



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ
DEPARTAMENTO DE MINAS E CONSTRUÇÃO CIVIL GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE MINAS**

THIAGO CLÁUDIO DA SILVA LOPES

**MAPEAMENTO E PESQUISA HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO DO
BARREIRO, ARAXÁ, MG**

**ARAXÁ
2017**

THIAGO CLÁUDIO DA SILVA LOPES

**MAPEAMENTO E PESQUISA HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO DO
BARREIRO, ARAXÁ, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Profa. Me Silvânia Alves Braga de Castro

**Araxá
2017**

FOLHA DE APROVAÇÃO

THIAGO CLÁUDIO DA SILVA LOPES

MAPEAMENTO E PESQUISA HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO DO
BARREIRO, ARAXÁ, MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 22 de junho de 2017.



Prof.^a Me Silvânia Alves Braga de Castro
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Prof. Ms Felipe Valença de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Prof.^a Bruna Letícia dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá

*Aos meus pais,
que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos .e trabalharam muito para
que eu pudesse realizá-los.*

AGRADECIMENTO

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus por não somente ter me dado força para continuar nessa batalha, mas também por ter permitido com que meu pai pudesse ter saúde para poder presenciar esse momento que tanto sonhou.

Aos meus familiares, Nelson da Silva, Ivairde Ferreira Lopes, Idelvane Ferreira Lopes e Matheus Henrique da Silva Lopes, mesmo que de longe sempre me apoiaram e me deram força para vencer os momentos difíceis; coragem para continuar superando as dificuldades e paciência para não me entregar ao desânimo diante das minhas fraquezas. Vocês sempre serão os meus motivos maiores para buscar ser sempre uma pessoa e um profissional melhor.

À Profa. Me Silvânia Alves Braga de Castro, minha orientadora, sem a sua ajuda nada disso seria possível, você acreditou em mim e na minha força de vontade. Saiba que sempre serei grato e me lembrarei da sua importância para a minha construção profissional.

Ao Professor Francisco Neto Valente, grande Chico! Professor o qual sempre tive um grande respeito e que com o passar dos anos se construiu uma amizade, agradeço o auxílio nas atividades de campo e o apoio na realização deste trabalho.

À Técnica de Mineração Michelle Cintra Abud e companheira de graduação, pela colaboração, paciência e por estar sempre disposta a ajudar. Você é uma das peças chave que garantiu o sucesso deste trabalho com suas dicas e experiência.

Ao Técnico de Mineração do Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-MG, João Victor da Silva Alves, pelo o apoio na realização deste trabalho e pela disponibilidade em ajudar sempre que precisei.

A todos os meus professores, os seus ensinamentos foram muito além dos conteúdos do currículo. Tivemos aprendizados importantes para a vida. Vocês são verdadeiros mestres, souberam despertar a nossa admiração de um modo único, e

tornaram uma inspiração para nós alunos.

A minha namorada e sua família que me acolherem de uma forma única em uma cidade até então desconhecida, e que nos momentos de dificuldades tornaram-se meu abrigo, sem vocês essa caminhada seria muito mais difícil, posso dizer que acabo deixando em Araxá uma segunda família.

Aos meus companheiros de república Pedro Henrique Tavares, Willian Fernando Camargo e Miguel Costa Ribeiro por todos esses anos de convívio e de boas lembranças. E a todos os amigos que fiz durante esses anos de faculdade, cada um de vocês fizeram parte desta conquista.

A todos os colaboradores do CEFET-MG, unidade Araxá, por contribuírem na minha formação.

A empresa CBMM por me proporcionar a oportunidade de estagiar e adquirir conhecimentos que foram fundamentais para desenvolver este trabalho, em especial ao departamento de homogeneização.

Por fim, a cada um que sempre torceu e acreditou na minha capacidade.

RESUMO

O projeto de trabalho de conclusão de curso aqui proposto é “Mapeamento e pesquisa hidrogeológica da região do barreiro, Araxá – MG”, sob orientação da prof. Me. Silvania Alves Braga de Castro. A região do barreiro é uma área relativamente pequena envolvendo atividades complexas, como a mineração e o turismo. Além das atividades econômicas essa área tem sido muito utilizada como espaço de lazer pela população de Araxá. Todos esses fatos têm levado a um avanço nos trabalhos de pesquisa e hidrogeologia da região.

O objetivo geral desse projeto é executar os procedimentos aplicados na pesquisa hidrogeológica inicial e comparar os resultados obtidos com dados existentes na literatura. Com isso, são definidos os seguintes objetivos específicos: caracterizar o aquífero local com base no mapeamento das unidades geológicas, inventariar os pontos d'águas e surgências, caracterizar geoquímicamente as águas inventariadas quanto aos constituintes físico-químicos, gerar resultados gráficos e dados que sirvam de ponto de partida para um trabalho preliminar de pesquisa hidrogeológica. A justificativa se dá pela importância dessa área no cenário econômico, político e social local, além de permitir maior conhecimento prático ao aluno, estimulando a formulação de opinião crítica e resolução de problemas, fundamental para sua formação acadêmica e profissional.

Palavras-chaves: Mapeamento hidrogeológico, aquífero, recurso hídrico.

ABSTRACT

The course conclusion project proposed here is "Hydrogeological mapping and research of the barreiro region, Araxá - MG", under the leading of prof. Me. Sylvania Alves Braga de Castro. The barreiro region is a relatively small area involving complex activities, such as mining and tourism. In addition of economic activities, this area has been widely used as a recreation space by Araxá's population. All these facts have led to a progress in the region's research and hydrogeology work.

The project's overall objective is to perform the procedures applied in the initial hydrogeological research and to compare the results obtained with existing data in the literature. Thus, the following specific objectives are defined: characterize the local aquifer based on the geological units mapping, inventory water points and upwellings, geochemically characterize the inventoried waters as to the physical-chemical constituents, generate graphical results and data that serve as a starting point for preliminary hydrogeological research. The justification is given by the area's importance in the local economic, political and social scenario, further on to promote more practical knowledge to the student, stimulating a formulation of critical opinion and problem solving, fundamental for the continuous and professional formation.

Keywords: Hydrogeological mapping. Aquifer. Water resource.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mapa de localização do complexo do Barreiro. Beato <i>et.al.</i> (2000).	14
Figura 2.2 - Produto interno bruto do município. (IBGE: Censo Demográfico 2010).	17
Figura 2.3 - Produto Interno Bruto per capita 2010-2013. (IBGE: Censo Demográfico 2010). .	17
Figura 2.4 - Mapa geológico da sinforma de Araxá. Seer (1999), modificado por Gomes (2017).	18
Figura 2.5 - Mapa geológico do Complexo Alcalino Carbonatítico de Araxá. Biondi (2003).	20
Figura 2.6 - Esquemática do ciclo hidrológico. Karmann (2001).	21
Figura 2.7 - Distribuição percentual da água total no planeta. Adaptado de: WWAP (2006), com base em dados de Shiklomanov e Roddo (2003), modificada por Gonçalves (2011).	23
2.8 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo. Boscardin Borghetti <i>et al.</i> (2004).	25
Figura 2.9 - Ilustração esquemática dos tipos de aquíferos e o fluxo das águas subterrâneas e os tempos de retenção. Fonte: Sanasa.	26
Figura 2.10 - Tipos de aquíferos quanto a litologia. Boscardin Borghetti <i>et al.</i> (2004).....	27
Figura 2.11 - Rede de drenagens associada ao CACB. Raposo (2011).	28
Figura 3.1 - Carta IBGE da região de Araxá (1970).	35
Figura 3.2 – Mapa de localização dos pontos mapeados.	37
Figura 3.3 - Medidor portátil HI 9812-5.	38
Figura 3.4 - Equipamento e seus acessórios.	39
Figura 3.5 - Mapa de pontos de coleta d'água.	40
Figura 3.6 - Recipientes para preservação das amostras.	42
Figura 3.7 - Diagrama de Piper. Feitosa e Filho (2000).	43
Figura 4.1 – a) Afloramento b) Amostra.	44
Figura 4.2- a) Afloramento b) Amostra.....	45
Figura 4.3 - a) Afloramento b) Amostra.....	45
Figura 4.4 - a) PTG-06 b) PTG- 7 e 8.	46
Figura 4.5 - PTG-10.....	47
Figura 4.6 - Mapa Geológico do Barreiro.....	48
Figura 4.7 - Mapa potenciométrico e fluxo da água subterrânea.	49
Figura 4.8 - Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade do aquífero. Fonte: Foster (1987).	51
Figura 4.9- PT-01: Análise da água amostrada na canaleta.	52
Figura 4.10 - PT-02: Vertedouro de coleta.....	53
Figura 4.11 - PT-03: Fonte Andrade Júnior.	53

Figura 4.12 - PT-04: Drenagem do Lago E.....	54
Figura 4.13 - PT-05: Lago superior.....	55
Figura 4.14 - PT-06: Vista exterior e interior da fonte.	55
Figura 4.15 - PT-07: Ponto de coleta de amostra.	56
Figura 4.16 - Mapa de pH.....	57
Figura 4.17 - Mapa de Temperatura.	58
Figura 4.18 - Mapa Condutividade Elétrica.....	59
Figura 4.19 - Mapa de sólidos dissolvidos.....	60
Figura 4.20 - Mapa de condutividade elétrica com informação da fonte Andrade Jr.	61
Figura 4.21 - Mapa de sólidos dissolvidos com informação da fonte Andrade Jr.	62
Figura 4.22 - Diagrama de Piper.....	64

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 2.1 - Evolução populacional da cidade de Araxá. (IBGE: Censo Demográfico 2010)...	16
Tabela 2.2 - Distribuição da população por setores de trabalho. (IBGE: Censo Demográfico 2010).....	16
Tabela 2.3 - Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles liberados. Costa (1965), apud Feitosa e Filho (2000).....	29
Tabela 2.4 - Principais gases e sais que dão sabor a água subterrânea. Feitosa e Filho (2000).	30
Tabela 3.1 - Especificações do equipamento. Fonte: Manual de instruções fornecido pela empresa.	41
Tabela 4.1 - Resultado das análises hidroquímicas.....	64
Tabela 4.2 - Classificação das águas de acordo com os íons constituintes.....	65

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS E QUADROS	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Contexto, econômico, cultural e social do Barreiro.....	14
2.2 Geologia Regional.....	18
2.3 Geologia Local.....	19
2.4 Hidrologia.....	20
2.5 Hidrogeologia.....	24
2.6 Hidroquímica.....	28
2.6.1 Propriedades Físicas.....	29
2.6.2 Propriedades iônicas.....	30
2.6.3 Constituintes iônicos principais.....	30
2.6.4 Apresentações gráficas e Classificações.....	32
2.6.5 Índice de Vulnerabilidade.....	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 COMPILAÇÃO DE DADOS.....	34
3.2 ATIVIDADES DE CAMPO.....	35
3.2.1 MAPEAMENTO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS.....	35
3.2.2 CADASTRO DOS PONTOS D'AGUA E SURGÊNCIAS.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Geologia.....	44
4.2 Caracterização do aquífero.....	48
4.3 Hidroquímica dos pontos inventariados.....	52
5 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

O município de Araxá localiza-se na região do Triângulo mineiro também conhecido como Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais distante aproximadamente 370 km da capital do estado, Belo Horizonte. O distrito do Barreiro situa-se a cerca de seis quilômetros ao sul da sede do município, região que se destaca por ser uma das maiores atrações turísticas do estado, devido a sua exuberante beleza, fontes de águas minerais e o poder medicinal de suas lamas.

Abordando-se o cenário econômico a região ganha destaque devido a presença de duas grandes empresas no ramo da mineração, Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia (CBMM) responsável pela exploração do nióbio (pirocloro) e a empresa Vale Fertilizantes responsável pela exploração do fosfato (apatita). Destaca-se o nióbio por ser um metal raro no mundo, porém abundante no Brasil e com suas maiores reservas na cidade de Araxá.

O presente trabalho tem como tema o mapeamento e pesquisa hidrogeológica da região do barreiro, pois a região demonstra um grande potencial econômico e turístico e com o passar dos anos a necessidade de avanço nos trabalhos de pesquisa e hidrogeologia tem aumentado na região.

A finalidade desse estudo é, portanto, executar os procedimentos aplicados na pesquisa hidrogeológica inicial e comparar os resultados obtidos com dados existentes na literatura.

A água é um recurso mineral fundamental para a existência da vida humana, de uma maneira geral. Acredita-se que esta pesquisa poderá contribuir para uma maior compreensão da geometria e característica dinâmica do aquífero local produzindo, um conhecimento simples sobre os pontos de surgências, tipo de aquífero e qualidade das águas inventariadas quanto às características hidroquímicas.

O controle da qualidade dessas águas e o mapeamento dos pontos de surgência são fundamentais para o planejamento e gerenciamento das mesmas. A importância da região no cenário local reforça a importância do monitoramento desse recurso, além de promover o aprendizado contínuo através de atividades práticas de campo e teórica de revisão bibliográfica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto, econômico, cultural e social do Barreiro

Foi no ano de 1669 que a cidade de Araxá teve os seus primeiros relatos, onde foram encontrados índios chamados de Arachás descendentes dos Cataguás que viviam nas cercanias de Bambuí. Toda a tranqüilidade da região, recursos como água mineral e terra fértil despertaram a cobiça do homem branco. Em 1766 a capitania de Minas Gerais conseguiu o controle da região, o que não se perpetuou por muito tempo, pois o controle da região passa a ser da capitania de Goiás (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2013).

A região do barreiro (Figura 2.1) foi uma das primeiras a ser habitada na cidade, em 1770 surgem as primeiras fazendas de gado. Esses agricultores foram atraídos pela fertilidade das terras, abundância de água e pelo sal mineral da região. Nessa época a economia se baseava na agropecuária e no comércio de trocas.

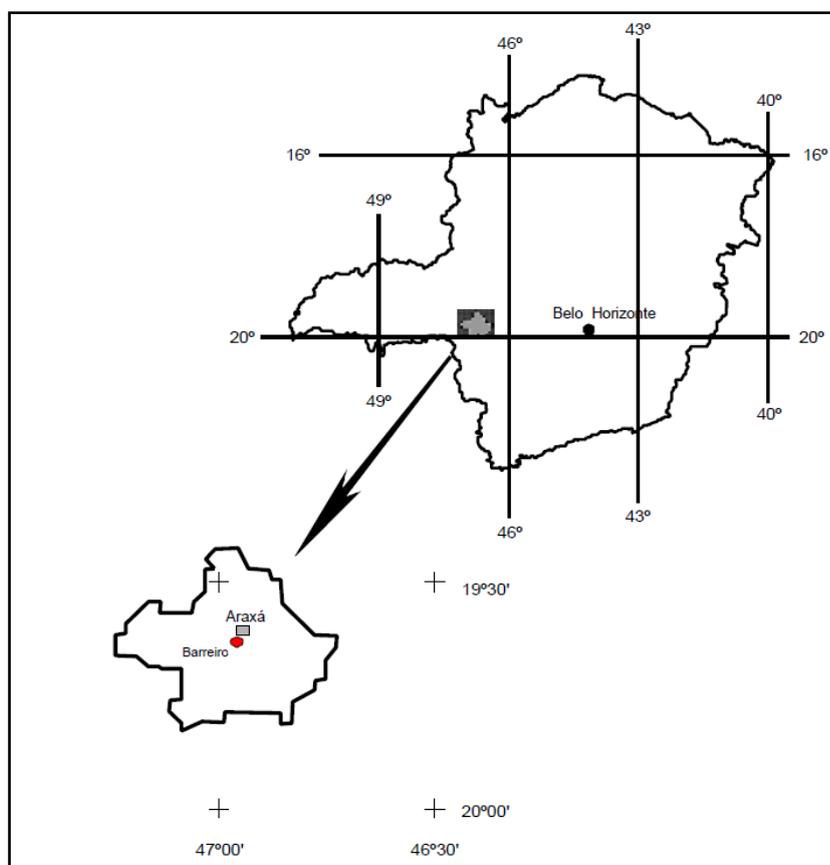


Figura 2.1 - Mapa de localização do complexo do Barreiro. Viana *et.al.* (2000).

Em 1815 a cidade de Araxá volta para o domínio da capitania de Minas Gerais através de requerimento feito à Coroa, essa integração em Minas Gerais veio com a importante contribuição de Dona Beja uma importante personagem na história da cidade. A condição de município foi concebida no ano de 1831, desmembrando-se do município de Paracatu.

O primeiro estudo geológico feito na região do barreiro foi em 1886 pelo Dr. Orville Derby e, no mesmo ano, o Dr. Mello Brandão realizou a primeira análise clínica das águas. Após essa análise pela primeira vez, com um critério médico, o Dr. Joaquim Gonçalves Ramos, prescreveu banhos para fins terapêuticos a um paciente tuberculoso (MAGALHÃES, (1945) apud VIANA *et al.*, (1998)).

O local tornou-se uma referência para a elite da época de 1920, famosas temporadas de banhos ocorriam simultaneamente com os jogos. Durante o governo de Getúlio Vargas deu-se início a construção do Grande Hotel do Barreiro com o slogan de a maior e mais bela estância hidromineral do continente. Após seis anos do início da obra o grande hotel estava pronto. Esta construção foi um marco para a cidade que se deslumbrava com tamanha beleza, ali foram sediados inúmeros congressos, encontros nacionais e internacionais (SENAC, 2017).

O crescimento significativo da cidade iniciou-se na década de 70 com o início das atividades relacionadas a mineração no município, o que despertou o interesse de trabalhadores de outras regiões deslumbrando oportunidade de crescimento profissional. Segundo dados do IBGE colhidos através de censo demográfico e pelo cadastro central de empresas, é possível analisar evolução mais recente da população que reside na cidade e a população ocupada por setores econômicos, dados esses que estão apresentados nas Tabela 2.1 e Tabela 2.2.

Tabela 2.1 - Evolução populacional da cidade de Araxá. (IBGE: Censo Demográfico 2010).

