - Lagoa Santa (MG). 2. Carste. I. Título.

CDD 22. ed.: 363.61098151

RAFAEL RODRIGUES CAMARGO

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO
ENTORNO DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE MATOZINHOS, CARSTE
DE LAGOA SANTA, MINAS GERAIS.

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Gestão Hídrica e Ambiental.

Data da aprovação: 24 de maio de 2013

Conceito: Bom

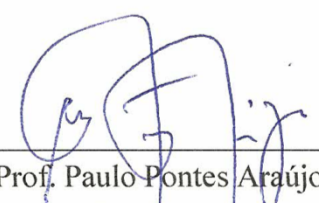
Banca Examinadora:



Prof. Milton Antônio da Silva Matta - Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



Prof. José Fernando Pina Assis - Membro
Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Paulo Pontes Araújo - Membro
Doutor em Ciências Agrárias
Universidade Federal Rural da Amazônia

AGRADECIMENTOS

Agradecer é olhar para trás e reconhecer o quanto somos privilegiados. Agradecimentos que devem ser feitos pessoalmente todos os dias, retribuindo quando lhe é solicitado ajuda, mesmo que seja para um terceiro, repassando assim o ideal de fazer o bem. No entanto também é legal lembrar aqui da minha família. Meus avós e tios, meus pais e meus irmãos, que me forneceram a base da educação e os valores de vida, mas também minha querida, sempre mais do que companheira, minha grande incentivadora, Letícia Hissa. Mylène Berbert-Born, geóloga do CPRM, muito obrigado pela enorme prestatividade e empolgação com a pesquisa. Sua vasta experiência compartilhada foi de grande valia para o amadurecimento da pesquisa. Emanuel Brandt, mestre em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, que muito ajudou na seleção dos parâmetros físico-químicos a serem analisados, além da discussão dos resultados analíticos. Os professores Antônio Magalhães e Cássio Hissa que viabilizaram o empréstimo de equipamento do Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG, necessário para a realização de análises em campo. Os amigos Alexandre Lino, Paulo Linhares e Thiago Lima que ajudaram nas campanhas de campo, muito obrigado pela força. O trabalho pesado na maioria das vezes não tem o reconhecimento que merece, mas neste caso gostaria de deixar claro que sem este, não seria possível realizar a pesquisa.

RESUMO

Os lixões são depósitos de resíduos sólidos a céu aberto, sem cuidados com impermeabilização do solo e com canalização das águas pluviais. Representam focos potenciais de poluição podendo influenciar negativamente a qualidade das águas de seu entorno e consequentemente a saúde humana e o meio ambiente sob sua influência. No município de Matozinhos, Minas Gerais, um depósito do tipo lixão está instalado sobre uma região cárstica desde a década de 1990. Nesse contexto, objetivamos avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas de seu entorno, buscando verificar possíveis contaminações. Para condução da pesquisa, foi realizado trabalho de prospecção exocárstica que embasou a seleção de três pontos de amostragem: duas lagoas para avaliação das águas superficiais e uma drenagem no interior de uma caverna, para água subterrânea. Tomando como referência a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, para as superficiais classe 2, e Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, para águas subterrâneas com uso preponderante “Consumo humano”, os resultados negaram a hipótese levantada. Mesmo com a proximidade do lixão em relação aos corpos de água e se tratando de uma região cárstica, ambientalmente mais vulnerável, não se verificou contaminação por fenóis, hidrocarbonetos BTEX, metais pesados ou compostos inorgânicos, que são elementos normalmente encontrados em lixiviados de depósitos sólidos. Verificou-se apenas a contaminação por fósforo total, matéria orgânica e coliformes termotolerantes. Concluímos que o chorume produzido pelo lixão não está atingindo as drenagens próximas e que a qualidade das águas pode estar associada a usos e ocupação do solo ambientalmente predatórios. Na região, verifica-se a substituição quase que completa da vegetação natural por pastagens, inclusive das matas ciliares, e a utilização de fertilizantes, pesticidas e químicas em geral na agricultura, além da atividade pecuária, que explicam as contaminações levantadas. Por fim levantou-se uma nova hipótese, sustentada por uma avaliação qualitativa da geomorfologia e geologia locais. O lixão de Matozinhos é uma fonte de contaminantes, mas estes não foram identificados nas análises pois a pluma contaminante estaria retida em uma camada impermeabilizante de argila compactada presente no fundo da dolina localizada a jusante leste do lixão.

Palavras-chave: Água – Controle de qualidade; Sistemas Cársticos; APA; Carste de Lagoa Santa.

ABSTRACT

Dumpsites in Brazil are deposits of solid waste, without cover, without soil impermeability and without pipe-laying for the pluvial water. They represent potential sources of pollution and they can be a negative influence on the water quality of their surroundings and consequently to human health and the natural environmental under their influence. At the municipality of Matozinhos, Minas Gerais, Brazil, a dumpsite has been installed on a karst region since the 1990s. In this context, this study aimed to assess the quality of surface and groundwater on its surroundings, in order to verify possible contaminations. To conduct the research, the methodology applied included field survey and exokarst prospection, in order to support the selection of three sampling sites: two ponds for evaluation of surface water and a stream inside a cave for groundwater quality evaluation. With reference to Joint Normative Deliberation of COPAM/CERH-MG No. 01 of May 5th, 2008, for surface water class 2, and the CONAMA Resolution No. 396 of April 3rd, 2008, for groundwater with human consumption preponderant use, the results negated the preview hypotheses. Even with the dumpsite's proximity to water bodies and its occurrence on a karst region, which is environmentally more vulnerable, no contamination was detected in the waters by phenols, BTEX hydrocarbons, heavy metals or inorganic compounds, elements that are typically found in leachate from deposits of solid waste such as Matozinhos' dumpsite. The only verified contamination was by total phosphorus, organic matter and thermotolerant coliforms. We conclude the leachate produced by Matozinhos' dumpsite hasn't been reaching the nearby water bodies and the water quality should be associated with environmentally predatory land uses by the local population. At this region almost full conversion of natural vegetation into pastures was observed, including riparian forests, the use of fertilizers, pesticides and chemicals in agriculture in general, and cattle ranching, which can explain the contaminations found. Lastly, we created a new hypothesis, supported by a qualitative evaluation from local geology and geomorphology. The Matozinhos' dumpsite is a source of pollution but its contaminations haven't been found by analysis because the contaminant plume is being retained in a compacted clay impermeable layer existing at the bottom of the sinkhole located on East downstream from the dumpsite.

Key-words: Water quality; Karst systems; Environmental Protection Area (APA); Lagoa Santa Karst.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
3.1. Inserção regional	11
3.1.1. Aspectos socioeconômicos	11
3.1.2. Aspectos fisiográficos	14
3.2. O lixo	17
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4.1. O carste e a ação da água	21
4.1.1. Feições cársticas	21
4.1.2. Sistemas cársticos	30
4.1.3. Fragilidades dos sistemas cársticos	33
4.2. Poluição e contaminação das águas	35
4.2.1. Classificação das fontes de poluição	36
4.2.2. Principais fontes de poluição	37
4.2.3. Consequências ao meio ambiente e a saúde humana	43
4.3. Qualidade das águas	44
4.3.1. Classificação dos corpos de água doce	45
4.3.2. Padrões de qualidade das águas doces	46
4.3.3. Classificação das águas subterrâneas	47
4.3.4. Padrões de qualidade das águas subterrâneas	48
5. METODOLOGIA	49
5.1. Levantamento de dados	49
5.2. Levantamento de campo	50
5.3. Seleção de parâmetros físico-químicos a serem analisados	52
5.4. Amostragem das águas	54
5.5. Análises físico-químicas das amostras de água	55
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
6.1. Ponto 01	57
6.2. Ponto 02	59
6.3. Ponto 03	61
7. CONCLUSÕES	64
8. REFERÊNCIAS	69
9. ANEXOS	75
9.1. ANEXO A - Boletins de resultados das análises de água	76

1 INTRODUÇÃO

A água é o elemento mais abundante do planeta, no entanto a maior parte desse recurso está nos oceanos ou congelada nas calotas polares, restando menos de 1% na forma de água doce e líquida, disponível para consumo humano (MMA, 2007).

Este fato justifica a crescente preocupação com o uso indiscriminado da água potável, que poderia provocar o seu esgotamento. Entretanto, avanços dos estudos dos ciclos hidrológicos mostram que as águas estão em constante movimento e dessa forma estão sempre a recarregar os aquíferos. O maior fator de risco não seria portanto a disponibilidade de água e sim a qualidade desta. Pressões demográficas e usos do solo intensos, geram grande quantidade e diversidade de resíduos que despejados de forma imprópria e sem tratamento levam a alterações na qualidade das águas. Esse processo, pela sua intensidade ocorre de forma mais acelerada do que a capacidade natural de auto depuração dos ambientes, sobretudo nos locais onde não há tratamento dos esgotos, efluentes e nas disposições dos resíduos.

Os depósitos de resíduos sólidos, que recebem grande quantidade de materiais de variadas fontes, têm potencial de produzir chorume, composto de poluentes que incluem óleos, graxas, fenóis, metais pesados, hidrocarbonetos, compostos orgânicos e inorgânicos até resíduos tóxicos e/ou infectantes. Apesar das recomendações para tratamento e disposição final de resíduos, no Brasil os aterros controlados ainda são comuns. Estes são empregados na tentativa de remediação de antigos depósitos a céu aberto, os lixões, que não apresentam cuidados com impermeabilização do solo, canalização das águas pluviais ou coberturas para evitar infestações diversas.

Nos lixões, devido à ausência de medidas de contenção e coleta do chorume, estes poluentes podem ser lixiviados através do solo e contribuir negativamente na qualidade das águas ao atingir drenagens, lençóis superficiais e consequentemente os aquíferos.

As consequências do processo de degradação da qualidade das águas ainda são incertas, mas pesquisas apontam para a extinção de espécies da fauna, mutações e anomalias em organismos aquáticos, além de diversos males à saúde humana quando comunidades se abastecem destas águas. São doenças comuns, febres, disenterias e até anomalias reprodutivas e malformações congênitas demonstrando perturbações do material genético (HOUK, 1992; MORAES; JORDÃO, 2002; VON SPERLING, 1996).

Nesse contexto, justifica-se a presente pesquisa. No município de Matozinhos, Minas Gerais, está instalado um depósito do tipo lixão, com dois agravantes. O primeiro é a sua ocorrência sobre um sistema cárstico, caracteristicamente mais frágil por possuir condutos subterrâneos onde as águas são transportadas por espaços amplos, normalmente em alto fluxo, e não somente em meio à porosidade da rocha. Em segundo lugar pois a maioria da população é abastecida por poços artesianos.

Objetiva-se avaliar a hipótese levantada, de que o lixão de Matozinhos é uma fonte poluidorados recursos hídricos, pois o chorume tende por gravidade a lixiviar em superfície ou através do solo para as áreas mais rebaixadas da paisagem, como por exemplo as lagoas localizadas próximas ou drenagens subterrâneas (lençol superficial) e consequentemente para o aquífero.

Essa hipótese se justificaria ainda mais pela característica das áreas cársticas de "filtragem" natural praticamente inexistente, onde o fluxo de água e qualquer material que esteja em solução ou disperso no meio líquido será rapidamente transportado, eventualmente para quilômetros de distância do local de origem, potencializando assim a propagação muito mais rápida de possíveis poluentes, conforme citou Smith (1993).

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em três pontos no entorno do lixão municipal de Matozinhos-MG, buscando então verificar possíveis contaminações.

Como objetivos específicos estão:

- a) Realizar levantamentos de campo no entorno do lixão do município de Matozinhos, a fim de se levantar as características locais, usos e ocupações do solo, bem como reconhecer os elementos do sistema cárstico ali existentes e suas relações;
- b) Caracterizar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas através de amostragens e análises laboratoriais;
- c) Avaliar os índices de possíveis contaminações, com referência aos padrões dos dispositivos legais existentes para águas superficiais e subterrâneas;
- d) Associar a qualidade das águas com possíveis fontes potenciais de contaminação;

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Inserção regional

3.1.1 Aspectos socioeconômicos

A área de estudo está localizada na porção norte-noroeste da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH ou inserida na microregião de Sete Lagoas, que é uma cidade considerada como pólo fora da RMBH que orienta um dos vetores de expansão urbano-industrial da região metropolitana (MENDONÇA, 1998). A figura 3.1 apresenta o local da área de estudo, a sua posição em relação à Belo Horizonte e as principais vias de articulação entre essa região e a capital mineira.

A região é abundante em rochas carbonáticas, recurso mineral que têm sido vastamente exploradas pelas fábricas de cimento e cal, constituindo-se na maior fonte dos recursos econômicos da região (MENDONÇA, 1998).

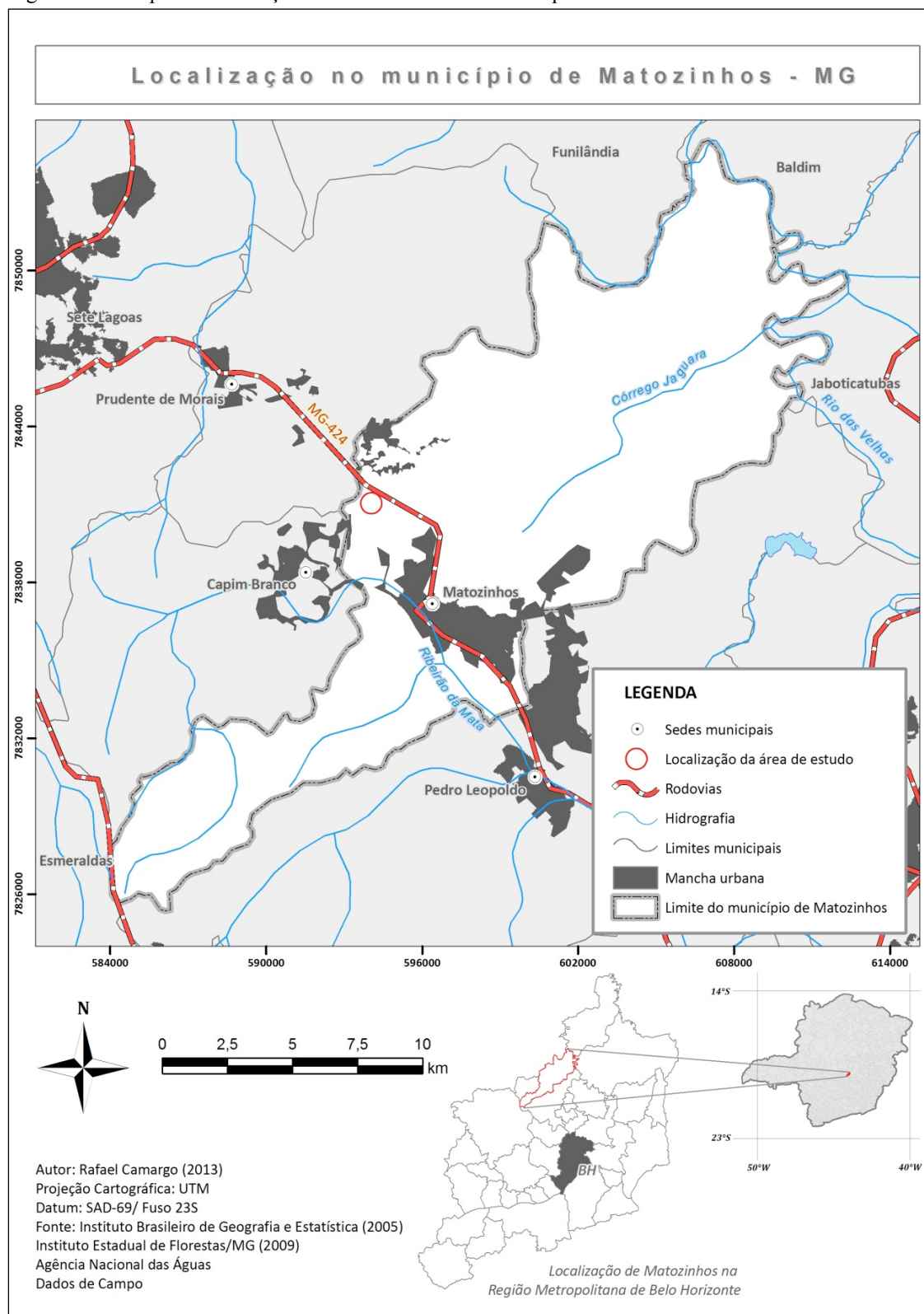
Estas mineradoras, juntamente com as indústrias que em busca de maiores deduções fiscais têm se instalado na região, têm aumentando a demanda de serviços e consequentemente, provocando uma aceleração de seu crescimento populacional. No quadro 3.1 abaixo podemos observar a evolução da população total desde 1970 até 2011, nos municípios de Matozinhos, Capim Branco, Prudente de Morais e Sete lagoas.

Quadro 3.1 – População total por município.

Ano	Matozinhos	Capim Branco	Prudente de Morais	Sete Lagoas	Pedro Leopoldo
1970	8.674	4.147	3.578	66.585	20.670
1980	16.198	4.930	4.229	102.628	29.999
1991	23.606	6.344	6.819	144.014	41.594
2000	30.082	7.879	8.186	184.286	53.825
2007	33.317	8.763	8.874	217.506	56.518
2010	32.973	8.880	9.576	214.071	58.696
2011	34.295	8.956	9.676	216.399	59.213

Fonte: IBGE (GPI, 2013).

Figura 3.1 – Mapa de localização da área de estudo no município de Matozinhos.



Fonte: Do autor.

No entanto, o crescimento não tem sido equilibrado em relação à distribuição de renda, pois conforme podemos observar no quadro 3.2 abaixo, os índices de domicílios com renda de até um salário mínimo dos referidos municípios, se apresentou superior à média da região metropolitana como um todo. Principalmente o município de Prudente de Moraes que apresenta o índice de quase duas vezes o da RMBH.

Quadro 3.2 – Índices de moradias com renda de até um salário mínimo.

RMBH	Matozinhos	Capim Branco	Prudente de Moraes	Sete Lagoas	Pedro Leopoldo
18,04%	23,9%	27%	31,5%	20,9%	20%

Fonte: Censo demográfico 2010 (IBGE, 2012).

