



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Caracterização dos Sistemas Aquíferos do Distrito Ferrífero de Itabira, Minas Gerais.

Characterization of the Aquifer Systems of the Itabira Iron District, Minas Gerais.

José Augusto Costa Gonçalves¹✉; Pedro Henrique Rodrigues Pereira²; Milena Stefany Laje Almeida³

¹ Instituto de Ciências Puras e Aplicadas.
Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais.

✉ jaucosta@unifei.edu.br, pedro.hrp90@gmail.com, milenastalmeida@unifei.edu.br

Resumo

Este estudo pretende contribuir para o conhecimento hidrogeológico da região e o melhor entendimento do funcionamento deste sistema aquífero e de suas inter-relações com os demais aquíferos. A escolha desta região para o estudo baseou-se em um conjunto de características incluindo: a representatividade geológica, as grandes reservas de minério de ferro e os grandes empreendimentos minerários, existência de estudos realizados pelas mineradoras e importância das águas subterrâneas para o abastecimento de água do município. Foram identificados os seguintes sistemas aquíferos: Sistema Aquífero Coberturas Detríticas, Sistema Aquífero das Rochas Ultrabásicas, Sistema Aquífero Galho do Miguel, Sistema Aquífero Membro Campo Sampaio, Sistema Aquífero Sopa Brumadinho, Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico, Sistema Aquífero Piracicaba, Sistema Aquífero Itabira, Sistema Aquífero Nova Lima, Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico. Os poços mais produtivos são os perfurados nas formações ferríferas do Cauê, ($Q_{\text{média}}=41,75 \text{ m}^3/\text{h}$), seguidos pelos poços perfurados dos quartzitos do Grupo Piracicaba ($Q_{\text{média}}=34,01 \text{ m}^3/\text{h}$) e, por fim, os poços menos produtivos são os perfurados nas rochas do Grupo Nova Lima e Complexo Granito-Gnáissico ($Q_{\text{média}}=13,30 \text{ m}^3/\text{h}$).

Abstract

This study aims to contribute to the hydrogeological knowledge of the region and a better understanding of the functioning of this aquifer system and its interrelationships with other aquifers. The choice of this region for the study was based on a set of characteristics including: geological representativeness, large iron ore reserves and large mining enterprises, existence of studies carried out by mining companies and the importance of groundwater for water supply the municipality. The following aquifer systems were identified: Aquifer System Detritic Coverings, Ultrabasic Rocks Aquifer System, Galho do Miguel Aquifer System, Campo Sampaio Member Aquifer System, Soup Brumadinho Aquifer System, Gneiss-Granitic Aquifer System, Piracicaba Aquifer System, Itabira Aquifer System, Aquifer System Nova Lima Aquifer, Gneiss-Granitic Aquifer System. The most productive wells are those drilled in the Cauê iron formations, ($Q_{\text{média}}=41.75 \text{ m}^3/\text{h}$), followed by the wells drilled in the Piracicaba Group's quartzites ($Q_{\text{média}}=34.01 \text{ m}^3/\text{h}$), and, finally, the least productive wells are those drilled in the rocks of the Nova Lima Group and the Granito-Gnáissico Complex ($Q_{\text{média}}=13.30 \text{ m}^3/\text{h}$).

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i1.30014>

Palavras-chave:

Sistemas Aquíferos.
Águas Subterrâneas.
Unidade Hidrogeológica
Itabira-MG.

Keywords

Aquifer Systems.
Groundwater.
Hydrogeological Unit.
Itabira-MG.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos dos sistemas aquíferos podem apresentar importantes proposições em termos da definição de uma estratégia eficiente e sustentável para a gestão dos recursos das águas subterrâneas, (SOPHOCLEOUS, 2000).

Importantes sistemas aquíferos são estudados em diversos locais do planeta, como o Alto Plains Aquifer nos EUA (LUCKEY e BECKER, 1998), o Aquífero Nubean compartilhado pelo Egito, Chade, Sudão e Líbia (ROBINSON et al., 2007), o Grande Aquífero Artesiano na Austrália

(HABERMEHL e LAU, 1997), o Yrendá-Toba-Tarijeño Sistema Aquífero compartilhado por Argentina, Bolívia e Paraguai (UNESCO-IHP, 2009), o Sistema Aquífero Navajo no EUA (HEILWEIL et al., 2002), o Aquífero Guarani (GASTMANS et al., 2012), presente no Brasil, Paraguai, Uruguai, Argentina, o Alter do Chão (PITA et al., 2018), na região amazônica, Urucuaia (GASPAR e CAMPOS, 2007), no centro oeste brasileiro

No Distrito Ferrífero de Itabira, os sistemas aquíferos locais representam uma reserva hídrica estratégica nessa região, pois, aliados a crescente demanda, de água para o desenvolvimento econômico, possuem uma forte contribuição direta nos períodos de estiagem mediante o fluxo de base para os rios do Peixe, Tanque.

Utilizando SIG como ferramenta e aplicando análise multicritério através do método do Processo Analítico Hierárquico (PAH), Pereira et al.,(2018), mostraram que 64,42% do território do município de Itabira apresentam índices de potencialidade muito baixa a baixa para armazenamento e circulação das águas subterrâneas e somente 8,18% apresentam potencial alto a muito alto para os recursos hídricos subterrâneos.

NETO et al., (2001) calcularam as reservas permanentes de água subterrânea, também chamadas de reservas geológicas para os sistemas aquíferos Itabira e Piracicaba, e são estimados em aproximadamente $334 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um modelo hidrogeológico conceitual contemplando o conhecimento e caracterização dos sistemas aquíferos, bem como entendimento da circulação das águas subterrâneas no distrito ferrífero de Itabira proporcionando informações para a sua gestão e preservação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo hidrogeológico conceitual é fundamentado na compilação de informações sobre a hidrogeologia local, através de mapas geológicos e hidrogeológicos, figuras, textos, gráficos, relatórios técnicos de poços tubulares, objetivando organização dos dados que demonstrem a melhor compreensão e interpretação da circulação dos recursos hídricos subterrâneos, (MAIMONE, 2004).

A caracterização hidrogeológica regional foi realizada utilizando como base os dados secundários e pesquisas em campo a saber: a) o entendimento da geometria e das características dos sistemas aquíferos existentes e suas inter-relações com os recursos hídricos superficiais; b) compreensão e demonstração das possíveis condições de circulação e armazenamento das águas subterrâneas, a partir da infiltração na superfície do solo da zona de recarga, até as nascentes e surgências da zona de descarga, (MEYLAND, 2011; HILL, 2006).

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde à porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), que por sua vez, se localiza no centro leste do estado de Minas Gerais, está inserida em duas sub-bacias hidrográficas sendo drenada ao sul pela sub-bacia do Rio do Peixe e ao norte-noroeste pela sub-bacia do Rio Tanque, o primeiro tributário do Rio Piracicaba e o segundo afluente do Rio Santo Antônio, ambos pertencentes à Bacia do Rio Doce.

