

## **Avaliação quantitativa das outorgas emitidas para as águas subterrâneas no município de Itabira-MG**

**Quantitative assessment of grants issued for groundwater in the municipality of Itabira-MG**

**Evaluación cuantitativa de las concesiones emitidas para las aguas subterráneas en el municipio de Itabira-MG**

Recebido: 28/02/2022 | Revisado: 08/03/2022 | Aceito: 11/03/2022 | Publicado: 27/03/2022

**Leticia Chiaradia Cintra**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7467-5452>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [leticiachiaradia@unifei.edu.br](mailto:leticiachiaradia@unifei.edu.br)

**José Augusto Costa Gonçalves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1659-0896>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [jaucosta@unifei.edu.br](mailto:jaucosta@unifei.edu.br)

### **Resumo**

No Brasil, grande parte das águas subterrâneas são extraídas por poços tubulares onde são retiradas grandes vazões e costumam ser utilizadas por indústrias, comércio, condomínios, entre outros. A outorga é o instrumento legal responsável por assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, bem como garantir os direitos de acesso à água. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar quantitativamente as outorgas dos recursos hídricos subterrâneos do município de Itabira (MG), buscando conhecer a disponibilidade hídrica para os usuários outorgados. Para isso, foi realizada uma pesquisa documental, fundamentando-se na análise e avaliação dos dados hidrogeológicos a partir das informações sobre os processos de outorgas disponíveis na plataforma do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM). Foi constatado que a maior parte das outorgas foram emitidas para o consumo humano, entretanto elas representam os menores volumes utilizados. Em contrapartida, os maiores volumes outorgados (cerca de 80% do total) são destinados às atividades de mineração. Em relação à disponibilidade hídrica, as águas outorgadas das rochas da Suíte Borrachudos, do Complexo Guanhães e Complexo Granito-Gnáissico, são responsáveis por quase toda vazão extraída no município de Itabira, apresentando boas condições para o armazenamento da água. Ressalta-se a importância da preservação das águas subterrâneas, uma vez que poços com vazões expressivas tem grandes volumes de água outorgados, no município de Itabira são destinados à fins minerários.

**Palavras-chave:** Águas subterrâneas; Aquíferos; Outorgas.

### **Abstract**

In Brazil, most of the groundwater is extracted by tube wells where large flows are taken and are usually used by industries, commerce, condominiums, among others. The grant is the legal instrument responsible for ensuring the quantitative and qualitative control of water uses, as well as guaranteeing the rights of access to water. Thus, this work aims to quantitatively evaluate the grants of groundwater resources in the municipality of Itabira (MG), seeking to know the water availability for the granted users. For this, a documental research was carried out, based on the analysis and evaluation of hydrogeological data from the information on the granting processes available on the Integrated Environmental Information System (SIAM) platform. It was found that most of the grants were issued for human consumption, however they represent the smallest volumes used. On the other hand, the largest volumes granted (about 80% of the total) are destined for mining activities. Regarding water availability, the waters obtained from the rocks of the Borrachudos Suite, the Guanhães Complex and the Granite-Gneissic Complex, are responsible for almost all the flow extracted in the municipality of Itabira, presenting good conditions for water storage. The importance of preserving groundwater is highlighted, since wells with expressive flows have large volumes of water granted, in the municipality of Itabira they are intended for mining purposes.

**Keywords:** Groundwater; Aquifers; Grants.

### **Resumen**

En Brasil, la mayor parte del agua subterránea es extraída por pozos entubados donde se toman grandes caudales y suelen ser utilizados por industrias, comercio, condominios, entre otros. La concesión es el instrumento jurídico encargado de asegurar el control cuantitativo y cualitativo de los usos del agua, así como garantizar los derechos de acceso al agua. Así, este trabajo tiene como objetivo evaluar cuantitativamente las concesiones de recursos hídricos