No que se refere ao saneamento básico, Sete Lagoas apresenta os melhores índices ao passo que Prudente de Moraes tem os piores (Quadro 3.3), principalmente porque segundo o Plano Municipal de Saneamento de Prudente de Moraes, de 2009, o município não tinha rede de esgotos e a água distribuída para a população não tinha nenhum tipo de tratamento (PMPM, 2009). Porém em reportagem da Imprensa Oficial do Estado em meados de 2011, há informações que a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA assumiu a operação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município e, portanto a partir deste período os sistemas vêm sendo instalados (IMPrensa Oficial do Governo do Estado de Minas Gerais, 2011).

Quadro 3.3 – Índices de moradias com atendimento de saneamento básico.

Atendimento público	Matozinhos	Capim Branco	Prudente de Moraes	Sete Lagoas	Pedro Leopoldo
Água encanada	90,9%	91,1%	95%*	99,9%	85%
Rede de esgoto	79,4%	0%	0%	94,9%	70,1%
Coleta de lixo	99,2%	97,9%	98,6%	98,8%	97,3%

*Água sem tratamento. Fontes: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNSA, 2012); Censo demográfico 2010 (IBGE, 2012); Plano Municipal de Saneamento de Prudente de Moraes (PMPM, 2009).

Já as fontes das águas que abastecem as populações são principalmente de água subterrânea, captada por poços artesianos, com exceção de Pedro Leopoldo que tem apenas 9% oriundas do subsolo e o restante de superfície. No quadro 3.4 abaixo podemos observar os percentuais representados pelas fontes, bem como informações a respeito do tratamento recebido em cada município.

Quadro 3.4 – Fontes de água para abastecimento da população e tipo de tratamento realizado.

Fontes	Matozinhos	Capim Branco	Prudente de Moraes	Sete Lagoas	Pedro Leopoldo
Águas superficiais	0%	0%	0%	0%	91%
Águas subterrâneas	100%	100%	100%	100%	9%
Tratamento	Convencional	Simples desinfecção	Não há	Simples desinfecção	Convencional

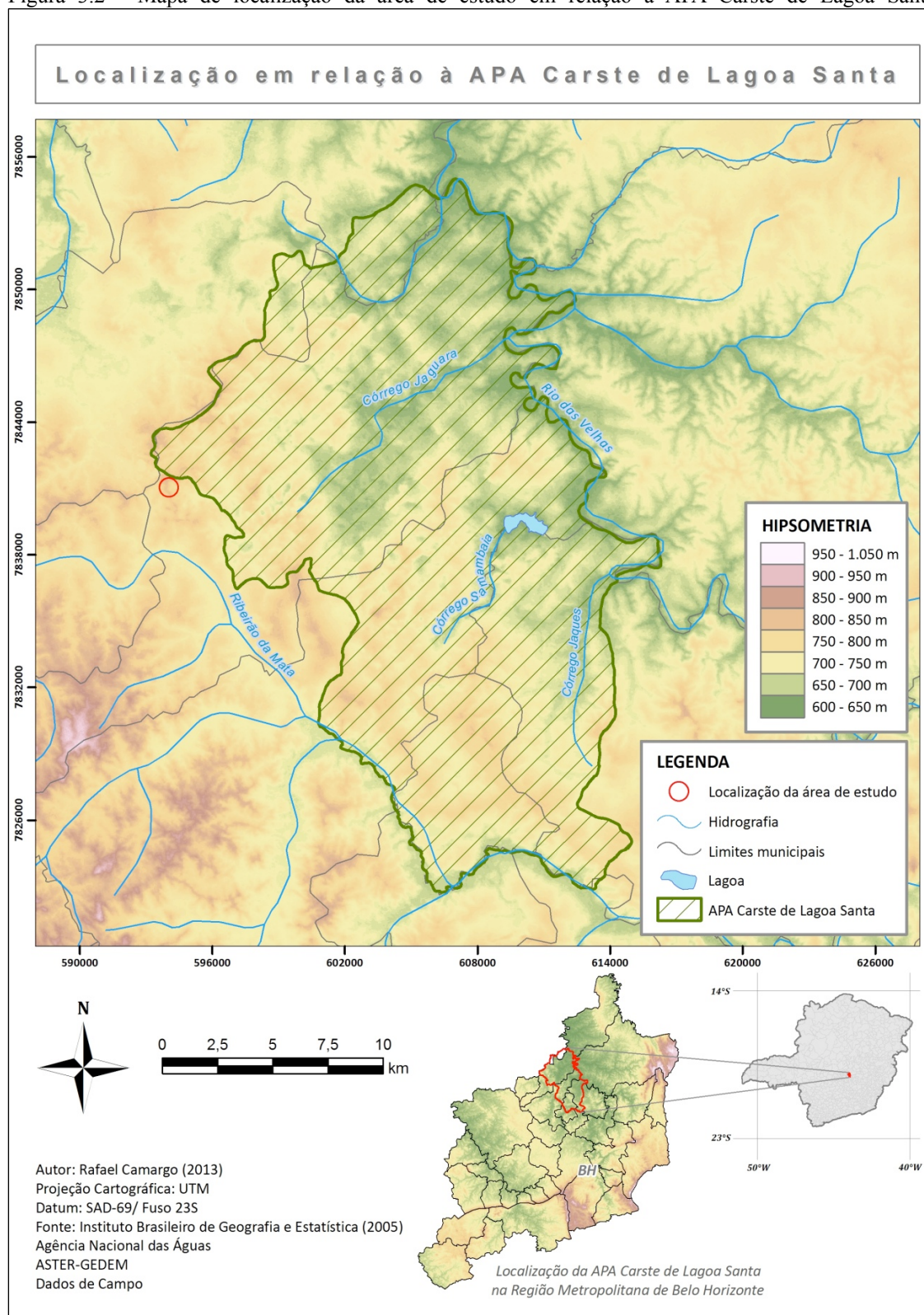
Fontes: Produção de água para a região metropolitana de BH (COPASA, 2002); Sistemas Estadual de Informações sobre Saneamento (FJP, 2009).

3.1.2 Aspectos fisiográficos

A área de estudo está localizada no Carste de Lagoa Santa, apresentando relevantes associações cársticas em termos paisagísticos, de fauna e flora, riquezas subterrâneas, tais como as centenas de cavernas que abrigam riquezas minerais e fossilíferas, além dos aspectos históricos, pré-históricos, culturais e das particularidades de seu sistema hídrico (DUTRA; HORTA; BERBERT-BORN, 1998).

A região também apresenta fragilidades decorrentes de suas peculiaridades ambientais, que justificaram a criação em 1990 da Área de Proteção Ambiental – APA Carste de Lagoa Santa. Essa unidade de conservação de uso sustentável criada tem objetivos básicos de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (Decreto Federal nº 9.881 de 25 de janeiro de 1990), mas que por uma diferença de apenas 800 metros aproximadamente, não engloba a área de estudo (Figura 3.2) contemplada nesse trabalho, e onde está instalado o lixão.

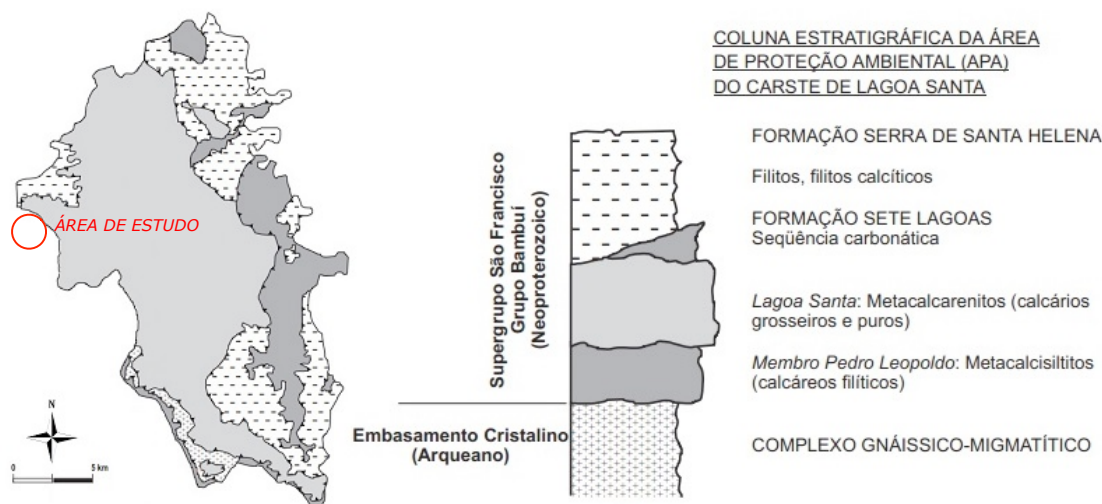
Figura 3.2 - Mapa de localização da área de estudo em relação à APA Carste de Lagoa Santa.



Fonte: Do autor.

A área de estudo está inserida no contexto do Grupo Bambuí, mais especificamente na Formação Sete Lagoas, no Membro Lagoa Santa. Este grupo compreende as rochas carbonáticas constituídas predominantemente por calcarenitos muito homogêneos e que podem alcançar 200 metros de espessura (TULLER et al., 1991 apud BERBERT-BORN, 2002). Próximo também ocorre a Formação Serra de Santa Helena com rochas pelíticas constituídas de siltitos argilosos, arenitos subordinados e lentes carbonáticas correspondentes a margas e calcarenitos muito finos (VIANA; TAVARES; KOHLER, 1998) (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Geologia da APA Carste de Lagoa Santa e a localização da área de estudo no referido contexto.



Fonte: Adaptado de Berbert-Born (2002).

Auler (1994) define o relevo da região como um Planalto Cárstico. Este planalto é caracterizado pelas áreas de topografia acima de 700 metros, onde ocorrem grandes concentrações das principais formas cársticas: maciços aflorantes, paredões lineares, torres e verrugas lapiezados, destacando-se a grande frequência de dolinas, especialmente as de dissolução e subsidência, inclusive aluviais. Entretanto, as áreas apresentam espesso manto de solo sobrejacente aos calcários, provavelmente uma influência da alteração das rochas pelíticas, muito argilosas, da Formação Serra de Santa Helena, posicionadas estratigraficamente acima (figura 3.3). Este fator inclusive limita a expressão das formas cársticas na maioria das vezes. Também por essa razão, Kohler (1989) ao identificar esta característica definiu-a como unidade geomorfológica de carste encoberto.

No que se refere à hidrologia, a região está inserida na sub-bacia do Rio das Velhas (Alto São Francisco), com rede de drenagem predominantemente subterrânea. No caso da área de estudo em específico, representa uma zona de recarga para as microbacias dos córregos Palmeiras e Araças que estão próximos, mas que são intermitentes.

O clima da região enquadra-se na categoria Awi de Köppen, e trata-se de um clima quente, com temperatura do mês mais frio superior a 18°C, e duas estações alternadas, uma chuvosa (verão), e outra seca (inverno), com amplitudes térmicas anuais inferiores a 5°C (, 1998c). A temperatura média anual é de 20,8 °C, a média máxima de 28,2°C e média mínima anual de 15,9°C . A precipitação média anual é de 1.381 mm, com a máxima diária de 162 mm e um total de 105 dias de chuvas, sendo janeiro o mês mais chuvoso, e agosto o mais seco (DUTRA; HORTA; BERBERT-BORN, 1998).

A vegetação possui formações vegetacionais de cerrado e floresta estacional semidecidual (IBGE, 1993). O cerrado restringe-se a manchas remanescentes e a floresta estacional semidecidual prevalece nas dolinas e arredores dos afloramentos. Sobre os afloramentos calcários ainda desenvolve-se a floresta estacional decidual, conhecida localmente como “mata seca” (Piló, 1998).

3.2 O lixão

O lixão municipal de Matozinhos localiza-se na porção centro-oeste do município, próximo aos limites municipais de Capim Branco e Prudente de Moraes. Dos centros urbanos está distante aproximadamente 3,5 quilômetros de Capim Branco, 4 de Matozinhos e 7,5 de Prudente de Moraes, porém cabe ressaltar que está mais próximo de conjuntos residenciais como a Quinta da Fazendinha a 1,3 quilômetros na direção nordeste, e o Bairro Araças de Capim Branco, a apenas um quilômetro na direção sudoeste.

Disposto a 872 metros de altitude, o lixão está localizado no topo de uma vertente, em uma das cotas altimétricas mais elevadas num raio de 2 quilômetros, que se apresenta como um divisor de águas para os sentidos leste e oeste, para as microbacias do Córrego Palmeiras e Córrego Araças, respectivamente.

Nas adjacências são destaques as minerações de calcário, tais como a Belocal a aproximadamente 750 metros na direção sudeste e a Eincal a aproximadamente 650 metros na direção noroeste. Além de extensas áreas de pastagens para a criação de gado e pequenas áreas de agricultura.

Segundo o Secretário de Desenvolvimento Urbano de Matozinhos, o lixão está em funcionamento desde meados da década de 1990, recebendo cerca de 30 toneladas/dia de resíduos sólidos dos mais variados.

As origens são residenciais, comerciais, de serviços públicos, porém já houve também disposição de resíduos hospitalares dispostos de forma irregular, misturados aos demais e sem nenhum tipo de tratamento (INFOMATOZ, 2011). Além de haver ilegalmente no local, catadores e queima de resíduos a céu aberto (Figuras 3.4 e 3.5).

Figura 3.4 (esquerda) – Resíduos sólidos variados e dispostos a céu aberto no lixão, município de Matozinhos, Minas Gerais; Figura 3.5 (direita) – Queima de resíduos a céu aberto no lixão, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Fotos: Do autor.

Nas proximidades do lixão há um maciço calcário, disposto imediatamente à jusante leste, que é a forma residual mais evidente na área estudo, tendo em sua base uma dolina de um lado e uma úvala de outro, além de caverna com drenagem subterrânea ativa que foi considerada como um dos pontos de amostragem de água (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Disposição dos elementos cársticos em relação ao lixão, município de Matozinhos, Minas Gerais.

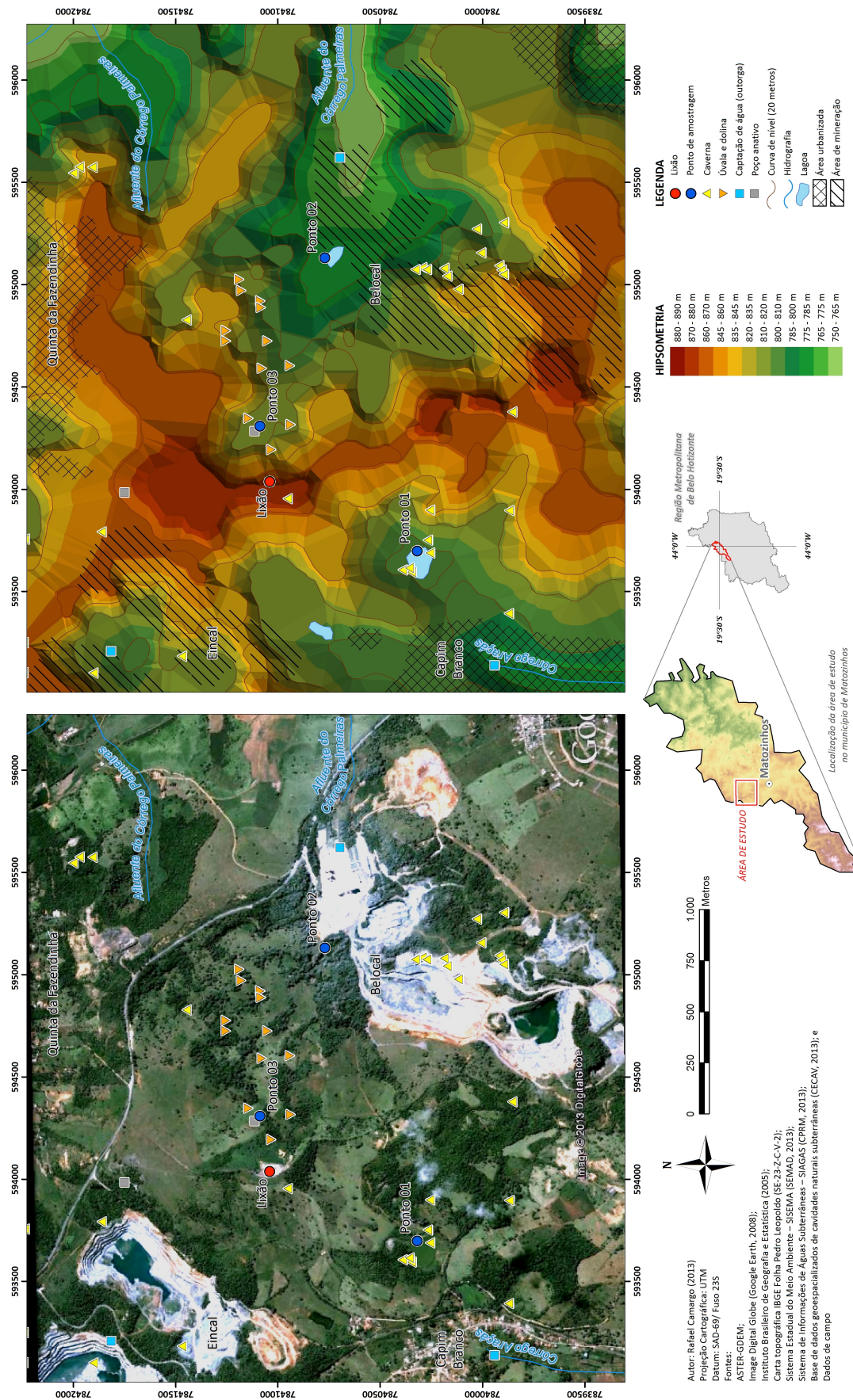


Foto: Do autor.

A úvala identificada, está alinhada (linha em vermelho) com o desenvolvimento da caverna, que por sua vez tem sua gênese explicada pela dissolução da rocha pelo curso de água que atualmente está aproximadamente 20 metros abaixo do nível da entrada da caverna ou da base da úvala. Uma possível explicação dessa relação é que com a evolução da paisagem uma dolina aluvial pode ter evoluído para uma úvala e o respectivo fluxo aluvial fez com que o processo de dissolução em uma descontinuidade pré-existente na rocha fosse acelerado, formando uma caverna de fluxo vadoso, a qual temos na atualidade.

Seguindo em direção às cabeceiras do Córrego Palmeiras, há indícios que evolução da paisagem cárstica foi favorecida por descontinuidades pré-existentes na rocha, como família de fraturas por exemplo que podem explicar a série de 11 dolinas, de subsidência ou dissolução, como pode-se observar no mapa de pontos de interesse (Figura 3.7).