Ano	Araxá	Minas Gerais	Brasil
1991	69.911	15.743.152	146.825.475
1996	73.816	16.567.989	156.032.944
2000	78.997	17.891.494	169.799.170
2007	87.764	19.273.506	183.987.291
2010	93.672	19.597.330	190.755.799

Tabela 2.2 - Distribuição da população por setores de trabalho. (IBGE: Censo Demográfico 2010).

Pessoas ocupadas por setor 2007 – 2013							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Agricultura	1160	1094	1132	1117	1135	1206	1165
Comércio	5114	5474	5560	5807	6577	6999	7628
Indústria	4621	5637	5607	5407	6797	7562	8416
Serviços	9738	10155	9865	11212	11414	11871	11856

É válido ressaltar as informações presentes na Figura 2.2, onde o setor da indústria foi responsável por 40,2% do PIB do município no ano de 2013. Inclui-se nesse setor a indústria de transformação, construção, serviços industriais e de utilidade pública e a mineração, esta última responsável por impulsionar a economia da cidade ao longo dos anos.

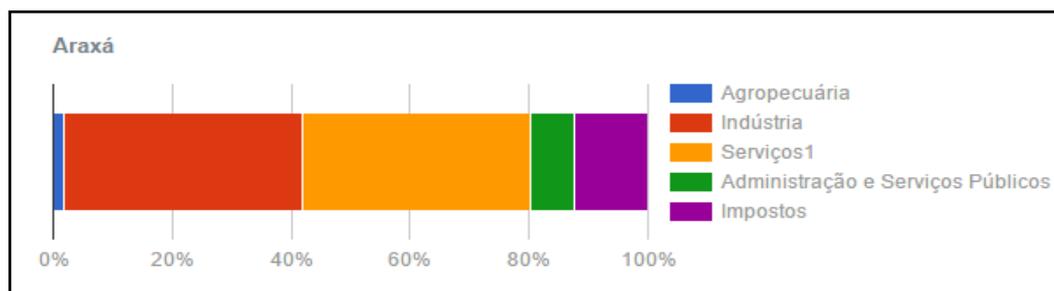


Figura 2.2 - Produto interno bruto do município. (IBGE: Censo Demográfico 2010).

Por se tratar de uma cidade considerada de pequeno-médio porte e que possui grandes empresas sediadas em seu município, Araxá destaca-se por apresentar um Produto Interno Bruto per capita acima dos valores nacionais e do estado de Minas Gerais como exposto na Figura 2.3

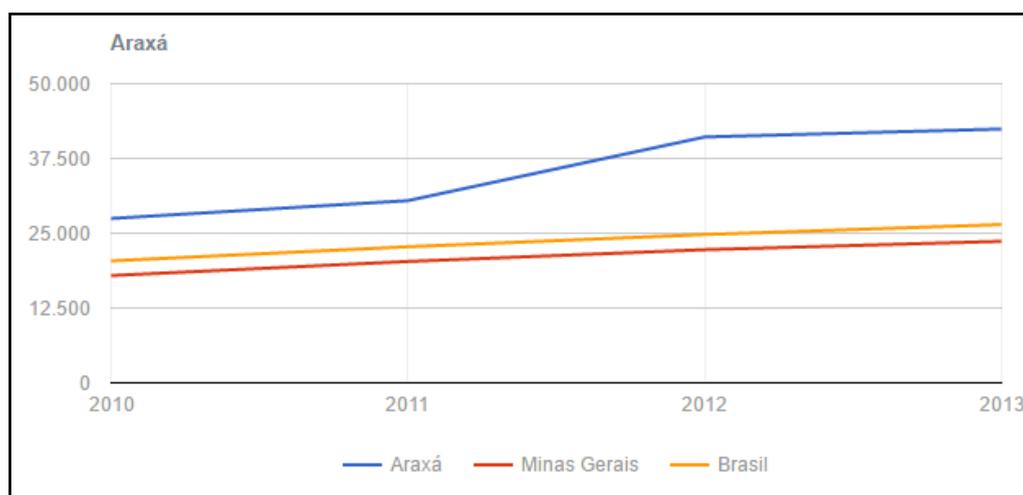


Figura 2.3 - Produto Interno Bruto per capita 2010-2013. (IBGE: Censo Demográfico 2010).

Atualmente a atividade mineraria no barreiro é desenvolvida pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e Vale Fertilizantes.

Os primeiros estudos foram realizados pelo Dr. Andrade Júnior, com o apoio do petrógrado Djalma Guimarães, que em 1925 identificou apatita e barita nas rochas do complexo (VIANA *et.al.*, 1999). Em 1971 foi criada a ARAFERTIL visando a lavra, beneficiamento e fabricação de fertilizantes, atividades que tiveram início no ano de 1978 com a inauguração do complexo industrial de Araxá (FUNDAÇÃO BUNGUE).

A CBMM esta instalada no município desde 1961 ocupando a porção sul e sudeste do complexo, sendo a principal produtora e exportadora de nióbio (Nb_2O_5) do

mundo. Essa jazida é a maior reserva mundial com cerca de 395,6 milhões de toneladas (DNPM 2014). O minério primário contém a seguinte composição mineralógica: carbonatos, flogopita, magnetita e apatita. É rico em pirocloro, sendo este o mineral-minério de nióbio (ISSA FILHO *et al.*,(1984), apud RAPOSO (2011)).

2.2 Geologia Regional

A geologia regional é baseada nos trabalhos de Barbosa *et al.*(1970) citado por Viana *et al.*(1999). Foram definidas nas proximidades de Araxá a ocorrência de unidades geológicas denominadas de Complexo Granito-Gnáissico, Grupo Araxá, Grupo Canastra, Formação Ibiá, Intrusivas Alcalinas, e as coberturas sedimentares.

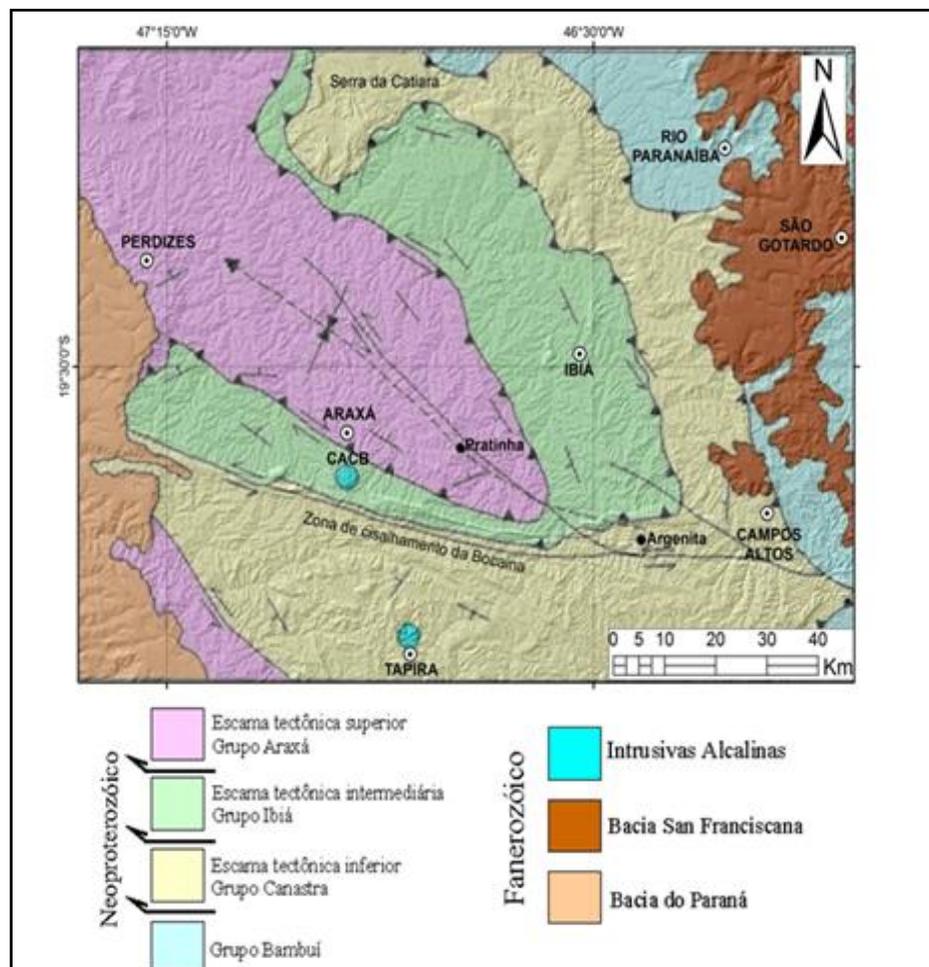


Figura 2.4 - Mapa geológico da sinforma de Araxá. Seer (1999), modificado por Gomes (2017).

A designação do grupo Araxá foi dado por Barbosa (1955 in BARBOSA *et al.*

1970), durante trabalhos realizados próximos a cidade de Araxá. O grupo é constituído de micaxistos e quartzitos com intercalações de anfibolitos. Esses quartzitos são encontrados em leitos delgados, extremamente fraturados, parcialmente fenitizados em torno do domo do barreiro.

O grupo canastra também foi definido por Barbosa (1955 in BARBOSA *et al.* 1970) e é constituído com base de filitos e quartzitos. Os quartzitos, em sua maioria, intercalam-se aos filitos e são de granulação fina. Próxima a esta se encontra a formação Ibiá que é constituída predominantemente por calcoxistos, representados por calcosericita e clorita-xistos, quase sempre micro dobrados e crenulados com neodeformação de leitos e núcleos de quartzo

2.3 Geologia Local

O complexo do barreiro tem forma circular onde as rochas alcalinas são totalmente envolvidas por um largo anel de quartzitos e mica-xistos fenitizados (DA SILVA 1986 apud BIONDI 2003), no interior desse círculo existe um núcleo carbonatítico que é envolvido por glimeritos, com berfositos subordinados que fazem o anel mais externo de rochas carbonatíticas como demonstrado na Figura 2.5

Um extenso manto de intemperismo, decorrente de processos intempéricos e erosão das rochas alcalinas recobrem todo o conjunto de rochas do complexo, podendo chegar a 200 metros de profundidade, cangas concrecionárias ocorrem principalmente ao longo dos drenos que nascem dentro do complexo. Essas cangas são compostas de limonita, goethita e magnetita, podendo conter pirocloro, além desses minerais barita, apatita e minerais portadores de terras raras podem ser encontrados no interior do complexo (VIANA *et al.*, 1999).

Abaixo desta crosta está o principal corpo mineralizado, um regolito, formado pela alteração e lixiviação do carbonatito que concentra bário-pirocloro (pandaíta), apatita e monazita (ISSA FILHO *et al.*, 2001).

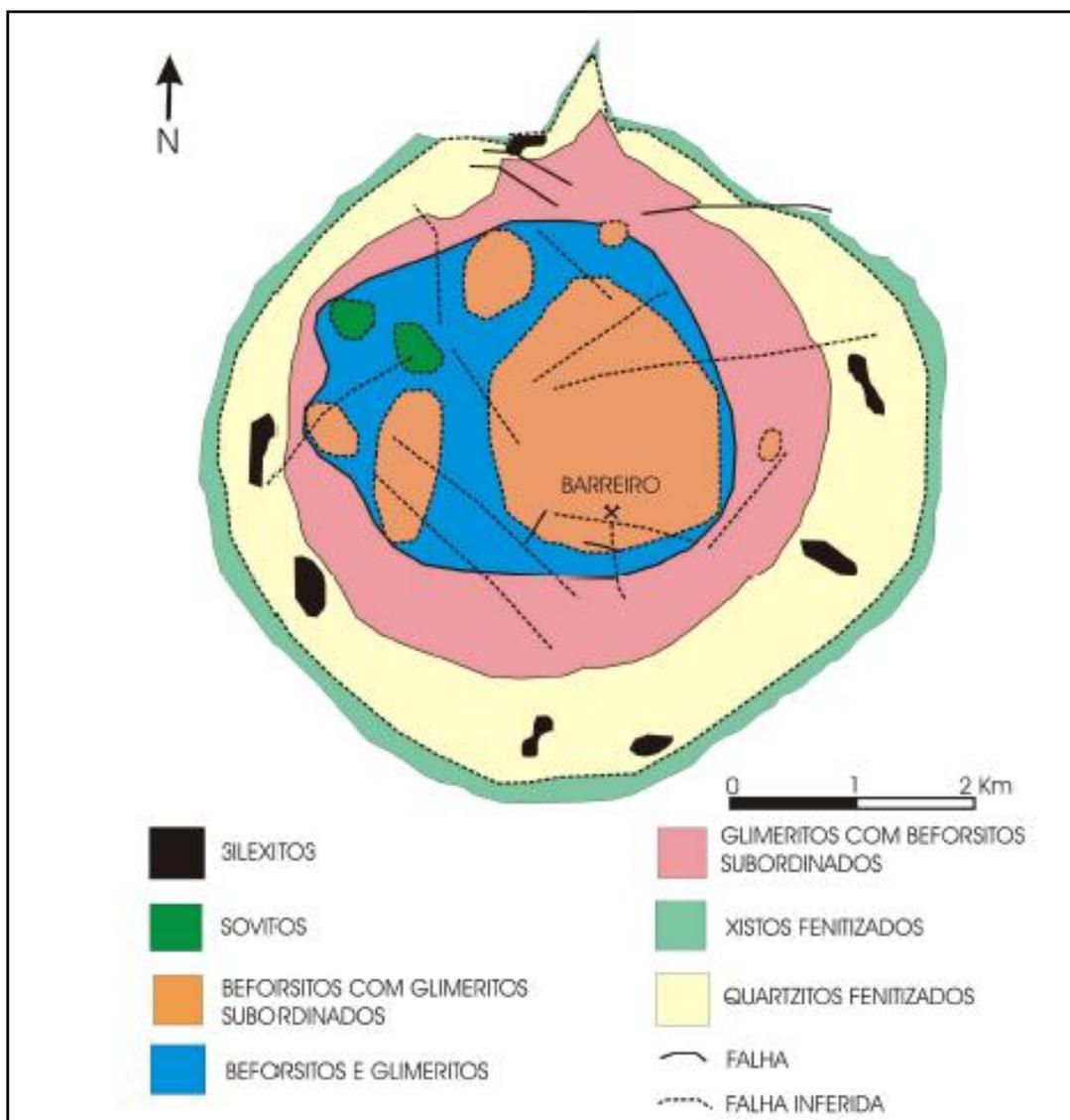


Figura 2.5 - Mapa geológico do Complexo Alcalino Carbonatítico de Araxá. Biondi (2003).

2.4 Hidrologia

A hidrologia é definida segundo A.Meyer (1946) apud Garcez (1967) como:

Ciência natural que trata dos fenômenos relativos à água em todos os seus estados, da sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre e no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem.

A distribuição da água potável no planeta não se dá de uma forma homogênea e muito menos abundante, existindo a concentração desse recurso em algumas regiões do globo, como é o caso do Brasil, país detentor de grandes reservas. Com o crescimento da população mundial a demanda de água cresce na mesma proporção o

que requer uma continua busca de aproveitamento desse recurso e procura de novas fontes com qualidade para suprir a demanda.

“O comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformações de estado e relações com a vida humana é bem caracterizado através do conceito de ciclo hidrológico” (GARCEZ, 1967). Neste processo a água sofre transformações de estado, passando seus três estados físicos básicos: sólido, líquido e gasoso. Basicamente o processo ocorre em duas etapas, uma terrestre e outra na atmosfera.

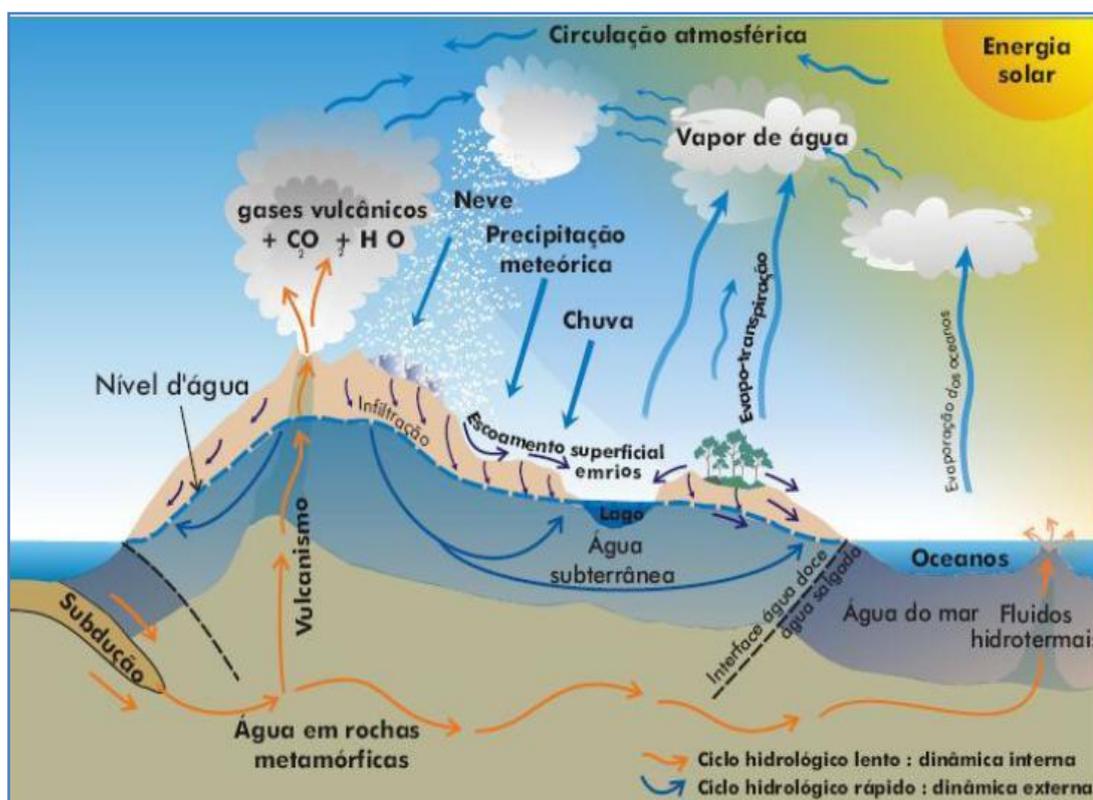


Figura 2.6 - Esquematização do ciclo hidrológico. Karmann (2001).