A rede de drenagem dessa região é de elevados gradientes hidráulicos, condicionados pela intensa compartimentação e controles estruturais importantes como contatos geológicos, traços de foliação e descontinuidades, (GONÇALVES et al., 2020). Os dados climatológicos regionais mostram que a média anual de precipitações para a região é de 1500 mm. O município de Itabira, com uma área de 1.253,704 km², possui um relevo muito acidentado e montanhoso, resultado da degradação de uma superfície de erosão de idade terciária.

O território estudado, Figura 1, é recoberto por unidades litoestratigráficas do Arqueano até o Cenozóico (KNAUER, 2007; JORDT-EVANGELISTA et al., 2016). As unidades arqueanas são representadas pelo Complexo Granito Gnaissico Migmatítico e Grupo Nova Lima, e as unidades proterozóicas são representadas pelas rochas do Supergrupo Minas, pelas rochas máficas intrusivas, e as coberturas detríticas do Cenozóico finalizando a coluna estratigráfica local, (NETO et al., 2001).

Os depósitos detríticos de fluxo gravitacional são os principais representantes das coberturas cenozoicas, ocorrendo geralmente laterizados e cortados por muitas falhas (SAADI, 1995; NETO et al., 2001). Estes depósitos são formados por fragmentos de hematita em matriz argilosa. Sobrepostos a estes depósitos podem ser encontradas coberturas recentes, possivelmente do Quaternário, representadas por solos arenosos e coluvionares (BRANDALISE, 2000; SAADI, 1995).

Sotopostos às coberturas detríticas cenozoicas, encontram-se as rochas do Supergrupo Espinhaço cortadas por alguns corpos intrusivos alongados e de espessura centimétricas, às vezes métricas na porção N-NW, constituídos por anfíbolitos, metagabros, metabasaltos e metadiabásios, (PADILHA et al., 2000; CHEMALE et al., 1994). De acordo com MDGEO (1999), são encontradas duas gerações de rochas intrusivas máficas. A primeira consiste principalmente de diques e sills, que aparecem principalmente nas minas Cauê e Dois Córregos, que provavelmente estão relacionadas a um episódio distensivo anterior ao final do evento tectometamórfico que afetou regionalmente todo o maciço do pré-cambriano. A segunda geração refere-se à diques de diabásio, possivelmente do mesozóico, são subverticais de espessuras métricas e que ocorrem em zonas de fraturas NW-SE, (ROSIÈRE e CHEMALE, 2000)

As rochas do Supergrupo Espinhaço estão presentes à noroeste da área estudada, representadas pelas formações Galho do Miguel, Membro Campo Sampaio e Sopa Brumadinho (PADILHA et al., 2000; FARINA et al., 2015; BRANDALISE, 2000).

Os quartzitos da Formação Galho do Miguel, ocorrem geralmente em bancos espessos e com megaestratificações cruzadas (NOCE, 1995). Trata-se de uma sequência monótona composta exclusivamente de quartzitos que atingem de 500 até 2000 metros de espessura, típica sequência de ambiente eólico, constituída essencialmente de quartzitos de cor branca, que adquirem tonalidade rosada quando meteorizados e, eventualmente, apresentam tonalidade esverdeada (ANDRADE, 2012). Os quartzitos são puros, de granulação fina a média (KNAUER, 2007).

O Membro Campo Sampaio, situado na base da Formação Galho do Miguel, é constituído por sericita-quartzo xistos carbonáticos, quartzitos carbonáticos, e sericita xistos (KNAUER, 2007). A Formação Sopa-Brumadinho, unidade basal do Supergrupo Espinhaço na região estudada, é composta de quartzitos, metaconglomerados polimíticos, quartzitos microconglomeráticos polimíticos (KNAUER, 2007). Predominam quartzitos inequigranulares a grãos grosseiros, subarredondados a angulosos imersos em matriz inequigranular fina a média, em geral claros, às vezes cinzentos, com placas de hematita finamente disseminada (CHEMALE et al., 1994). Há ocorrências de metarenitos microconglomeráticos em associação com os metaconglomerados. Os quartzitos finos equigranulares são brancos e friáveis, quando frescos se apresentam com aspecto vítreo e coloração cinza, com intercalação de filitos (PADILHA et al., 2000).

Sotopostos ao Supergrupo Espinhaço encontra-se, a Suíte Borrachudos, constituída por metagranitos, metasenito-granitos intrusivos, paleo-proterozóicos e distribuem-se em uma grande faixa SW-NE, (JORDT-EVANGELISTA et al., 2016), cortando em diagonal a área do município como também se apresenta em destaque no extremo leste da área urbana de Itabira. Caracteriza-se por um relevo em meia laranja, com poucos afloramentos (ANDRADE, 2012).

O Supergrupo Minas, de idade proterozóica, sotoposto a Suíte Borrachudos é representado pelos grupos Piracicaba, Itabira e Caraça, formando a Serra do Itabiruçu, também chamada de Esmeril (CHEMALE et al., 1997). O Grupo Piracicaba Indiviso que é restritamente exposto na região de Itabira, é constituído principalmente por quartzitos ferruginosos, quartzo-sericita xistos, mica xistos, xistos grafitosos e, esporadicamente, xistos carbonáticos, dolomitos manganêsíferos e itabiritos (RENGER et al., 1994). As rochas do Grupo Piracicaba mostram-se foliadas, geralmente dobradas e com estruturação subvertical devido a ação de zonas transcorrentes que cortam e limitam o Supergrupo Minas (CHEMALE et al., 1994; SCHORSCHER e GUIMARÃES, 1976).

Sotoposto ao Grupo Piracicaba, o Grupo Itabira é representado pela Formação Cauê, que é composta localmente por itabirito, itabirito manganêsífero e itabiritos dolomíticos (intemperizados), além de quartzo-muscovita xistos (ROSIERE et al., 1976; SPIER et al., 2007). A Formação Cauê, em grandes profundidades apresenta-se alterada em produtos friáveis, possuindo imensa propriedade armazenadora de água devido a sua natureza porosa ou fraturada (NETO et al., 2001; MOURÃO, 2007). O Grupo Caraça é a unidade basal do Supergrupo Minas sendo constituído pelas Formações Moeda e Batatal (RENGER et al., 1994). As rochas deste grupo são muito restritas na área de estudo, ocorrendo em uma estreita faixa, ao sul da cidade de Itabira, entre as minas de Periquito e Conceição, representado por um quartzito sericítico associado a um sericita xisto no contato com a Formação Cauê (MDGEO, 1999).