Figura 3.7 – Mapa de pontos de interesse.



Fonte: Do autor.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o objetivo de embasar a discussão dos resultados, apresenta-se a seguir algumas definições a respeito dos temas carste e qualidade das águas.

Primeiramente apresenta-se o carste e o papel da água nestes ambientes, mostrando os sistemas que se formam, mas também evidenciando sua fragilidade diante das águas quando da existência de possíveis contaminações. Em seguida discorre-se sobre as classificações e principais fontes de poluição das águas, principalmente as relacionadas ao carste. Por fim, trata-se sobre a qualidade das águas e apresenta-se os padrões existentes tanto para as águas superficiais como para as subterrâneas.

4.1 O carste e a ação da água

Neste capítulo apresenta-se definições que envolvem os sistemas cársticos,, ambientes formados na maioria das vezes sobre rochas carbonáticas, tais como os calcários e dolomitos, e a relação da água desde na sua gênese e manutenção. Os itens seguintes discutem definições sobre as feições típicas do carste, as relações que apresentam entre si e que tornam esses sistemas mais frágeis à ação antrópica no que se refere à contaminação das águas.

4.1.1 Feições cársticas

Carste é uma palavra derivada do alemão *karst*, forma germânica da palavra servo-croata *kras*, cujo significado original é terreno rochoso, desnudo, características de uma região situada no nordeste da Itália e no noroeste da Eslovênia. Tal região é considerada entre os especialistas como o carste clássico, já que foi a primeira a concentrar pesquisas científicas sobre esse tipo de relevo, a partir da segunda metade do século XIX (PILO, 1998).

Os sistemas cársticos são definidos por um conjunto de elementos gerados predominantemente pela ação geológica da água subterrânea sobre rochas solúveis, as quais sofrem corrosão (FORD; WILLIAMS, 1989; KOHLER, 1989). Caracterizam-se por seu relevo ruiforme, composto de cones residuais, paredões rochosos, lapíás, cânions, vales cegos, depressões fechadas tais como dolinas, úvalas e poljé, além de sistemas de condutos subterrâneos, como as cavernas, ocupadas ou não por rios

subterrâneos que em trechos afloram em superfície por (re) surgências e em outros adentram o meio subterrâneo por sumidouros (KARMANN, 2003; WHITE, 1988).

Em linhas gerais, o ambiente externo, denominado como exocarste, é marcado por formas superficiais geradas primordialmente pelo ataque químico de águas meteóricas. O domínio subterrâneo, o endocarste, é representado pelas cavernas, geradas pela dissolução por águas subterrâneas de origem diversa. E um terceiro domínio, o epicarste, pode também ser reconhecido, dizendo respeito à zona logo abaixo da superfície, englobando a faixa de alteração entre o solo e a rocha calcária (PILÓ; AULER, 2011). E é, portanto entremeando-se a estes diferentes compartimentos que encontramos inúmeras feições típicas do carste, das quais descrevemos brevemente abaixo as principais ocorridas nos carstes brasileiros:

a) Cones residuais e paredões rochosos

Cones residuais ou cones cársticos, são morros de vertentes fortemente inclinadas e paredes rochosas, representando morros testemunhos que resistiram à dissolução durante a evolução do relevo. Na maioria das vezes representam pontos isolados de maior altitude na paisagem justamente pelo fato dos demais materiais haverem sido transportados para áreas mais deprimidas. Distribuindo-se na forma de divisores de águas, contornando bacias de drenagens, são desenvolvidos inicialmente por atividade fluvial normal.

De forma parecida, os paredões rochosos também são feições que se apresentam mais resistentes às ações físico-químicas na evolução do relevo, remanescentes rochosos dos processos de dissolução diferencial da rocha, porém não se apresentam na forma de morros e sim em alinhamentos, na maioria das vezes associados a linhas de fraturas.

Também associados à áreas deprimidas, tais como dolinas, úvalas e poljé, em pelo menos em uma de suas bordas, os paredões são expostos quando os sedimentos que o recobriam são carreados, expondo-os à superfície (Figura 4.1). Em suas superfícies desnudadas, bem como nos cones residuais, geralmente é possível observar várias microformas do tipo lapiás (KARMANN, 2003; PILÓ, 1998).

Figura 4.1 – Paredão rochoso residual associado à dolina inundada (Maciço Cerca Grande), município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Heinz Charles Kohler.

b) Lapiás

Lapiás ou caneluras de dissolução são formas residuais que se apresentam marcadas por sulcos, furos ou saliências irregulares de reduzidas dimensões (alguns milímetros a poucos metros), por vezes pontiagudos e com lâminas proeminentes, nas superfícies das rochas (Figura 4.2). São formados pela ação do escoamento de precipitação de água ácida da chuva, normalmente dissolvendo a rocha em seus pontos de entrada, ou seja, a rocha que inicialmente possuía rachaduras se abre cada vez mais e acaba por vezes até em se separar em blocos (KARMANN, 2003; PILÓ, 1998).

Figura 4.2 – Campo de lapiás sobre maciço rochoso, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

c) Dolinas

As dolinas podem ser consideradas como as formas mais particulares do exocarste (PILÓ, 1998). São depressões fechadas cônicas, circulares ou elípticas que se formam na superfície, em função da dissolução de rochas solúveis, normalmente em subsuperfície. As dolinas podem atingir de poucos metros a centenas de metros de profundidade por várias centenas de metros de diâmetro. Podem ser inundadas por lagoas ou secas e cheias de sedimentos, solo ou vegetação, variando de acordo com o substrato (KARMANN, 2003).

Segundo Ford, Palmer e White (1988), as dolinas podem originar-se de quatro processos distintos (Figura 4.3):

I - Dissolução de cima para baixo

Quando a rocha é lentamente dissolvida por infiltração em determinado ponto e o material dissolvido, assim como restos insolúveis, são infiltrados através de fraturas e, portanto o solo é rebaixado lentamente, sem formar cavidades subterrâneas. À medida que a rocha é dissolvida o terreno pode ser rebaixado vários metros. Em muitos casos há exposição de rochas nas laterais da dolina quando as mesmas apresentam longa evolução.

II - Subsidência sem ruptura para uma cavidade de dissolução intra-estratal

De forma parecida a anterior, as dolinas de subsidência são formadas quando o solo é lixiviado para o interior de uma cavidade pré-existente e o solo é rebaixado. A velocidade do rebaixamento normalmente é influenciada de acordo com o volume de água que auxilia no transporte dos sedimentos.

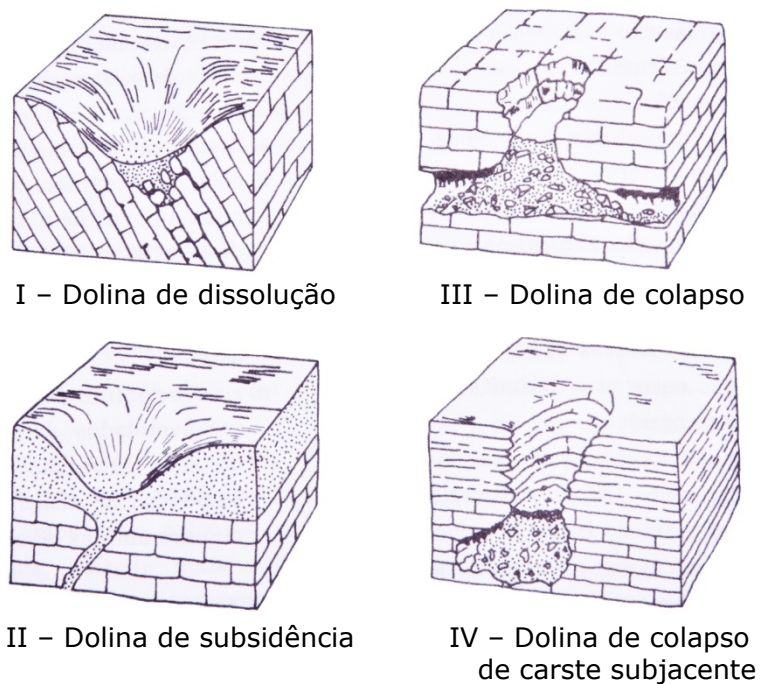
III - Colapso mecânico de baixo para cima a partir de uma cavidade de dissolução prévia

Quando uma caverna é formada dentro da zona freática, as galerias podem se alargar e tomar grandes proporções. Em geral o teto dessas galerias é sustentado pela pressão da água que corre em seu interior. Quando o nível freático é rebaixado, o teto perde a sustentação e pode desabar, provocando o rebaixamento de toda a camada rochosa acima da caverna e formando dolinas de colapso, que podem atingir centenas de metros de profundidade.

IV - Colapso mecânico devido à carste subjacente

Difere-se da dolina de colapso anterior pelo fato de que a camada de rochas carbonáticas que entra em colapso se encontra subjacente a uma camada de outra litologia que também entra em colapso.

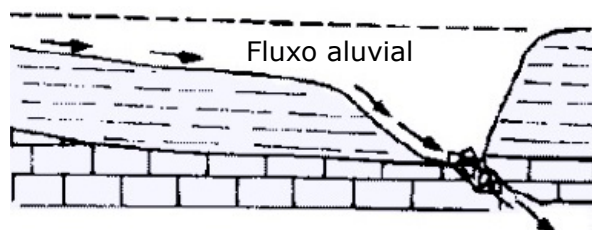
Figura 4.3 – Processos que originam as dolinas



Fonte: Ford, Palmer e White (1988).

Mas segundo Jennings (1985) há também de considerar-se uma variação do processo de dolinamento por subsidência quando há um fluxo aluvial ajudando no processo. São as chamadas dolinas aluviais (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Processo de origem das dolinas aluviais.



Fonte: Jennings (1985).

d) Úvalas

Úvalas são depressões relativamente maiores que as dolinas e apresentam contornos e fundos irregulares. A sua formação ainda é objeto de controvérsia por muitos autores, mas a grande maioria defende que se formam pela coalescência duas ou mais dolinas que cresceram muito próximas e se desenvolveram mais rapidamente em largura do que em profundidade (Figura 4.5). Essa ideia é defendida quando se pensa numa fase mais avançada da evolução do relevo cárstico, quando as águas de escoamento superficial passam para circulação subterrânea, deixando redes de vales secos como formas superficiais reliquiares. Outra característica é a forma alongada e vertentes suavizadas. (KOHLE, 1989; SUGUIO, 2010)

Figura 4.5 – Úvala típica: forma alongada e vertentes suavizadas, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Rafael Camargo.

e) Poljé

A definição diz respeito a largas depressões fechadas, com comprimentos e larguras que chegam a dezenas de quilômetros de largura, por vezes com paredes abruptas, fundo plano rochoso ou, mais comumente, recoberto por argilas de descalcificação, aluviões ou depósitos lacustres (Figura 4.6).

Atualmente, aceita-se a ideia de que os poljés evoluem particularmente pela dissolução de suas bordas, devido ao barramento ou inibição dos processos de rebaixamento do relevo (vetor vertical), provocado pela impermeabilização do fundo das depressões por sedimentos argilosos, litologias não carbonáticas ou proximidade do nível de base (PILÓ, 1998).

Figura 4.6 – Poljé Lagoa do Sumidouro, município de Lagoa Santa, Minas Gerais.



Foto: (IBMONTESIÃO, 2012).

f) Cânion e vales cegos

Os cânions e vales cegos são desenvolvidos inicialmente por atividade fluvial normal, mas que com a evolução do relevo transferem seu escoamento para o meio subterrâneo (SUGUIO, 2010).

Um cânion é um vale com paredes muito íngremes que pode ou não ter um rio correndo em seu fundo. Muitos cânions são formados por erosão, mas os cânions cársticos são resultado principalmente da dissolução química. Em alguns casos podem ser antigas cavernas em que todo o teto sofreu desmoronamentos até que só restem as paredes (Figura 4.7). Já os vales cegos são caracterizados pela interrupção abrupta da drenagem superficial diante da ocorrência de um sumidouro junto a anfiteatros rochosos

ou depressões. Após seu percurso subterrâneo, essa drenagem pode ressurgir na base de escarpamentos e novamente drenar superficialmente, configurando um vale com características fluviais, os quais são denominados de vales recuados. (KARMANN, 2003; PILÓ, 1998)

Figura 4.7 – Cânion cárstico de Brejões, município de Jacobina, Bahia.



Foto: (CPRM, 2009).

g) Surgências, sumidouros e ressurgências

Águas de chuva que precipitam sobre uma determinada área de recarga do aquífero, normalmente infiltram-se por planos de fraturas até atingir o nível do lençol freático e posteriormente afloram por uma nascente e começam a correr na forma de um rio. Estes locais de afloramento da água são as chamadas surgências (Figura 4.8). Já os sumidouros (Figura 4.9) são os locais onde as drenagens superficiais adentram o meio subterrâneo e passam a correr por redes de condutos até sair em outro local, este último denominado ressurgência.

Figura 4.8 (esquerda) – Surgência Engenho, município de Lagoa Santa, Minas Gerais; Figura 4.9 (direita) – Sumidouro da Lagoa do Sumidouro, município de Lagoa Santa, Minas Gerais.



Fotos: Do autor.

Em geral as regiões cársticas possuem rios perenes, mas eles podem dar a impressão de terem secado, pois podem se tornar subterrâneos. O rio pode entrar inteiramente em um único sumidouro, mas também pode haver sumidouros ao longo do leito do rio, que o tornam cada vez menos caudaloso. Os vales (porção superficial) onde o rio corria anteriormente podem inclusive se tornarem completamente secos. (TEIXEIRA; LINSKER, 2005)

h) Cavernas

Por fim as cavernas são as mais popularmente conhecidas por serem os locais onde é possível observar curiosas formações rochosas, formadas pelos minerais removidos do maciço rochoso e que precipitam e recristalizam. Essas formações são chamadas espeleotemas, das quais se destacam as estalactites e estalagmites, entre muitas outras.

Segundo Karmann (2003) cavernas são os condutos que permitem acesso ao ser humano e que basicamente foram formados pelas rotas preferenciais de fluxo da água subterrânea nas fraturas e que gradativamente se alargaram pela dissolução e erosão da rocha, transformando parte do aquífero fraturado em aquífero de condutos (Figura 4.10).

Figura 4.10 – Conduto de fluxo vadoso na Gruta de Morena, município de Cordisburgo, Minas Gerais.

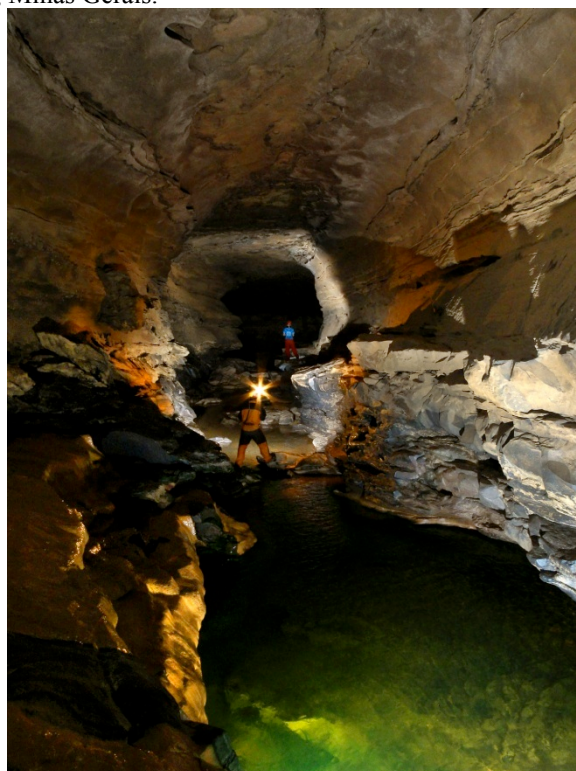


Foto: Do autor.

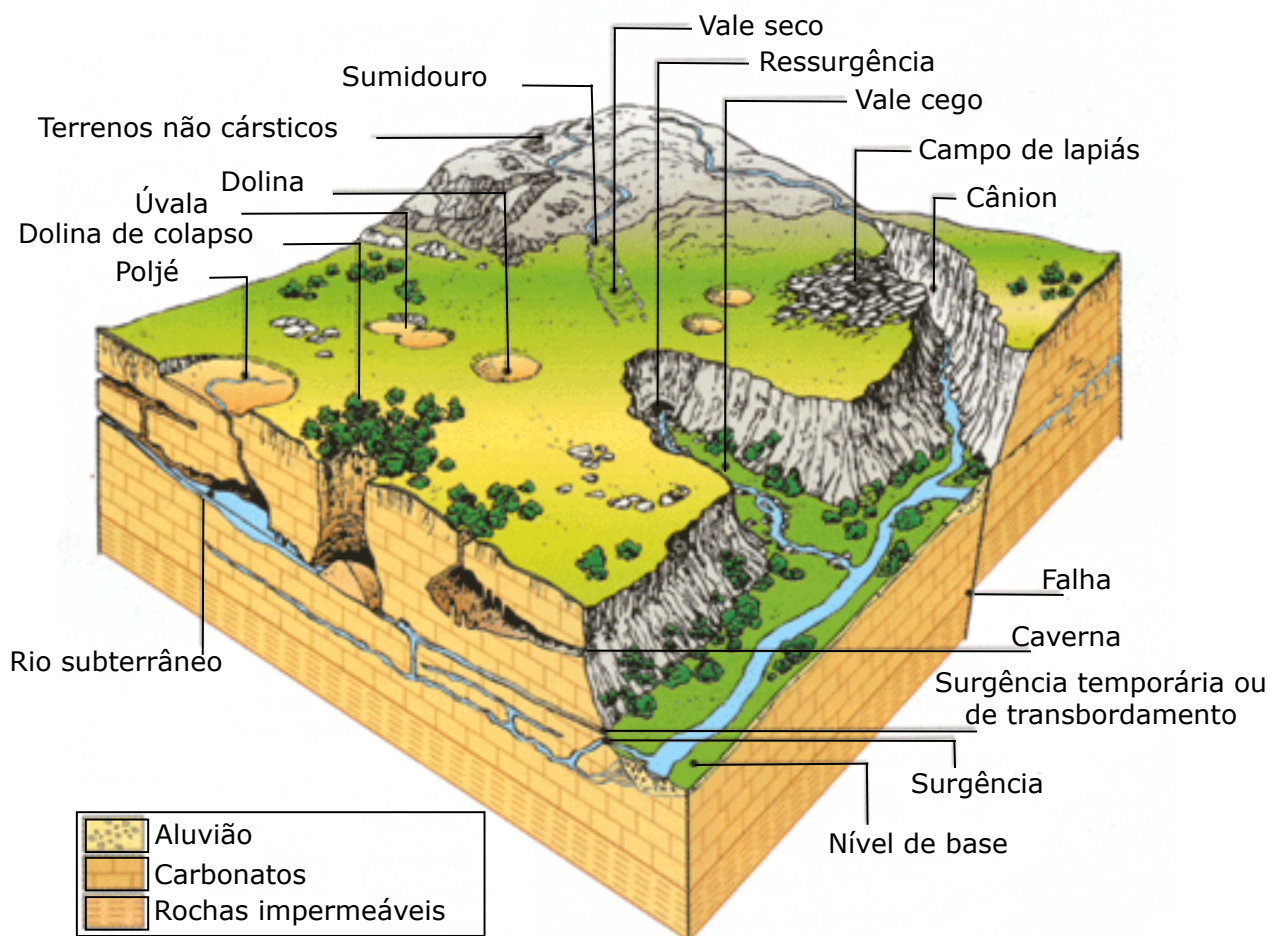
Devido ao rebaixamento do nível freático em função da crescente permeabilidade, muitas vezes somada ao soerguimento tectônico da região, setores da rede de condutos, iniciados e desenvolvidos em ambiente freático, são expostos acima do nível da água, sofrendo modificações e ampliações em ambiente vadoso (Figura 4.10). Em muitos casos, tetos que eram sustentados pela pressão da água podem desmoronar, formando grandes salões de abatimento. O desmoronamento de tetos de caverna pode levar ao rebaixamento do solo acima dos salões, formando dolinas de colapso, que podem se tornar entradas para a caverna. Outras entradas podem ser formadas em sumidouros ou ressurgências e se mantêm mesmo depois que a água abandona a caverna.