Segundo Garcez (1967) os fenômenos hidrológicos podem ser divididos basicamente em quatro etapas principais:

- **Precipitações atmosféricas:** são as chuvas, neve/granizo.
- **Evaporação:** água superficial dos oceanos, rios e lagos que virão vapor e retornam para a atmosfera.
- **Escoamentos subterrâneos:** infiltração, águas subterrâneas.
- **Escoamentos superficiais:** torrentes, rios e lagos.

De acordo com Karmann (2011) considerando o tempo geológico, o ciclo

hidrológico pode ser classificado de duas formas distintas:

- a) **Ciclo hidrológico lento:** opera em longo prazo, esta relacionada com a dinâmica interna da terra e a tectônica de placas, envolvendo a água no ciclo das rochas.
- b) **Ciclo hidrológico rápido:** opera em curto prazo, esta relacionada com a dinâmica externa da terra, movida pela energia solar e gravitacional.

Todo esse ciclo é fundamental para o meio ambiente, pois é ele que faz com que a água circule entre regiões, possibilitando o abastecimento de diferentes municípios e também a modelagem da superfície terrestre devido à erosão e o transporte de sedimentos pela água da chuva e acaba sendo um condicionante de toda a cobertura vegetal do planeta.

Fazendo-se um panorama em escala global de toda água disponível, é possível observar na Figura 2.7 com base de dados de Shiklomanov e Roddo (2003), que a maior parcela se encontra contida nos oceanos (97,5%), e que apenas 2,5 % equivale a água potável (água doce) da distribuição total de água do planeta. Destes 2,5 %, apenas 0,4% são águas superficiais e da atmosfera, as águas subterrâneas se destacam pela sua estrondosa participação em torno de 30,1%, as geleiras possuem uma quantidade ainda maior 68,7% porém, a sua exploração é inviável pois acarretaria danos ao equilíbrio natural do planeta.

É possível perceber que a parcela de água doce distribuída no mundo se comparada com a parcela salgada é muito pequena. Tal fato confirma a necessidade de pesquisas e monitoramento das águas, além de um uso sustentável e um controle rígido para garantir o abastecimento da crescente população.

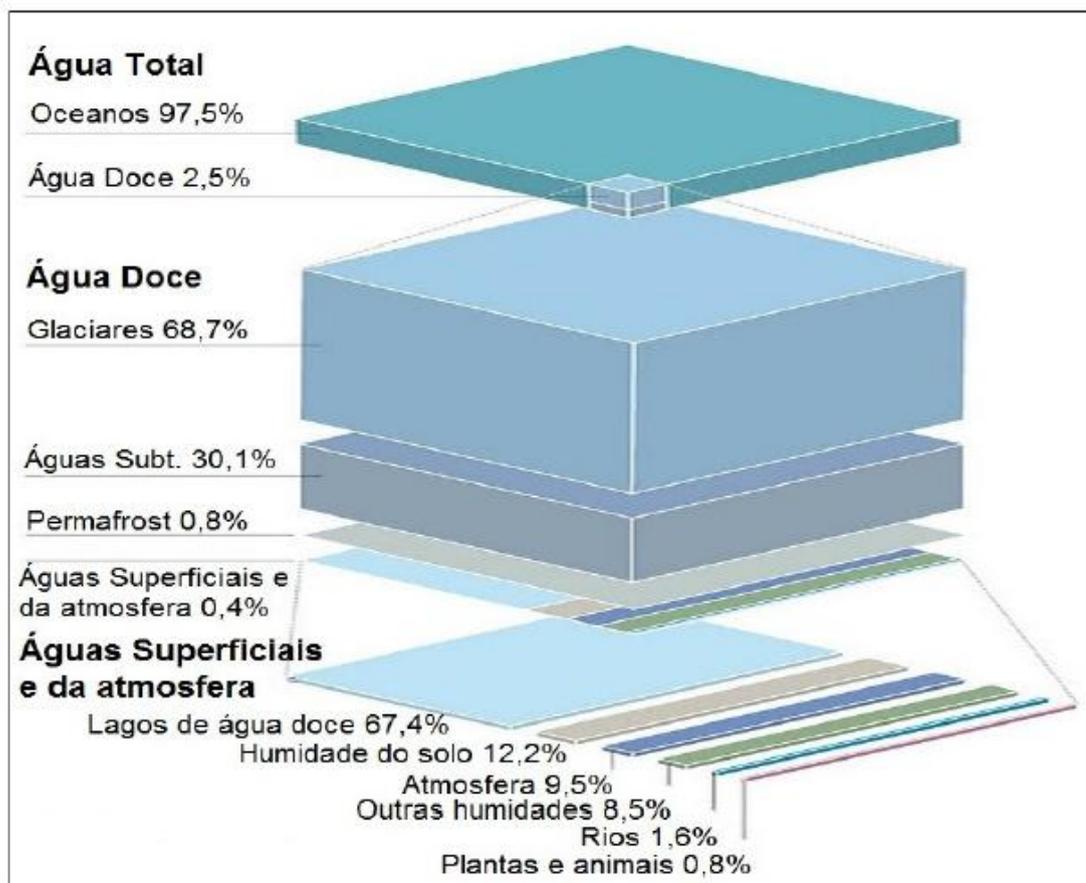


Figura 2.7 - Distribuição percentual da água total no planeta. Adaptado de: WWAP (2006), com base em dados de Shiklomanov e Roddo (2003), modificada por Gonçalves (2011).

Para o conhecimento da hidrologia de uma região é necessário estudar a relevo da área, todo o processo de escoamento das águas estão relacionados com a declividade do terreno, a presença de montanhas possibilita escoamentos mais rápidos além de influenciar a precipitação. Os estudos dos recursos hídricos visam avaliar e monitorar a quantidade de água disponível na superfície terrestre, sendo a bacia hidrográfica a unidade para esses estudos (KARMANN 2011).

De acordo com Feitosa e Filho (2000) uma bacia hidrográfica é uma área topograficamente definida que é drenada por uma rede de rios de tal modo que todo o deflúvio é escoado para uma única saída.

Segundo Garcez (1967) as águas provenientes da precipitação atingem o leito do curso d'água de três maneiras distintas:

- **Escoamento superficial direto:** ocorre quando a água não chega a infiltrar, apenas segue a declividade do terreno em direção ao rio, é a

principal responsável para o aumento do volume do rio durante e logo após a chuva.

- **Escoamento subsuperficial:** ocorre nas camadas superiores do solo, tem importância durante e logo após a precipitação, porém em menor escala comparando-se ao escoamento superficial direto.
- **Escoamento subterrâneo:** ocorre em profundidade, está diretamente relacionado com a contribuição do lençol freático sendo a única contribuição nos períodos de estiagem.

2.5 Hidrogeologia

As águas superficiais estão em constante movimento, acabam se renovando em períodos muito curtos de tempo. trata-se de um recurso que está diretamente exposto às influências dos agentes e de fatores climáticos. A poluição gerada pelo homem é um dos fatores mais significativos para a contaminação dessas águas, justamente devido a essa exposição e fácil acesso a mesma. As águas subterrâneas ficam armazenadas nos aquíferos regionais que se acumularam durante milhares de anos, em condições naturais. Por se tratar de uma água que não se encontra diretamente exposta à ação humana e às influências climáticas, ela possui um trânsito mais lento (FEITOSA e FILHO, 2000).

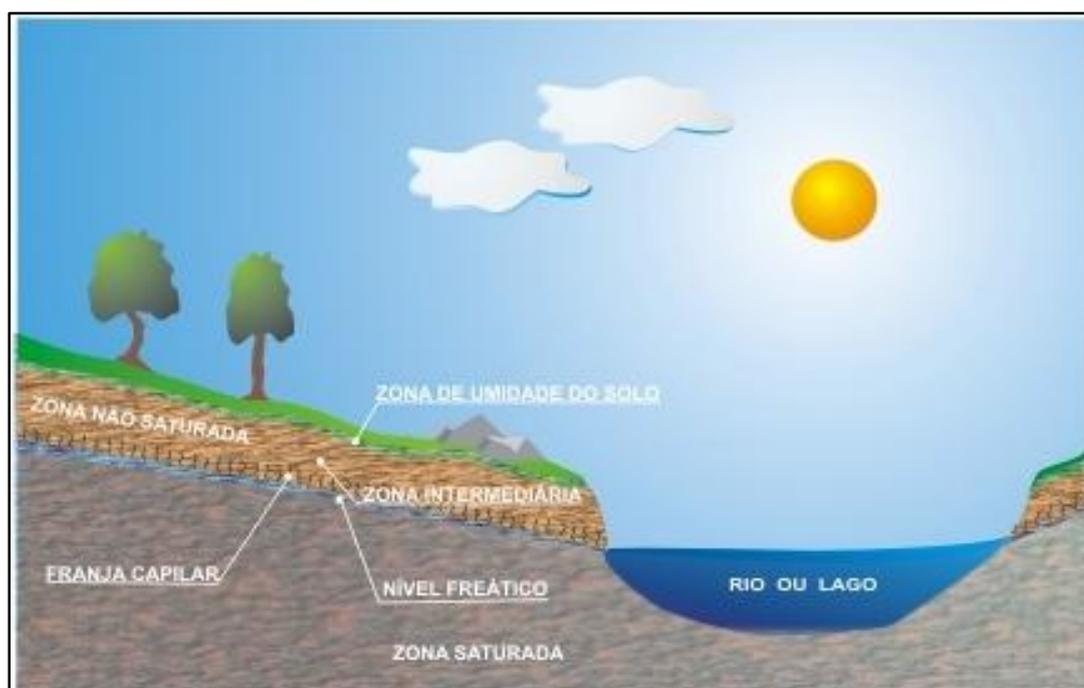
Segundo Garcez (1967) a distribuição das águas terrestres dependem fundamentalmente das características da crosta, os tipos de rochas e as formações geológicas que condicionam a ocorrência dos aquíferos. É nesse contexto que está inserida a hidrogeologia, ramo da hidrologia focado no estudo das águas subterrâneas, relacionando essas águas com o contexto geológico a qual elas estão inseridas.

Quando a água precipita na superfície terrestre, ela percorre um longo caminho até chegar no aquífero e ser armazenada. Esse processo de infiltração da água segundo Gonçalves e Giampá (2006) podem ser definidos como:

- I. **Zona de água no solo:** é a parte mais superficial, corresponde à zona do solo que é penetrada pelas raízes da cobertura vegetal, o sistema é trifásico – sólido, líquido e gás.
- II. **Zona não saturada ou zona vadosa:** abaixo do solo agrônômico, desenvolve-se uma zona intermediária, com água peculiar e

gravitacional. O sistema ainda é trifásico com predominância da fase líquida e a força dominante de transporte dos fluidos é a gravidade.

- III. **Zona saturada:** fica situada abaixo da zona não saturada e nela todos os vazios existentes estão preenchidos com água. As águas atingem esta zona por gravidade, através dos poros ou fraturas até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais.



2.8 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo. Boscardin Borghetti *et al.* (2004).

Segundo Gonçalves e Guiampá (2006) aquífero é uma “camada ou corpo rochoso que possui espaços vazios, poros, fraturas ou fissuras, suficientemente grandes para armazenar importantes volumes de água.”

Existem 3 tipos de aquíferos classificados quanto as condições de pressão atmosférica, sendo eles aquíferos livres, confinados e suspenso. Segundo Feitosa *et al.*, (2000):

- **Aquífero livre:** é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica.
- **Aquífero confinado:** também chamado sob pressão é um aquífero no

qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica, neste tipo a formação geológica permeável onde a água fica armazenada é confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis.

- **Aquífero suspenso:** é um caso especial de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno.

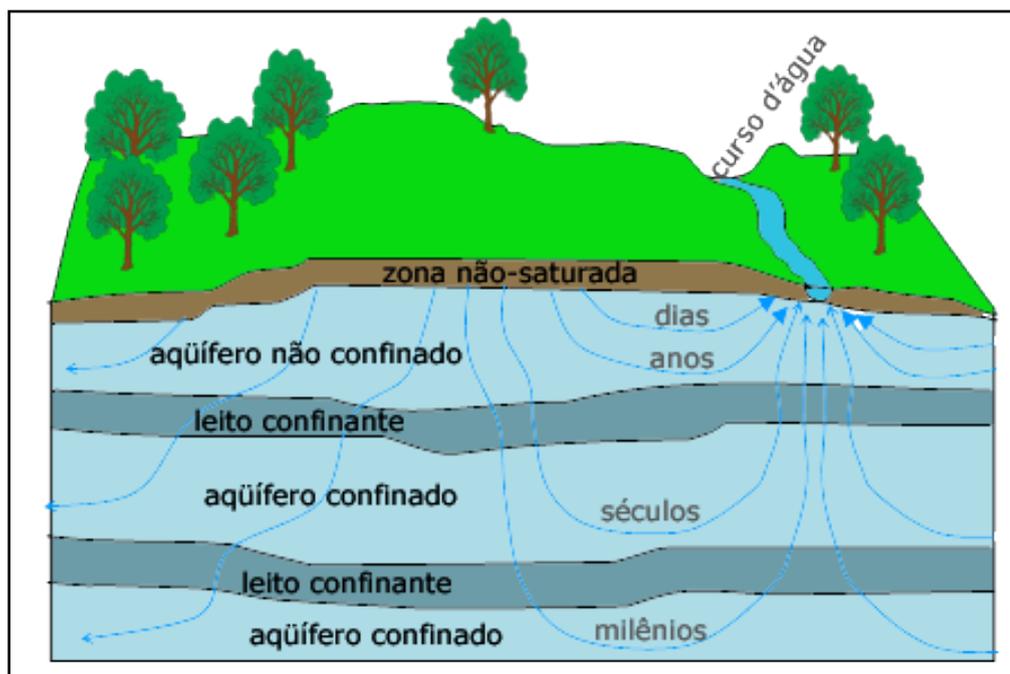


Figura 2.9 - Ilustração esquemática dos tipos de aquíferos e o fluxo das águas subterrâneas e os tempos de retenção. Fonte: Sanasa.

De acordo com Johnson (1978) os aquíferos ainda podem ser classificados de acordo com a constituição geológica em:

- **Aquífero poroso:** é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, a circulação da água ocorre nos poros da rocha.
- **Aquífero fraturado:** formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico
- **Aquífero cárstico:** formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades

(diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água.

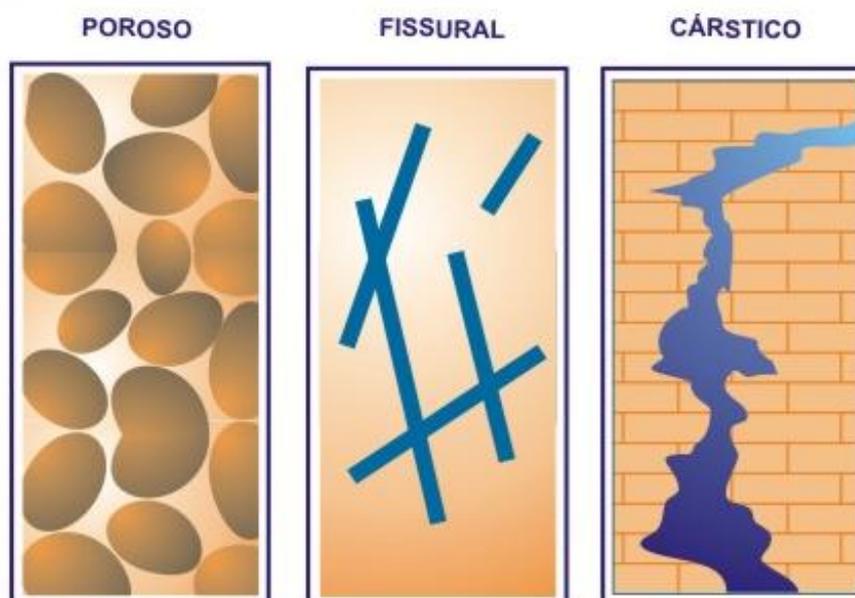


Figura 2.10 - Tipos de aquíferos quanto a litologia. Boscardin Borghetti *et al.* (2004)

Segundo Karmann (2011) essas formações também podem ser classificadas em relação a movimentação da seguinte maneira:

- **Aquífero:** é unidade geológica que armazena e transmite volumes significativos de água subterrânea, passíveis de serem explorados.
- **Aquiclude:** é um tipo de formação que contém água em seu interior, porém é incapaz de transmitir volumes significativos em condições naturais..
- **Aquitarde:** é a unidade geológica relativamente menos permeável em uma determinada sequência estratigráfica.

A região do barreiro está contida na bacia hidrográfica do alto Paranaíba possuindo uma ampla rede de drenagem com córregos que possuem suas nascentes localizadas na parte interna do anel quartzítico, e outros córregos que possuem nascentes em sua borda, como é possível observar na **Figura 2.11**.

Segundo Raposo (2011) a bacia de drenagem interna possui 1.500 hectares e é formada pelos seguintes córregos: dos Borges, da Cascatinha, Triffon, Baritina e da Mata. Todos esses córregos são afluentes do córrego do Sal, que continua o seu fluxo para o sentido norte do complexo.