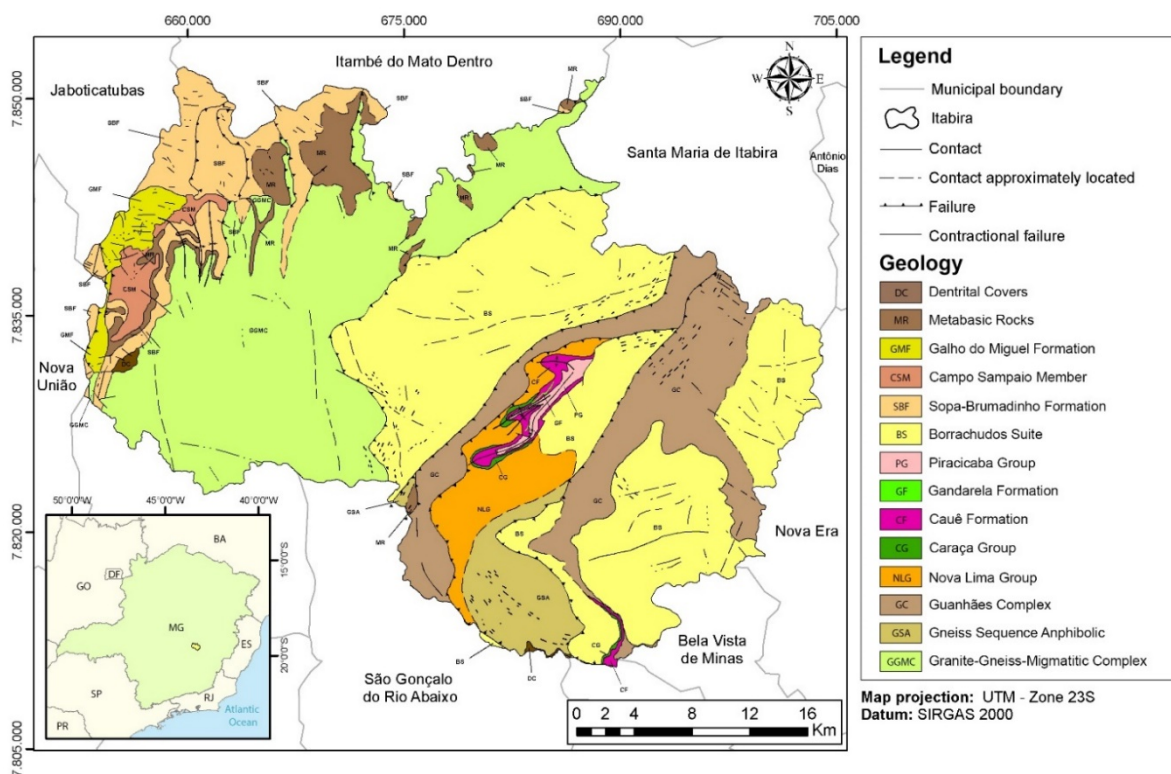
Sotoposto ao Grupo Caraça, o Grupo Nova Lima, de idade arqueana forma um corpo alongado e pouco espesso que vai da área urbana de Itabira e se estende para sul, cujos contatos com o Complexo Granito-Gnáissico são geralmente abruptos, controlados pelas feições estruturais, sendo constituído por uma grande variedade de xistos e filitos de origem metassedimentar ou metavulcânica, dentre os quais se destacam quartzitos ferruginosos, formações ferríferas, anfíbolitos, dolomitos, metachert, metaultrabásicas (ALMEIDA, 1976; SCHORSCHER, 1976). Os xistos e filitos, mostram cores verde a cinza-esverdeada e quando intemperizados, adquirem cor marrom-avermelhado. Os xistos grafitosos e filitos apresentam cores cinza e cinza-prateados. As rochas alteram-se geralmente em saprólitos silto-argilosos, vermelho rosado a roxo amarelado. Alguns anfíbolitos são encontrados frequentemente na forma de corpos alongados em toda região.

As rochas do Complexo Guanhões, sotopostas às rochas do Grupo Nova Lima são representadas na área do município de Itabira através de uma diversidade de litotipos como ortognaisses tonalíticos-trondhjemíticos-granodioríticos e graníticos, gnaisses e xistos anfíbolíticos, anfíbolito, xistos metapelíticos, gnaisses bandados, xistos máficos e ultramáficos, metagrauvacas, anfíbolitos, quartzitos (ALMEIDA-ABREU & RENGAR, 2002; JORDT-EVANGELISTA et al., 2016).

Na região centro-sul do município, a Sequência Gnáissica Anfíbolítica, de idade arqueana, sotoposta ao Complexo Guanhões, tem formato circular, com as suas extremidades um pouco alongadas. Esta sequência é representada por uma alternância quase rítmica de faixas de gnaisses graníticos e de anfíbolitos, de ordem de decâmetros a hectômetros de espessura, necessitando ainda de estudos petrográficos e petrogenéticos (JORDT-EVANGELISTA et al., 2016).

O Complexo Granito Gnáissico Migmatítico, de idade arqueana, é a base das sequências metassedimentares e metavulcânicas da região (LANA et al., 2013; FARINA et al., 2015), ocorrendo numa extensa área, principalmente a leste do município, caracterizado-se por um relevo de morros denominados de meia laranja. (ANDRADE, 2012). É formado por um conjunto de granitoides gnaissificados e migmatizados; com intercalações esparsas, métricas a quilométrica de anfíbolitos, quartzitos e sericita-quartzo-xistos e xistos, (DUSSIN, 2000; PERES et al., 2004).

Figura 1 – Mapa geológico do município de Itabira, modificado de CPRM (2000).



2.2. Inventário dos pontos d'água

Foram cadastradas 91 nascentes na área estudada, em diversas campanhas de reconhecimento de campo. As nascentes em sua grande maioria formadas de pequenas surgências com vazões médias de 0,13 L/s. Foram cadastrados 99 poços tubulares profundos, cujas principais características são mostradas na Tabela 1.

Os valores de transmissividade (T) foram obtidos por teste de bombeamento de vazão máxima e pelo de recuperação, interpretados pelo método de COOPER & JACOB (1946) em 11 poços tubulares perfurados nos aquíferos gnáissico-granítico, apresentados na Tabela 1. Considerando que este método seja utilizado para avaliar aquíferos confinados, neste trabalho foi usado para se estimar a transmissividade de aquíferos livres a semiconfinados (DOMENICO & SCHWATZ, 1990), desde que não existam poços de monitoramento para os ensaios de avaliação das características hidrodinâmicas dos aquíferos. Para os demais sistemas aquíferos os parâmetros hidrodinâmicos foram obtidos através de ensaios de aquíferos executados pelas empresas mineradoras.

Tabela 1 – Dados construtivos e de produção dos poços cadastrados.