4.1.2 Sistemas Cársticos

Mesmo que haja tido total entendimento das definições apresentadas no item acima, certamente é indispensável uma explicação mais aprofundada das causas das ocorrências das referidas feições cársticas.

E conforme defendeu Sánchez já em 1992, acabamos de ver que as feições cársticas apresentam-se intimamente relacionadas umas as outras principalmente pela ação das águas que agem desde a dissolução das rochas, transporte de materiais até a evolução do relevo, tornando mais nítida a relação das feições umas com as outras, fazendo assim claro o conceito de um sistema (Figura 4.11).

Figura 4.11 – Ilustração de um sistema cárstico.



Fonte: (GEOLEITURAS, 2010).

Nessa mesma linha de raciocínio, segundo Karmann (2003), para o desenvolvimento pleno de sistemas cársticos são necessárias três condições:

a) Rocha solúvel com permeabilidade de fraturas

Entende-se por rocha solúvel aquela que, após sofrer intemperismo químico produz pouco resíduo insolúvel, tais como os calcários, dolomitos e evaporitos. Essas ainda devem possuir uma rede de discontinuidades formadas por superfícies de estratificação, planos de fraturas e falhas, caracterizando um aquífero de fraturas, de forma que a permeabilidade por fraturas é mais importante que a porosidade primária, uma vez que a ação da água ácida é muito mais intensa em locais onde ela possa se concentrar e agir sobre porções maiores de rocha. As superfícies de estratificação, fendas e fraturas permitem a criação de rotas preferenciais que direcionam a expansão de fendas, que aos poucos tornam-se galerias ou grandes salões. Rochas que possuam

apenas porosidade primária, a dissolução ocorre, porém de maneira difusa, sem que sejam criadas rotas de fluxo e os canais jamais chegam a se abrir significativamente.

b) Relevo – gradientes hidráulicos moderados a altos

O desenvolvimento do carste é favorecido quando a região possui topografia, no mínimo, moderadamente acidentada. Vales encaixados e grandes desníveis geram gradientes hidráulicos maiores, com fluxos mais rápidos das águas de percolação ao longo dos condutos no aquífero, à semelhança do que se observa no escoamento superficial. Essas velocidades maiores da água subterrânea resultam em maior eficiência na remoção de resíduos insolúveis, bem como na dissolução da rocha ao longo das rotas de fluxo e rios subterrâneos, acelerando o processo de carstificação. Águas com fluxo lento exercem pouca ação, pois logo saturam-se em carbonato, perdendo sua ação corrosiva e a capacidade de transportar partículas.

c) Clima – disponibilidade de água

Sendo a dissolução a causa principal da formação de sistemas cársticos, o desenvolvimento do carste é mais intenso em climas úmidos. Uma exceção são os sistemas constituídos por rochas compostas de halita ou gipsita, os quais formam carste apenas em terrenos semiáridos, pois sua solubilidade em águas naturais é tão elevada que, em ambientes muito úmidos, elas são totalmente dissolvidas antes de conseguirem gerar relevos cársticos. Além de alta pluviosidade, a carstificação também é favorecida em ambientes de clima quente com densa vegetação, onde a produção biogênica de CO₂ no solo é maior, aumentando o teor de ácido carbônico nas águas de infiltração. Desse modo as paisagens cársticas são mais desenvolvidas em regiões de clima quente e úmido quando comparadas às regiões de clima frio.

Na sequência, o processo básico que provoca a geração das formas cársticas pode ser sintetizado pela equação:



A água de chuva absorve dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e se torna ácida devido à formação de ácido carbônico (H₂CO₃). Esta água ao entrar em contato com a rocha aflorada já é capaz de dissolver o calcário, formando os lapiás por exemplo. Esta mesma água, ao penetrar no solo absorve ainda mais dióxido de carbono associado a raízes de plantas e húmus e ao atingir a rocha em subsuperfície a água

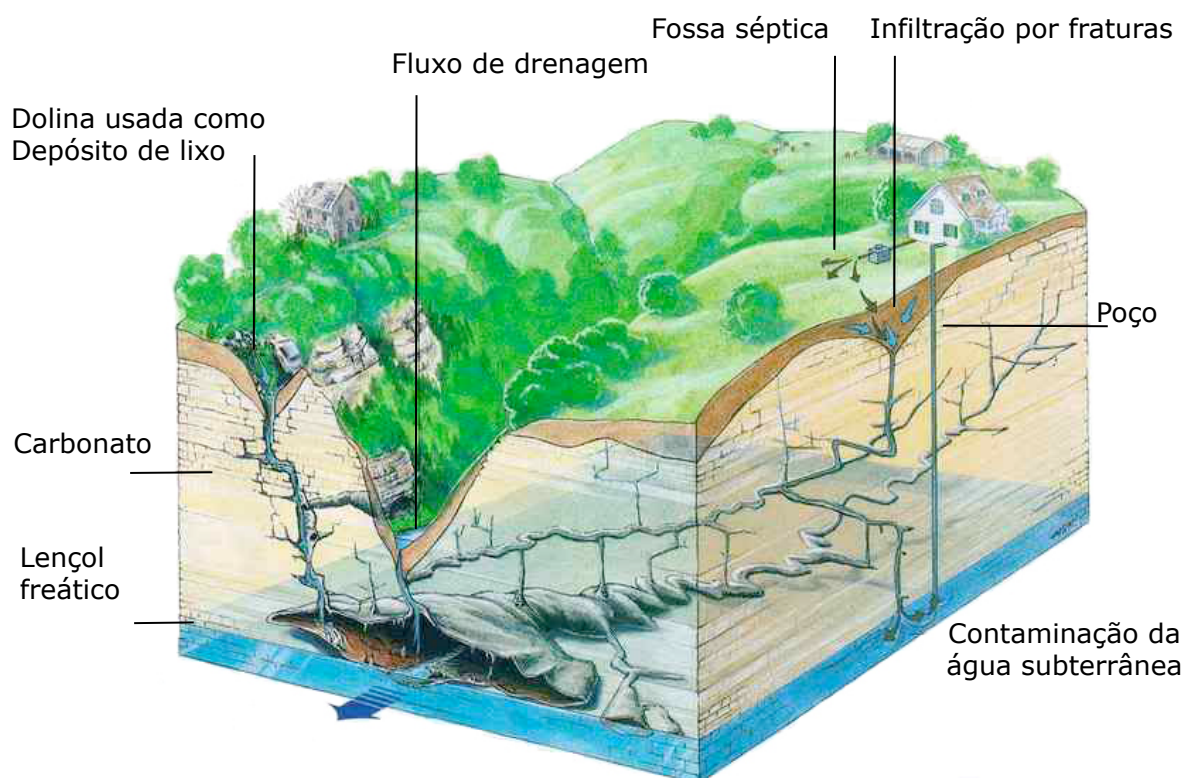
estará bastante ácida, podendo então dissolver o calcário, alargar as fraturas da rocha e desencadear outros processos como a formação das dolinas e cavernas (AULER; PILÓ, 2011).

Como já fora mencionado, outra característica marcante nos sistemas cárstico é a substituição da rede de drenagem fluvial, com seus vales e canais organizados, por bacias de drenagem centrípetas, que a primeira vista formam um quadro de drenagens caóticas. Essas bacias conduzem a água superficial para sumidouros, que conectam a superfície com a drenagem subterrânea. Quanto mais desenvolvido o sistema cárstico, maior sua permeabilidade secundária, o que aumenta o número de sumidouros e respectivas bacias de drenagens centrípetas. Isto, por sua vez, condiciona um forte incremento no volume de infiltração e diminuição no volume de água do escoamento superficial (KARMANN, 2003).

4.1.3 Fragilidades dos sistemas cársticos

Como podemos perceber a ação da água nos sistemas cársticos é fator imprescindível e decisivo para sua evolução. Por outro lado os terrenos cársticos constituem sistemas frágeis ao uso e à ocupação, justamente por suas formas de relevo singulares, superficiais e subterrâneas, serem produtos de uma dinâmica muito peculiar de interação entre a água e a rocha solúvel (LAUREANO, 2011). As fraturas e fendas que foram alargadas e se tornaram condutos, normalmente detêm alto fluxo de água, ou seja, a água é transportada por espaços amplos, e não em meio à porosidade da rocha. Tal aspecto torna a "filtragem" natural praticamente inexistente, e o fluxo de água e qualquer material que esteja em solução ou disperso no meio líquido será rapidamente transportado, eventualmente para quilômetros de distância do local de origem, potencializando assim a propagação muito mais rápida de possíveis poluentes que tenham atingido o aquífero cárstico, conforme se observa na figura 4.12 (SMITH, 1993).

Figura 4.12 – Ilustração de poluição em sistemas cársticos.



Fonte: (CARR, 2007).

Segundo Piló (1999) outro aspecto de importante fragilidade é que as bacias de drenagem, no carste, não se limitam necessariamente aos divisores de águas superficiais, podendo estender-se muito além desses limites. Logo, as delimitações atuais de bacias de drenagem geralmente não asseguram uma real delimitação, justo porque estas normalmente são delimitadas basicamente pelos aspectos externos do relevo, sem considerar as peculiaridades dos sistemas cársticos e seus fluxos subterrâneos.

De forma geral a água da chuva que precipita sobre as porções mais elevadas, inclusive fora dos domínios das rochas carbonáticas, tem escoamento predominantemente superficial até chegar às porções medianas onde se encontram dolinas e sumidouros que capturam as águas para o meio subterrâneo. Por vezes estas águas atingem o aquífero imediatamente, mas também há casos que as águas correm pela zona vadosa por longas distâncias até se juntar ao aquífero, já em porções mais rebaixadas do terreno, variando desta forma o tempo e a amplitude de possíveis impactos aos sistemas cársticos.

Williams (1993), em seu trabalho sobre impactos antrópicos no carste, relaciona alguns dos principais impactos da atividade antrópica neste terreno como sendo causados pela ocupação das cavernas, desflorestamento, uso agrícola, exploração de água, mineração, urbanização, atividades militares, turismo e recreação. O autor considera ainda, que os impactos mais significativos advém do desflorestamento e subsequente atividade agrícola, podendo resultar, no extremo, em uma “desertificação rochosa”, que ocorreu em larga escala em partes da bacia do Mediterrâneo e vem ocorrendo na China.

Gillieson (1996), discutindo os problemas ambientais associados ao uso da terra em áreas cársticas, atenta para a importância da cobertura vegetal na manutenção do solo e dos processos cársticos. Não só a existência do solo fica protegida na presença de vegetação, impedindo o impacto direto da chuva sobre o solo, seja pela presença das árvores, ou devido à presença de um manto de folhas e materiais biológicos em decomposição, decorrente da cobertura vegetal, como também devido ao fato de permitir um estabelecimento de uma fauna e flora de solo, responsável pela produção do dióxido de carbono, fundamental nos processos cársticos.

Mas além de impactos ambientais decorrentes das atividades humanas há também que se considerarem os riscos inerentes à ocupação de terrenos cársticos e os riscos que estão associados principalmente aos recursos hídricos. Cidades como Sete Lagoas, com mais de 200 mil habitantes, tem seu suprimento de água exclusivamente extraído do aquífero cárstico. Entretanto, a porosidade secundária da rocha, expandida pela dissolução, como já dito, são caminhos preferenciais que podem rapidamente levar contaminantes para a água subterrânea, deteriorando a qualidade do único manancial de água disponível (LAUREANO, 2011).

4.2 Poluição e contaminação das águas

Primeiramente neste item é necessário esclarecer que poluição e contaminação, por mais que tenham a mesma origem, possuem conceitos distintos e, portanto devem ser entendidos.

Poluição representa um conjunto de ações e interferências diretas e indiretas (naturais ou antrópicas) sobre a qualidade da água. Por exemplo, um curso d'água é considerado poluído quando apresenta uma alteração qualquer nos seus parâmetros,

decorrentes de influências antrópicas, mas que os teores não atingem os valores máximos permitidos – VMP – definidos pelos padrões de potabilidade adotados.

Já a contaminação se caracteriza quando os teores de compostos ou microrganismos ficam acima dos VMP pelos padrões de qualidade para seus determinados tipos de uso (consumo humano, industrial ou agrícola), inclusive impossibilitando o seu uso temporariamente ou definitivamente em função de que águas contaminadas podem prejudicar o meio ambiente e a saúde humana.

Conceitos definidos, pretende-se a seguir apresentar algumas classificações das fontes de poluição e em seguida expor as fontes tidas mais comuns, sempre tentando imaginá-las nos sistemas cársticos, além de levantamos ao final uma discussão sobre as consequências que tais impactos podem causar ao meio ambiente e principalmente à saúde humana.

4.2.1 Classificação das fontes de poluição

Segundo Tucci e Cabral (2003) o desenvolvimento urbano, agrícola e industrial tem produzido grandes impactos sobre os mananciais tanto superficiais quanto subterrâneos. Os impactos são do tipo quantitativo, quando o rebaixamento do nível d'água dos aquíferos ocorre em face da super exploração do manancial e qualitativo quando o manancial é contaminado por poluentes.

No que se refere aos poluentes atualmente os mesmos se fazem presentes no meio ambiente a partir de diversas fontes, as quais segundo a *National Ocean and Atmospheric Administration* – NOAA (2008) podem ser classificados em fontes pontuais ou difusas de poluição, onde as pontuais são caracterizadas por um foco de poluição facilmente identificável como emissora de poluentes e em geral de pequena escala. Exemplos são os poços de exploração d'água construídos e mantidos sem devidos cuidados, tornando-os suscetíveis a entrada de escoamento superficial, bem como postos de abastecimentos, pontos de disposição de resíduos, entre outros.

Já as fontes difusas são caracterizadas quando não existe propriamente um foco definido de poluição, sendo a origem difusa, tal como acontece nas extensas áreas agrícolas, de mineração ou aglomerações urbanas sem sistemas de águas pluviais e esgotamento sanitário. Ressalta-se que nestes casos o controle é mais difícil justamente por não haver uma localização bem definida da fonte.

Outro tipo de classificação das fontes de poluição é referente à natureza de suas descargas, sendo assim divididas em seis categorias conforme os critérios do *Office of Technology Assessment of the U.S. Congress – OTA* (CANTER, 1988 *apud*. CAVALCANTE; MATTA, 2012):

Categoria I: Fontes relacionadas com substâncias originárias de descargas diversas, tais como percolações de subsuperfície em tanques sépticos e fossas sanitárias, poços de injeção e adubações com águas residuais ou lodos;

Categoria II: Fontes relacionadas com armazenamento, tratamento e/ou disposição de substâncias diversas e descargas não planejadas, tais como aterros, lixões, cemitérios, tanques/contêineres de armazenamentos, locais de incinerações a céu aberto, disposição resíduos de indústrias, minerações e lixo radioativos;

Categoria III: Fontes que retêm substâncias durante o transporte ou transmissão, tais como condutos e encanamentos, além de materiais oriundos de operações de transporte ou transferência de resíduos;

Categoria IV: Fontes de substâncias de descargas diversas originadas por outras atividades planejadas, tais como práticas de irrigação, aplicações de pesticidas e fertilizantes, criação (confinada) de animais, *runoff* urbano e mineração e drenagem de minas;

Categoria V: Fontes originárias de descargas por condução ou indução, através de configurações e mudanças de fluxo, tais como poços de produção de petróleo, gás, vapor e recuperação de vapor geotérmico ou abastecimento de água, além de poços de monitoramento, exploração geológico-geotécnica, construção, entre outros;

Categoria VI: Fontes de poluição que ocorrem naturalmente, nas quais as descargas são criadas ou exacerbadas por atividades humanas tais como interações entre as águas superficiais e as águas subterrâneas, lixiviação natural e intrusão salina de águas salgadas e salobras, induzidas pelo rebaixamento dos níveis d'água, ou intrusão de outras águas de qualidade naturalmente pobre ou ruim.

4.2.2 Principais fontes de poluição

Como percebe-se acima, as fontes de poluição podem ser tanto variadas quanto diversificadas. Hirata (1993) em seu representativo trabalho listou as atividades antrópicas, mais comuns na América Latina, potencialmente geradoras de carga

contaminante aos aquíferos, relacionando suas fontes e os tipos de contaminantes mais comuns (Quadro 5.1).

QUADRO 5.1 – Principais atividades antrópicas causadoras de poluição.