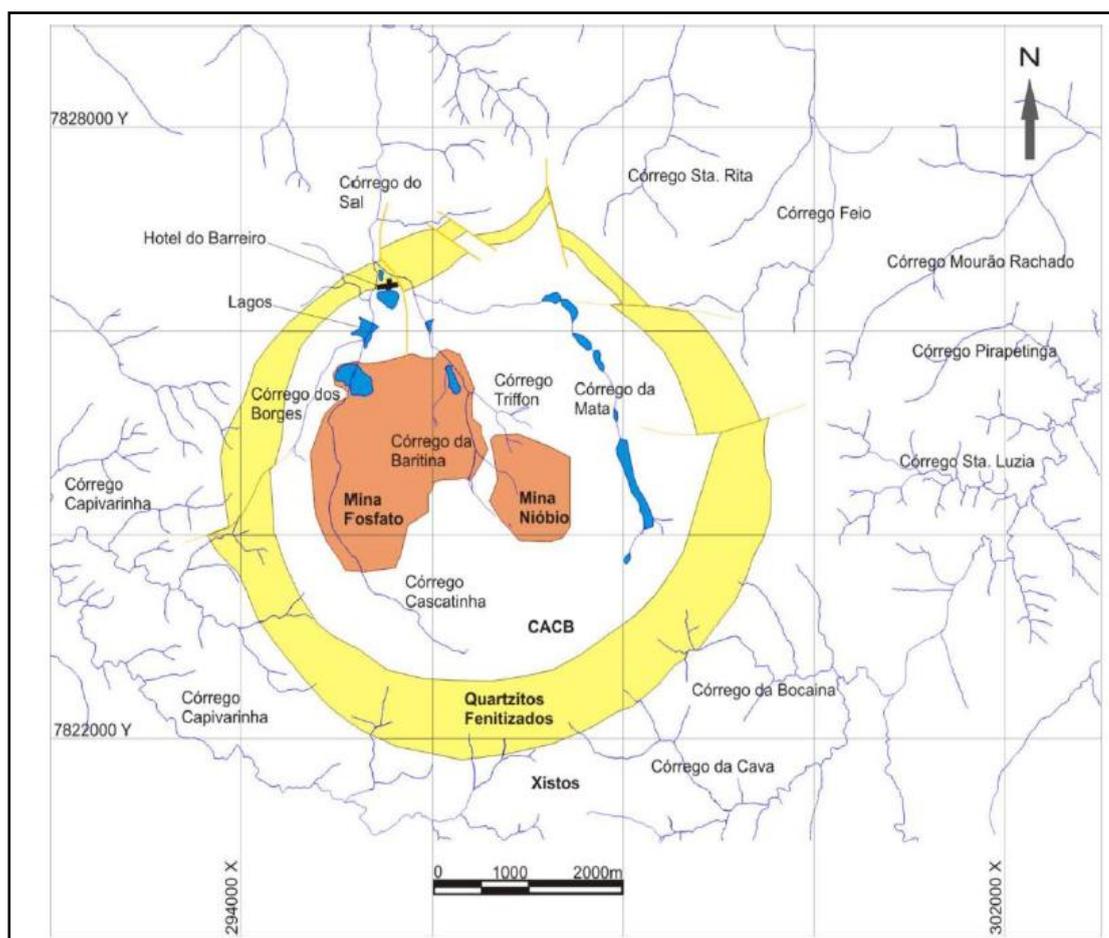


Figura 2.11 - Rede de drenagens associada ao CACB. Raposo (2011).

2.6 Hidroquímica

É sabido que a água é um solvente quimicamente muito ativo que ao percolar entre os poros das rochas e solo reage com esse meio e incorpora substâncias orgânicas ou inorgânicas. Dessa maneira os principais constituintes das águas subterrâneas estão associados a processos de intemperismo físico e químico das rochas. A água subterrânea tem a sua reação de lixiviação favorecida por circular em velocidade mais baixa, pressão e temperaturas mais altas, o que explica o fato de dessas águas possuírem concentrações de sais superiores às de águas superficiais. (FEITOSA e FILHO, 2000).

Essa habilidade de incorporar características do meio por onde percola, explica o motivo de águas que mesmo estando em pontos próximos e em um mesmo sistema de drenagem, podem apresentar características diferentes.

Segundo Costa (1965, apud FEITOSA e FILHO, 2000) os minerais que mais contribuem na salinização das águas subterrâneas de aquíferos fissurais e os íons por eles liberados estão relacionadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles liberados. Costa (1965), apud Feitosa e Filho (2000).

Mineral	Ions	Mineral	Ions
Plagioclásio	Na ⁺ e Ca ⁺²	Microclina	K ⁺
Hornblenda	Na ⁺ , Ca ⁺² e Mg ⁺²	Apatita	Cl ⁻ e Ca ⁺²
Calcita	Ca ⁺²	Alanita	Na ⁺ , Ca ⁺² e Mg ⁺²
Moscovita	K ⁺	Epidoto	Ca ⁺²
Biotita	K ⁺ e Mg ⁺²	Titanita	Ca ⁺²
Granada	Ca ⁺² e Mg ⁺²	Clorita	Mg ⁺²

Em uma caracterização de água são analisados parâmetros físicos, que estão mais relacionados com a ordem estética dessa água, parâmetros iônicos que estão relacionados na influência da concentração dos íons na característica da água. As seguintes propriedades serão definidas para um melhor entendimento dos parâmetros analisados na campanha de mapeamento e descrição dos pontos de surgência desse trabalho.

2.6.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas assim como as propriedades iônicas foram descritas com base no trabalho feito por Feitosa e Filho (2000).

Temperatura - a temperatura atmosférica não exerce influência para as águas subterrâneas exceto para aquíferos freáticos mais rasos, onde a temperatura é um pouco mais elevada em relação a superfície. Em profundidade depende do grau geotérmico, onde para cada 30 metros de profundidade eleva-se 1 °C.

Cor - a coloração esta relacionada com as substâncias dissolvidas na água, provenientes principalmente da lixiviação de matéria orgânica.

Odor e Sabor - são propriedades intimamente relacionadas ambas são determinações organolépticas subjetivas e seletivas do uso das águas potáveis para abastecimento humano. São também dependentes do teor e do tipo de sais

dissolvidos na água, além de outras soluções dissolvidas ou em suspensão. A Tabela 2.4 mostra os principais gases e sais que dão sabor a água subterrânea.

Tabela 2.4 - Principais gases e sais que dão sabor a água subterrânea. Feitosa e Filho (2000).

Sais e Gases	Fórmula Química	Sabor
Cloreto de sódio	ClNa	Salgado
Sulfato de Sódio	SO ₄ Na ₂	Ligeiramente Salgado
Bicarbonato de Sódio	CO ₃ HNa	Ligeiramente Salgado a Doce
Carbonato de Sódio	CO ₃ Na ₂	Amargo e Salgado
Cloreto de Cálcio	Cl ₂ Ca	Fortemente Amargo
Sulfato de Cálcio	SO ₄ Ca	Ligeiramente Amargo
Sulfato de Magnésio	SO ₄ Mg	Ligeiramente Amargo em Saturação
Cloreto de Magnésio	Cl ₂ Mg	Amargo e Doce
Gás Carbônico	CO ₂ livre	Picante

Turbidez - esta relacionada com a dificuldade da luz em refratar na água, provocada pelos sólidos em suspensão que sujam essa água e dificultam a passagem da luz.

2.6.2 Propriedades iônicas

Condutividade Elétrica: é a indicativa da facilidade com a qual a água é capaz de conduzir uma corrente elétrica, que esta diretamente relacionada com o teor de sais dissolvidos na forma de íons.

pH: é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes, que indica a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. Soluções com pH menor que 7 são ácidas, e com pH maior que 7, básicas ou alcalinas. A água pura é neutra (pH = 7).

Sólidos Totais Dissolvidos (STD): é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil.

2.6.3 Constituintes iônicos principais

Nas águas subterrâneas, a grande maioria das substâncias dissolvidas encontram-se no estado iônico, a descrição feita a seguir desses íons é baseada nos

trabalhos de Custódio & Llamas (1983), apud Feitosa e Filho (2000).

Cátions Principais

Cálcio (Ca^{2+}): é o elemento mais abundante existente na maioria das águas e rochas do planeta, responsável pela dureza nas águas. Como fonte geológica pode-se citar a anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e calcita (CaCO_3).

Magnésio (Mg^{2+}): o magnésio apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar, também responsável pela dureza nas águas. A biotita [$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$] é um exemplo de mineral fonte de magnésio.

Potássio (K^+): como o potássio é um elemento bastante envolvido nas trocas iônicas, facilmente adsorvido pelos minerais de argila e seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais, dificilmente se encontra potássio nas águas subterrâneas, quando é encontrado geralmente aparece em baixas concentrações. Microlina (KAlSi_3O_8) e ortoclásio são exemplos de minerais fonte de potássio.

Sódio (Na^+): por apresentar uma distribuição ampla nos minerais fonte, baixa estabilidade química dos minerais que o contém, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução, o sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. A albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) é um exemplo de fonte de sódio.

Ânions Principais

Cloretos (Cl^-): está presente em todas as águas naturais, em geral é muito solúvel e muito estável em solução, dessa maneira dificilmente formam precipitados. Halita (NaCl) e silvita (KCl) são minerais fontes de cloro.

Sulfatos (SO_4^{2-}): são sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto sulfatos de estrôncio e de bário. A presença de sulfato nas águas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e à lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita.

Bicarbonatos (HCO_3^-): este íon não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode se precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3).

2.6.4 Apresentações gráficas e Classificações

Para facilitar a compreensão e o estudo de análises químicas são utilizados gráficos e diagramas para fazer comparação entre várias análises de água de um mesmo ponto em diferentes épocas ou de diferentes lugares. Também é possível ressaltar relações entre íons de uma mesma amostra e variações temporais e espaciais existentes.

No presente trabalho foi utilizado o diagrama triangular de Piper que serve para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes, é frequentemente usado quando se trabalha com um grande número de análises.

Além do diagrama triangular de Piper, temos também os diagramas de Stiff, Durov, Gurrard, Tickel, Schoeller, etc. Todos caracterizam a água analisada em relação aos íons dominantes, mudando apenas a metodologia de como é feita a interpretação gráfica.

Outra maneira de representação gráfica são os mapas de isoteores, esses mapas caracterizam-se pela presença de isolinhas que correspondem a linhas de mesmo teor do *background* acrescido de alguns desvios padrões, dependendo da amplitude da população analisada.

2.6.5 Índice de Vulnerabilidade

A vulnerabilidade de um sistema aquífero esta relacionada com a idéia de que o contexto físico dos aquíferos oferece certo grau de proteção às águas subterrâneas contra contaminações. De acordo com suas características (litologia, porosidade, etc) e características do contaminante (mobilidade, densidade, etc.) cada tipo de aquífero apresentará um índice (GUIGUER e KOHNKE, 2002).

Segundo A.S Nanni *et al.*(2005) existem diversos métodos para o cálculo do índice de vulnerabilidade, Método Francês (BRGM em Parascandola *et al.*, 1979), Método Português (Lobo-Ferreira e Calado 1989), Método Foster (1987) e Foster Hirata (1993), para o presente trabalho foi utilizado o método de Foster (1987) o índice de vulnerabilidade à poluição GOD (**G**roundwater occurrence, **O**verall lithology of the **u**nsaturated zone, **D**epth to the water table). As informações utilizadas nesse método são:

- Ocorrência do lençol freático
- Litologia da zona vadosa e camadas confinantes
- Profundidade do lençol freático

A quantificação da vulnerabilidade é feita através da multiplicação entre índices (Equação 1). Para chegar em uma classificação final, onde o valor 1 está relacionado a uma maior vulnerabilidade. A classificação é feita em etapas: primeiro é analisado como se dá a ocorrência da água subterrânea (OAS), posteriormente o substrato litológico (SL), que seria a litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes e por fim a profundidade da água subterrânea (PAS).

$$\text{Índice de Vulnerabilidade} = OAS * SL * PAS \quad (1)$$

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho teve como base a consulta na literatura sobre a hidrogeologia da região de estudo, seguidos de levantamento de campo e análises de dados. O trabalho preliminar de compilação de dados e levantamento cartográfico foi realizado para embasar a etapa posterior de trabalho de campo.

Nas atividades de campo foi feito o cadastro dos pontos d'águas e surgências caracterizando a hidroquímica das águas inventariadas quanto aos constituintes físico-químicos, além disso, foi feita a caracterização do aquífero do complexo alcalino-carbonatítico do barreiro com base no mapeamento das unidades geológicas.

3.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Os trabalhos consultados serviram para a estruturação e sustentação teórica ao projeto proposto.

A compilação da documentação cartográfica da região foi feita através de dados do IBGE (Ministério do planejamento e coordenação geral, Fundação IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia, carta do Brasil ESC. 1:100.000) na escala 1:100.000, utilizada para as atividades de mapeamento. Além das cartas foram utilizadas informações derivadas dos censos e pesquisas realizadas por esse instituto, para entender como ocorreu a evolução socioeconômica da área e o respectivo impacto das atividades mineradoras.

earth na escala de 1:10.000. Em função da pouca exposição rochosa, e considerando o tamanho da área e o espaçamento dos pontos levantados, a escala utilizada no mapeamento foi aproximadamente 1:25.000. Posteriormente as informações adquiridas em campo foram importadas para o software ArcGIS para que assim fosse feito o mapa geológico local. Para essa etapa foram utilizados os seguintes materiais:

- Caderneta de campo;
- Martelo Petrográfico;
- GPS (Datum: Córrego Alegre);
- Mapa ilustrativo da região;
- Máquina fotográfica;
- Bússola.

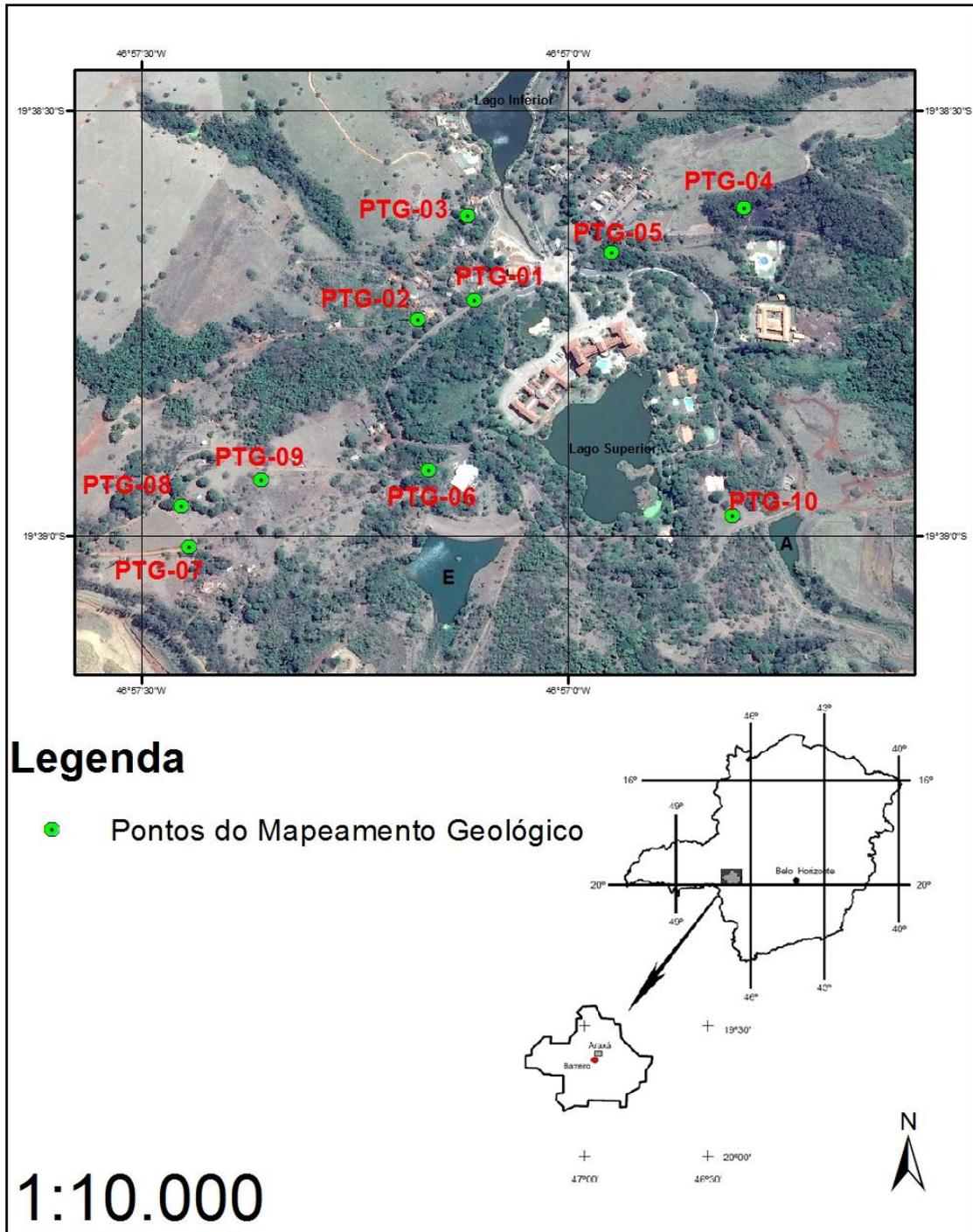


Figura 3.2 – Mapa de localização dos pontos mapeados.

3.2.2 CADASTRO DOS PONTOS D'AGUA E SURGÊNCIAS

Antes de descrever a etapa de cadastramento propriamente dita é necessário relatar os procedimentos de calibração do aparelho utilizado para fazer a análise dos parâmetros dessas águas.

O aparelho é um medidor portátil HI 9812-5 (**Figura 3.3**) da empresa Hanna Instruments, que efetua medições de pH, EC (condutividade elétrica), TDS (sólidos dissolvidos totais), e temperatura. É um aparelho de fácil manuseio e que se mostrou adequado para os fins deste trabalho.



Figura 3.3 - Medidor portátil HI 9812-5.

Os acessórios do medidor (**Figura 3.4**), são uma sonda de combinação de pH/EC/TDS/Temperatura, amplificada, com sensor de temperatura incorporado, conector DIN de 8 pinos e cabo de 1m, soluções padrão utilizadas para calibrar o equipamento, além das soluções de limpeza e armazenamento, bateria e o *becker* de análise da água. Todo o processo de calibração foi realizado de acordo com o manual de instruções.