Sistemas Aquíferos	N P	Profundidade (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	NE (m)	ND (m)
Sistema Aquífero Itabira	41	333,00*	95,97	1,23	84,48	189,24
		75,00**	1,80	0,02	0,33	41,00
		174,22***	34,01	0,36	16,71	117,12
Sistema Aquífero Piracicaba	30	254,00	123,12	12,17	58,00	171,40
		70,00	5,04	0,11	0,00	24,00
		160,64	41,75	1,09	24,94	105,81
Sistema Aquífero Nova Lima	11	250,00	102,78	4,14	91,63	161,61
		80,00	1,98	0,04	0,33	53,84
		138,10	39,39	0,89	27,27	87,51
Sistema Aquífero Gnáissico Granítico	17	217,00	56,40	1,69	83,45	162,00
		50,00	0,94	0,02	1,00	22,00
		92,25	13,30	0,28	11,88	56,19
Total	99					

N P = Número de poços; Q = Vazão de produção; Q/s = Capacidade Específica; NE = Nível estático; ND = Nível dinâmico; * = valor máximo; ** = valor mínimo; *** = valor médio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são mostrados os resultados dos cálculos das dimensões das diversas formações geológicas locais.

Tabela 2 – Dimensões das formações geológicas da área de estudo.

Formações geológicas		Área	
Denominação	Litologia predominante	(ha)	(%)
Cobertura Detríticas	Depósitos coluvionares, Terraços aluviais e fluviais	215,01	0,17%
Metabasitos	Anfibolitos, metadiabásios, metagabros	4.579,60	3,64%
Formação Galho do Miguel	Quartzitos brancos, puros, bem selecionados	2.085,45	1,66%
Membro Campo Sampaio	Quartzitos carbonáticos, sericita quartzo xisto	1.667,68	1,33%
Formação Sopa Brumadinho	Quartzitos micáceos, metaconglomerado, filito	9.533,36	7,58%
Suítas Borrachudos	Metagranitos e metassienogranitos	43.198,47	34,35%
Grupo Piracicaba	Quartzitos ferruginosos, xistos, itabiritos	658,59	0,52%
Formação Cauê	Itabiritos, corpos de hematita	1.344,27	1,07%
Grupo Nova Lima	Xistos, quartzitos, metachertes, metabasitos	5.380,17	4,28%
Complexo Gnáissico-Granítico	Gnaisses, gnaisses migmatíticos, granitos,	57.081,73	45,40%
Total		125.744,33	100,00%

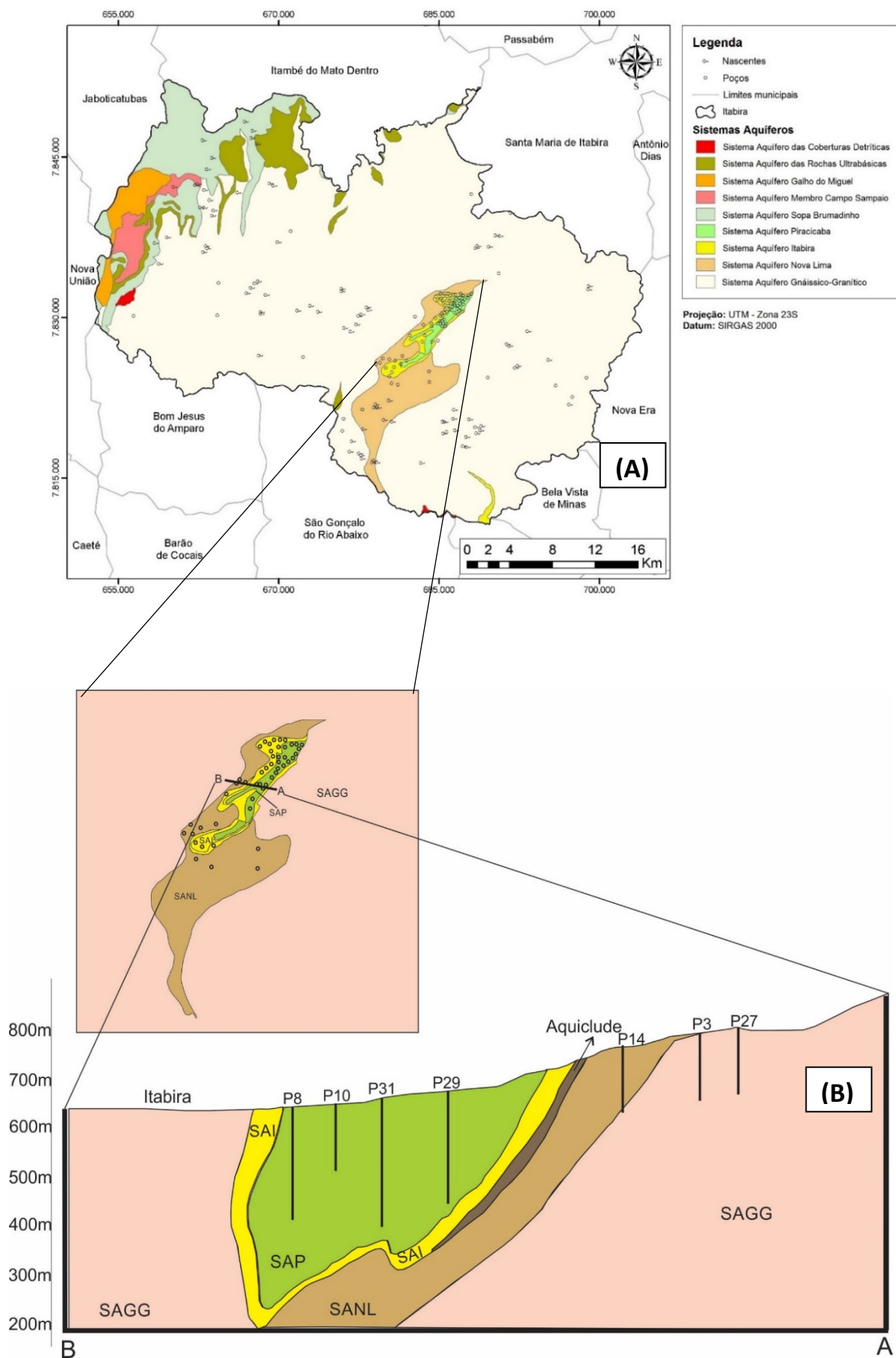
4.1. Unidades Hidrogeológicas

A definição das unidades hidrogeológicas teve como base as características das unidades lito-estruturais identificadas. Assim de acordo com o comportamento do meio condutor de água as unidades podem ser caracterizadas como aquíferos, aquíferos ou aquíferos, Figura 2. Na Tabela 3 são apresentadas uma proposição e sistematização dos sistemas aquíferos e sua relação com as unidades litoestratigráficas regionalmente identificadas.

Tabela 3 – Sistematização dos Sistemas Aquíferos.