subterrâneos em el municipio de Itabira (MG), buscando conocer la disponibilidad de agua para los usuarios concedidas. Para ello, se realizó una investigación documental, basada en el análisis y evaluación de datos hidrogeológicos a partir de la información de los procesos de otorgamiento disponible en la plataforma del Sistema Integrado de Información Ambiental (SIAM). Se encontró que la mayoría de las subvenciones fueron emitidas para consumo humano, sin embargo representan los menores volúmenes utilizados. Por otro lado, los mayores volúmenes otorgados (alrededor del 80% del total) se destinan a actividades mineras. En cuanto a la disponibilidad de agua, las aguas obtenidas de las rocas de la Suite Borrachudos, del Complejo Guanhães y del Complejo Granítico-Gneísico, son responsables por casi todo el caudal extraído en el municipio de Itabira, presentando buenas condiciones para el almacenamiento de agua. Se destaca la importancia de la preservación de las aguas subterráneas, ya que los pozos con caudales expresivos tienen grandes volúmenes de agua concedidos, en el municipio de Itabira son destinados a fines mineros.

**Palabras clave:** Agua subterránea; Acuíferos; Donaciones.

## 1. Introdução

Atualmente há uma grande busca por águas subterrâneas devido a sua disponibilidade, qualidade natural da água, entre outros fatores. É identificado que as águas subterrâneas são reservas estratégicas e vitais para o abastecimento público e que assim recomenda-se uma preocupação especial com a proteção dos aquíferos (Puerari et al. 2003).

A reserva de água doce potencialmente explorável limita-se em cerca de 3,1 milhões de km<sup>3</sup> nos aquíferos subterrâneos e cerca de 95.000 km<sup>3</sup> nas águas superficiais, totalizando aproximadamente 3,2 milhões de km<sup>3</sup> (apenas 9% do total de água doce existente no planeta). A degradação da qualidade da água torna ainda menor a quantidade disponível adequada ao consumo.

No Brasil, grande parte das águas subterrâneas são extraídas por poços tubulares (mais conhecidos como artesianos ou semi artesianos), onde são retiradas grandes vazões e costumam ser utilizadas por indústrias, comércio, condomínios, entre outros. Podem ser extraídas também pelo aproveitamento das nascentes, ponto em que os aquíferos interceptam a superfície.

A outorga é a responsável por assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, bem como garantir os direitos de acesso à água, sendo um dos cinco instrumentos de gestão que foram instituídos pela Política de Recursos Hídricos. Este ato administrativo é publicado no Diário Oficial da União (ANA), ou nos Diários Oficiais dos Estados ou de Minas Gerais (BRASIL, 1997).

O uso insignificante é destinado a captação e acumulação de quantidades consideradas insignificantes, como poços manuais, surgências e cisternas, e estão dispensados de outorga, contudo precisam estar devidamente cadastradas no Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM). O uso da água subterránea, de acordo com dados de outorgas e cadastros de uso insignificante, são consumo humano (53%), usos múltiplos (19%), irrigação (13%), uso industrial (6%), rebaixamento-mineração (6%) e dessedentação animal (2%). Quanto às vazões outorgadas, as que demandam maior volume são para abastecimento público, industrial e irrigação, respectivamente. Os valores outorgados para rebaixamento de nível d'água em mineração vem logo em seguida, com menor pedido de outorgas, porém, com altos volumes (Paixão et al., 2019).

A área de estudo é o município de Itabira (MG) e este trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar as outorgas de uso de recursos hídricos subterrâneos, avaliando quantitativamente a disponibilidade para os usuários outorgados, analisando as condições da ocorrência das águas subterrâneas; verificando a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e sua utilização.

É considerada água subterránea toda água que ocorre abaixo da superfície terrestre, que preenchem poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou espaços entre as rochas compactadas, e que ao submeter-se às forças de adesão e de gravidade, desempenham um papel essencial na conservação da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. Uma fase do ciclo hidrológico é realizada pelas águas subterrâneas, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada (ANA, 2006).

De acordo com Pedrosa e Caetano (2002), Mangore e Taigbenu (2004) e Lopes et al., (2012), as águas subterrâneas

apresentam alguns aspectos favoráveis à sua utilização, como a maior ocorrência espacial em relação às águas superficiais, menor susceptibilidade a perdas por evaporação e variações climáticas, melhor qualidade da água em relação às águas superficiais, principalmente em termos microbiológicos, menor vulnerabilidade à contaminação decorrente de atividades humanas e menores os custos associados à captação, tratamento e distribuição da água.