Figura 3.4 - Equipamento e seus acessórios.

P

Para a execução do inventário de pontos d' água, foram usados os seguintes materiais:

- Medidor combinado portátil e seus acessórios;
- GPS (Datum: Córrego Alegre);
- Ficha de campo;
- Mapa ilustrativo da região;
- Água destilada;
- Máquina fotográfica.

Foram cadastrados oito pontos de água através de caminhamento pela área (Anexo B), e com o auxílio da carta topográfica 1:100.000 e imagem de satélite do Google Earth na escala de 1:15.000, estes pontos foram plotados sobre a imagem para facilitar a visualização dos pontos inventariados (Figura 3.5).

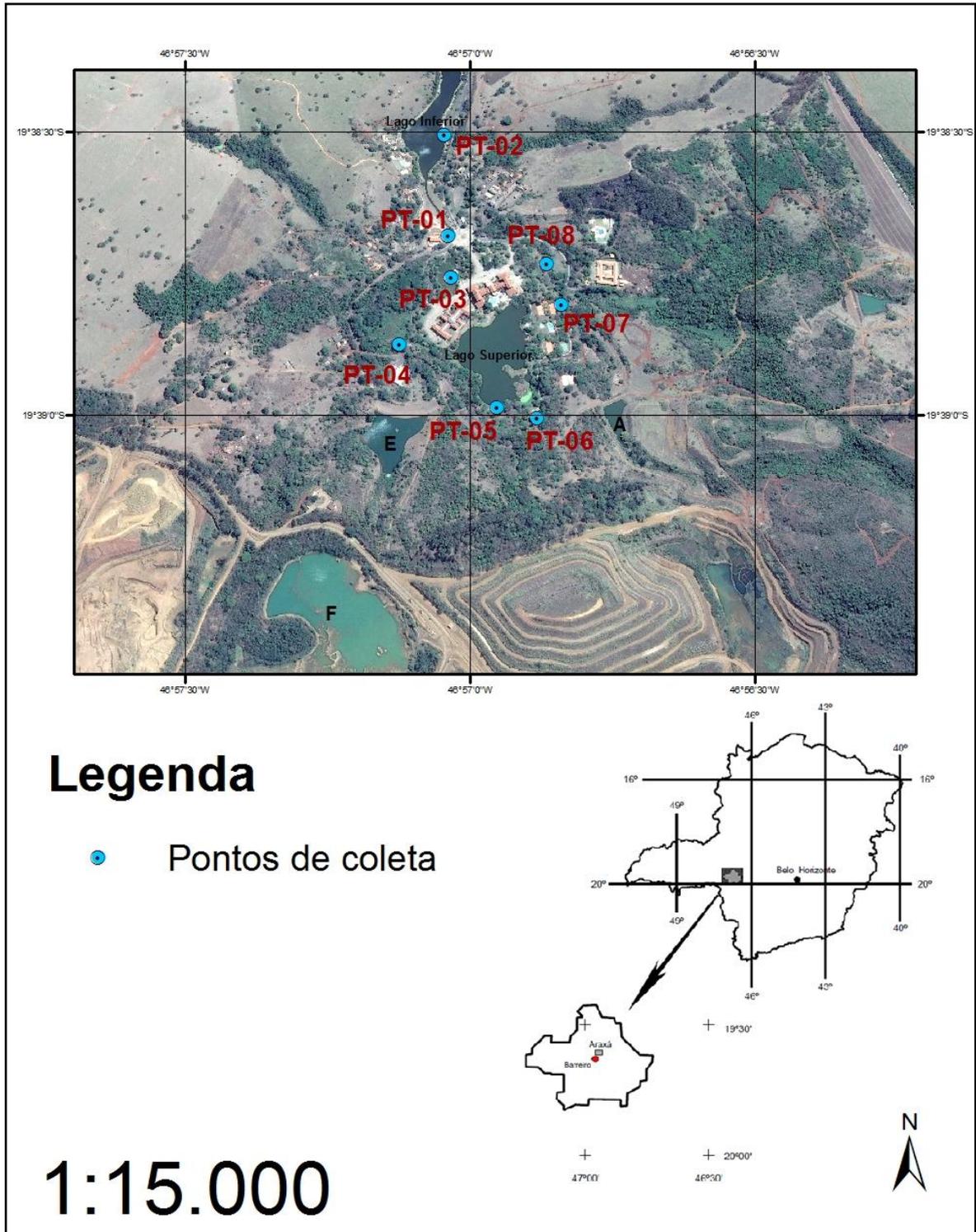


Figura 3.5 - Mapa de pontos de coleta d'água.

. Os limites de leitura do equipamento seguem discriminados na Tabela 3.1. É importante observar o limite de detecção do equipamento, pois dependendo da característica da água é possível que o equipamento não consiga realizar a medição.

Tabela 3.1 - Especificações do equipamento. Fonte: Manual de instruções fornecido pela empresa.

ESPECIFICAÇÕES	
Gama	0.0 a 14.0 pH 0 a 1990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 0 a 1990 ppm 0 a 60 °C
Resolução	0.1 pH 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 10 ppm 1 °C
Precisão (@20°C/68°F)	± 0.1 pH $\pm 2\%$ g.c. $\mu\text{S}/\text{cm}$ $\pm 2\%$ g.c. ppm ± 1 °C
Factor de Conversão	0.5
Desvio Típico EMC	± 0.1 pH $\pm 2\%$ g.c. $\mu\text{S}/\text{cm}$ $\pm 2\%$ g.c. ppm ± 1 °C
Calibração de pH	Manual, em 1 ponto através do parafuso de offset
Calibração de EC/TDS	Manual, 1 ponto através do parafuso slope
Compensação da Temperatura EC/TDS	Automática de 0 a 50°C com $\beta = 2\%/^{\circ}\text{C}$
Sonda (incluída)	HI 1285-5
Tipo de Pilha	1 pilha alcalina de 9V
Vida da Pilha	aprox. 150 horas de uso contínuo
Ambiente	0 a 50°C; 100% HR
Dimensões	145 x 80 x 36 mm
Peso	230 g

Cada ponto foi inventariado de acordo com as características contidas na ficha de campo (Anexo C), onde primeiramente, foi feita a localização do ponto com o auxílio de GPS e posteriormente com o *Becker* era feita a coleta de uma amostra de água do local, assim era possível realizar as medições dos parâmetros físico-químicos, inserindo a sonda do aparelho na amostra obtida.

Em um segundo dia de campo foram definidos quatro pontos de coleta para as análises dos principais constituintes químico das águas, A primeira coleta feita no

ponto sete (PT-07), a segunda feita no ponto quatro (PT-04), terceira feita no ponto três (PT-03) e por fim a última coleta feita no ponto um (PT-01). Esses pontos foram estrategicamente escolhidos por representarem águas que possuem características diferentes. Fatores como a rocha em que percolam, a profundidade de percolação e até mesmo a contribuição de outras águas, influenciam nessa diferença característica.

Todas as amostras foram colhidas em campo, em um processo bem simples de inserção da água nos frascos fornecidos pelo laboratório. Posteriormente devidamente preservadas e acondicionadas nos frascos e em caixa de isopor foram enviadas para o laboratório de análises químicas Araxá Ambiental.



Figura 3.6 - Recipientes para preservação das amostras.

Os valores para serem plotados no diagrama são transformados de mg/L, em percentagem do total de ânions e do total de cátions, separadamente como pode ser observado na Figura 3.7.

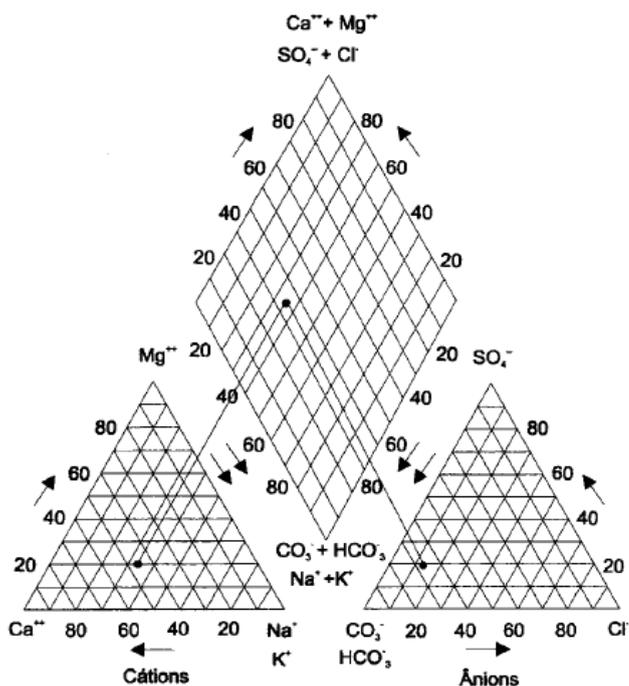


Figura 3.7 - Diagrama de Piper. Feitosa e Filho (2000).

Para gerar os diagramas foi utilizado o software QualiGraf que é uma ferramenta para auxiliar na parte gráfica das análises mais usuais de qualidade de amostras d'água. O programa gera o diagrama de Piper e mostra a classificação das amostras segundo o critério da comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Geologia

A região mapeada é coberta por um extenso manto de intemperismo, decorrente de processos intempéricos e erosão das rochas, Foi possível encontrar afloramentos de quartzito no local, rocha bastante abundante no complexo, que delimita a intrusão ígnea, sendo mais resistente aos processos intempéricos quando comparadas aos carbonatitos internos à intrusão alcalina.

No ponto PTG-01 (UTM: 23K 295334N 7826560E, e altimetria 966 metros) foi encontrado um afloramento de quartzito, apresentando diversos conjuntos de fraturas, recoberto por uma fina camada de solo na parte superior. Apresentando atitudes $N10^{\circ}W/70SW$ e $N60^{\circ}E/48^{\circ}NW$,



Figura 4.1 – a) Afloramento b) Amostra.

No segundo afloramento (PTG-02 (UTM: 23K 295220N 7826519E, altimetria 961metros)) foi encontrado a mesma rocha do PTG-01, O quartzito possui

granulometria fina, no entanto, é possível observar os minerais a olho nu, e coloração branca. A rocha se apresenta muito fraturada, a atitude de um dos planos de fratura foi $N30^{\circ}W35^{\circ}SW$, ou seja, apresenta repetições das direções de fraturamento NW e NE.

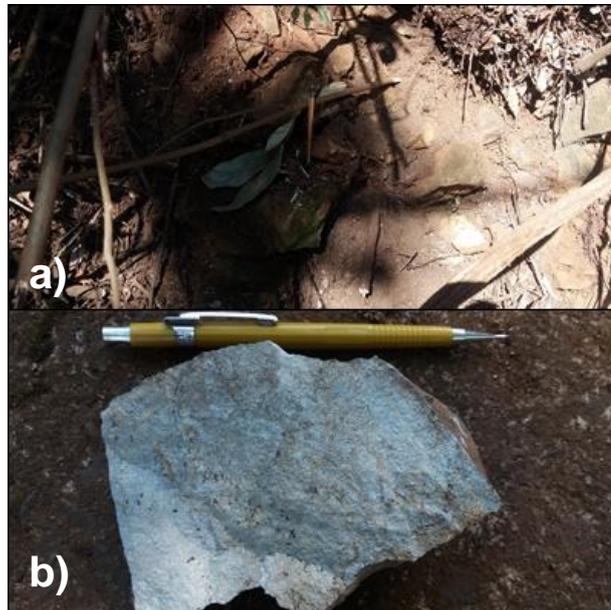


Figura 4.2- a) Afloramento b) Amostra.

No ponto PTG-05 (UTM: 23K 295616N 7826668E altimetria 959 metros) outro afloramento de quartzito, porém este apresentava uma grande quantidade de anfibólio, além de feldspato alterado em argilo minerais. Apresentando além das direções de fraturamento descritas acima o plano $N85^{\circ}E40SE$,

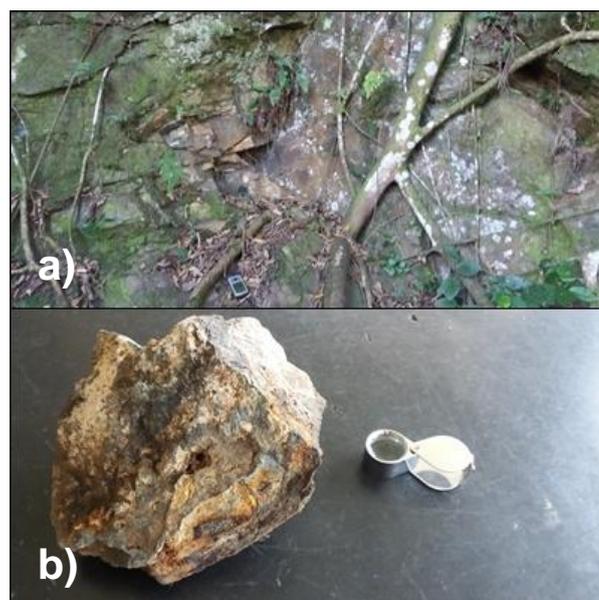


Figura 4.3 - a) Afloramento b) Amostra.

Nos pontos PTG-06, PTG-08 e PTG-09 também foram encontrados afloramentos de quartzito, com as mesmas características dos afloramentos descritos nos pontos PTG-01, PTG-02 e PTG-05. Foi observado em corte da estrada próximo ao ponto PTG-06, matacões desta rocha, acredita-se que este material esteja muito instável em função do alto grau de fraturamento das rochas quartzíticas (“anel quartzítico”).



Figura 4.4 - a) PTG-06 b) PTG- 7 e 8.

No ponto PTG-10 (UTM: 23K 295869N 7826099E) um registro de um grande matacão (2m x 3m), pelas dimensões acredita-se que a área fonte esteja próxima há ocorrência e de outros grandes fragmentos de rocha ali encontrados, possivelmente de origem coluvionar. Trata-se da rocha glimerito, rica em apatita, magnetita e flogopita.



Figura 4.5 - PTG-10.

Os pontos PTG-03, PTG-04 e PTG-07, tratam-se de locais onde não foi possível observar a presença de afloramento rochoso e sim uma camada de solo laterítico predominantemente areno-argiloso, marrom a vermelho. Embora tenham sido mapeados poucos afloramentos rochosos, com pouca variedade litológica, o mapa geológico local foi gerado e pode ser observado na figura (Figura 4.6).

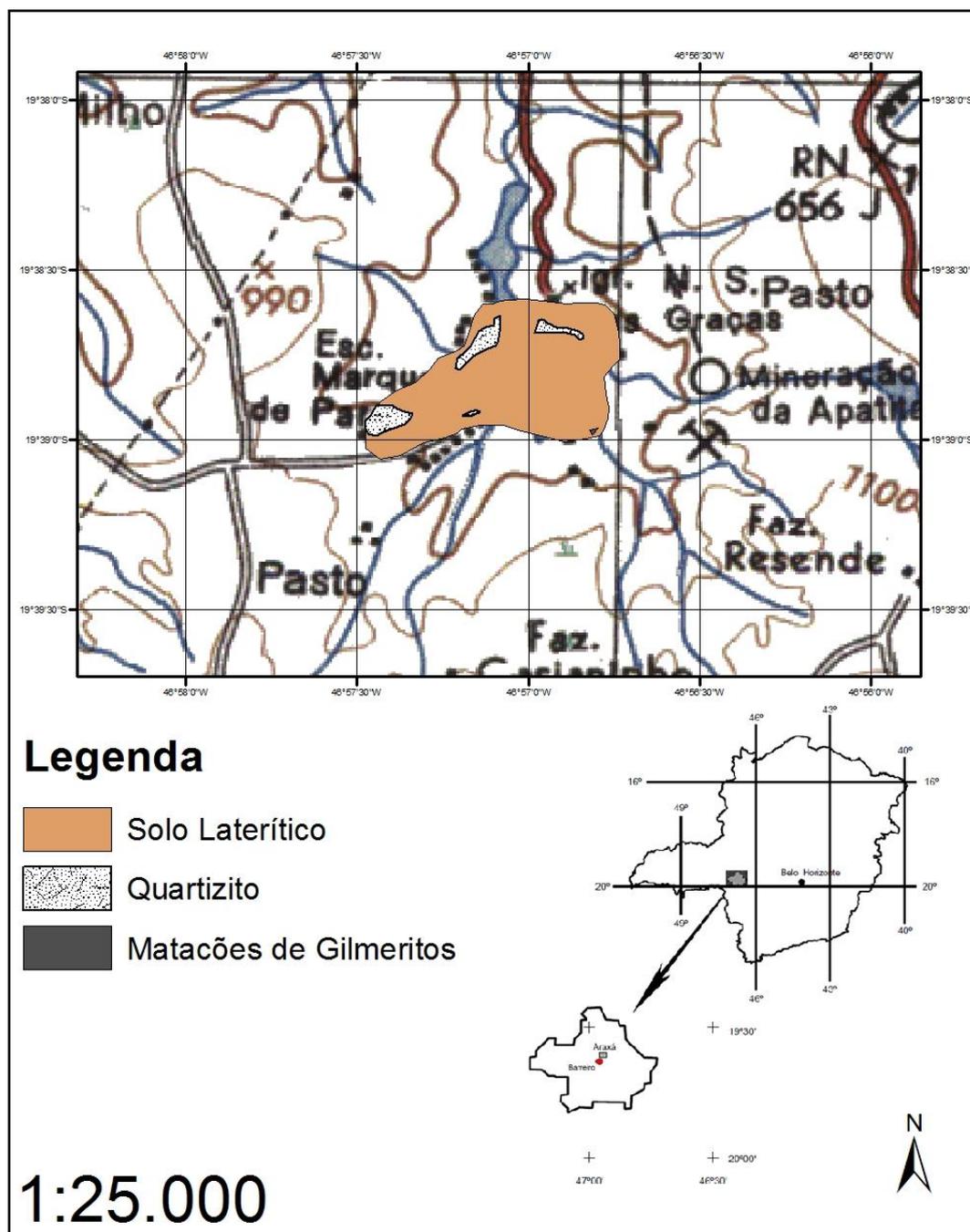


Figura 4.6 - Mapa Geológico do Barreiro.