Atividade	Distribuição	Principais contaminantes
URBANA		
Saneamento "in situ"	P D	N F O
Vazamento de esgotos (a)	P L	N F O
Lagoas de oxidação (a)	P	N F O
Aplicação de águas residuais em superfície (a)	P D	N F O S
Rios e canais de recepção (a)	P L	N F O
Lixiviado de lixões/aterros	P	O S M
Tanques de combustíveis	P D	O
Drenos de rodovias	P D	O S
INDÚSTRIAL		
Vazamentos de tanques /tubos (b)	P D	O M
Derramamento acidental	P D	O M
Lagoas de efluentes	P	O S M
Lançamento de efluentes em superfície	P D	O S M
Canais e rios receptores	P L	O S M
Lixiviado de resíduos sólidos	P	O S M
Dreno de pátios	P	O M
Material em suspensão/gases	D	O S
AGRÍCOLA (c)		
a. Área de cultivo		
- com agroquímicos	D	N O
- e com irrigação	D	N O S
- com lodos/resíduos	D	N O S
- com irrigação de águas residuais	D	N F O S
b. Beneficiamento/criação de gado e animais		
- lagoas de efluentes	P	N F O
- lançamento de efluentes em superfície	P D	N F O S
- canais e rios receptores de efluentes	P L	N F O
EXTRAÇÃO MINERAL		
Desmonte hidráulico	P D	S M
Descarga de água de drenagem	P D	S M
Lagoas de decantação	P	S M
Lixiviação de resíduos sólidos	P	S M

(a) Pode incluir componentes industriais

(b) Pode também ocorrer em áreas não industriais

(c) Intensificação apresenta aumento no risco de contaminação

P – Pontual

L – Linear

D – Difusa

N – Nutrientes

F – Patógenos

S – Salinidade

M – Metais pesados

O – Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica

Fonte: (FOSTER; HIRATA, 1988 *apud*. HIRATA, 1993).

Já em relação às principais fontes de poluição das águas subterrâneas com o foco especial nos ambientes cársticos, pode-se citar (CAVALCANTI et al., 2012; SOUSA, 1997):

a) Ocupação urbana desordenada e esgotamento sanitário

Com o avanço das manchas urbanas sobre áreas antes consideradas como rurais ou naturais, tem-se observado, a cada dia, que as regiões cársticas tornaram-se alvos de processos agressivos de ocupação, sem que haja distinção entre locais de captação de água para o sistema, como as dolinas e sumidouros, ou qualquer outra importante feição existente (CAVALCANTI et al., 2012).

Sobretudo em regiões de aquíferos, por causa da exploração de água para consumo humano ou industrial, sem planejamento adequado, pode acarretar em riscos de colapso, conseqüentemente mudança na dinâmica hídrica subterrânea, bem como os poços passam a ser potenciais pontos de recepção de cargas poluentes por escoamento superficial de drenagens poluídas ou infiltração induzida de águas de baixa qualidade de aquíferos mais superficiais (FERREIRA, 2006; HIRATA, 1993).

Nas últimas décadas as zonas urbanas também têm crescido mais rapidamente que a capacidade de planejamento dos poderes públicos de forma que serviços básicos como abastecimento de água e saneamento normalmente são ineficientes (SOUSA, 1997). Nestes casos, poços de captação rudimentares, poços artesianos sem manutenção ou abandonados, fossas negras ou até mesmo descarga de esgotos a céu aberto ou em cursos d'água superficiais são comuns e, portanto agem diretamente na degradação da qualidade das águas na forma de distribuição de poluição tanto pontual como difusa.

Para Hirata (1993) os poluentes mais comuns a partir destas fontes são bactérias e vírus patogênicos, coliformes, nitratos, elevadas concentrações de sais e algumas vezes solventes organo-sintéticos.

b) Disposição de resíduos

Certamente como resposta aos anos e anos de desconhecimento e descaso pelos seus efeitos, atualmente é crescente o número de casos de disposições de resíduos domésticos, industriais, especiais e/ou de serviços de saúde serem descobertos como causadores de contaminações de águas subterrâneas por todo o Brasil. Os mais graves normalmente ocorrem em áreas geologicamente mais vulneráveis, tais como as cársticas (HIRATA, 1993).

Justo a este fato, nos dias atuais temos recomendações de métodos para tratamento e disposição final para os diferentes tipos de resíduos. Resumidamente, rejeitos de construções civis e pneus, por exemplo, devem ser reciclados. Pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, juntamente com resíduos industriais classificados em perigosos e inertes devem ser destinados a aterros com total impermeabilização do solo e canalização dos lixiviados. Já resíduos de serviços de saúde necessitam de valas sépticas ao passo que os resíduos domésticos o ideal são os aterros sanitários, onde deve haver impermeabilização do solo na base, coberturas de terras periódicas e também haver certa divisão para resíduos mais ou menos perigosos, além de que o chorume produzido deve ser coletado e tratado, para depois ser lançado como efluente em corpos d'água receptores.

Porém a realidade brasileira na maioria dos casos infelizmente ainda é de aterros controlados, empregados na tentativa de remediação de antigos depósitos a céu aberto, os chamados lixões, ou só mesmo os lixões, sem nenhuma medida contenção, que segundo Sisino e Moreira (1996) ambos configuram-se como focos potenciais de poluição pontual, influenciando negativamente a qualidade da saúde humana e ambiental nas regiões sob sua influência.

Em relação às águas subterrâneas especificamente, o problema principal é que normalmente estes lixões têm o potencial de produzir um chorume carregado de uma variada gama de poluentes que podem incluir desde óleos, graxas, fenóis, metais pesados, hidrocarbonetos, compostos orgânicos e inorgânicos até resíduos tóxicos e/ou infectantes, juntamente com o fato de que em geral os lixões não possuem impermeabilizações na base, nem sobre os resíduos, e, portanto têm o chorume lixiviado pelas águas das chuvas até atingir os solos e conseqüentemente o aquífero (HIRATA, 1993).

c) Agropecuária

Segundo Ribeiro et al. (2006) diante da ocorrência de contaminantes inorgânicos e orgânicos identificados em amostras de águas subterrâneas nas imediações de áreas agrícolas em diversos países pelo mundo, mostrou que a atividade também é considerada umas das atividades que mais ocasionam prejuízos à qualidade dessas águas. Já para Tucci e Cabral (2003) a contaminação pela agricultura extensiva é preocupante em virtude da diversidade e da periculosidade dos contaminantes.

Na agricultura a poluição pode ocorrer pontualmente ou difusa. Pontual pelo fato de haver exploração de águas para irrigação e com isso novamente o problema dos poços, que passam a ser potenciais pontos de recepção de cargas poluentes por escoamento superficial de drenagens poluídas ou infiltração induzida de águas de baixa qualidade de aquíferos mais superficiais. Ou do tipo difusa em função da intensa utilização de fertilizantes e pesticidas que vão diretamente para o solo e consequentemente para o aquífero, sendo que estes contaminantes nem mesmo têm seus níveis toxicológicos bem conhecidos (RIBEIRO et al., 2006). Além de que a contaminação ainda pode ser facilitada pelos processos de irrigação mal manejados que, ao aplicarem água em excesso, tendem a facilitar que estes contaminantes atinjam os aquíferos (MMA, 2007).

No caso de regiões cársticas, mesmo constituídas normalmente por solos eutróficos muito férteis devido à grande quantidade de bases trocáveis (magnésio, cálcio etc.), estes locais apresentam diversos impeditivos tais como afloramentos rochosos e muitos desníveis abruptos. Contudo outros problemas são comuns. A intensa retirada da vegetação, normalmente substituída por pastagens para criações extensivas de gado, o que representa uma verdadeira subutilização desses solos férteis e uma exposição do solo a agentes erosivos, obviamente favorece que boa parte deste material sedimentar seja conduzido aos sumidouros e como consequência tem-se cargas poluentes diretamente injetadas no aquífero. (CAVALCANTI et al., 2012)

Na pecuária a poluição normalmente é pontual em função dos regimes produtivos tidos intensivos, onde as criações são confinadas em um pequeno espaço a fim de aumentar a produtividade e os resíduos são concentrados apenas naquele local. Da mesma forma no beneficiamento das carnes, onde grandes quantidades de efluentes são geradas e precisam ser lançados em corpos receptores. Ambos apresentam grande potencial poluente por compostos nitrogenados e também por coliformes associados à decomposição de matéria orgânica em geral. Destacam-se ainda os coliformes termotolerantes, os quais recebem o nome porque toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nessa temperatura em menos de 24 horas. Estes grupos são exclusivamente do trato intestinal de animais de sangue quente e podem contaminar o solo e a água a partir das fezes animais (BASTOS et al., 2000).

d) Indústrias e minerações

Segundo Tucci e Cabral (2003) o desenvolvimento industrial é outra grande fonte poluidora, mesmo que seu efluente seja tratado, pois os resíduos são dispostos em lagoas ou no solo que contamina, ao longo do tempo, todo o sistema local de águas subterrâneas.

Além do que se refere aos efluentes, há cargas poluidoras importantes associadas à disposição de matérias-primas, aos processos de manufatura e suas instalações, resultando no geral em níveis de pentaclorofenol, hidrocarbonetos, zinco, ferro, cobre, fenóis, sulfatos e acidez nas águas subterrâneas (FOSTER et al., 2003).

No mais deve ser enfatizado que as maiores e mais sofisticadas indústrias não são as que, necessariamente, apresentam os mais altos riscos de poluição das águas subterrâneas. Isto porque, com frequência, estas atividades utilizam-se de processos mais eficientes e melhor controle na disposição e manipulação de produtos e resíduos perigosos. Entretanto, as indústrias menores possuem uma maior distribuição geográfica e são mais numerosas. Normalmente, manejam consideráveis quantidades de produtos tóxicos e adotam práticas mais baratas, porém não muito recomendadas.

No que se refere às minerações, impactos causados sobre as águas subterrâneas poderão ocorrer devido a perturbações hidráulicas, diretas ou indiretas; disposição de líquidos com alto conteúdo salino; e lixiviação de material estéril, resultando na maioria dos casos em acidez das águas e contaminações por metais, sulfatos, mercúrio, entre outros (FOSTER et al., 2003).

No caso das minerações de calcário e cal o potencial contaminante é relativamente baixo, porém o risco maior está associado à remoção do solo e da camada não saturadas, expondo muitas vezes o nível freático, reduzindo a capacidade de degradação dos contaminantes no perfil geológico e aumentando a vulnerabilidade do aquífero (HIRATA, 1993).

Porém outro aspecto a considerar-se são os pátios das oficinas mecânicas e armazenamento de combustíveis e óleo, que se não bem instalados e monitorados são importantes fontes poluentes de compostos hidrocarbonetos BTEX¹, além de óleos, lubrificantes, gasolina e demais produtos derivados do petróleo.

¹ Grupo formado pelos hidrocarbonetos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e os Xilenos, ambos encontrados nos derivados de petróleo.

4.2.3 Consequências ao meio ambiente e a saúde humana

A poluição das águas pode indicar a sua contaminação, ocasionando doenças chamadas de veiculação hídrica, sendo as mais comuns, a febre tifóide, disenterias, cólera, hepatites infecciosas, leptospirose, entre outras e, ou doenças de origem hídrica como a escabiose (VON SPERLING, 1996).

Além disso, estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada, e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas à água. Ressalta-se ainda que esgotos e excrementos humanos sejam causas importantes dessa deterioração da qualidade da água em países em desenvolvimento (AGENDA 21, 1996).

Como observado no item anterior, muitos dos efluentes contêm misturas tóxicas, como fertilizantes, pesticidas, metais pesados, produtos industriais e uma variedade de outras substâncias. Quando imprópriamente manuseados e depositados, esses efluentes têm conduzido a efeitos na saúde que compreendem desde dores de cabeça, náuseas, irritações na pele e pulmões, a sérias reduções das funções neurológicas e hepáticas. Evidências dos efeitos genotóxicos à saúde, como câncer, defeitos congênitos e anomalias reprodutivas, também têm sido mencionadas. Aumento de incidência de carcinomas gastrointestinais, de bexiga, anomalias reprodutivas e malformações congênitas têm sido encontrados em populações que vivem próximas a perigosos depósitos de despejo (HOUK, 1992).

Certos metais pesados causam forte impacto na estabilidade de ecossistemas e provocam efeitos adversos nos seres humanos. Alguns desses metais são capazes de provocar efeitos tóxicos agudos e câncer em mamíferos devido a danos que causam no DNA (STEINKELLNER, 1998). Até mesmo os elementos químicos essenciais à manutenção e ao equilíbrio da saúde, quando em excesso, tornam-se nocivos, podendo comprometer gravemente o bem estar dos organismos (RODRIGUEZ, 1998).

Segundo Moraes e Jordão (2002) inúmeras pesquisas têm detectado frequência anormalmente alta de neoplasias em peixes em regiões industrializadas. Estudos em plantas e animais selvagens de ambientes impactados por despejos perigosos ou efluentes industriais proporcionam evidência adicional dos efeitos genotóxicos. Aumento estatisticamente significativo de mutações cromossômicas foi verificado em

plantas coletadas ao longo de um rio contaminado, quando comparadas a plantas crescendo em região não contaminada. Foram encontradas, também, elevadas frequências de células aberrantes em sistema-teste vegetal (*Allium cepa*) tratado com águas de efluente municipal que desemboca às margens do rio Paraguai, no pantanal sul-matogrossense, comprovando a genotoxicidade dessas águas. O referido local de despejo encontra-se muito próximo a um aglomerado humano que, certamente, desconhece o potencial deletério dessas águas. Tais resultados despertam preocupação do ponto de vista ambiental e em relação ao organismo humano, pois resultados provenientes de bioensaios genéticos são relevantes à saúde humana porque o alvo toxicológico é o DNA, o qual existe em todas as formas celulares vivas. Portanto, pode ser extrapolado que compostos que se mostram reativos com DNA em uma espécie têm o potencial de produzir efeitos similares em outras espécies.

Em síntese, perturbações do material genético são deletérias para o organismo e podem conduzir a consequências severas e irreversíveis ao meio ambiente e principalmente à saúde humana, que ainda nem temos conhecimento.

4.3 Qualidade das águas

Quando se fala em qualidade das águas é sempre levando em consideração seus principais usos, tais como consumo humano, dessedentação de animais, irrigação, recreação, entre outros e, portanto cada uso preponderante exige um padrão de qualidade diferente.

No que se refere às águas superficiais, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 em seu capítulo II, separou os corpos d'água do território nacional em águas doces, salobras e salinas e classificou-as segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Em seguida, no capítulo III, determina padrões de qualidade das águas e estabelece limites individuais para cada substância em cada classe.

Para o estado de Minas Gerais temos ainda a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008 que também classifica as águas superficiais, mas neste documento somente cinco classes de águas doces, e em seguida também determina padrões de qualidade e estabelece limites individuais para cada substância em cada classe.

Logo, como o foco deste estudo são apenas as águas superficiais do tipo doces, sendo ainda localizadas apenas no estado de Minas Gerais, utilizar-se-a como base principal para o referido trabalho este último documento, tanto para a classificação das águas como para a determinação de padrões, recorrendo à Resolução CONAMA apenas quando a primeira não for suficiente.

Já para as águas subterrâneas tem se apenas a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008 que as classifica as águas em seis classes e estabelece Valores de Referência de Qualidade – VRQ e Valores Máximos Permitidos – VMP para cada uso preponderante.

Dessa forma apresenta-se abaixo a classificação e os padrões de qualidade das águas superficiais doces e em seguida das águas subterrâneas, cada uma embasada nas referidas legislações. Ressaltando apenas que para o levantamento dos padrões de qualidade foi feita uma separata das substâncias, classes de enquadramento dos corpos de água e usos preponderantes aplicáveis ao presente estudo e que, portanto não correspondem as íntegras dos documentos supracitados.

4.3.1 Classificação dos corpos de água doce

Segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, em seu capítulo II, Art. 4º, as águas doces estaduais são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

4.3.2 Padrões de qualidade das águas doces

Objetivando analisar os padrões de qualidade das águas doces enquadradas como classe 2 segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008 em seu capítulo III, Art. 14º, apresenta-se no quadro 5.2 abaixo algumas relevantes condições e padrões expressados em Valores Máximos Permitidos – VMP que devem ser observados para o presente estudo:

Quadro 5.2 – Parâmetros físico-químicos e respectivos Valores Máximos Permitidos – VMP para águas superficiais classe 2.

Parâmetros físico-químicos	VMP
Nitrogênio Total (ambiente lântico)	*1,27 mg/L
Nitrogênio Total (ambiente lótico)	*2,18 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (PH < ou = 7,5)	3,7 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (7,5 < PH < 8,0)	2 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (8,0 < PH < 8,5)	1 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (PH > 8,5)	0,5 mg/L
Nitrato (como N)	10 mg/L
Nitrito (como N)	1 mg/L
DBO	5 mg/L
Fósforo Total (ambiente lântico)	0,03 mg/L
Fósforo Total (ambiente intermediário)	0,05 mg/L
Fósforo Total (ambiente lótico)	0,1 mg/L
Índice de Fenóis	0,003 mg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Tolueno	2 µg/L
Xilenos	300 µg/L
Etilbenzeno	90 µg/L
Zinco	0,18 mg/L
Cromo	0,05 mg/L
Chumbo	0,01 mg/L
Cádmio	0,001 mg/L
Níquel	0,025 mg/L
Prata	0,01 mg/L
Mercúrio	0,0002 mg/L

Lítio	2,5 mg/L
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	1000 NMP/100mL

* Quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização.

NMP: Número mais provável

Complementando ainda que:

- a) o PH deve ser entre 6,0 e 9,0;
- b) a medida de Oxigênio Dissolvido – OD não deve ser inferior a 6 mg/L;
- c) não deve haver verificação de efeitos tóxicos decorrentes de florações algais;
- d) devem ser virtualmente ausentes materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais;
- e) devem ser virtualmente ausentes óleos e graxas;
- f) devem ser virtualmente ausentes substâncias que comuniquem gosto ou odor;
- g) devem ser ausentes corantes de fontes antrópicas, dos quais não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais; e
- h) devem ser virtualmente ausentes resíduos sólidos objetáveis.

4.3.3 Classificação das águas subterrâneas

Segundo a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, em seu capítulo II, Art. 3º, as águas subterrâneas são classificadas em:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

4.3.4 Padrões de qualidade das águas subterrâneas

Para a análise dos padrões de qualidade das águas subterrâneas delimitou-se o uso preponderante “Consumo Humano” utilizando a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, capítulo III, Art. 6º, onde o documento esclarece que os Valores Máximos Permitidos – VMP devem ser estabelecidos de acordo com o anexo I do referido documento.