Ao se atribuir valor econômico a água, a ferramenta de cobrança de uso do recurso hídricos tornou fundamental, garantindo o uso racional do bem e gerando receita para a gestão do recurso pelos fóruns locais. A unidade de gestão das bacias hidrográficas é denominada comitês, que são fóruns em que um grupo se reúne para discutir sobre um interesse comum, o uso d'água na bacia. Neste, a sociedade civil que participa não se restringe a usuários, mas integra também entidades de classe, movimentos sociais e ambientalistas, diferentemente da tradição internacional.

O Estado de Minas Gerais foi um dos pioneiros na elaboração da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), instituída pela Lei Estadual nº 11.504, que dispunha sobre a política e elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHMG), a cobrança pelo uso e a composição do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH). Entretanto, esta lei foi revogada em 1999, quando instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH) (IGAM, 2016).

Em Minas Gerais a gestão das águas é realizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, responsável pela implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos. A Lei nº 13.199 (MINAS GERAIS, 2019) tem como finalidade garantir a gestão das finalidades de uso da água, as quantidades e qualidades das fontes de recurso hídrico, de modo a garantir o recurso para as atuais e futuras gerações, desse modo fundamenta:

Quanto os aspectos de conservação e proteção, a Lei nº 13.771 (MINAS GERAIS, 2017) submete o uso racional das águas subterrâneas, medidas de controle da poluição e a manutenção de seu equilíbrio físico-químico e biológico em relação aos demais recursos naturais. É desautorizada qualquer tipo de atividade que polua o recurso hídricos, seja a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízo a saúde, a segurança e ao bem-estar da população e comprometer o seu uso para fins de abastecimento humano e outros.

Dentre as ferramentas estabelecidas pela Agência Nacional das Águas (ANA), a outorga, fornece o direito de uso da água proveniente de uma fonte específica a ser utilizada para fins conforme rege a lei. Segundo a Resolução nº 16, Art. 1º (BRASIL, 2009), a outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações específicas vigentes.

Outorga é o instrumento legislativo que tem como objetivo assegurar aos usuários o direito da utilização dos recursos hídricos e essa autorização concede o seu uso. A outorga é solicitada por todos aqueles que usam ou pretendem usar os recursos hídricos, seja para captação de águas superficiais ou subterrâneas, lançamento de efluentes, ou qualquer ação que interfira no regime hídrico existente, além do uso de potenciais hidrelétricos.

São considerados usos insignificantes as captações e derivações de águas superficiais que têm as vazões maiores ou iguais a 1 litro/segundo e volume máximo igual a 5.000 m<sup>3</sup>, segundo a Deliberação Normativa do CERH nº 09 de 16 de junho de 2004. No caso das captações subterrâneas, tais como, poços manuais, surgências e cisternas, se consideram insignificantes aquelas com volume menor ou igual a 10 m<sup>3</sup>/dia. Além disso, a Deliberação define que os usos dos corpos d'água do Estado de Minas Gerais são dispensados de outorga, mas não do cadastro pelo IGAM (MINAS GERAIS, 2017).

## 2. Metodologia

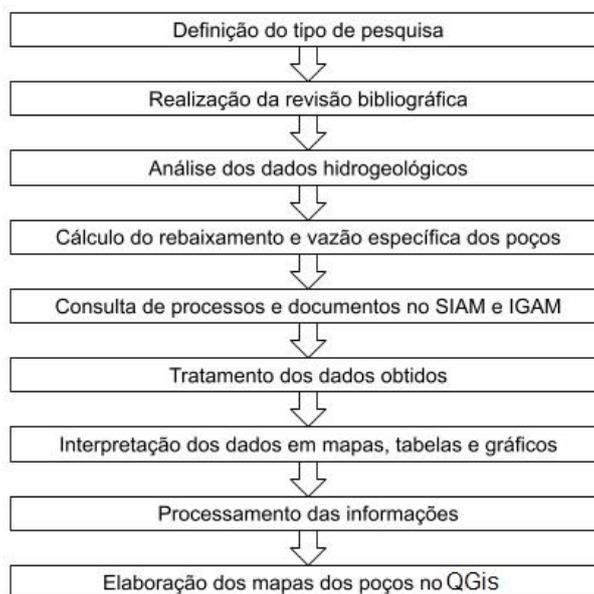
O método de pesquisa utilizado para elaboração deste trabalho foi a pesquisa documental, que se vale de materiais que ainda não receberam nenhuma análise aprofundada. Esse tipo de pesquisa visa, assim, selecionar, tratar e interpretar a