Sistemas Aquíferos	Unidade Litoestratigráfica	Unidade Hidrogeológica
Sistema Aquífero Coberturas Detríticas	Coberturas Detríticas (depósitos coluvionares com fragmentos da formação ferrífera, cascalhos, terraços aluviais, lateritas, cangas).	Aquífero Inconsolidado
Sistema Aquífero das Rochas Ultrabásicas	Metabasitos (rochas máficas intrusivas (metadiabásios, metagabros, anfibolitos).	Aquífero
Sistema Aquífero Galho do Miguel	Formação Galho do Miguel (quartzitos brancos, finos a grosseiros).	Aquífero Quartzítico
Sistema Aquífero Membro Campo Sampaio	Membro Campo Sampaio (quartzitos carbonáticos, sericita quartzitos, sericita xistos).	Aquífero Quartzítico
Sistema Aquífero Sopa Brumadinho	Formação Sopa Brumadinho (quartzitos, metaconglomerados, filitos, metassiltitos, sericita xistos).	Aquífero Quartzítico
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico	Suite Borrachudos (Aquífero Granitóide – metagranitos, metassienogranitos).	Aquífero Granitóide
Sistema Aquífero Piracicaba	Grupo Piracicaba (quartzito ferruginoso, itabiritos, dolomitos manganésíferos),	Aquífero Quartzítico
	(xistos e micaxistos grafitosos, xistos carbonáticos; filitos)	Aquífero Xisto
Sistema Aquífero Itabira	Formação Gandarela (dolomito ferro-manganésífero, micaxisto).	Aquífero
	Formação Cauê (itabiritos, itabiritos dolomitos com níveis manganésíferos, corpos de hematita).	Aquífero em formação ferrífera Aquífero Cauê
Sistema Aquífero Nova Lima	Grupo Nova Lima (xistos; filitos; metabasitos, metaultrabasitos)	Aquífero Xisto
	(quartzitos ferruginoso e formação ferrífera).	Aquífero em formação ferrífera
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico	Complexo Guanhões (gneisses, anfibolitos, xistos máficos e ultramáficos, quartzitos).	Aquífero Gnáissico-Granito
	Sequência Gnáissica Anfibolítica (gneisses graníticos, anfibolitos).	Aquífero Gnáissico-Granito
	Complexo Granítico Gnáissico Migmatítico (gneisses bandados, gnaisses migmatíticos).	Aquífero Gnáissico-Granito

Figura 2 - (A) Mapa dos Sistemas Aquíferos locais. (B) Seção Típica (Perfil A-B) dos Sistemas Aquíferos com a localização de poços (P). Fonte: GONÇALVES et al., (2020).



4.2. Caracterização dos Sistemas Aquíferos

Sistema Aquífero de Coberturas Detríticas (SACD)

São aquíferos importantes pela alimentação e recarga que proporcionam aos sistemas aquíferos subjacentes através da infiltração das águas das chuvas, na regularização das vazões dos cursos d'água e pela utilização e facilidade de ser captado pelos pequenos usuários com a perfuração de poços escavados. São encontrados por toda a área em formações superficiais do Cenozoico, recobrando outras unidades aquíferas, principalmente nos platôs, encostas e fundos de drenagens representados pelos terraços fluviais e aluvionares, elúvios, colúvios e manto de alteração, (GONÇALVES et al., 2020). É caracterizado como um aquífero do tipo granular, possuindo boa capacidade de armazenamento de água subterrânea quando sua composição principal é arenosa, diminuindo esta quando se aumenta o teor de argila e silte na sua composição, (GONÇALVES et al., 2019).

Aquíclides em diabásios e metabasitos (ADM)

As rochas intrusivas máficas (diques de diabásio) de idade Cenozóica, presentes na área estudada comportam-se como barreiras hidráulicas dos aquíferos ali presentes, confinando-os em diversos compartimentos. São encontradas principalmente nas sequências metassedimentares e seccionam todos os sistemas aquíferos em diversas direções, compartimentando-os e alterando os fluxos subterrâneos.

Sistema Aquífero Galho do Miguel (SAGM)

Ocorrem em uma pequena faixa de terreno no extremo oeste da região de estudo. São constituídos de quartzitos, quartzitos ferruginosos e sericíticos, metagrauvacas, metacherts e metaconglomerados, interestratificados, ou não, por filitos, xistos e dolomitos.

Os aquíferos são fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados pelos metapelitos e xistos interestratificados. Os níveis piezométricos são relativamente rasos estando as superfícies piezométricas na base das encostas.

Sistema Aquífero Membro Campo Sampaio (SAMCS)

Ocorrem em uma pequena faixa a oeste da área de estudo, e são constituídos por sericita-quartzo xistos carbonáticos, quartzitos carbonáticos, e sericita xistos. Foram encontradas 4 nascentes com vazão média de 0,16 L/s.

Sistema Aquífero Sopa Brumadinho (SASB)

Ocorrem em uma área no extremo noroeste da área de estudo. É constituído predominantemente de quartzitos, meta conglomerados polimíticos, quartzitos microconglomeráticos polimíticos, sericita xistos e filitos. Os aquíferos são fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres a confinados pelos metapelitos e xistos interestratificados. Foram encontradas 6 nascentes com vazão média de 0,14 L/s.

Sistema Aquífero Piracicaba (SAP)

Abrange as rochas que constituem o aquífero xisto e as rochas dos aquíferos quartzíticos. O aquífero quartzítico tem a sua maior área de ocorrência na borda leste da estrutura geológica, acompanhando sempre o limite entre a cidade de Itabira até a área da empresa mineradora (VALE), Figura 2.

É constituído por metassedimentos quartzíticos (quartzitos, quartzitos ferruginosos e sericíticos) de diferentes idades e posições estratigráficas que reúnem condições de armazenamento e circulação de águas subterrâneas, as quais são mais elevadas quando associadas a estruturas rúpteis (falhas, fraturas), ocorrendo de forma descontínua em corpos lineares. Estes aquíferos são fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres podendo ser encontrados também confinados pelos metapelitos e xistos interestratificados, (GONÇALVES et al., 2020), Figura 2, Perfil A-B.

A capacidade de armazenamento é modesta, em decorrência das variações faciológicas modificando as propriedades hidrodinâmicas. No entanto, localmente, existem condições favoráveis de exploração por poços tubulares perfurados neste aquífero, principalmente na região denominada Três Fontes, na área urbana de Itabira, apresentam vazões significativas de 30 a 150 m³/h e, respectivamente com capacidades específicas de 0,30 a 2,8 m³/h/m. A ocorrência de valores de capacidade mais elevada nestes quartzitos pode ser atribuídas à existência de falhamentos, ou intensos fraturamentos.

Os valores médios de transmissividade encontrados nestas rochas em 4 poços perfurados foram de 285 m²/dia, máximo de 610 m²/dia, mínimo de 85 m²/dia e coeficiente de armazenamento variando entre 10⁻² e 10⁻⁵ (MDGEO, 1999).

Os valores de porosidade efetiva variaram de 2% a 5%. Os valor máximo de condutividade hidráulica de 2,10 m/dia, valor mínimo de 0,02 m/dia e valor médio de 1,05 m/dia. A direção do fluxo subterrâneo se dá nas direções dos talwegues dos cursos d'água perenes que drenam o sistema.

As 11 nascentes encontradas nestes litotipos, e que são os exutórios naturais, apresentam vazões médias de 0,11 L/s.