Dentre os listados no anexo supracitado apresentamos no quadro 5.3 abaixo algumas relevantes substâncias e padrões que devem ser observados para o presente estudo:

Quadro 5.3 – Parâmetros físico-químicos e respectivos Valores Máximos Permitidos – VMP para água subterrânea com uso preponderante consumo humano.

Parâmetros físico-químicos	VMP
Nitrato (como N)	10000 µg/L
Nitrito (como N)	1000 µg/L
Índice de Fenóis	3 µg/L
Benzeno	5 µg/L
Tolueno	170 µg/L
Xilenos	300 µg/L
Etilbenzeno	200 µg/L
Zinco	5000 µg/L
Cromo	50 µg/L
Chumbo	10 µg/L
Cádmio	5 µg/L
Níquel	20 µg/L
Prata	100 µg/L
Mercurio	1 µg/L
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	ausentes em 100mL

5 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia seguida para a realização da pesquisa. Primeiro, a metodologia para coleta de dados é apresentada. Em seguida os levantamentos de campo de reconhecimento da área e prospecção exocárstica².

Em seguida apresenta-se os princípios da seleção dos parâmetros físico-químicos analisados, e os detalhes das amostragens das águas superficiais e subterrâneas. Por fim apresenta-se as referências metodológicas das análises físico-químicas realizadas. A Bioagri Ambiental Ltda., foi a empresa contratada para execução das análises laboratoriais, sendo creditada pelo INMETRO para as análises em questão. O parâmetro Oxigênio Dissolvido – OD, entretanto foi analisado em campo pelo autor e, e os métodos adotados foram segundo manual do equipamento utilizado (ALFAKIT, sem data).

5.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi realizado principalmente em fontes de órgãos públicos federais e do Estado de Minas Gerais. De forma geral, as informações levantadas podem ser divididas em quatro grupos: aspectos físicos; aspectos socioeconômicos; qualidade de água; e legislações relacionadas. Sobre os aspectos físicos, destacam-se as imagens de satélites Image Digital Globe do Google Earth (2002-2011), a carta topográfica IBGE Folha Pedro Leopoldo (SE-23-Z-C-V-2), o Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais executado pelo CPRM, o Projeto VIDA também do CPRM, a Base cartográfica de hidrografia da ANA, o Banco de dados geoespacializados de cavernas do ICMBIO/CECAV, o Cadastro Nacional de Cavernas – CNC da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE e a série APA Carste de Lagoa Santa, fruto do convênio entre IBAMA e CPRM.

Para os aspectos socioeconômicos, utilizou-se o Censo 2010 do IBGE, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA, mas também o Sistema Estadual de Informações sobre

² Prospecção exocárstica é uma das etapas iniciais dos estudos espeleológicos. A atividade é realizada por meio de caminhamentos em toda a extensão da área de interesse, buscando reconhecer os elementos externos dos sistemas cársticos, bem como a geologia local (litologias e estruturas), indicadores geomorfológicos (afloramentos, dolinas, paredões, vales, entre outros) e hidrológicos (sumidouros, ressurgências) favoráveis à existência de cavidades naturais subterrâneas (RUBBIOLI, 2011).

Saneamento – SEIS da Fundação João Pinheiro, além da Secretaria de Desenvolvimento Urbano do município de Matozinhos-MG, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA e novamente a série APA Carste de Lagoa Santa do convênio entre IBAMA e CPRM.

Para a questão da qualidade de água destacam-se o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS do CPRM, o Sistema Estadual do Meio Ambiente – SISEMA da SEMAD e os relatórios de monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. No que diz respeito às legislações, embasou-se na Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, e Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH, de 05 de maio de 2008, para águas superficiais e na Resolução CONAMA n.º 396, de 03 de abril de 2008, e Portaria Ministério da Saúde n.º 518, de 25 de março de 2004 para águas subterrâneas e consumo humano, respectivamente.

De forma geral, utilizou-se também publicações, artigos e trabalhos científicos relacionados com os temas carste e qualidade de água, disponíveis como capítulos de livro, monografias, dissertações, teses ou apresentadas em eventos científicos, sendo estes desenvolvidos tanto na área de estudo, como em demais localidades. Dentre eles destacam-se os trabalhos de Kohler (1989), Auler (1994), Piló (1998), Berbert-Born (2002) e Karmann (2003) no que se refere a carste e os trabalhos de Hirata (1993), Sisinno e Moreira (1996) e Tucci e Cabral (2003) no que se refere a qualidade de água.

5.2 Levantamento de campo

O levantamento de campo ocorreu em duas etapas: reconhecimento da área, juntamente com uma prospecção exocárstica, que culminaram na seleção dos pontos de amostragem de água, e depois a avaliação das condições de coleta nos locais escolhidos.

O reconhecimento da área foi direcionado, por análises pré-campo de imagens de satélites Image Digital Globe do Google Earth, carta topográfica do IBGE, mapas geológicos, bases de hidrografia, localização de poços de monitoramento piezométrico³

³ Poços de monitoramento piezométrico ou piezômetros são furos de observação que servem para monitoração dos níveis de água nos aquíferos.

e direitos de outorgas⁴. A pré-avaliação permitiu identificar corpos hídricos a serem analisados, próximos ao lixão.

Esta etapa ocorreu no dia 06 de janeiro de 2013 e teve como resultados os mapeamentos dos acessos, o uso e ocupação do solo, a localização precisa do lixão e de três lagoas, das quais duas foram selecionadas como pontos de amostragem de água superficial. O ponto 01 referiu-se à lagoa localizada cerca de 800 metros na direção sudoeste do lixão, nas imediações da antiga mineração da Calmaco, e o ponto 02 referiu-se à lagoa localizada nas imediações da mineração Belocal, distante aproximadamente 1.100 metros na direção sudeste do lixão. Já a terceira lagoa, mesmo estando mais próxima do lixão, cerca de 700 metros, não foi considerada para amostragem por estar imediatamente à jusante da mineração Eincal e, podendo estar mais influenciada pela mineração do que pelo lixão.

No que se refere aos poços de monitoramento piezométrico, potenciais locais de amostragem de água subterrânea, localizados nas proximidades de acordo com o SIAGAS (CPRM, 2013), um foi localizado, mas encontrava-se desativado e o segundo não foi localizado. Já os locais de outorgas próximos, de acordo com o SISEMA (2013), todos se encontram dentro das propriedades vizinhas, das empresas mineradoras e, portanto, também não foram possíveis de serem incluídos. A prospecção exocárstica, a nas fontes já citadas, e também em consultas aos bancos de dados de cavernas do ICMBIO/CECAV (2013) e do CNC (SBE, 2013). Neste último a pesquisa retornou informações sobre uma caverna cadastrada em 1991 pelo projeto VIDA do CPRM como Gruta do Meandro Abismante, sob o código MG-900, que se encontra distante aproximadamente 250 metros a leste do lixão e com a informação de hidrologia ativa. Em campo a Gruta Meandro Abismante foi localizada e pela confirmação da existência da drenagem subterrânea a mesma foi escolhida como o terceiro ponto de amostragem.

Além da localização da caverna, a prospecção ocorreu também com caminhamentos exploratórios por uma área delimitada como de maior influência do lixão. Essa delimitação embasou-se nos acidentes geográficos, tais como divisores de águas, mas também por proximidade e excluindo as áreas de mineração já fortemente

⁴ Direito de outorga é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

antropizadas que circundam a área de estudo. Em seguida buscou-se reconhecer a geologia, indicadores geomorfológicos (afloramentos, dolinas, paredões, entre outros) e hidrológicos (drenagens, lagoas, sumidouros e ressurgências) que resultou no mapa de pontos de interesse da pesquisa. Toda a etapa de reconhecimento da área e prospecção exocárstica foi realizada com o auxílio de receptores de satélites GPSmap Garmin 60csx, configurados em UTM 23K e datum SAD-69 registrando os caminhamentos e pontos de interesse para análise em sistema de informação geográfica (SIG), na plataforma ArcGIS 9.3.

A segunda etapa de campo ocorreu no dia 27 de janeiro de 2013 para avaliação dos pontos selecionados para amostragem, e suas condições logísticas para o dia da coleta de água. Verificada a necessidade de instalação de equipamentos para descida no ponto de coleta de águas subsuperficiais, o procedimento foi realizado nos dias seguintes (Figuras 5.1 e 5.2).

Figura 5.1 (esquerda) – Ancoragens artificiais na rocha para acesso por corda até drenagem subterrânea ao fundo da caverna; Figura 5.2 (direita) – Utilização de equipamentos e técnicas verticais para acessar a drenagem subterrânea na caverna.



Fotos: Do autor.

5.3 Seleção de parâmetros físico-químicos a serem analisados

Buscando um equilíbrio entre aprofundamento da pesquisa e custos envolvidos, a seleção dos parâmetros físico-químicos a serem analisados baseou-se na fonte de contaminação mais provável existente na área de estudo, no caso o lixão com seus resíduos dos mais variados possíveis. Foram selecionados 26 parâmetros:

- PH e condutividade elétrica⁵, a fim de verificar o equilíbrio de íons e quantidade de íons dissolvidos na água, respectivamente, podendo responder questões relacionadas ao tempo de armazenamento das águas no sistema;
- Nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal, a fim de indicar contaminação recente por matéria orgânica (nitrogenada);
- Nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito, a fim de indicar matéria orgânica oxidada ou contaminação remota de matéria orgânica;
- Nitrogênio total e nitrogênio Kjeldahl, ambos a fim de obter valores para comparação das proporções dos nitrogênios listados anteriormente;
- DBO e DQO, a fim de avaliar a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias e através de um agente químico, respectivamente. A comparação dos valores poderia indicar contaminação por matéria orgânica;
- Oxigênio Dissolvido – OD, a fim de indicar degradação da matéria orgânica, pois os microrganismos heterotróficos utilizam o oxigênio comoceptor final de elétrons da oxidação da matéria orgânica;
- Fósforo total, proveniente da matéria orgânica e importante indicador de eutrofização dos lagos.
- Fenóis, a fim de verificar contaminação por cosméticos, produtos de limpeza, alguns derivados de petróleo, etc;
- Hidrocarbonetos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno), a fim de verificar contaminação por disposição ilegal de materiais oleosos, combustíveis, materiais de pintura, pois são utilizados como solventes de tintas, e outros derivados do petróleo, etc;
- Zinco, cromo e chumbo, a fim de verificar contaminação por materiais de limpeza, tintas, vernizes, além de pilhas e baterias, especificamente para o chumbo e zinco;
- Cádmio, níquel, prata, mercúrio e lítio, também a fim de verificar contaminação por disposição de pilhas e baterias, além de lâmpadas fluorescentes, especificamente para o mercúrio; e

⁵ No item resultados não aparecem os dados dos parâmetros PH e condutividade elétrica porque os mesmos não foram analisados por motivo de falha do laboratório contratado.

- Coliformes termotolerantes do tipo *E. coli*, a fim de verificar presença de microrganismos patogênicos, normalmente de origem fecal.

5.4 Amostragem das águas

A amostragem das águas superficiais ocorreu no dia 14 de fevereiro de 2013, a partir das 11 horas, onde para cada ponto foi coletada água disposta em seguida em nove frascos estéreis, conforme figuras 5.3 e 5.4. No quadro 5.1 abaixo podemos observar as quantidades, volume de água e substâncias de preservação quando necessário dos frascos utilizados, conforme metodologia do laboratório analisador:

Quadro 5.1 – Quantidades e características dos frascos utilizados para as coletas.

Quantidade	Tipo de frasco	Volume	Preservação
1	Pote Nasco	100 ml	-
2	PET plástico	1000 ml	-
1	PET plástico	100 ml	H ₂ SO ₄
1	PET plástico	250 ml	HNO ₃
2	PET plástico	1000 ml	H ₂ SO ₄
1	Vial	40 ml	HCl
1	Vial	40 ml	HCl

Figura 5.3 (esquerda) – Diferentes frascos para análise dos diferentes parâmetros físico-químicos; Figura 5.4 (direita) – Realização da coleta e preenchimentos dos frascos no ponto 01.



Fotos: Do autor.

Conforme ilustram as figuras 5.5 e 5.6 abaixo, os frascos foram devidamente etiquetados buscando facilitar sua identificação posterior e as medidas de oxigênio dissolvido – OD e temperatura foram tomadas em campo com o auxílio de um Oxímetro AT 140 da Alfakit.

Figura 5.5 (esquerda) – Frascos preenchidos com água coletada no ponto 03; Figura 5.6 (direita) – Medição de OD no ponto 03.



Fotos: Do autor.

Imediatamente após o preenchimento dos frascos com água coletada, os mesmos foram mantidos em caixa térmica com gelo durante todo o período até serem submetidos ao laboratório às 17 horas e 50 minutos, menos de sete horas do momento da coleta. Logo após a amostragem também foram preenchidas as fichas de coleta, onde as condições locais foram anotadas, conforme podem ser observadas nos anexos.

5.5 Análises físico-químicas das amostras de água

As análises laboratoriais dos parâmetros físico-químicos foram realizadas mediante contratação de serviços da Bioagri Ambiental Ltda. Segundo a contratada as análises foram realizadas conforme a última versão do *Standard Methods* (fevereiro de 2013), conforme abaixo:

Nitrogênio orgânico: POP PA 007 / SMEWW 4500 Norg C

Nitrogênio amoniacal: POP PA 161 / SMEWW 4500 NH3 F

Nitrito: POP PA 161 / USEPA 354.1

Nitrato: POP PA 161 / SMEWW 4500-NO3 H

Nitrogênio total: Soma do NTK, NO3 e NO2

Nitrogênio total Kjeldahl: POP PA 007 / SMEWW 4500 Norg C, NH3 E

DBO: POP PA 001 / SMEWW 5210 B

DQO: POP PA 002 / SMEWW 5220 D

Fósforo total: POP PA 030 / SMEWW 4500 P - E

Índice de Fenóis - POP PA 155 / SMEWW 5530 D

Metais (ICP-MS): POP PA 038 / SMEWW 3125 B, USEPA 6020 A

VOC: POP PA 075 / USEPA 8260C, 5021A

Coliformes: POP PA 040 / SMEWW 9223 A e B

Exceção para a medida de OD que foi tomada em campo e, portanto seguiu as orientações de calibração do Oxímetro AT 140 da Alfakit conforme manual (ALFAKIT, sem data), que orienta que primeiramente o equipamento deve ser zerado e em seguida calibrado com a medida do ar (atmosfera) em 20,9 mg/L, antes de realizar as leituras nas amostras de água.

Ademais as especificações técnicas do oxímetro AT 140 da Alfakit são:

Faixa de medição de oxigênio: 00,0 ~ 20,0 ppm O₂ (ppm=mg/L)

Resolução: 0,1 ppm

Precisão: +/- 2% em final de escala

Tipo de sensor: célula de clark

Tempo de estabilização: 3 minutos

Compensação em temperatura: automática

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Ponto 01

O ponto 01 corresponde a uma lagoa existente nas proximidades da antiga mineração da Calmaco, localizada a cerca de 800 metros na direção sudoeste do lixão e a uma altitude de 802 metros, 70 abaixo do depósito.

A lagoa é uma dolina inundada, provavelmente devido à impermeabilização de sua base pelo acúmulo e compactação de materiais argilosos (Figura 6.1).

Figura 6.1 – Aspecto da lagoa denominada Ponto 01 de amostragem de água superficial, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

De acordo com imagens históricas obtidas a partir do Google Earth percebe-se que o nível de água da lagoa varia bastante nas estações secas e chuvosas. Em fevereiro de 2013, momento da coleta, o nível de água estava relativamente cheio e de aspecto turvo.

Fatores que também podem influenciar a qualidade das águas no Ponto 01 podem ser identificados nas fotografias. Entre eles, destaca-se a presença de ponto de mineração já desativado, criação de gado, disposição de pequenas quantidades de lixo doméstico pela população local.

No entanto, os resultados das análises de água do local (Quadro 6.1), apresentou alteração apenas nos valores de DBO e Fósforo total em relação à Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, se

considerando águas classe 2, 380% e quase 1000% de violação respectivamente. Ambos os parâmetros alterados se relacionam alta concentração de matéria orgânica.

Segundo o CETESB (2010) o Fósforo total aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários, que não é o caso. Por outro lado, as águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais devido a fertilizantes, pesticidas e químicas em geral, o que é compatível com o uso do solo local.

Dessa forma, podemos concluir que a análise identifica que no Ponto 01 não há contaminação por chorume produzido pelo lixão. Sendo ainda os lixos encontrados no local oriundos de disposição incorreta de lixo pelas comunidades em terrenos baldios, a substituição da vegetação natural por pastagens, inclusive das matas ciliares, e a utilização de fertilizantes, pesticidas e químicas em geral na agricultura, que somados apresentam alto potencial de poluição.

Outro fator que fortalece a hipótese que o lixão não contribui gravemente com a qualidade da água do Ponto 01 são os valores pouco alterados. No caso do DBO, por exemplo, o valor de 24 mg/L como resultado é um valor obtido comumente em efluentes tratados.

Quadro 6.1 – Resultados dos parâmetros analisados no ponto 01 e respectivos Valores Máximos Permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, Art 14°.

Parâmetros	Resultados analíticos	VMP
Nitrogênio Total	3,4 mg/L	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	3,11 mg/L	-
Nitrogênio Orgânico	2,9 mg/L	-
Nitrogênio Amoniacal	0,2 mg/L	0,5 mg/L
Nitrato (como N)	0,3 mg/L	10 mg/L
Nitrito (como N)	< 0,02 mg/L	1 mg/L
DBO	24 mg/L	5 mg/L
DQO	39 mg/L	-
OD	9,7 mg/L	-
Fósforo Total (ambiente lântico)	0,32 mg/L	0,03 mg/L
Índice de Fenóis	0,001 mg/L	0,003 mg/L
Benzeno	< 0,001 mg/L	0,005 mg/L
Tolueno	< 1 µg/L	2 µg/L
Xilenos	< 3 µg/L	300 µg/L
Etilbenzeno	< 1 µg/L	90 µg/L
Zinco	0,0198 mg/L	0,18 mg/L
Cromo	< 0,001 mg/L	0,05 mg/L
Chumbo	< 0,001 mg/L	0,01 mg/L

Cádmio	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L
Níquel	< 0,001 mg/L	0,025 mg/L
Prata	< 0,001 mg/L	0,01 mg/L
Mercúrio	< 0,0001 mg/L	0,0002 mg/L
Lítio	< 0,001 mg/L	2,5 mg/L
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	344 NMP/100mL	1000 NMP/100mL

6.2 Ponto 02

O ponto 02, uma lagoa existente nas imediações da mineração Belocal, localizada a cerca de 1.100 metros na direção sudeste do lixão e aproximadamente 765 metros de altitude, 107 abaixo do lixão. Sobre sua gênese, há indícios de que essa possa ser fruto de barramento artificial, pois a mesma apresenta algumas estruturas realizadas pela mineradora. Nesta lagoa não há maciços aflorantes (figura 6.2) e nem cavernas próximas.