informação bruta, buscando extrair dela algum sentido e introduzir lhe algum valor, podendo, desse modo, contribuir com a comunidade científica a fim de que outros possam voltar a desempenhar futuramente o mesmo papel (Silva e Grigolo, 2002). Um fluxograma, Figura 1, mostra todas as etapas realizadas para a execução do trabalho de pesquisa. Este estudo se desenvolveu a partir de uma revisão integrativa da literatura, nas seguintes etapas: Identificação do tema, especificação dos critérios para aceitação ou não dos estudos publicados; definição das informações a serem extraídas dos estudos publicados; avaliação e análise crítica dos estudos; interpretação dos resultados e síntese do conhecimento. A busca foi realizada nos meses de fevereiro a agosto de 2021, nas bases de dados: Bases de Dados em Recursos Hídricos e Geociências nas Plataformas da Secretaria de Meio Ambiente do estado de Minas Gerais e em periódicos nacionais e internacionais. A aquisição dos dados e informações foi realizada em duas etapas: revisão da produção bibliográfica e a compilação dos dados assentados em plataformas de instituições e órgãos ambientais estatais.

O estudo está fundamentado na análise e avaliação dos dados hidrogeológicos a partir das informações sobre os processos de outorgas disponíveis na plataforma do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM). Alguns dados como profundidade do poço, vazão, regime de bombeamento, nível estático e dinâmico foram extraídos do site e anexados na planilha que será utilizada no trabalho. A partir disso, será calculado o rebaixamento e vazão específica.

A pesquisa consiste na consulta de documentos disponibilizados no SIAM, tais como certidão de registro da água ou certificado outorga, formulário técnico para uso de água subterrânea, relatório técnico conforme modelo de instruções disponível no site do IGAM, documentação técnica de perfuração do poço e registro do imóvel onde localiza cada ponto. Esses dados e informações foram tratados e interpretados em mapas, tabelas e gráficos. Foi utilizado o software QGIS 3.16.11 para processar as coordenadas geográficas e fazer o mapeamento dos poços.

**Figura 1:** Passo a passo da metodologia empregada neste trabalho.



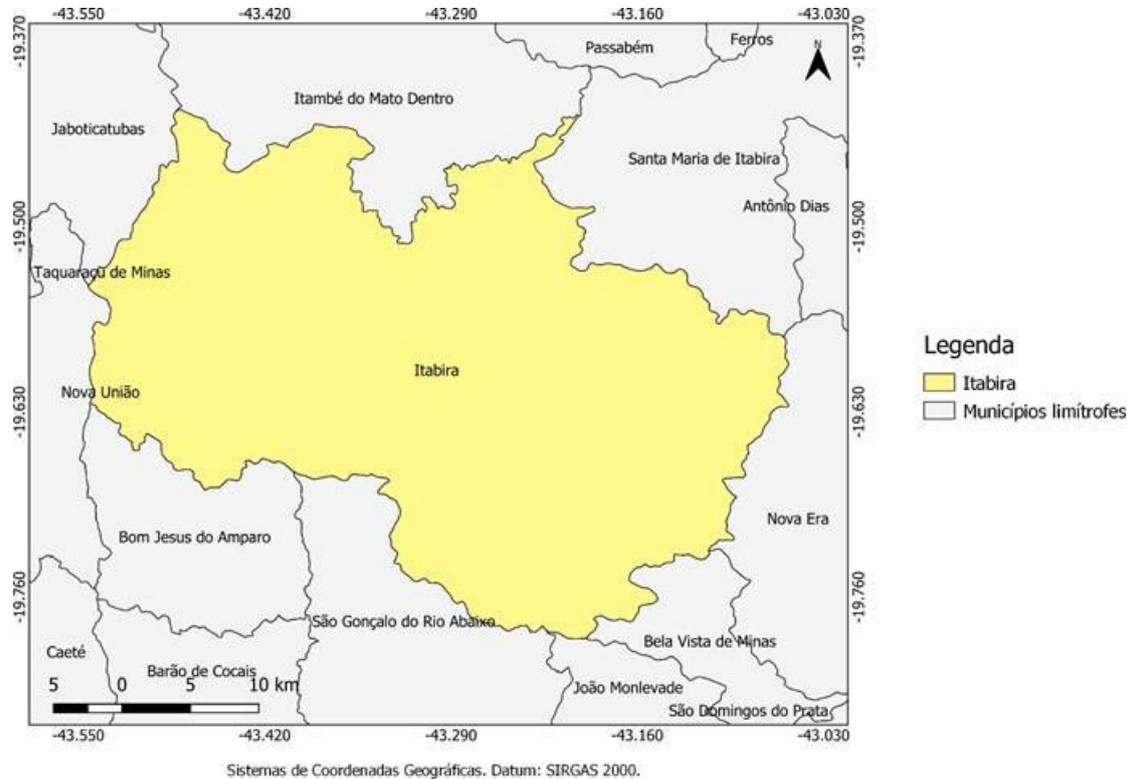
Fonte: Autores (2021).