As rochas que constituem o Aquífero Xisto são metassedimentares e metavulcanossedimentares, de natureza xistosa ou pelíticas do grupo Piracicaba, intercalados por níveis quartzosos bastante fraturados, possuindo um comportamento de aquífero, ou até mesmo aquíferos. Prevalece na área central da região estudada, com cotas entre 600 e 900m.

São aquíferos fraturados, descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos e livres, podendo às vezes serem confinados por metapelitos e xistos. A principal fonte para a recarga é pluvial, através da infiltração nas formações superficiais em conexão com as fraturas e com os cursos d'água que cortam os níveis quartzosos. Também recebe recarga do Aquífero Quartzítico e da Formação Ferrífera com os quais está em contato gradacional, (GONÇALVES et al., 2019).

Sistema Aquífero Itabira (SAI)

É constituído pelas rochas das formações Gandarela e Cauê, com unidades hidrogeológicas homônimas. O Aquífero Gandarela, ocorre muito pouco na área estudada e tem um comportamento hidrogeológico de inexpressivo.

O Aquífero Cauê quantitativamente é o principal aquífero da área estudada, bem como de todo Quadrilátero Ferrífero e é constituído pelas hematitas e itabiritos da Formação Cauê, podendo ter em média 200 m de espessura, (REEVES, 1966).

Este aquífero tem características de dupla porosidade, pois tem características hidrodinâmicas de aquífero granular, possuindo predominantemente uma porosidade intergranular, em consequência da grande presença dos corpos de itabiritos friáveis, hematitas moles e pulverulentas, conferindo ao maciço rochoso uma elevada condutividade hidráulica.

Contudo sobre as hematitas compactas e itabiritos duros o aquífero tem um comportamento de aquífero fraturado mais acentuado, principalmente nas estruturas de charneira, (GONÇALVES et al., 2019).

Os valores médios de transmissividade encontrados nos itabiritos e formações ferríferas em 30 poços perfurados onde foram realizados testes de aquíferos com ensaios piezométricos perpendiculares a foliação das rochas foram de 162,5 m²/dia e coeficiente de armazenamento de 0,0009, entretanto com ensaios paralelos a foliação os valores médios encontrados foram de 342 m²/dia para transmissividade e 0,0167 para o coeficiente de armazenamento, (MDGEO, 1999). Os valores de porosidade efetiva variaram de 2% a 5%. Os valor máximo de condutividade hidráulica de 4,50 m/dia, valor mínimo de 0,15 m/dia e valor médio de m/dia.

Estes aquíferos são descontínuos fracamente heterogêneo e pouco anisotrópico em áreas de predominância de itabiritos friáveis, entretanto fortemente heterogêneos e anisotrópicos em regiões de intercalações com hematitas compactas. A recarga deste aquífero se dá pela infiltração das águas pluviais sobre os espessos mantos intemperizados. A circulação da água ocorre através das fraturas, dos planos de estratificação e ao longo das barreiras impermeáveis como das rochas intrusivas.

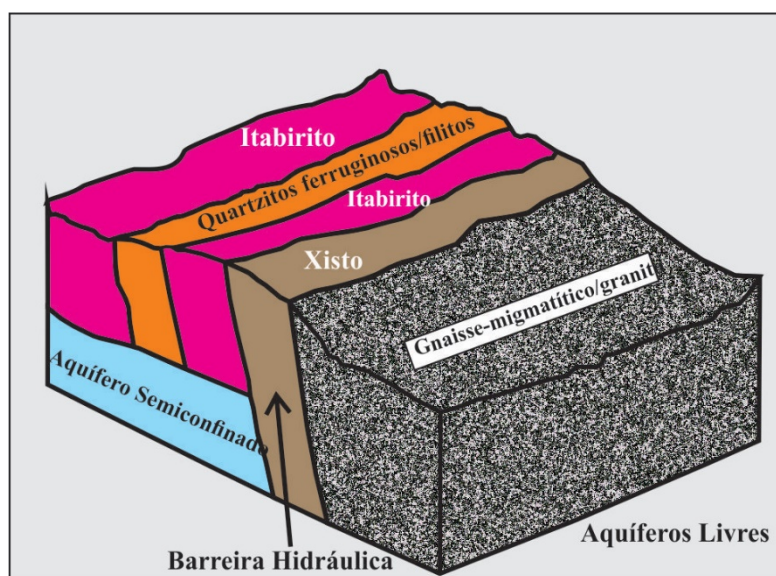
Sistema Aquífero Caraça (SAC)

O sistema aquífero Caraça subdivide-se em aquíferos de quartzitos e aquícludes de filitos. Devido a sua pequena ocorrência, é considerado em termos hidrogeológicos como uma presença insignificante na área de estudo.

Sistema Aquífero Nova Lima (SANL)

Este sistema é composto pelas rochas xistosas que formam o aquitardo xisto e as rochas quartzíticas ferruginosas que formam os aquíferos das formações ferríferas. O aquitardo xisto é constituído por rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares em que predominam metapelitos e xistos intercalados por níveis quartzosos muito fraturados. Estes aquíferos, podem ser encontrados em zonas de xisto são, não meteorizado e nos interstícios do xisto intemperizado. O primeiro é considerado como um sistema fraturado, descontínuo, anisotrópico, heterogêneo, geralmente livre, às vezes confinado. Este tipo de aquífero possui reduzida capacidade de armazenamento e circulação de água subterrânea. O segundo ocorre no manto de alteração de rocha xistosa e pelítica, possuindo de um modo geral baixos valores de permeabilidade e porosidade. Estas rochas xistosas, formam uma imponente barreira hidráulica de forma a estabelecer o isolamento entre dois compartimentos. Portanto, essa barreira de rochas impermeáveis, se constitui em uma unidade hidrogeológica, estabelecendo uma estrutura que limita o movimento das águas subterrâneas entre os dois compartimentos, Figura 3.

Figura 3 – Bloco diagrama representativo Sistema Aquífero Nova Lima .



As precipitações pluviométricas são as principais fontes para a recarga deste aquífero, através da infiltração nas formações superficiais em conexão com as fraturas e com os cursos d'água. A circulação das águas ocorrem através das direções preferenciais de fraturamento e, também, nas direções dos acamamentos dos níveis quartzosos. Os exutórios naturais são nascentes pontuais ou difusas, em áreas de brejos, ao longo dos vales. Foram encontradas 7 nascentes com vazão de 0,12 L/s.

Aquífero em Formação Ferrífera

Este tipo de rocha forma um importante aquífero na cidade de Nova Lima, MG, e poços perfurados no mesmo produzem uma vazão de até 25 m³/h, entretanto devido a sua pequena presença na área em estudo, não se tem na região a caracterização do comportamento aquífero deste litotipo de igual importância como os outros sistemas.

Os valores médios de transmissividade encontrados nestas rochas em 2 poços perfurados foram de 131,50 m²/dia, máximo de 195,00 m²/dia, mínimo de 68,00 m²/dia e coeficiente de armazenamento variando entre 10⁻² e 10⁻⁵ (MDGEO, 1999).