Da mesma forma que na lagoa anterior, as imagens do Google Earth indicam que o nível de água da lagoa também varia bastante nas estações secas e chuvosas de cada ano. No momento da coleta, em fevereiro de 2013, o nível de água também estava relativamente alto, com aspecto levemente turvo.

Figura 6.2 – Aspecto da lagoa denominada Ponto 02 de amostragem de água superficial, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

No entorno desta lagoa as alterações antrópicas também são marcantes. A jusante tem-se a mineração Belocal e todas suas estruturas de mineração e beneficiamento, e, a montante, extensas áreas de pastagens e criação de gado em meio há afloramentos calcários isolados e diversas dolinas.

A mineração aparentemente não influencia na qualidade de água da lagoa, pois nela não há lançamento de efluentes e todas as estruturas da mineração estão dispostas a jusante da lagoa, logo, se há influências será nos corpos de água a jusante.

Por outro lado, conforme se observa a área pisoteada nas margens, o gado tem acesso à lagoa para dessedentação, podendo influenciar diretamente a qualidade da água no local. O gado, comumente apresenta em seu trato intestinal bactérias do tipo coliformes termotolerantes, que são expostos ao ambiente por meio das fezes. As fezes, mesmo que não sejam despejadas diretamente na lagoa, podem ser carregadas do pasto a centenas de metros em eventos pluviométricos para as áreas mais rebaixadas, no caso, a lagoa. Os resultados das análises de água do local (Quadro 6.2) acusaram valores de coliformes termotolerantes alterados em 729% em relação à Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, se considerando águas classe 2, além de pequena alteração de Fósforo total (66%).

A questão do Fósforo total já foi discutida anteriormente e se aplica da mesma forma. Pode ser oriunda de materiais depositados no lixão e carregados por enxurradas, mas mais provavelmente em função de águas drenadas de áreas agrícolas com componentes de fertilizantes, pesticidas e químicas em geral. Contribui de toda forma, negativamente para a qualidade da água.

Já a questão dos coliformes termotolerantes, como já mencionado, esses são oriundos do trato intestinal de qualquer animal de sangue quente e, portanto, conforme Hirata (1993), suas principais fontes são esgotos domésticos e demais efluentes urbanos, que não são o caso, e criação de gado e outros animais, que coincide com a área em questão.

Quadro 6.2 – Resultados analíticos dos parâmetros analisados no ponto 02 e respectivos Valores Máximos Permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, Art 14°.

Parâmetros	Resultados analíticos	VMP
Nitrogênio Total	2,2 mg/L	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	0,29 mg/L	-
Nitrogênio Orgânico	0,29 mg/L	-
Nitrogênio Amoniacal	< 0,1 mg/L	0,5 mg/L
Nitrato (como N)	1,9 mg/L	10 mg/L
Nitrito (como N)	0,04 mg/L	1 mg/L
DBO	< 2 mg/L	5 mg/L
DQO	< 5 mg/L	-
OD	6,2 mg/L	-

Fósforo Total (ambiente lântico)	0,05 mg/L	0,03 mg/L
Índice de Fenóis	< 0,001 mg/L	0,003 mg/L
Benzeno	< 0,001 mg/L	0,005 mg/L
Tolueno	< 1 µg/L	2 µg/L
Xilenos	< 3 µg/L	300 µg/L
Etilbenzeno	< 1 µg/L	90 µg/L
Zinco	0,0463 mg/L	0,18 mg/L
Cromo	< 0,001 mg/L	0,05 mg/L
Chumbo	< 0,001 mg/L	0,01 mg/L
Cádmio	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L
Níquel	0,0013 mg/L	0,025 mg/L
Prata	< 0,001 mg/L	0,01 mg/L
Mercúrio	< 0,0001 mg/L	0,0002 mg/L
Lítio	< 0,001 mg/L	2,5 mg/L
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	8290 NMP/100mL	1000 NMP/100mL

6.3 Ponto 03

O ponto 03 é o local de amostra de água subterrânea e corresponde a uma drenagem disposta no interior de uma caverna cuja localização em relação ao lixão se dá a apenas cerca de 250 metros de distância para leste e aproximadamente 52 metros a menos em altimetria, em um afloramento calcário residual, rodeado de uma úvala e uma série de dolinas.

A caverna é conhecida como Gruta Meandro Abismante, facilmente identificada pela sua gênese meandrante e com desníveis verticais (Figura 6.3) e foi alvo de pesquisas detalhadas do Projeto VIDA do CPRM na década de 90 em função de apresentar uma fauna bastante peculiar, contendo numerosa colônia de morcegos hematófagos, fato pouco comum na região, e também pela identificação de uma espécie de isópode troglóbio⁶ em seu interior (CPRM, 1995).

A drenagem subterrânea tem aspecto límpido, apresenta temperatura em média 3°C menor que as superficiais e é predominantemente de fluxo turbulento raso, ou seja, de recarga, resposta de eventos pluviais recentes. A caverna está bem conservada, apresentando apenas na porção de entrada pequena quantidade de plásticos. No entorno há também pastagens e criação de gado por toda a área a montante e a jusante da caverna.

⁶ Troglóbios são organismos extremamente especializados, que só vivem em ambientes subterrâneos, muito sensíveis às perturbações ambientais.

Figura 6.3 – Aspecto de entrada da Gruta Meandro Abismante, acesso ao Ponto 03 de amostragem de água subterrânea, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

Contudo, no que se refere aos resultados obtidos nas análises físico-químicas (Quadro 6.3), apenas coliformes termotolerantes apresentaram-se alterados em relação à o uso preponderante “Consumo Humano” utilizando a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. No entanto como a legislação para água subterrânea é mais restritiva que a utilizada para as águas superficiais, a violação deste parâmetro se apresenta em 670.000%.

Pelas condições locais, interpretamos que o lixão possa contribuir menos significativamente para a qualidade da água do que o a criação de gado, justamente por que resíduos sólidos de lixões ou aterros não são considerados principais fontes de contaminação por coliformes como a criação de gado e demais animais são, mas também em função da área de contribuição de água para a caverna ser composta por pastagens onde o gado se alimenta e defeca cotidianamente, conforme se pode observar na figura 6.4 abaixo.

Figura 6.4 – Pastagens para gado em toda a área de contribuição de água para a Gruta Meandro Abismante e lixão ao fundo, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

Quadro 6.3 – Resultados analíticos dos parâmetros analisados no ponto 03 e respectivos Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, capítulo III, Art. 6º.

Parâmetros	Resultados analíticos	VMP
Nitrogênio Total	1500 µg/L	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	180 µg/L	-
Nitrogênio Orgânico	180 µg/L	-
Nitrogênio Amoniacal	< 100 µg/L L	-
Nitrato (como N)	1300 µg/L	10000 µg/L
Nitrito (como N)	< 20 µg/L	1000 µg/L
DBO	< 2 mg/L	-
DQO	< 5 mg/L	-
OD	7,2 mg/L	-
Fósforo Total (ambiente lótico)	0,06 mg/L	-
Índice de Fenóis	1 µg/L	3 µg/L
Benzeno	< 1 µg/L	5 µg/L
Tolueno	< 1 µg/L	170 µg/L
Xilenos	< 3 µg/L	300 µg/L
Etilbenzeno	< 1 µg/L	200 µg/L
Zinco	31,3 µg/L	5000 µg/L
Cromo	< 1 µg/L	50 µg/L
Chumbo	< 1 µg/L	10 µg/L
Cádmio	< 1 µg/L	5 µg/L
Níquel	< 1 µg/L	20 µg/L
Prata	< 1 µg/L	100 µg/L
Mercúrio	< 0,1 µg/L	1 µg/L
Lítio	< 1 µg/L	3 µg/L
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	6700 NMP/100mL	ausentes em 100mL

7 CONCLUSÕES

Como podemos perceber nos resultados apresentados, as contaminações verificadas nos pontos amostrados tanto de água superficial como subterrânea são relacionadas à fósforo total, matéria orgânica e coliformes termotolerantes. Ambos indicadores usualmente associados à usos e ocupação do solo ambientalmente predatórios, praticados pela população local principalmente no que se refere à substituição quase que completa da vegetação natural por pastagens, inclusive das matas ciliares, e a utilização de fertilizantes, pesticidas e químicas em geral na agricultura, além da atividade pecuária.

De qualquer forma, se analisado o VMP de coliformes termotolerantes para o uso preponderante “Consumo Humano” da Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, para águas subterrâneas, percebemos que a violação no Ponto 03 é de 670.000%. Fato grave em função de que 100% da produção de água dos municípios de Capim Branco, Matozinhos e Prudente de Moraes, cidades mais próximas da área de estudo, são oriundas de poços artesianos (COPASA, 2002; PMPM, 2009). Além dos 8,9% dos domicílios de Capim Branco, 9,1% de Matozinhos, 15% de Pedro Leopoldo e 100% de Prudente de Moraes⁷, que não são atendidas pela rede pública de água (SNSA, 2012) e provavelmente têm seu abastecimento de poços ou nascentes sem devido tratamento.

No Ponto 02, de amostra de água superficial, a violação do VMP de coliformes termotolerantes foi de 729%, ou seja, baixa se comparada à violação da água subterrânea. Porém, para este caso, a comparação que se faz é com os cursos de água superficiais monitorados pelo IGAM (2012) na sub-bacia do Rio das Velhas, na qual a área de estudo está inserida.

Exemplos são o Ribeirão da Mata que apresentou NMP 13.000 em 100mL, mas em um ponto que recebe lançamento de esgotos domésticos dos municípios de Matozinhos, Vespasiano, Ribeirão das Neves e Pedro Leopoldo, além de lançamento de

⁷ Segundo o Plano Municipal de Saneamento de Prudente de Moraes (PMPM, 2009), o índice da população com abastecimento de água pela rede municipal é de 95%, no entanto essa água é de captação subterrânea e ainda distribuída in natura para a população, sem nenhum tipo de tratamento. Somente em meados de 2011 a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA assumiu a operação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário da sede municipal e, portanto a partir deste período os sistemas vêm sendo instalados (IMPrensa Oficial do Governo do Estado de Minas Gerais, 2011).

efluentes industriais e de minerações. Outro exemplo, o Ribeirão da Onça que apresentou NMP 1.700 em uma área próxima as suas cabeceiras. Logo, a conclusão que temos é que para uma área de cabeceira, como é o caso da área de estudo, o valor de 8.290 é um valor relativamente alto.

Por outro lado, podemos observar que em nenhum ponto amostrado acusou valores alterados de fenóis, hidrocarbonetos BTEX, metais pesados ou compostos inorgânicos. Estes parâmetros, que neste caso, seriam os indicadores de contaminações pelo lixão, pois comumente se apresentam como resíduos de depósitos de produtos de limpeza, cosméticos, alguns derivados de petróleo, materiais oleosos, materiais de pintura tais como tintas, solventes e vernizes, além de lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias.

Em síntese, a hipótese inicial não se comprovou, pois não foram encontrados vestígios de chorume produzido pelo lixão nos pontos amostrados. A única influência do lixão sobre os pontos de amostragem são possíveis escoamentos superficiais na forma de enxurradas, carregando resíduos plásticos do topo da vertente, onde se encontra o lixão, e convergindo para as dolinas subjacentes onde se encontram as lagoas ou demais áreas mais rebaixadas que o lixão.

Por outro lado é certo que um lixão ativo, recebendo resíduos cotidianamente, vem produzindo chorume com alto potencial de contaminação, mas a questão é para onde que o mesmo está indo.

Dessa forma, três novas hipóteses foram levantadas:

1. Os contaminantes terem sido diluídos ou carreados por enxurradas em função dos eventos pluviais que antecederam as coletas e assim não sendo possível verificá-los nas análises laboratoriais;

2. Os contaminantes escoarem por vias subterrâneas que não temos possibilidade de reconhecer superficialmente e portanto, não foram identificados, como por exemplo descontinuidades na rocha como falhas e fraturas que estão encobertas pelos sedimentos;

3. Os contaminantes, por gravidade tendem a ser lixiviado para as porções mais rebaixadas, no caso, preferencialmente para a dolina localizada mais próxima do lixão, cerca de 150 metros pela vertente leste, pois o lixão está posicionado mais voltado para

esta do que para a vertente oeste, além de serem nítidos os ravinamentos e escorregamentos de terra em direção à dolina (Figura 7.1).

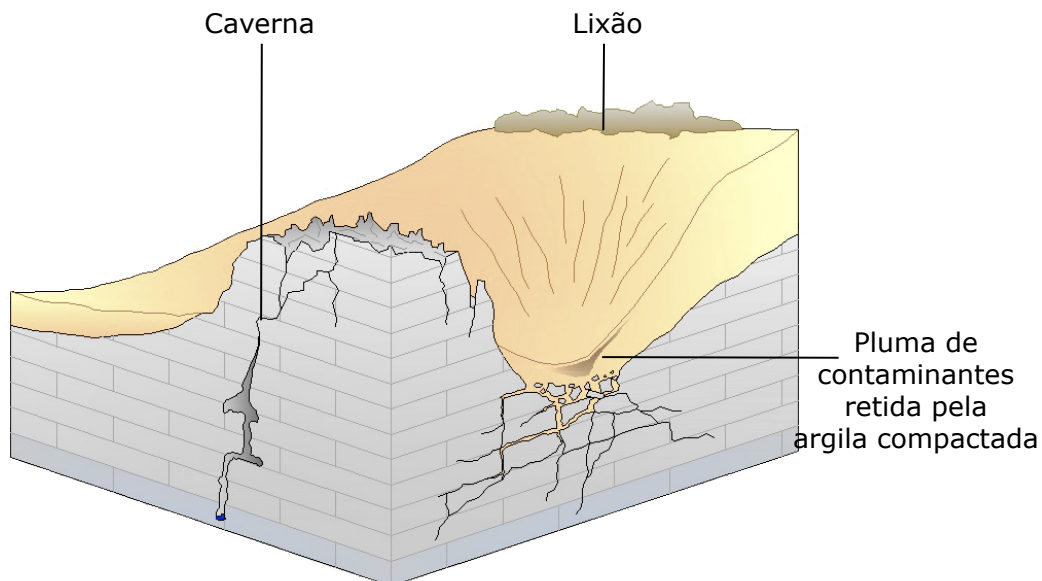
Figura 7.1 – Ravinamentos e escorregamentos de terra no sentido do lixão para a dolina a jusante, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Foto: Do autor.

Esta dolina por sua vez provavelmente apresenta-se impermeabilizada em sua base devido ao acúmulo e compactação de materiais argilosos. Nesta em específico não há acúmulo de água, provavelmente por estar em alta vertente e possuir pequena área de contribuição de águas pluviais, mas por outro lado pode estar retendo contaminantes lixiviados do lixão que está posicionado imediatamente a montante (Figura 7.2).

Figura 7.2 – Modelo ilustrando a pluma de contaminantes retida pela argila no fundo da dolina.



Fonte: Do autor.

Esta hipótese se embasa na geomorfologia e geologia local, pois a área de estudo está localizada na unidade geomorfológica definida por Kohler (1989) como carste encoberto, caracterizado por espessos pacotes de solo sobrejacente as rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas (VIANA; TAVARES; KOHLER, 1998).

Os espessos pacotes de solo, basicamente argila, são oriundos da alteração das rochas pelíticas, lentes de margas e calcarenitos muito finos da Formação Serra de Santa Helena posicionada estratigraficamente acima dos carbonatos da Formação Sete Lagoas (MONTEIRO et al., 1997).

E como argilas apresentarem alto potencial de impermeabilização do solo, justifica-se a hipótese de retenção de contaminantes.

Outro fator que contribui para a defesa principalmente desta última hipótese são os indícios de que a referida dolina vem apresentando um rebaixamento de sua base, ou seja, a dolina continua evoluindo e os sedimentos sendo compactados. No maciço às bordas da dolina, a uma altura de aproximadamente 10 metros acima da base atual da dolina, há marcas de sedimentos e também resíduos sólidos oriundos do lixão, tais como plásticos, metais, vidros, incrustados no maciço rochoso por um tipo de brecha, o que

também pode ser chamado de depósito tecnogênico⁸, que certamente datam de apenas dezenas de anos atrás (Figuras 7.3 e 7.4).

Figura 7.3 (esquerda) – Marcas de sedimentos argilosos no maciço calcário às bordas da dolina, município de Matozinhos, Minas Gerais; Figura 7.4 (direita) – Resíduos sólidos oriundos do lixão incrustados no maciço por um tipo de brecha, município de Matozinhos, Minas Gerais.



Fotos: Do autor.

No entanto recomendamos que estudos sejam continuados, principalmente no que se refere à análises sistemáticas de qualidade do solo, desde o topo da vertente, onde estão sendo depositados os resíduos, até a base da referida dolina. Além de ensaios de permeabilidade do material da base da dolina.

Outra linha que merece aprofundamento é em relação à análises de água do aquífero profundo, este que não pôde ser analisado na presente pesquisa pelo tempo restrito disponível, mas que é muito importante para complementar as análises realizadas que tiveram resposta apenas do escoamento superficial e do lençol superficial (fluxo vadoso), nas lagoas e na drenagem da caverna, respectivamente.

⁸ Depósitos tecnogênicos se caracterizam pela sedimentação de silte, areias, argilas e pedregulhos, juntamente com artefatos de origem antrópica, tais como de plásticos, borrachas, vidro, madeira, metais, etc, ou seja, sinais da ocupação humana nesta era geológica.

8 REFERÊNCIAS

AGENDA 21. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. *Água em Rev*: Suplemento das Águas, v.1, n.1, p.14-33. 1996.

ALFAKIT. *Manual*: oxímetro AT 140. (sem data).