## 2.1 Caracterização da área de estudo

Itabira está localizada no Quadrilátero Ferrífero, no interior do estado de Minas Gerais, Figura 2, na região sudeste do país. As suas coordenadas geográficas são 19°25'16" e 19°47'33" de latitude Sul e 43°04'11" e 43°33'28" de longitude Oeste de Greenwich, e faz divisa com os municípios de Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Itambé do Mato Dentro, João

Monlevade, Nova Era, Nova União, Santa Maria de Itabira, São Gonçalo do Rio Abaixo e Jaboticatubas. Abrange uma área de 1.253,704 km<sup>2</sup>, sendo 31,82 km<sup>2</sup> em perímetro urbano, e sua população estimada em 2020 de 120.904 habitantes.

**Figura 2:** Localização de Itabira.



Fonte: Autores (2021).

Conforme Engecorps (2015), Itabira está inserida na faixa do clima tropical do hemisfério sul que está sobre influência de massas de ar, sendo elas: Tropical Atlântica, Polar Atlântica e as Correntes de Oeste. Dessa forma, o clima do município é do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, e que indica um clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes.

Em se tratando da precipitação e evaporação, Itabira apresenta um regime pluviométrico com características de dois períodos distintos, no qual apresenta invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas elevadas (Engecorps, 2015). Assim, o período chuvoso destaca-se nos meses de outubro a março, sendo dezembro o mês com maiores índices pluviométricos. O período de seca é caracterizado pelos demais meses, com estiagem mais crítica no mês de julho.