4.2 Caracterização do aquífero

Mapeadas as unidades geológicas foi possível caracterizar o aquífero local. O aquífero está encoberto por um manto de intemperismo e limitado na vizinhança por rochas quartzíticas. Esta rocha encontra-se intensamente fraturada em decorrência da intrusão plutônica. O aquífero profundo, associado à rocha sã é classificado segundo a

bibliografia como do tipo fraturado. Já próximo a superfície, em função do manto de intemperismo o aquífero é dito livre podendo ter passagens de semiconfinamento, fato este confirmado no mapeamento geológico.

A recarga se dá predominantemente por infiltração de precipitação atmosférica e por água proveniente dos lagos “E” e “F”, águas drenadas da mina e acabam abastecendo a área do grande hotel.

Utilizando dados potenciométricos disponíveis no trabalho de Raposo (2011), foi possível obter informações sobre o nível de água subterrânea na região e reproduzi-los a partir da superfície topográfica. Assim foi gerado o mapa potenciométrico, onde o escoamento das águas infiltradas se dá por linhas de fluxo convergentes, até o nível mais baixo (959m) que é onde se encontram os lagos do barreiro.

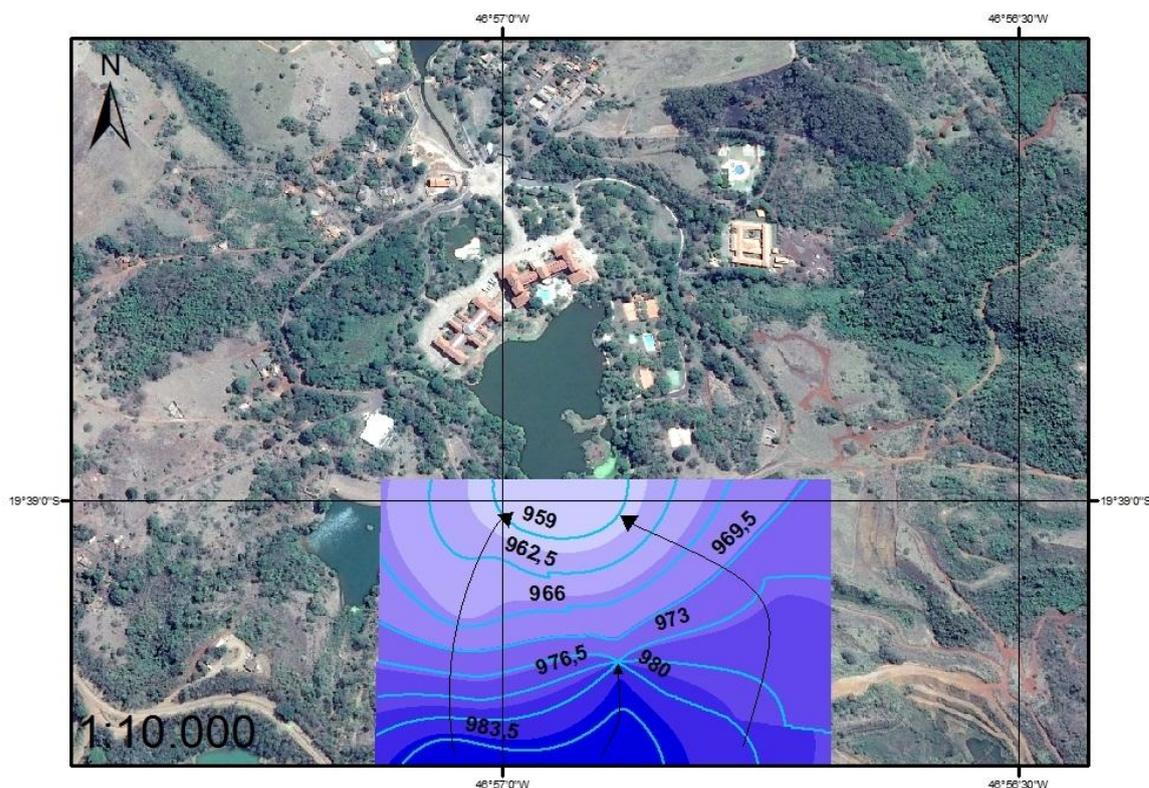


Figura 4.7 - Mapa potenciométrico e fluxo da água subterrânea.

Utilizando-se a metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade do aquífero (Figura 4.8) é possível inferir que o aquífero apresenta uma vulnerabilidade baixa. Pois se trata de um aquífero livre (índice que corresponde a ocorrência da água subterrânea igual a 1), em solo residual (índice que corresponde ao substrato litológico

0,4) e com nível freático raso, sendo observado várias nascentes no local, atingindo nível médio entre cinco e vinte metros abaixo da superfície topográfica (índice de profundidade da água subterrânea, 0,7).

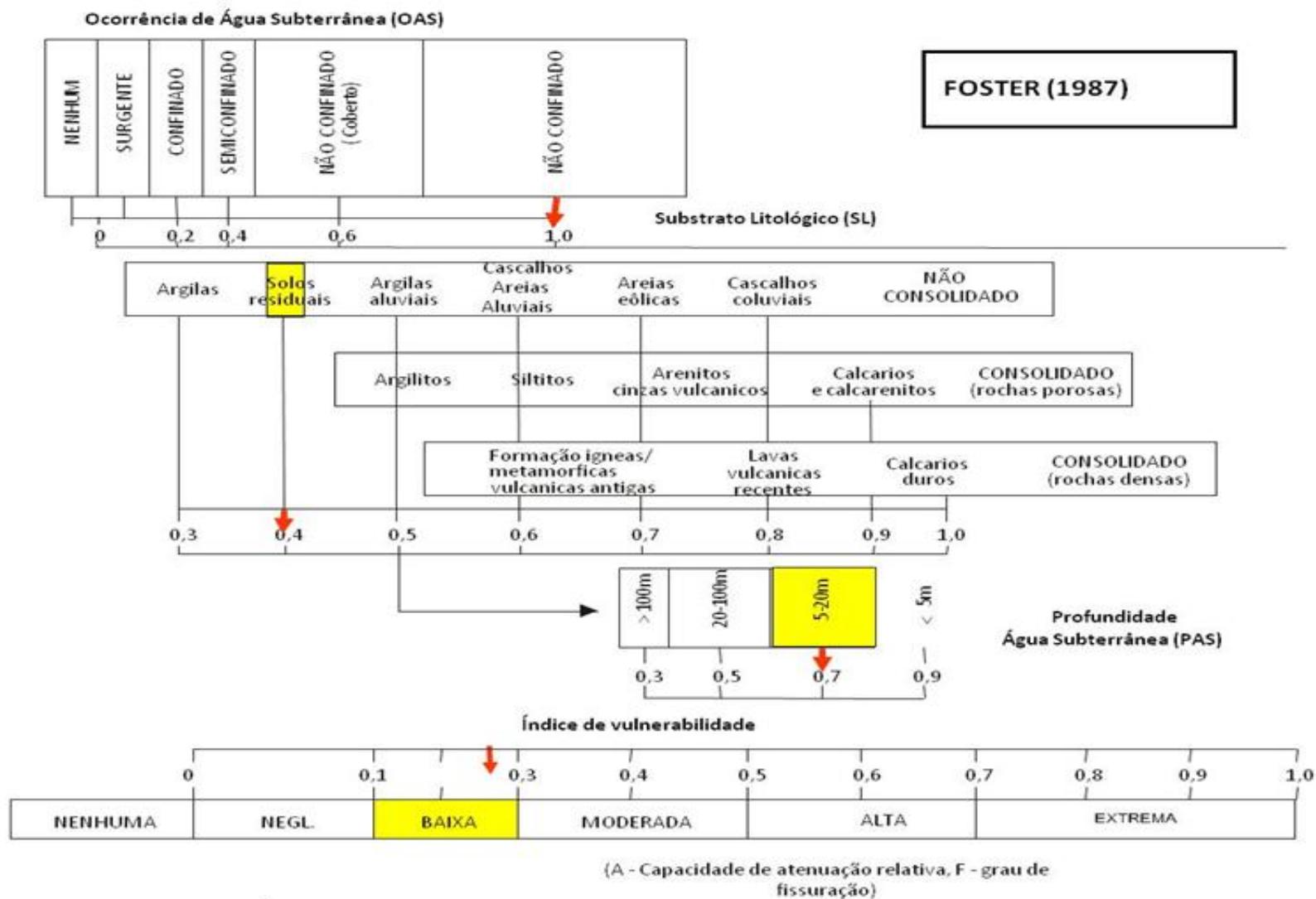


Figura 4.8 - Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade do aquífero. Fonte: Foster (1987).

4.3 Hidroquímica dos pontos inventariados

O ponto PT-01 (UTM: 295593N 7826071E) se trata de uma canaleta que tem a função de drenar a água proveniente do lago “E” e “F”, apresentou Ph 8,1, temperatura 27°C, condutividade elétrica 1080 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 540ppm de sólidos dissolvidos, cor transparente e apresentava odor suave. O destino dessa água é o lago inferior onde é usada para a preservação de peixes em geral e de outros elementos de fauna e flora da região, além da harmonia paisagística para a população que utiliza a pista de caminhada em seu entorno. O lago E, também conhecido como barragem E foi construído para acumular a água do rebaixamento da mina e recarregar o aquífero, mantendo o nível freático a jusante, conservando assim a vazão da fonte D. Beja.



Figura 4.9- PT-01: Análise da água amostrada na canaleta.

O ponto PT-02 (UTM 23K 295419N 7826955E) trata-se de uma nascente e a amostragem foi feita em um vertedouro, responsável por canalizar essa drenagem, que também alimenta o lago inferior, este ponto apresentou pH 7,4, temperatura 23°C, condutividade elétrica 440 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 230ppm de sólidos dissolvidos, cor transparente e não apresentava odor. Essa nascente também alimenta o lago inferior, a água destina-se a preservação de peixes em geral e de outros elementos de fauna e flora. É uma importante fonte de contribuição do nível freático, pela expressividade do seu volume.



Figura 4.10 - PT-02: Vertedouro de coleta.

O ponto PT-03 (UTM 23K 295447N 7826492E) se trata de uma nascente onde parte da água é canalizada para bebedouros e a outra parte utilizada para os banhos medicinais do hotel. Este ponto apresentou, pH 10,1, temperatura 31°C, os parâmetros condutividade elétrica e quantidade de sólidos dissolvidos não foram indicados pelo aparelho, provavelmente este ponto apresenta valores que excedem o *range* do equipamento. A água apresentou cor transparente e forte odor. Essa nascente se trata da famosa fonte Andrade Júnior, conhecida por sua água sulfurosa, indicada para consumo humano e uso terapêutico.



Figura 4.11 - PT-03: Fonte Andrade Júnior.

O ponto PT-04 (UTM 23K 295289N 7826270E) é uma canaleta que drena água do lago “F”, com contribuição também do lago “E”, este ponto apresentou pH 8, temperatura 28°C, condutividade elétrica 380 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 200 ppm de sólidos dissolvidos, pequena turbidez e não apresentava odor. O lago “F” assim como lago “E” foi construído com intuito de drenar a água da mina do Barreiro, mantendo os níveis freáticos local. O lago “F” está localizado dentro da propriedade da Vale Fertilizantes, portanto as medições foram realizadas nas tubulações que canalizam e direcionam a água excedida do lago “F”.



Figura 4.12 - PT-04: Drenagem do Lago E.

O ponto PT-05 (UTM: 23K 295564N 7826044E) se trata do lago superior que tem a função de prover uma harmonia paisagística para a região do grande hotel. Este ponto apresentou Ph 8,5, temperatura 28°C, condutividade elétrica 870 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 440ppm de sólidos dissolvidos, pouca turbidez e não apresentava odor. A recarga deste lago tem origem essencialmente pluvial.



Figura 4.13 - PT-05: Lago superior.

O ponto PT-06 (UTM: 23K 295714N 7826036E) se trata do bebedouro Beja, a contribuição deste ponto é de águas profundas bombeada por poço tubular. Essas águas se misturam com a água da nascente, localizada na base da cascata Beja. Este ponto apresentou Ph 7,6, temperatura 24°C, condutividade elétrica 770 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 380ppm de sólidos dissolvidos, transparente e não apresentava odor.



Figura 4.14 - PT-06: Vista exterior e interior da fonte.

O ponto PT-07 (UTM: 23K 295786N 7826408E) se trata de uma drenagem proveniente do lago A, o lago foi construído pela CBMM, responsável pela manutenção do mesmo e é usado para contenção de sólidos provenientes de mineração. Este ponto apresentou Ph 7,9, temperatura 26°C, condutividade elétrica 1230 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 620ppm de sólidos dissolvidos, cor transparente e não apresentava odor.



Figura 4.15 - PT-07: Ponto de coleta de amostra.

O ponto PT-08 (UTM: 23K 295740N 7826538E) situa-se também em uma drenagem proveniente do lago A, acrescida de contribuição de drenagens superficiais próximas ao hotel. Este ponto apresentou Ph 7,7, temperatura 26°C, condutividade elétrica 1190 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 590ppm de sólidos dissolvidos, cor transparente e não apresentava odor.

Caracterizados os pontos, foi possível fazer a interpolação dos dados e gerar mapas hidroquímicos da região, com a finalidade de discriminar as principais propriedades das águas e estabelecer relação com o meio físico. Para as propriedades analisadas os resultados foram gerados na forma de mapa de isoteores (isolinhas que correspondem a linhas de mesmo teor de determinada substância).

O método de interpolação utilizado foi o *Inverse Distance Weighting* (IDW), onde segundo Miranda (2005) apud Souza (2011), este método estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. É feito um cálculo onde a média é ponderada pela distância entre o ponto

a ser interpolado e os pontos próximos a ele, quanto maior a distância menor será a similaridade entre o ponto e sua vizinhança.

O mapa hidroquímico de pH (Figura 4.16) destaca em sua região central uma área com maiores valores. Esta região é onde está localizada a Fonte Andrade Junior, que apresentou um valor de pH de 10,1. Essa característica básica está relacionada ao fato dessa água ter origem profunda associado ao aquífero fraturado e às rochas alcalinas do complexo. Nos outros pontos os pH's apresentaram um valor médio de 8,16, ou seja, águas de caráter básico.

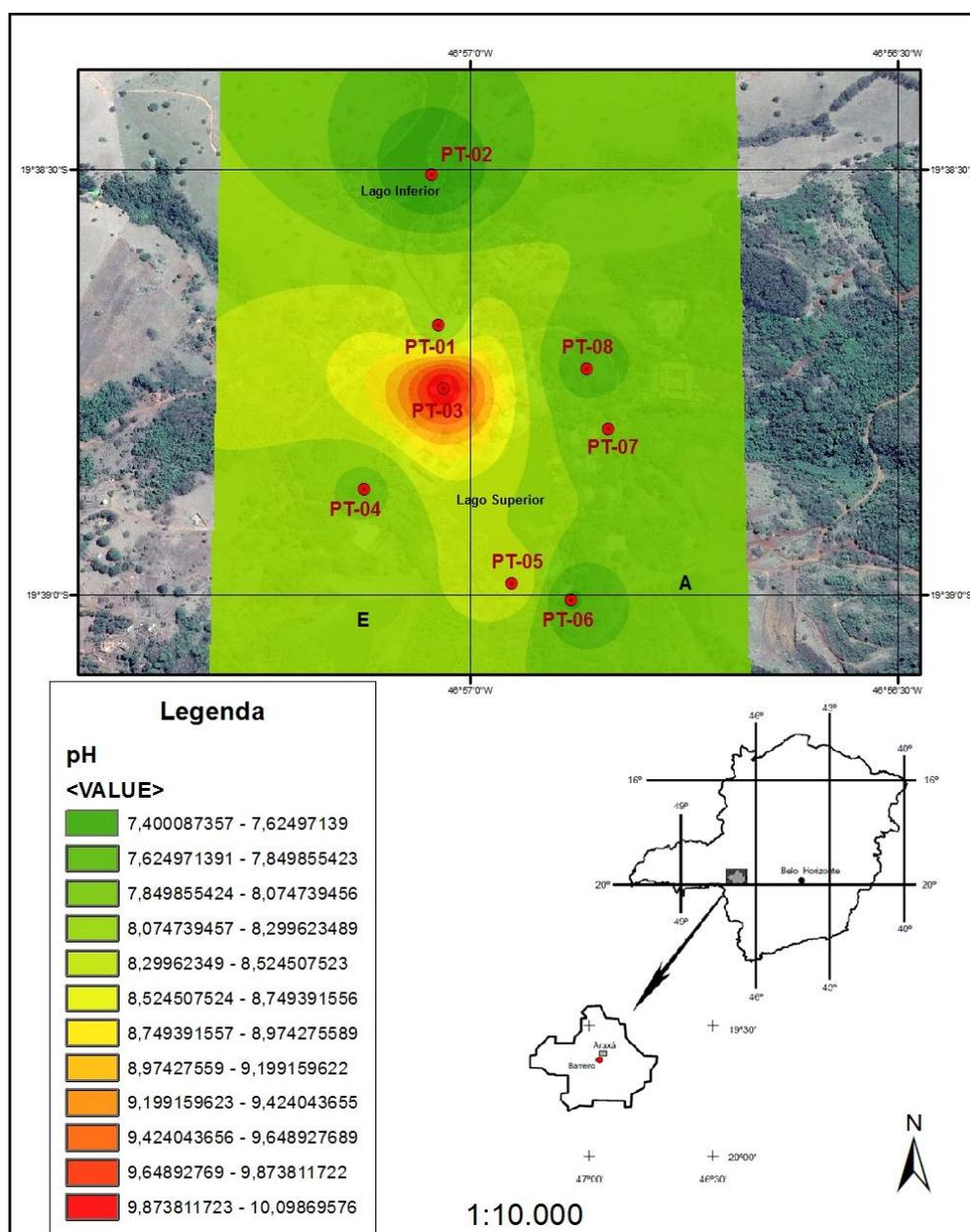


Figura 4.16 - Mapa de pH.