AULER, A.S. *Hydrogeological and hydrochemical characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil*. 1994. 110f. Thesis (Master of Science) - Faculty of the Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green.

AULER, A.S.; PILÓ, L.B. Geoespeleologia. In: INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO) /CECAV. *Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília, DF: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas-CECAV, 2011. (Apostila).

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E.; CARVALHO, G.R.M.; SILVA, C.V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre: ABES, 2000. p.1-12.

BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG - Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Edits.) *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília,DF: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v.1.

CARR, R. *The buggy top cave follow up*. 2007. Disponível em: <<http://insomniacsrairie.blogspot.com.br/2007/09/buggy-top-cave-follow-up.html>>. Acesso em 25 de março de 2013.

CAVALCANTE, I.N.; MATTA, M.A.S. *Poluição das águas*. Belém: AEDI-UFPA, 2012. (Apostila da disciplina).

CAVALCANTI, L.F.; LIMA, M.F.; MEDEIROS, R.C.S.; MEGUERDITCHIAN, I. Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do Rio São Francisco. *Série Espécies Ameaçadas*, Brasília,DF: ICMBIO, n. 27, 140 p. 2012.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS (CECAV). 2013. *Base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECV, situação em 01/03/2013*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>>. Acesso em 14 de março de 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Fósforo total*. 2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/fosforo_total.pdf>. Acesso em 06 de abril de 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). *Produção de água para a região metropolitana de BH*. 2002. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/sistemas/default.htm>. Acesso em 01 de abril de 2013.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Espeleologia: inventário de cavidades naturais subterrâneas da região de Matozinhos-Mocimbo*. [S.l.:s.n], 1995. v. 2 [Projeto VIDA, inédito].

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Mapa geológico do estado de Minas Gerais*. CPRM, 2003.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Projeto Geoparques: Geoparque Morro do Chapéu - BA*. [S.l.]: CPRM, 2009.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). 2013. *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS*. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em 01 de abril de 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 396*, de 03 de abril de 2008.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM); CERH-MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01*, de 05 de maio de 2008.

DUTRA, Georgete Macedo; HORTA, Lília Senna; BERBERT-BORN, Mylène Luiza C. (Org.). *Levantamento espeleológico*. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. v.3 (Série APA Carste de Lagoa Santa).

FERREIRA, C.F. *Impactos ambientais em cavernas - estudo de caso das cavidades do município de Lagoa da Prata/MG*. Belo Horizonte: UFMG/Instituto de Geociências, 2006.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Centro de Estatística e Informações (CEI). *Sistema Estadual de Informações sobre Saneamento (SEIS)*. 2009. Disponível em: <<http://datagerais.fjp.mg.gov.br/>>. Acesso em 12 de abril de 2013.

FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. *Karst geomorphology and hidrology*. 1.ed. London: Unwin Hyman, 1989.

FORD, D.C.; PALMER, A.N.; WHITE, W.B. Landform development: Karst. In: BACK, W.; ROSENSHEIN, J.S.; SEABER, P.R. (Eds.). *The Geology of North America. Hidrogeology*: The Geological Society of America, 1988. v.2.

FOSTER, S.; GARDUÑO, H.; KEMPER, K.; TUINHOF, A.; NANNI, M.; DUNCAN, C. Groundwater quality protection: defining strategy and setting priorities. *GW-MATE Briefing Note* n.8. 2003.

GEOLEITURAS. *Dolinas*. 2010. Disponível em: <<http://geoleituras.wordpress.com/2010/12/26/dolinas/>>. Acesso em 25 de março de 2013.

GILLIESON, D. S. *Caves: processes, development, management*. Malden: Blackwell Publishers, 1996.

GESTÃO DE PROJETOS E INVESTIMENTOS DO INDI (GPI). *Perfis regionais*. 2013. Disponível em: <https://sisindi.indi.mg.gov.br/sistema_integrado/cake_1.1.15.5144/index.php/mon/mon_perfis>. Acesso em 11 de abril de 2013.

HIRATA, R.C.A. Os Recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais. *Revista IG*, São Paulo, v.14, n.1, p.39-62. 1993.

HOUK, V.S. The Genotoxicity of industrial wastes and effluents: a review. *Mutation Research*, v.277, n.2, p.91-138. 1992.

IBMONTESIAO. Igreja Batista Monte Sião. *Caminhada pela trilha da travessia no Parque Estadual do Sumidouro*. 2012. Disponível em: <<http://ibmontesiao.com/2012/04/caminhada-pela-trilha-da-travessia-no-parque-estadual-do-sumidouro/>>. Acesso em 24 de março de 2013.

IMPrensa Oficial do Governo do Estado de Minas Gerais. *Copasa assume sistema de água e esgoto em Prudente de Moraes*. 2011. Disponível em: <<http://www.iof.mg.gov.br/index.php?acao-do-governo/acao-do-governo-arquivo/Copasa-assume-sistema-de-agua-e-esgoto-em-Prudente-de-Moraes.html>>. Acesso em 11 de abril de 2013.

INFOMATOZ. Web Jornalismo, 2011. *Lixo hospitalar está sendo jogado no lixo em Matozinhos*. Disponível em: <<http://www.informatoz.com/index.php?pag=Noticias&modo=Texto&id=4044>>. Acesso em 10 de abril de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico 2010: características urbanísticas do entorno dos domicílios*. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010univentorno.asp?o=9&i=P>>. Acesso em 11 de abril de 2013.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo populacional 2010*. 2012. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/apps/mapa/>>. Acesso em 09 de abril 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Folha Pedro Leopoldo (SE-23-Z-C-V-2)*. 2.ed. [S.l.]: IBGE, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Mapa de vegetação do Brasil*. 1993. [Escala 1:1500.000].
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). 2013. *Base cartográficas digitais: hidrografia*. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/868-consulta-aos-mapas-hidrograficos-de-minas-gerais->>>. Acesso em 01 de abril 2013.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Relatório trimestral: monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: IGAM, 3.trim., 2012.
- JENNINGS, J.N. *Karst geomorphology*. Oxford: Basil Blackwel, 1985.
- KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Org.) *Decifrando a terra*. 2. Reimp. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 2003.
- KOHLER, H.C. *Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa - MG*. 1989. 113f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LAUREANO, F.V. Avaliação de impactos ambientais em terrenos cársticos ou que contenham cavernas. In: INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). *Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília, DF: CECAV, 2011. (Apostila).
- MENDONÇA, Laura M. J. de M. (Org.). *Sócio-economia*. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. v.4 (Série APA Carste de Lagoa Santa).
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília: ABAS, 2007.
- MONTEIRO, V.E.D.; SANTOS, E.A.; JUCÁ, J.F.T. Estudos para dimensionamento de uma cortina de argila para contenção de contaminantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz de Iguaçu. *Anais*. Foz de Iguaçu: ABES, 1997. p.1721-1729.

MORAES, D.S.L.; JORDÃO, B.Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista Saúde Pública*, São Paulo, n.36, v.3, p.370-374. 2002.

NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). *Nonpoint source pollution*. 2008. Disponível em: <http://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_pollution/>. Acesso em 22 de março de 2013.

PILÓ, L.B. *Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú – Carste de Lagoa Santa, MG*. 1998. 268p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PILÓ, L.B. Ambientes cársticos de Minas Gerais: Valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. *O Carste*. Belo Horizonte, v.11, n.3, p. 50-58. Jul. 1999.

PILÓ, L.B.; AULER, A.S. Introdução à espeleologia. In: INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO)/ Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). *Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília: CECV, 2011. (Apostila).

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRUDENTE DE MORAIS (PMPM). *Plano municipal de saneamento*. Prudente de Moraes, 2009.

RUBBIOLI, Ézio. Prospecção espeleológica, topografia e espeleometria de cavernas. In: INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO)/Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). *Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília: CECV, 2011. (Apostila).

RIBEIRO, M.L.; LOURENCETTI, C.; TEIXEIRA, D. Cenários de contaminação da água subterrânea por atividades agrícolas. *Revista UNIARA*, Araraquara, n.17/18, p. 181-194. 2005/2006.

RODRIGUEZ, A.F. Os Caminhos das águas. *Agroanalysis*, v.18, n.0, p.22-26.1998.

SÁNCHEZ, L. E. O Sistema: unidade lógica de referência nos estudos espeleológicos. *Espeleo-Tema*, São Paulo, v. 16, p. 3-14, 1992.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA (SBE). 2013. *Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil* (CNC - Brasil). Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/>>. Acesso em 14 de março de 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. (SEMAD). *Sistema Estadual do Meio Ambiente – SISEMA*. 2013. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/#>>. Acesso em 01 de abril de 2013.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2010. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2012.

SISINNO, C.L.S.; MOREIRA, J.C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n.12, p.515-523. 1996.

SMITH, D. I. The nature of karst aquifers and their susceptibility to pollution. In: WILLIAMS, P. W. (Ed.). *Karst Terrains: environmental changes and human impact*. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 41-58. (Catena Supplement 25)

SOUSA, H.A. (org.) *Zoneamento ambiental da APA Carste de Lagoa Santa-MG*. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1997.

STEINKELLNER, H.; MUN-SIK, K.; HELMA, C.; ECKHER, S.; et al. Genotoxic effects of heavy metals: comparative investigation with plant bioassays. *Environ Mol Mutagen*, 1998.

TEIXEIRA, W.; LINSKER, R. (Coord.). *Chapada Diamantina: águas no sertão*. São Paulo: Terra Virgem, 2005 (Coleção Tempos do Brasil).

TUCCI, C.E.M.; CABRAL, J.J.S.P. *Qualidade da água subterrânea*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2003. (Documento final).

VIANA, Haroldo S.; TAVARES, Volmir P.; KOHLER, Heinz Charles. (Org.). *Síntese da geologia, recursos minerais e geomorfologia*. Belo Horizonte: IBAMA;CPRM, 1998. v. 1 (Série APA Carste de Lagoa Santa).

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WHITE, W.B. *Geomorphology and hidrology of Karst Terrains*. 1.ed. Oxford: Oxford University Press, 1988.

WILLIAMS, P. W. (Ed.). *Karst terrains: environmental changes and human impact*. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 251-268. (Catena Supplement 25).

9 ANEXOS

9.1 Anexo A – Boletins de resultados das análises de água



RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 32559/2013-0

Processo Comercial N° 839/2013-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo
Endereço:	Rua Caputira, 41 - Apto 301 - Floresta - Belo Horizonte - MG - CEP: 31.110-200 .
Nome do Solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Ponto 01		
Amostra Rotulada como:	Água Superficial		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	14/02/2013 11:00:00
Data da entrada no laboratório:	14/02/2013 17:50	Data de Elaboração do BA:	28/02/2013

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP COPAM01 Art 14
Nitrogênio Total	mg/L	0,5	3,4	---
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	0,5	3,11	---
Nitrato (como N)	mg/L	0,3	0,3	10
Nitrito (como N)	mg/L	0,02	< 0,02	1
Nitrogênio Orgânico	mg/L	0,1	2,9	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	0,2	Obs (1)
DBO	mg/L	9	24	5
DQO	mg/L	5	39	---
Fósforo Total	mg/L	0,01	0,32	Obs (2)
Índice de Fenóis	mg/L	0,001	0,001	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Tolueno	µg/L	1	< 1	2
Xilenos	µg/L	3	< 3	300
Etilbenzeno	µg/L	1	< 1	90,0
Zinco	mg/L	0,001	0,0198	0,18
Cromo	mg/L	0,001	< 0,001	0,05
Chumbo	mg/L	0,001	< 0,001	0,01
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,001
Níquel	mg/L	0,001	< 0,001	0,025
Prata	mg/L	0,001	< 0,001	0,01
Mercurio	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,0002
Lítio	mg/L	0,001	< 0,001	2,5
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	NMP/100mL	1	344	1000

VMP COPAM01 Art 14 Valores Máximos Permitidos pelo COPAM/CERH-MG 01 de 05 de Maio de 2008 - Artigo 14 - Padrão para águas classe 02.

Obs (1): VMP em função do pH: 3,7mg/L para pH <=7,5; 2,0mg/L para 7,5 < pH < 8,0; 1,0mg/L para 8,0 < pH < 8,5; 0,5mg/L para pH > 8,5.
Obs (2): VMP Ambiente Léntico: 0,030 mg/L. / VMP Ambiente Intermediário: 0,050 mg/L. / VMP Ambiente Lótico: 0,100 mg/L.

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra n° 32559/2013-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 32559/2013-0 - Piracicaba, 32559/2013-0 - Belo Horizonte anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os Valores Máximos Permitidos pelo COPAM/CERH-MG 01 de 05 de Maio de 2008 - Artigo 14 - Padrão para águas classe 02, podemos observar que: O(s) parâmetro(s) DBO, Fósforo Total não satisfazem os limites permitidos.

Chave de Validação: e5b4e52e50ea791dadb7ae923772b

Aline Vasca
Controle de Qualidade
CRQ 04402265 - 4ª Região

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 32558/2013-0

Processo Comercial N° 839/2013-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo
Endereço:	Rua Caputira, 41 - Apto 301 - Floresta - Belo Horizonte - MG - CEP: 31.110-200 .
Nome do Solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

DADOS REFERENTES A AMOSTRA			
Identificação do Cliente:	Ponto 02		
Amostra Rotulada como:	Água Superficial		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	14/02/2013 12:45:00
Data da entrada no laboratório:	14/02/2013 17:50	Data de Elaboração do BA:	28/02/2013

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP COPAM01 Art 14
Nitrogênio Total	mg/L	0,5	2,2	---
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	0,1	0,29	---
Nitrato (como N)	mg/L	0,3	1,9	10
Nitrato (como N)	mg/L	0,02	0,04	1
Nitrogênio Orgânico	mg/L	0,1	0,29	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	< 0,1	Obs (1)
DBO	mg/L	2	< 2	5
DQO	mg/L	5	< 5	---
Fósforo Total	mg/L	0,01	0,05	Obs (2)
Índice de Fenóis	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Tolueno	µg/L	1	< 1	2
Xilenos	µg/L	3	< 3	300
Etilbenzeno	µg/L	1	< 1	90,0
Zinco	mg/L	0,001	0,0463	0,18
Cromo	mg/L	0,001	< 0,001	0,05
Chumbo	mg/L	0,001	< 0,001	0,01
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,001
Níquel	mg/L	0,001	0,0013	0,025
Prata	mg/L	0,001	< 0,001	0,01
Mercurio	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,0002
Lítio	mg/L	0,001	< 0,001	2,5
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	NMP/100mL	100	8290	1000

VMP COPAM01 Art 14 Valores Máximos Permitidos pelo COPAM/CERH-MG 01 de 05 de Maio de 2008 - Artigo 14 - Padrão para águas classe 02.

 Obs (1): VMP em função do pH: 3,7mg/L para pH <=7,5; 2,0mg/L para 7,5 < pH < 8,0; 1,0mg/L para 8,0 < pH < 8,5; 0,5mg/L para pH > 8,5.
 Obs (2): VMP Ambiente Léntico: 0,030 mg/L. / VMP Ambiente Intermediário: 0,050 mg/L. / VMP Ambiente Lótico: 0,100 mg/L.

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abreviação

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra n° 32558/2013-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 32558/2013-0 - Piracicaba, 32558/2013-0 - Belo Horizonte anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os Valores Máximos Permitidos pelo COPAM/CERH-MG 01 de 05 de Maio de 2008 - Artigo 14 - Padrão para águas classe 02, podemos observar que: O(s) parâmetro(s) Coliformes Termotolerantes (E. coli) não satisfazem os limites permitidos.

Chave de Validação: 7843fab851b41e9d2589689401f4fa1



 Aline Vasca
 Controle de Qualidade
 CRQ 04402265 - 4ª Região


RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 32562/2013-0

Processo Comercial N° 839/2013-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo
Endereço:	Rua Caputira, 41 - Apto 301 - Floresta - Belo Horizonte - MG - CEP: 31.110-200 .
Nome do Solicitante:	Rafael Rodrigues Camargo

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Identificação do Cliente:	Ponto 03		
Amostra Rotulada como:	Água Subterrânea		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	14/02/2013 13:45:00
Data da entrada no laboratório:	14/02/2013 17:52	Data de Elaboração do BA:	01/03/2013

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	LQP	VMP - Consumo Humano
Nitrogênio Total	mg/L	0,5	1,5	---	---
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	0,1	0,18	---	---
Nitrato (como N)	µg/L	300	1300	300	10000
Nitrito (como N)	µg/L	20	< 20	20	1000
Nitrogênio Orgânico	mg/L	0,1	0,18	---	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	< 0,1	---	---
DBO	mg/L	2	< 2	---	---
DQO	mg/L	5	< 5	---	---
Fósforo Total	mg/L	0,01	0,06	---	---
Índice de Fenóis	µg/L	1	1,0	10	3
Benzeno	µg/L	1	< 1	2	5
Tolueno	µg/L	1	< 1	5	170
Xilenos	µg/L	3	< 3	15	300
Etilbenzeno	µg/L	1	< 1	5	200
Zinco	µg/L	1	31,3	100	5000
Cromo	µg/L	1	< 1	10	50
Chumbo	µg/L	1	< 1	10	10
Cádmio	µg/L	1	< 1	5	5
Níquel	µg/L	1	< 1	10	20
Prata	µg/L	1	< 1	10	100
Mercurio	µg/L	0,1	< 0,1	1	1
Lítio	µg/L	1	< 1	100	---
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	P/A em 100mL	100	6700	---	Ausentes

LQ P Limite Quantitativo Praticável - Resolução Conama 396 de 3 de Abril de 2008 - Padrões para Água Subterrânea

VMP - Consumo Humano Valores de Referência para Consumo Humano - Resolução Conama 396 de 3 de Abril de 2008 - Padrões para Água Subterrânea

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abreviatura

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra n° 32562/2013-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 32562/2013-0 - Piracicaba, 32562/2013-0 - Belo Horizonte anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os Valores de Referência para Consumo Humano - Resolução Conama 396 de 3 de Abril de 2008 - Padrões para Água Subterrânea podemos observar que: O(s) parâmetro(s) Coliformes Termotolerantes (E. coli) não o satisfazem os limites permitidos.

Chave de Validação: 2b8ebbec60f59b9bf1bcdeb10f2b966

 Milena Albuquerque Controle de Qualidade CRBio 46737101 D - 1ª Região	 Valéria D. Costilho Coordenadora do Controle de Qualidade CRQ 04456607 - 4ª Região
---	--