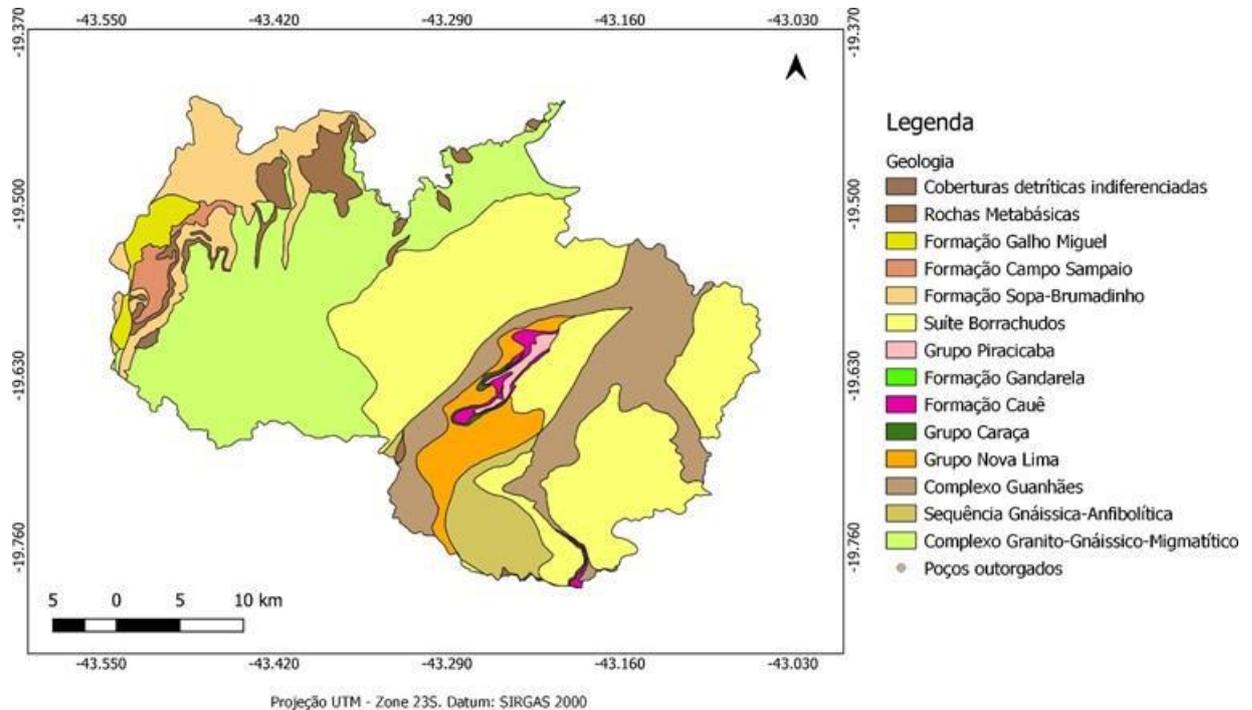
Itabira apresenta temperatura média anual de 21,3°C, com temperatura média do mês mais frio de 18,5°C e do mês mais quente de 23,7°C.

Itabira encontra-se na transição de dois biomas, Mata Atlântica e Cerrado, no qual as coberturas vegetais são representadas por Campos, Campos Rupestre e Floresta Estacional Semidecidual (Engecorps, 2015). A ocorrência desse tipo de cobertura está ligada com as condições climáticas e aspectos morfológicos, além dos processos de extração mineral que o município vem sofrendo há décadas fazendo com que haja transformação na paisagem ao longo do tempo.

Segundo Engecorps (2015), a geologia presente em Itabira no qual se refere a estrutura e suporte do solo, destacam-se as províncias geotectônicas São Francisco e a borda ocidental da Província Mantiqueira, conforme Figura 3. A Província Geotectônica Mantiqueira possui complexos pertencentes de rochas que são originadas no Arqueano Superior e no

Paleoproterozóico, do Complexo Acaiaca e do Complexo Mantiqueira, e os complexos pertencentes a Província Geotectônica São Francisco são o Complexo Gnáissico Migmatítico, o Complexo Santa Bárbara, a Sequência Gnáissica-Anfibolítica, o Complexo Guanhões, o Supergrupo Rio das Velhas e o Supergrupo Minas (Gonçalves et al., 2021).

**Figura 3:** Mapa geológico do município de Itabira - MG.



Fonte: Autores, modificado de Gonçalves et al., (2021).

Conforme a Figura 3, em Itabira, territorialmente a Suíte Borrachudos ocupa cerca (34%), seguido pelo Complexo Belo Horizonte (25%), Grupo Nova Lima (16%), Complexo Guanhões (5%), Supergrupo Galho do Miguel (4%), Metagranitoides (4%), Rochas Metabásicas (3%), Grupo Maquiné (2%), Supergrupo Sopa-Brumadinho (2%), e o Supergrupo Minas (1%), sendo todos localizados na Província São Francisco (Engecorps, 2015).

A Suíte Borrachudos, segundo Dussin (1994), é um conjunto de rochas vulcânicas e corpos graníticos. Estes tipos de granitos têm características de grande homogeneidade litológica, rochas de grão médio a grosso, foliadas, com microclínio como principal mineral constituinte, quartzo, albita, hastingsita e biotita, além de magnetita, alanita e fluorita como acessórios (Dussin et al., 1993).

O município de Itabira encontra-se numa área de transição, quanto a geomorfologia, sendo inserido entre os Planaltos Alto Rio Doce e as Serras Limites da Bacia do Rio Doce (Engecorps, 2015). Além disso, segundo Itabira (2009), a região apresenta um relevo predominantemente montanhosos, com manto de alteração espesso, altitude máxima de 1662 metros no Alto da Mutuca e altitude mínima de 683 metros, na Foz do córrego do Simão no rio Tanque.