Analisando-se o mapa termal das águas pode-se observar que a região em torno da fonte Andrade Junior foi a que apresentou valores mais elevados de temperatura. A amostragem feita diretamente na fonte indicou uma temperatura de 31°C, quase 5°C acima da média dos pontos analisados, que foi 26,7°C. Este valor acima da média já era esperado nesse estudo, pois a água desta fonte é considerada uma água termal de altas profundidades. Como já descrito no item 2.6.1 desse estudo a temperatura se eleva a 1°C a cada 30 metros de profundidade.

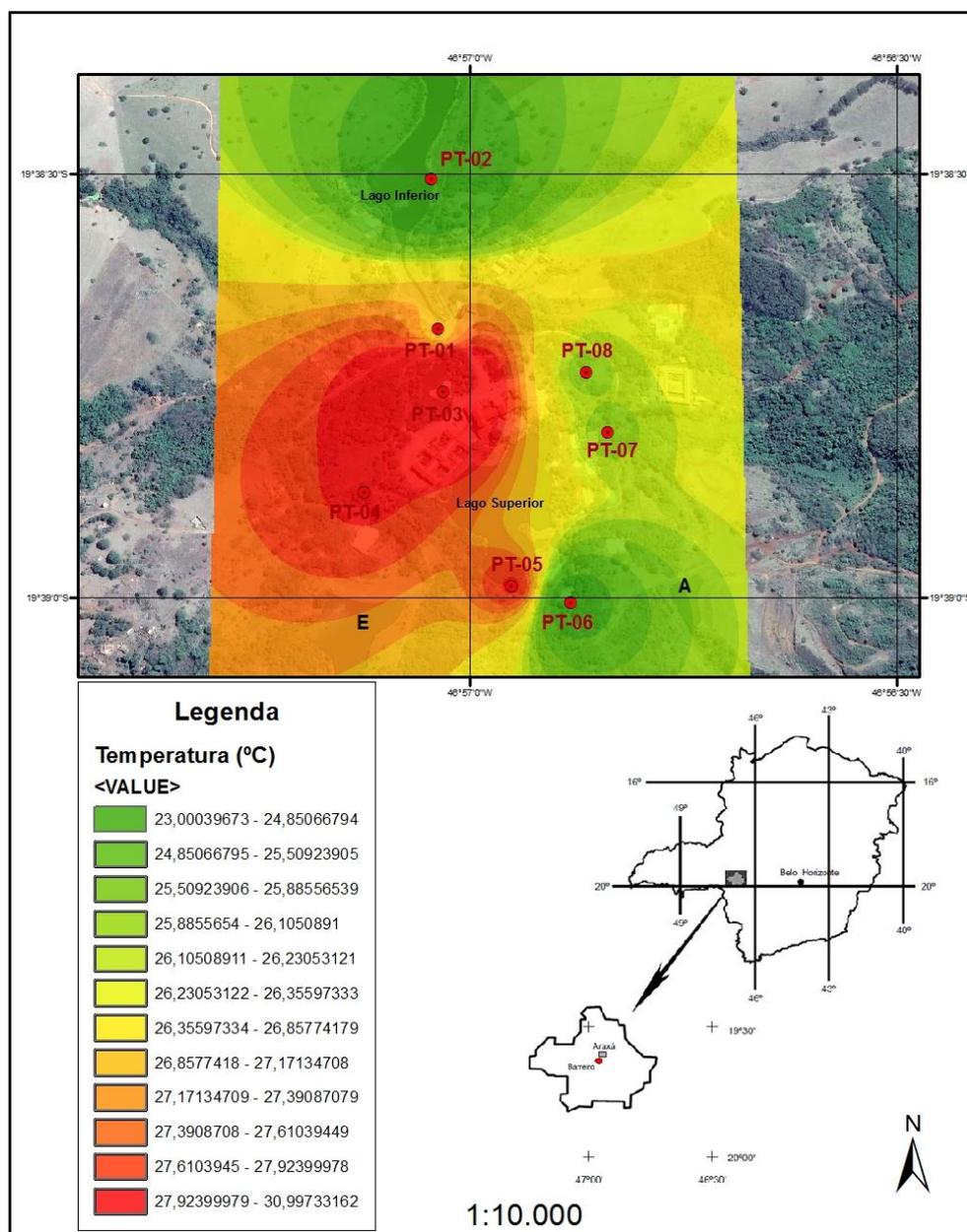


Figura 4.17 - Mapa de Temperatura.

A condutividade elétrica é um parâmetro que está diretamente relacionado com a temperatura da água, quanto maior a temperatura da água maior será a concentração de substâncias iônicas dissolvidas o que aumentará a capacidade dessa água em transmitir corrente elétrica. Dessa forma um mapa de condutividade elétrica deve apresentar correlação com o mapa de temperatura.

Fazendo-se uma análise do mapa (Figura 4.18) nota-se uma boa correlação entre esses parâmetros na região dos pontos PT-01 e PT-03. Os pontos PT-07 e PT-08 apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica e estão inseridos no córrego Baritina, este córrego possui à sua montante, barragens utilizadas pelas empresas Vale e CBMM para a contenção de sólidos.

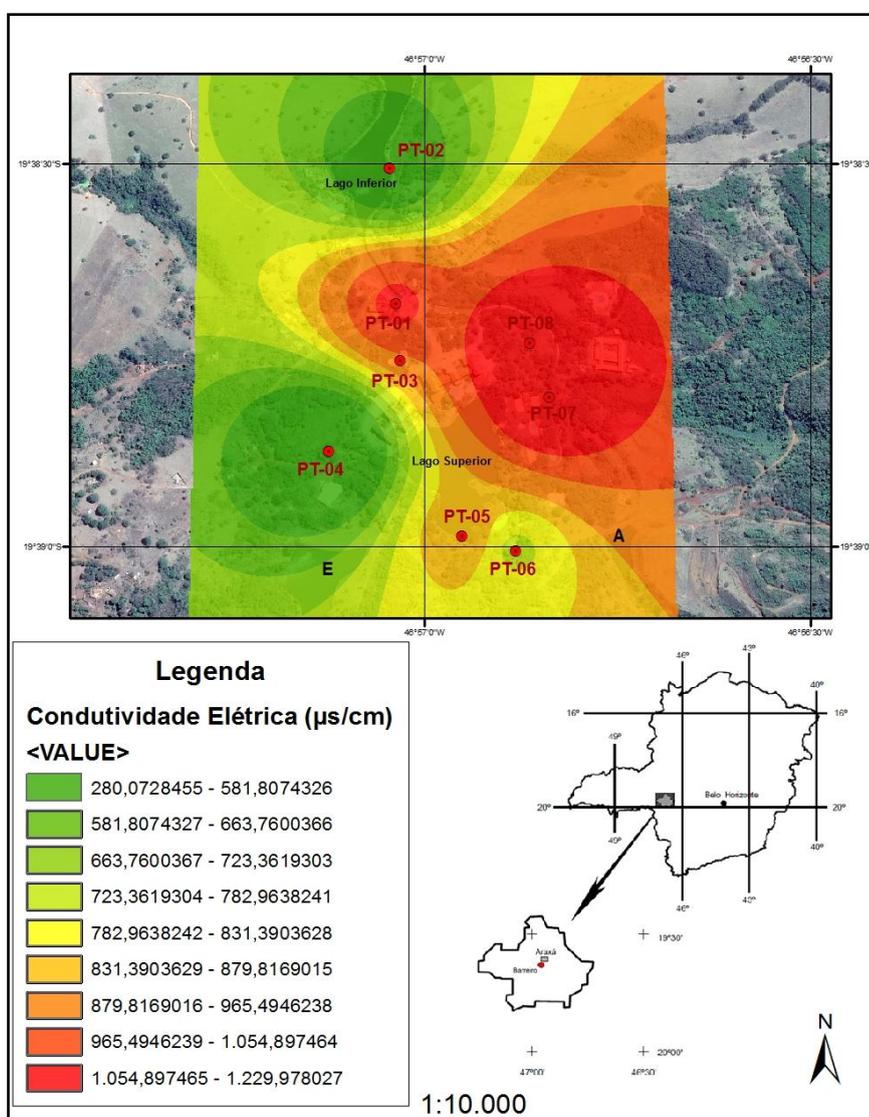


Figura 4.18 - Mapa Condutividade Elétrica.

Por fim é apresentado o mapa de sólidos dissolvidos da região (Figura 4.19), os pontos apresentaram uma média de 429 ppm, podendo apresentar uma variação de 10 ppm de acordo com as especificações do aparelho. Novamente é possível observar que na região dos pontos PT-07 e PT-08 apresentaram as maiores concentração de sólidos.

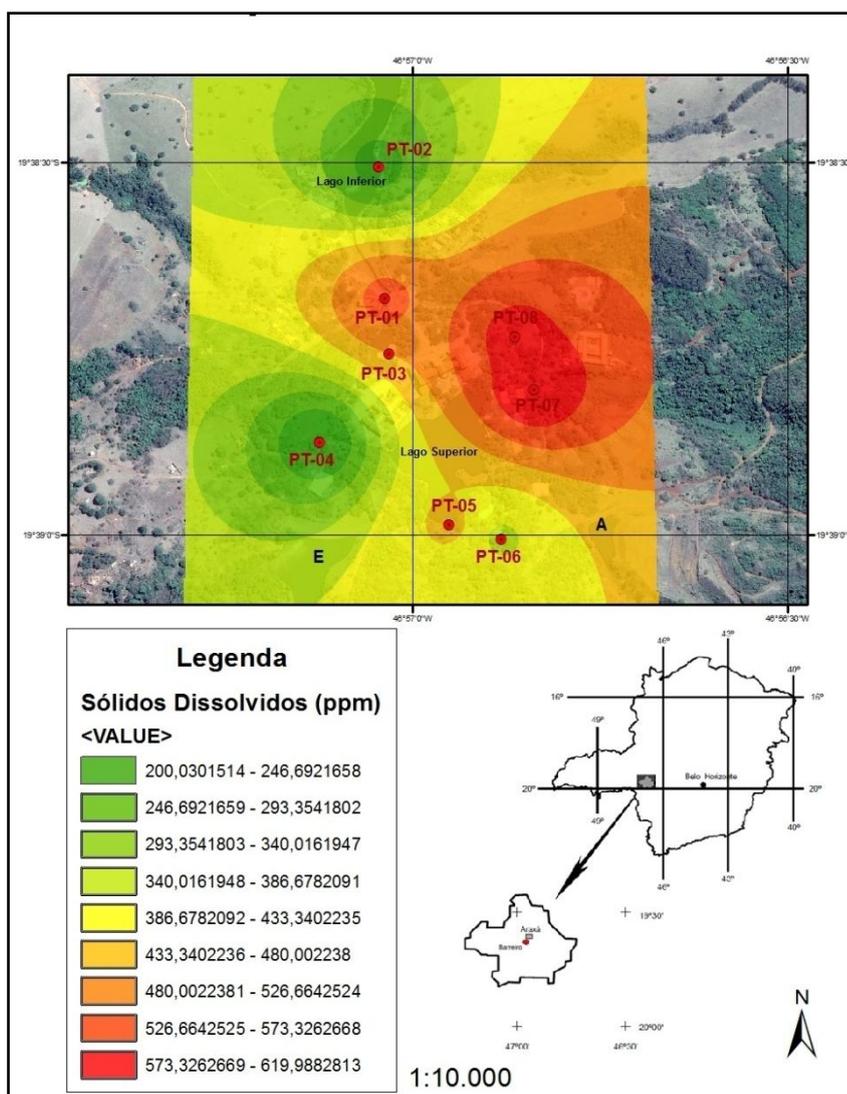


Figura 4.19 - Mapa de sólidos dissolvidos.

Para garantir maior representatividade do projeto foi consultado o trabalho de Viana *et.al.*(1999) e obtidas informações sobre as propriedades, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos, que não conseguiram ser inferidas pelo aparelho usado no ponto 3, fonte Andrade Junior. Dessa maneira dois novos mapas hidroquímicos dessas

propriedades foram gerados.

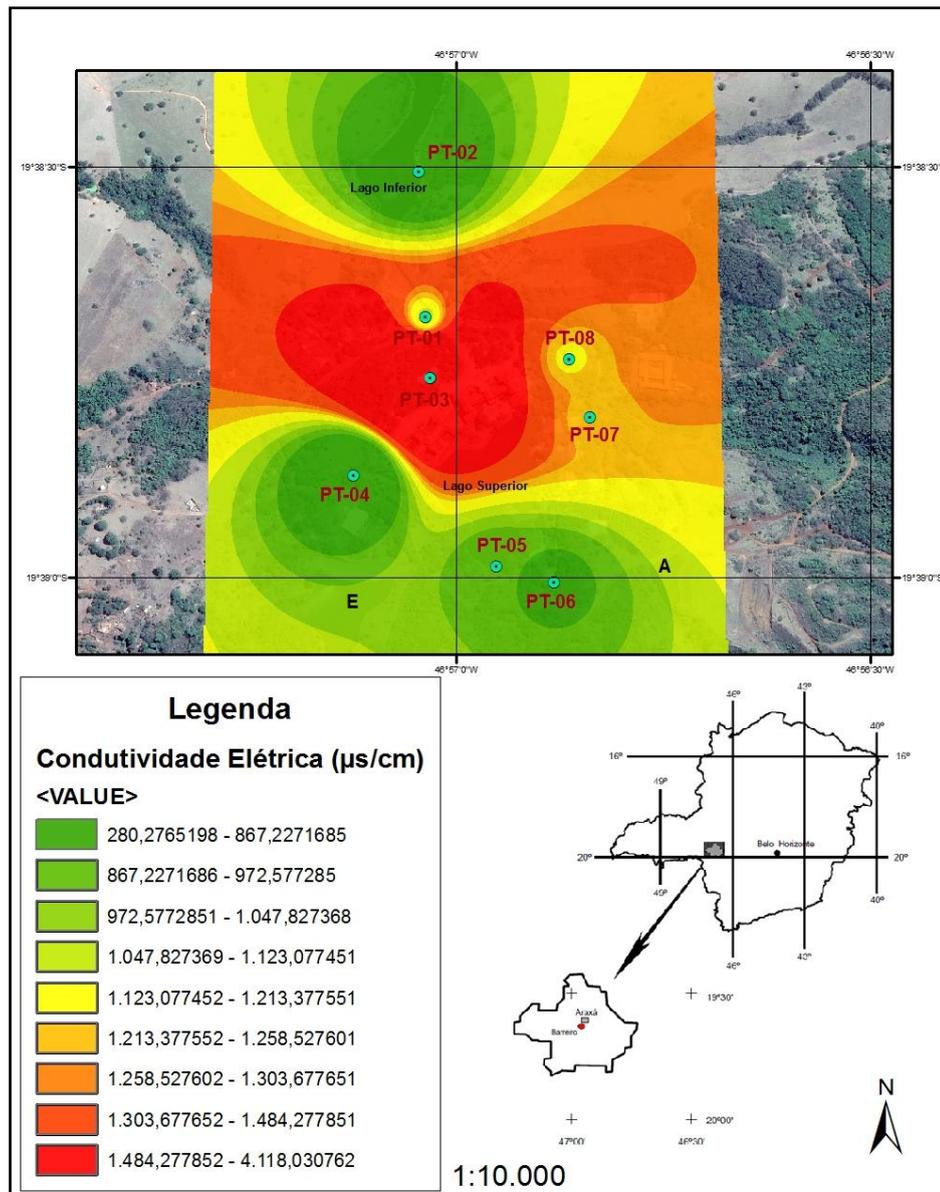


Figura 4.20 - Mapa de condutividade elétrica com informação da fonte Andrade Jr.

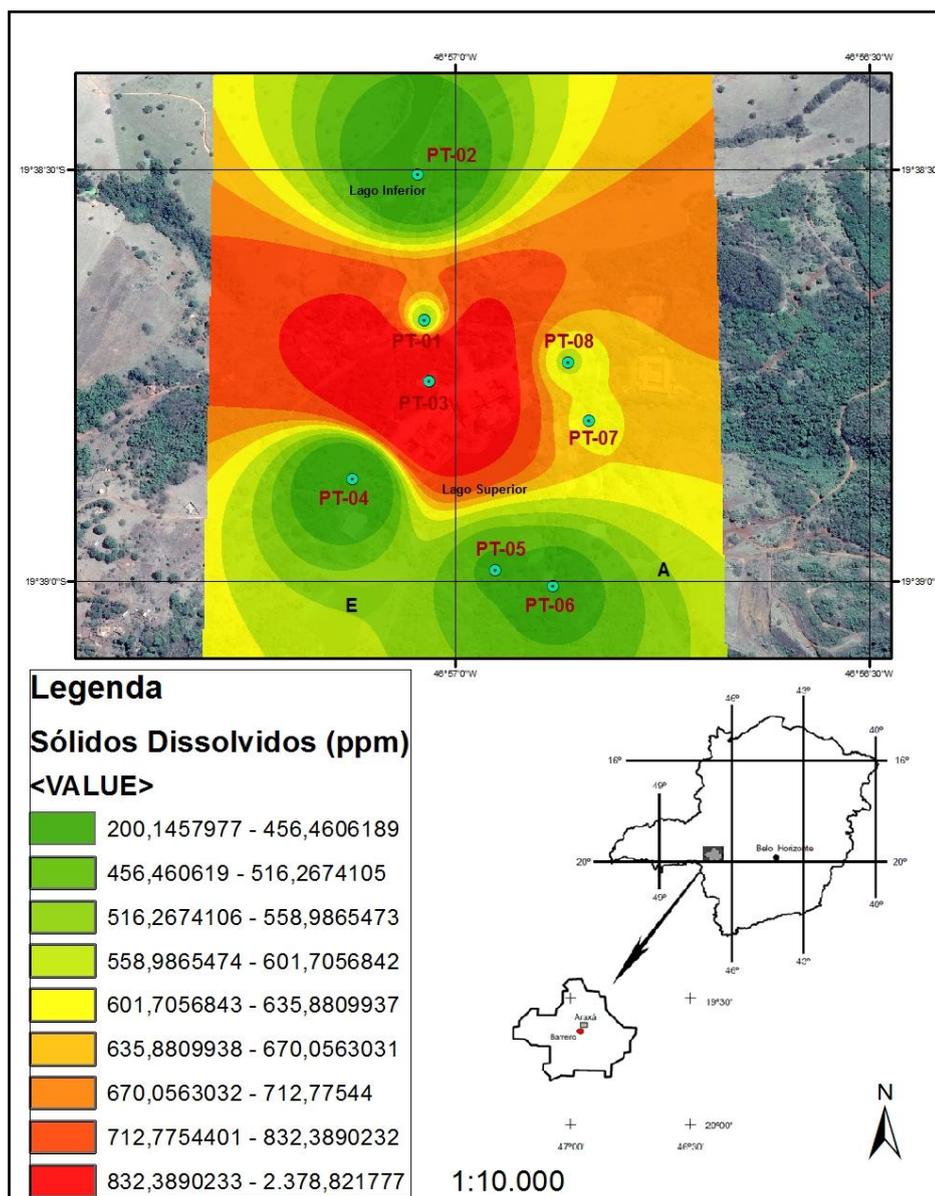


Figura 4.21 - Mapa de sólidos dissolvidos com informação da fonte Andrade Jr.