Os valores de porosidade efetiva variaram de 2% a 5%. Os valor máximo de condutividade hidráulica de 0,48 m/dia, valor mínimo de 0,02 m/dia e valor médio de 0,12 m/dia.

Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico (SAGG)

Ocupam cerca de 80% da área estudada e formam a base das sequências metassedimentares. Este sistema é representado pelos granitos, gnaisses, migmatitos, granitoides e rochas básicas e metabásicas intrusivas (Complexos Granito Gnaisses e Guanhães, Suíte Borrachudos, Sequência Gnáissica Anfibolítica).

São aquíferos descontínuos, anisotrópicos, heterogêneos, fraturados e livres a semiconfinados pela rocha alterada. Os níveis piezométricos são compatíveis e controlados pelo relevo acidentado, (GONÇALVES et al., 2005).

Estes aquíferos apresentam dupla porosidade, com circulação e armazenamento da água subterrânea em discontinuidades provocadas pelo fraturamento das rochas (porosidade de fraturas) e nos interstícios do manto de alteração (porosidade intersticial). Comumente nestes aquíferos a porosidade de fraturas apresenta maior permeabilidade e a porosidade de interstícios maior capacidade de armazenamento das águas subterrâneas, (GONÇALVES et al., 2019).

Neste sistema aquífero as chuvas são a principal fonte de recarga, ocorrendo-se pela infiltração nas formações superficiais e, também pelos cursos d'água conectados hidráulicamente com as fraturas. Devido aos grandes índices pluviométricos locais e a existência de um espesso regolito, a recarga subterrânea é potencializada. O fluxo hídrico tende aos baixos topográficos onde os cursos d'água perenes constituem a drenagem do sistema.

Os exutórios naturais são nascentes pontuais ou difusas ao longo dos vales. As nascentes encontradas sobre este tipo de terreno podem estar associadas à água do manto de alteração, e de regra geral, a identificação no campo é bastante complexa, devida às nascentes apresentarem-se geralmente em áreas de brejos, de difícil identificação dos pontos de surgência. Foram encontradas 73 nascentes nestes terrenos com vazão média de 0,13 L/s. Os valores de transmissividade obtidos para 11 poços perfurados nestes aquíferos variaram de 0,10 a 12,00 m²/dia, com média de 3,99 m²/dia e mediana de 2,20 m²/dia. Os valores de condutividade hidráulica variaram de 0,01 a 0,04 m/dia, com média de 0,02 m/dia.

5. CONCLUSÕES

São identificados no distrito ferrífero de Itabira dois compartimentos geológicos distintos: o primeiro representado pelas rochas supracrustais dos Grupos Itabira e Piracicaba pertencentes ao Supergrupo Minas, e o segundo constituído pelas rochas do embasamento granito-gnáissico, abrangendo a maior parte da área do município de Itabira.

Separando estes dois compartimentos, se insere uma faixa de xistos verdes intemperizados, predominantemente argilosos do Grupo Nova Lima, pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas.

Os poços de maior vazão são os perfurados na formação ferrífera, seguidos pelos poços cadastrados nos quartzitos do Grupo Piracicaba e, por fim, os poços com menor vazão os perfurados nas rochas do Grupo Nova Lima e Complexo Granito-Gnáissico, (GONÇALVES, et al., 2020).

A grande maioria das nascentes ocorrem nas rochas encaixantes (Grupo Nova Lima, Complexo Granito-Gnáissico e Granito Borrachudos), mas estas possuem as menores vazões dentre as cadastradas e devem estar associadas à água de percolação no manto de intemperismo. As nascentes que apresentam as maiores vazões estão associadas às rochas da formação Cauê ocorrendo na sua maioria, na aba sul, no contato com xistos do grupo Nova Lima. As nascentes associadas aos xistos e granitos/gnaisses são encontradas de forma difusa, nas áreas de brejos, ao contrário das nascentes associadas a formação ferrífera, onde se tem surgências distintas e pontuais caracterizando a nascente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton de São Francisco. Revista Brasileira de Geociências. n.7, vol. 4, p. 349-364. 1977. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11179>.

ALMEIDA-ABREU, P. A.; RINGER, F. E. Serra do Espinhaço Meridional: Um Orógeno de colisão do Mesoproterozóico. Revista Brasileira de Geociências 32:1-14. 2002. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10389>.

- ANDRADE, C. F. Relevô antropogênico associado à mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero: uma análise espaço-temporal do complexo Itabira (Município de Itabira - MG). Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-955NLA>.
- BRANDALISE, L. A. PLGB- Folha Belo Horizonte em escala 1:100.000. DNPM/CPRM, Brasília. 2000.
- CHEMALE JR., F., QUADE, H., VAN SCHMUS W.R. Petrography, geochemistry and geochronology of the Borrachudo and Santa Bárbara metagranites, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, vol.3 n. 6, p.739-750. 1997.
- CHEMALE, F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*. V. 65, n. 1-4, p. 25-54. 1994. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(94\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0301-9268(94)90098-1).
- COOPER, H. H.; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 27, pp. 526-534. 1946. <https://doi.org/10.1029/TR027i004p00526>.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Itabira, Folha SE.23-Z-D-IV. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Brasília. 2000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5662?show=full>.
- DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. *Physical and Chemical Hydrogeology*. 824 pp. New York, John Wiley & Sons. ISBN 0 471 50744 X. 1990.
- DUSSIN T. M. A tectônica extensional Paleoproterozóica na borda sudeste do Cráton São Francisco (SE, Brasil): geoquímica e petrologia das metaígneas. *Geonomos*, 8(1):63-68. 2000. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v8i1.149>.
- FARINA, F.; ALBERT, C.; MARTINEZ DOPICO, C.; AGUILAR GIL, C.; MOREIRA, H.; HIPPERTT, J. F.M.; CUTTS, K.; ALKMIM, F.F.; LANA, C. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, vol.12, p.119-123. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.015>.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*. 37(4): 216-226. 2007. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.200737S4216226>.
- GASTMANS, D., VEROSLAVSKY, G., KIANG CHANG, H., CAETANO-CHANG, M. R., NOGUEIRA PRESSINOTTI, M. M. Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Aquífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 249-265. 2012. <file:///C:/Users/jauco/Downloads/29300-Texto%20do%20artigo-108145-1-10-20190108.pdf>.
- GONÇALVES J. A. C.; ALMEIDA M. S. L.; FERREIRA M. A. M.; PAIVA B. L. F. Disponibilidade de Águas Superficiais e Subterrâneas na bacia do Rio do Peixe, Itabira, MG. *Research, Society and Development*, 8(12). 2019. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1904>.
- GONÇALVES, J. A. C.; SCUDINO, P. C. B.; SOBREIRA, F. G. Reservas renováveis e caracterização dos aquíferos fissurais do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e adjacências. *Geologia USP. Série Científica*, 5(1):19-27. 2005. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2005000100002>.
- GONÇALVES, J. A. C.; PEREIRA, P. H. R.; VIEIRA, E. M. Evaluation of the groundwater recharge potential using GIS multi-criteria data analysis: a case study from district of Itabira, Minas Gerais, southeastern Brazil. *Ciência e Natura*, v. 42. 2020. <https://doi.org/10.5902/2179460X40433>.
- HABERMEHL, M. A.; LAU, J. E. *Hydrogeology of the Great Artesian Basin Australia (Map at scale 1:2,500,000)*. Canberra, Australian Geological Survey Organisation. 1997.
- HEILWEIL, V. M.; WATT, D. E.; KIP SOLOMON, D.; GODDARD, K. E. The Navajo aquifer system of Southwestern Utah, Geological Society of America 2002 Rocky Mountain Section Annual Meeting Southern Utah University, Cedar City, Utah, 2002.
- HILL, M.C. The practical use of simplicity in developing groundwater models. *Groundwater* 44 (6), 775-781. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00227.x>.
- JORDT-EVANGELISTA, H., LANA, C.; DELGADO, C. E. R.; VIANA, D. J. Age of the emerald mineralization from the Itabira-Nova Era District, Minas Gerais, Brazil, based on LA-ICP-MS geochronology of cogenetic titanite *Brazilian Journal of Geology*, n.46 vol.3, p.427-437. 2016. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150074>.
- KNAUER, L.G. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: considerações sobre sua estratigrafia e seu arranjo estrutural. *Geonomos* n.15 vol.1, p.81 - 90. 2007. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.109>.
- LANA, C.; ALKMIM, F.; ARMSTRONG, R.; SCHOLZ, R.; ROMANO, R.; NALINI, H. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Precambrian Research*. vol.230, p.1-30. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2013.03.008>.
- LUCKEY, R.R.; BECKER, M.F. Estimated predevelopment discharge to streams from the High Plains aquifer in northwest-ern Oklahoma, southwestern Kansas, and northwestern Texas: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4287, 28 p. 1998.
- MAIMONE, M. Defining and managing sustainable yield. *Ground Water*, 42(6-7), 809-814. PMID:15584295. 2004. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2004.tb02739.x>.