É possível observar que os maiores valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos tendem a se concentrar na região central do mapa, no entorno da fonte Andrade Júnior. Essa correção permitiu observar que a condutividade elétrica e TSD do lago “A” é menor quando comparado com as características da fonte termal, anteriormente os maiores valores concentravam-se ao redor dos pontos a jusante do lago A.

No anexo A é possível confirmar esses valores, através dos dados do Projeto Araxá (VIANA *et al.*, 1999), onde se observa altos valores de condutividade elétrica e

sólidos dissolvidos para as regiões da fonte Andrade Júnior e para o córrego da cascatinha, localizado a montante do lago “A”.

O ponto PT-01 está localizado no mesmo sistema de drenagem que o ponto PT-04, sendo o ponto PT-01 localizado mais a jusante e PT-04 mais a montante. Dessa forma é esperado que essas águas apresentem uma distribuição de íons bastante parecida, o que é confirmado pelas análises químicas apresentadas na tabela 6. A concentração de cloreto não observada a montante (valor inferior a 0,8mg/L) pode ser verificada a jusante desta mesma drenagem, o que indica que durante o fluxo de água houve incorporação desse íon. Essa incorporação de cloreto pode ter origem nas atividades minerárias do entorno ou qualquer outra atividade. Mesmo com essa diferença de concentração de Cl^- , ambas as águas são classificadas de acordo com o diagrama de Piper como uma água bicarbonatada cálcio-magnésiana (mista bicarbonatada).

A água da fonte Andrade Junior (PT-03) como já esperado apresentou ser uma água bem distinta das demais, com concentrações de sódio, potássio, bicarbonato e sulfato mais elevadas. É uma água mineral proveniente de um aquífero profundo e é classificada como bicarbonatada sódica.

O ponto PT-07 (Figura 4.20) apresentou valores elevados para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos. O resultado da análise hidroquímica confirma os mapas gerados para essas propriedades (Figura 4.20 e Figura 4.21), pois é um ponto que apresentou uma quantidade de íons dissolvidos na água maiores que nos pontos localizados na drenagem dos lagos “E” e “F”.

Um local que apresenta valores elevados de condutividade e TDS é um local que terá mais íons dissociados nessa água, o que é confirmado pela maior presença dos íons de sódio, potássio, cloreto e sulfato. Essa água é classificada como sódica mista.

Raposo (2011) cita em seu trabalho que as águas do barreiro são tipicamente bicarbonatadas cálcio-magnésianas, com exceção das águas mesotermiais, que são bicarbonatadas sódicas apesar do forte cheiro de enxofre e elevada concentração de sulfato. O que é confirmado pelo diagrama de Piper (Figura 4.22) e pela tabela de classificação das águas de acordo com os íons constituintes (Tabela 4.2), mostrando uma boa correlação entre este trabalho e a bibliografia existente.

Tabela 4.1 - Resultado das análises hidroquímicas.

Ponto	Local	Sódio Total (mg/L)	Potássio Total (mg/L)	Cálcio Total (mg/L)	Magnésio Total (mg/L)	Cloreto Total (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	Sulfato Total (mg/L)
PT-01	"E" e "F" canaleta	2,84	3,69	10,98	6,58	23,98	145,00	5,00
PT-03	Fonte Andrade Junior	1260,00	148,00	0,37	<0,25	20,20	3500,00	184,68
PT-04	"E" e "F" tubos	0,53	3,35	12,98	8,58	<0,8	100,50	3,29
PT-07	Drenagem lago "A"	15,45	11,42	12,00	0,68	46,71	60,50	48,28

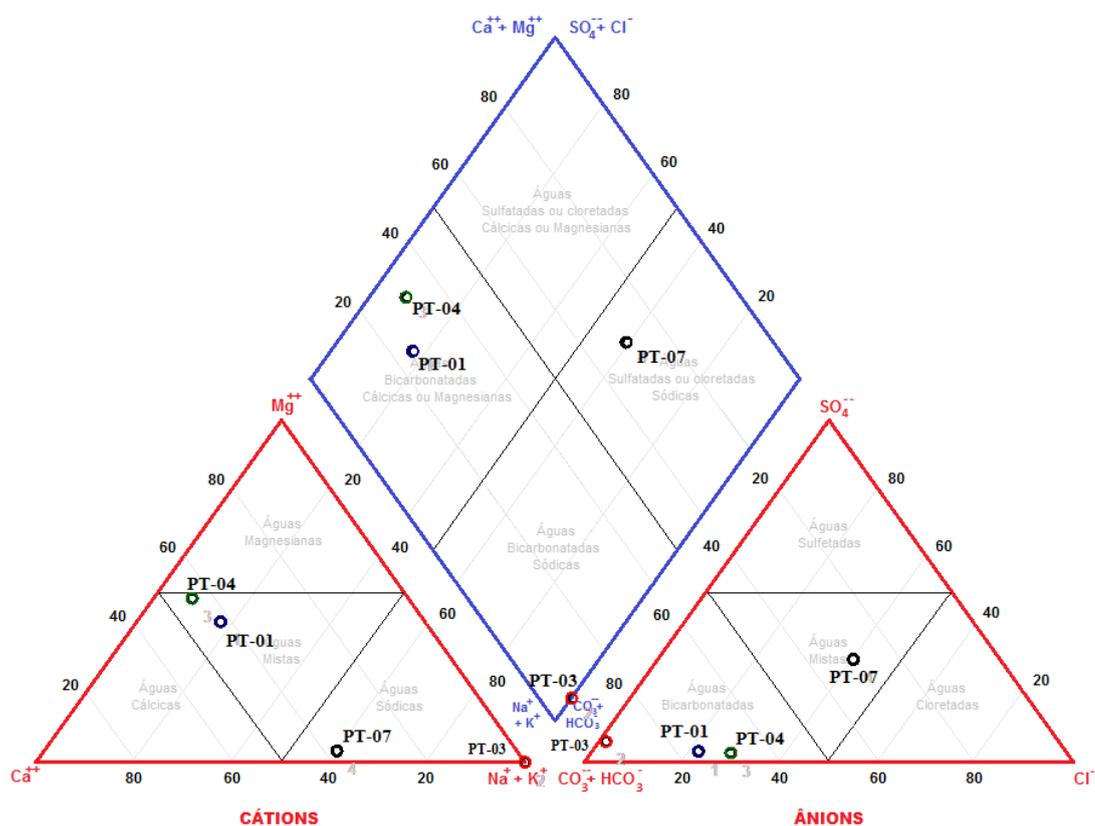


Figura 4.22 - Diagrama de Piper.

Tabela 4.2 - Classificação das águas de acordo com os íons constituintes.

Nº	Nome da Amostra	Na + k (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ +HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Classificação das Águas
1	PT-01	6,53	10,98	6,58	23,98	145,00	5,00	Mista Bicarbonatada
2	PT-03	1.408,00	0,37	0,68	20,20	3.500,00	184,68	Sódica Bicarbonatada
3	PT-04	3,88	12,98	8,58	23,98	100,50	3,29	Mista Bicarbonatada
4	PT-07	26,87	12,00	0,68	46,71	60,50	48,28	Sódica Mista

5 CONCLUSÃO

Os objetivos do trabalho foram atingidos, foram realizados todos os procedimentos de uma pesquisa hidrogeológica inicial onde os resultados obtidos ficaram bem parecidos com estudos já realizados na região. Dessa maneira o trabalho serviu também como uma atualização bibliográfica para utilização em futuros estudos que poderão ser desenvolvidos.

Foi possível realizar o mapeamento das unidades geológicas onde se constatou presença de um extenso manto de intemperismo na região limitado na vizinhança por rochas quartzíticas, intensamente fraturada. O aquífero superficial foi classificado como aquífero livre

Os oito pontos d'águas inventariados se encontraram dentro do *background* da região quanto as propriedades físicas e iônicas, porém apresentando alguns valores acima do permitido (Resolução CONAMA Nº 357, de 2005, águas classe 2). O ponto locado na fonte Andrade Junior (PT-03) apresentou um pH acima dos padrões legais (6 a 9), assim como três pontos (PT-01, PT-7, PT-08) apresentaram valores de sólidos dissolvidos acima do permitido (500 mg/L).

As águas classificadas como classe 2 segundo o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (Resolução CONAMA nº 274, de 2000); 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 à aquicultura e à atividade de pesca.

As análises hidroquímicas realizadas para os principais constituintes não constataram nenhuma anomalia nos pontos amostrados, todos os parâmetros analisados apresentaram resultados dentro dos padrões preconizados pela Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005, que rege a qualidade das águas (águas classificadas como classe 2).

Todos os pontos apresentaram excelente correlação com a bibliografia, tendo como referência os trabalhos existentes da CPRM (Projeto Araxá, 1999) e a dissertação de Raposo (2011), confirmando a representatividade do projeto.

Foi constatada a existência de águas com diferentes características, as águas

do lago "A" possuem características diferentes das águas do lago "E" e "F", assim como a água da fonte Andrade Junior. Ambos os lagos tem origens e usos diferentes, manter o nível do lençol freático da região (lagos "E" e "F") e a contenção de sólidos das atividades minerárias (lago "A"), atrativo turístico e medicinal (Fonte Andrade Jr).

Dessa maneira pode-se concluir que todos os objetivos propostos para este trabalho foram cumpridos. Foram gerados vários resultados gráficos e dados que podem ser usados como ponto de partida para trabalhos futuros, como análise de qualidade das águas.

REFERÊNCIAS

- Abrahão Issa Filho, B. F. (2001). SOME ASPECTS OF THE MINERALOGY OF CBMM NIOBIUM DEPOSIT AND MINING AND PYROCHLORE ORE PROCESSING – ARAXÁ, MG – BRAZIL. *Niobium Science & Technology: Proceedings of the International Symposium Niobium* .
- Arthur Schmidt Nanni, M. A. (2005). Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões-RS. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS* .
- BIONDI, J. C. (2003). *Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Centro de Memória Bunge*. (2017). Fonte: Site da Fundação Bunge:<http://www.fundacaobunge.org.br/>
- COSTA, W. D, Análise dos fatores que influenciam na hidrogeologia do cristalino. São Paulo: CONESP, Recife: SUDENE, 1965.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. 2, ed Barcelona: Omega, 1983. 2 v DNPM. (2014). *Sumário Mineral*.
- EDWARD E. JOHNSON, INC. (1978). *ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E POÇOS TUBULARES*. São Paulo: CETESB.
- Fernando A.C Feitosa, J. M. (2000). *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM-Serviço Geológico do Brasil 2ª Ed.
- Garcez, L. N. (1967). *Hidrologia*. São Paulo: Edgard Blucher LTDA.
- GOMES, T. A. (2017). CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA JAZIDA DE PIROCLORO ASSOCIADA AO COMPLEXO ALCALINO CARBONATÍTICO DO BARREIRO, ARAXÁ - MG. Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - Instituto de Geociências.
- GONÇALVES, D. D. (2011). GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS LADRÕES, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL FEPAGRO SUL/RS. Porto Alegre.
- GONÇALES, VALTER GALDIANO; GIAMPÁ, CARLOS EDUARDO QUAGLIA. Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos. RIO DE JANEIRO: SIGNUS, 2006 Haroldo Santo Viana, E. G. (1999). *Projeto Araxá. Estudo Geoambiental das Fontes Hidrominerais*. Belo Horizonte: CPRM.
- IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. (2013). Acesso em Outubro de 2016, disponível em IBGE: http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/historico.php?lang=_ES&codmun=310400&search=minas-gerais|araxa|infograficos:-historico
- Jobabe Lira Lopes Leite de Souza, T. S. (2011). Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* .
- KARMANN, Ivo; TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, Maria Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas R.; TAIOLI, Fabio. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: Decifrando a terra, 2000.

Nadia Rita Boscardin Borghetti, J. R. (2004). *Aquífero Guarani : a verdadeira integração dos Países do MERCOSUL*.

Nilson Guiguer, M. W. (2002). MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS. *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas* .

Raposo, D. B. (2011). *CARACTERIZAÇÃO DO AQUÍFERO ASSOCIADO AO COMPLEXO ALCALINO CARBONATÍTICO DO BARREIRO, OESTE DE MINAS GERAIS*. Campinas-SP.

Resolução, Nº. "357, de 17 de Março de 2005." CONAMA-Conselho Nacional de Meio Ambiente (2005).

Sanasa Campinas. (2017). Acesso em 19 de Maio de 2017, disponível em Site da SANASA - Campinas: http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteudo2.aspx?f=G&par_nrod=558&flag=PC-2

Seer, H. J. (1999). *"Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforme de Araxá, Araxá, Minas Gerais."* Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

SENAC MINAS 2017. (s.d.). Acesso em Outubro de 2016, disponível em SENAC Descubra Minas: http://www.descubraminas.com.br/Turismo/DestinoApresentacao.aspx?cod_destino=41

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2006). *Water a shared responsibility The United Nations World Water Development Report 2*. BERGHAIN BOOKS.

Viana, H. S., Beato, D. A., & Davis, E. G. (1999). Projeto Araxá. Estudo geoambiental das fontes hidrominerais. *CPRM - Serviço Geológico do Brasil* .

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. World water resources at the beginning of the 21st Century. Cambridge:Cambridge University Press, 2003.

ANEXO A

A - Dados projeto Araxá (VIANA *et al.*, 1999).

NOME	CONDUTIVIDADE E ELÉTRICA ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (ppm)	Ph	T (°C)
Córrego da Mata	1957	>500	6,9	x
Córrego baritina	155,8 a 203	148,0	7,42 a 7,56	x
Fonte Andrade Júnior	4120	2380	10,4	29,1
Lago Superior	308,0	x	8,5	x
Córrego da Cascatinha	49,2 a 123,8	x	7,72 a 9,73	x
Lago Inferior	369	x	7,6	x

ANEXO B

B – Dados do trabalho.

NOME	OBS	TIPO	X	Y	LATITUDE	LONGITUDE	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µs/cm)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (ppm)	pH	COR	ODOR
PT-01	Canaleta	Drenagem	295593	7826071	-19,6447090	-46,9506080	27	1080	540	8,1	Transparente	Sim
PT-02	Vertedouro	Nascente	295419	7826955	-19,6417530	-46,9507320	23	440	230	7,4	Transparente	Não
PT-03	Fonte Andrade Júnior	Nascente	295447	7826492	-19,6459440	-46,9505140	31			10,1	Transparente	Sim
PT-04	Saída do Lago E	Mineração/Drenagem	295289	7826270	-19,6479310	-46,9520480	28	280	200	8	Pouco turva	Não
PT-05	Lago Superior	Lago	295564	7826044	-19,6497610	-46,9491710	28	870	440	8,5	Pouco turva	Não
PT-06	Bebedouro Beja	Nasc/bomb	295714	7826036	-19,6500910	-46,9480170	24	770	380	7,6	Transparente	Não
PT-07	Drenagem do Lago A	Drenagem	295786	7826408	-19,6467350	-46,9472970	26	1230	620	7,9	Transparente	Não
PT-08	Drenagem do Lago A	Drenagem/contribuição	295740	7826538	-19,6455540	-46,9477190	26	1190	590	7,7	Transparente	Não

ANEXO C

C – Ficha de campo.

FICHA DE CAMPO					
Projeto:			Local:		
Município:		UF:	Bacia:		
Inventariado por:				Data:	
Coordenadas				Cota:	
Instrumento	<input type="checkbox"/> GPS, precisão	m Datum:	<input type="checkbox"/> lev.top	Precisão do alt: m	
Origem da amostra					
Fonte natural ou nascente <input type="checkbox"/>		Com gás <input type="checkbox"/>		Sem gás <input type="checkbox"/>	
Poço <input type="checkbox"/>		Lago <input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Outra _____					
Destino da água (obs: Assinale somente uma das opções abaixo)					
<input type="checkbox"/> Uso doméstico (para banho, para beber e para cozinhar)					
<input type="checkbox"/> Irrigação de hortaliças ou de plantas frutíferas					
<input type="checkbox"/> Preservação de peixes em geral e de outros elementos de fauna e flora					
<input type="checkbox"/> Harmonia paisagística			<input type="checkbox"/> Para engarrafamento de Água Mineral		
<input type="checkbox"/> Uso industrial. Especificar: _____					
<input type="checkbox"/> Outros usos. Especificar: _____					
Parâmetros analisados					
Temperatura (°C):			Odor:		
Condutividade elétrica (µS/cm):			Cor:		
Sólidos dissolvidos (mg/L):			pH:		
Descrição do ponto					
Observações					