- MDGEO, Serviços de Hidrogeologia Ltda. Modelo Hidrogeológico do Distrito Ferrífero de Itabira – Volume I a IV: Definição do Modelo Hidrogeológico Regional. Relatório Técnico -CVRD-ITA-007/99, Belo Horizonte. 1999.
- MEYLAND, S. J. Examining safe yield and sustainable yield for groundwater supplies and moving to managed yield as water resource limits become a reality. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 145, 813-823. 2011. <http://dx.doi.org/10.2495/WRM110731>.
- MOURÃO, M. A. A. Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 297 P. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-7AJNZE>.
- NETO, A. F. S.; BERTACHINI, A. C.; GIRODO, A. C.; ALMEIDA, D. C. Hydrogeological Model of the Itabira iron ore district. IMWA - International Mine Water Association Symposium, Belo Horizonte, Brazil. 2001. Disponível em: http://mwen.info/docs/imwa_2001/HidroModel.pdf.
- NOCE, C. M. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. PhD thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 128 p. 1995. <https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-05012016-154125>.
- PADILHA, A. V.; VIEIRA, V. S.; BRUNO, E. M. Carta Geológica, Carta Metalogenética/Previsional - Escala 1:100.000 (Folha SE.23-Z-D-IV Itabira) Estado de Minas Gerais. Brasília, DNPM/CPRM. 2000.
- PERES, G. G.; ALKIMIM, F.F.; JORDT-EVANGELISTA, H. The Southern Araçuaí Belt and the Dom Silvério Group: geologic architecture and tectonic significance. Anais da Academia Brasileira de Ciências, n.76, vol.4, p.771-790. 2004. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/327/32776412.pdf>.
- PEREIRA, P. H. R.; GONÇALVES, J. A. C.; VIEIRA, E. M. O Potencial das Águas Subterrâneas na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Uso do SIG e Análise multicritério como ferramenta de avaliação. Anais. 20° Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas, 2018. Disponível em: <https://aguas-subterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29350>.
- PITA, R. C. S.; SILVA JÚNIOR, G. C.; ROSÁRIO, F. F.; SILVA, M. L. Sistema aquífero Alter do Chão a oeste da cidade de Manaus (AM): processos hidrogeoquímicos, origem da salinidade e relações com aquíferos adjacentes. Geologia USP. Série Científica, 18(1), 273-296. 2018. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-134253>.
- REEVES, R. G. Geology and mineral resources of Monlevade and Rio Piracicaba quadrangles Minas Gerais, Brasil. U. S. Geological Survey, Prof. Paper 341E, 58 P. 1966. <https://doi.org/10.3133/pp341E>.
- RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonomos n.2, vol. 1, p.1-11. 1994. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v2i1.227>.
- ROBINSON, C. A.; WERWER, A.; EL-BAZ, F.; EL-SHAZLY, M.; FRITCH, T.; KUSKY, T. The Nubian Aquifer in southwest Egypt. Hydrogeology Journal, 15, 33-45. 2007. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0091-7>.
- ROJAS, R., BATELAAN, O., FEYEN, L., DASSARGUES, A. Assessment of conceptual model uncertainty for the regional aquífer Pampa del Tamarugal - North Chile. Hydrology and Earth System Sciences, 14(2), 171-192. 2010. <https://doi.org/10.5194/hess-14-171-2010>.
- ROSIERE, C. A.; CHEMALE, JR. F. Brazilian iron formations and their geological setting. Revista Brasileira de Geociências. 30 (2):274-278. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000302274278>. 2000.
- ROSIERE, C. A.; SPIER, C. A.; RIOS, F. J.; SUCKAU, V. E. The Itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and Related High-Grade Iron Ore Deposits: An Overview. In: Banded Iron Formation-Related High-Grade Iron Ore. 2008. <https://doi.org/10.5382/Rev.15.09>.
- SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. Geonomos 3 (1), 41-75, 1995. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v3i1.215>.
- Schorsch, H. S.; Guimarães, P. F. Mina do Cauê. Estratigrafia e Tectônica do Supergrupo Minas e Geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. 29° Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. Ouro Preto. p. 75-86. 1976.
- SCHORSCHER, H.D. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais. 29° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Ouro Preto, Anais. Ouro Preto: SBG, 1976. P.194-195. 1976.
- SOPHOCLEOUS, M. From safe yield to sustainable development of water resources: the Kansas experience. Journal of Hydrology, 235(1-2), 27-43. 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00263-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00263-8).
- SPIER, C.S.; OLIVEIRA, S. M. B.; SIAL, A.N.; RIOS, F. J. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Precambrian Research n.152, p.170-206. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.10.003>
- UNESCO IHP ISARM PROGRAM. Atlas of Transboundary Aquifers: Global maps, regional cooperation and local inventories. Paris: UNESCO/ISARM, 2009.