Em relação a topografia, o município apresenta 70% de relevo montanhoso, 20% ondulado e 10% de terreno plano sendo que as formas de relevo encontradas são compostas pelo Quadrilátero Ferrífero, Serra do Espinhaço e Planaltos dissecados do Centro Sul e do Leste de Minas Gerais (ITABIRA, 2009).

Os solos predominantes em Itabira são das classes Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos sendo que os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo apresentam 68% do total da área do município (Engecorps, 2015). Os Latossolos são tipos de solos que caracterizam por serem muito evoluídos, com grande microporosidade que, portanto, indica alta capacidade de armazenar e transmitir líquidos, além de apresentar uma boa permeabilidade interna (ITABIRA, 2014).

No que se refere ao sistema hidrogeológico de Itabira, há uma relação direta com as características litoestratigráficas, geomorfológicas e estruturais que compõem o arcabouço geológico regional definindo-se assim duas unidades aquíferas: a granular e a fissurada, que apresentam distribuição espacial e comportamento diferentes, distinguidos pelo modo de circulação da água, condições de armazenamento e estrutura física da rocha (Engecorps, 2015; Gonçalves et al., 2021).

As unidades hidrogeológicas presentes no município são os domínios metassedimentos- metavulcânicos, poroso/fissural e cristalino, sendo a maior parte este último presente na maior parte da área do município (Engecorps, 2015). Os metassedimentos-metavulcânicos reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfíbolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvas, metavulcânicas diversas entre outros que estão relacionados ao aquífero fissural, além disso, a porosidade primária é quase nula sendo a ocorrência de água subterrânea condicionada por uma porosidade secundária representada por faturas e fendas (Bonfim, 2010; Gonçalves et al., 2021).

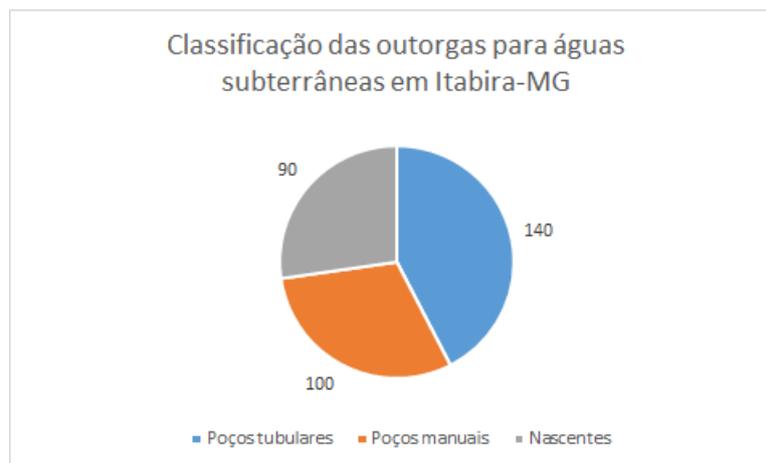
O domínio poroso/fissural é onde ocorrem litologias arenosas e no geral carbonatos subordinados que apresenta litificação acentuada, forte compactação e fraturamento acentuado, conferindo-lhe comportamento de aquífero granular com porosidade primária baixo a médio e porosidade secundária de fendas e fraturas de comportamento fissural acentuado (Bonfim, 2010).

Segundo Bonfim (2010), o domínio Cristalino reúne granitóides, gnaisses, granulitos, migmatitos, básicas e ultrabásicas, que constituem o aquífero fissural. Assim como o domínio metassedimentos-metavulcânicos, a existência de água subterrânea nos Cristalinos é condicionada por porosidade secundária representada por fratura e fendas além de não existir porosidade primárias nas rochas (Bonfim, 2010).

### 3. Resultados e Discussão

As outorgas de água subterrânea do município de Itabira são compostas por 330 poços contabilizados até o ano de 2019. Destes pontos, 140 são poços tubulares, 100 são poços manuais e 90 são nascentes naturais, como mostra a Figura 4.

**Figura 4:** Classificação das outorgas para águas subterrâneas em Itabira-MG.



Fonte: Autores (2021).

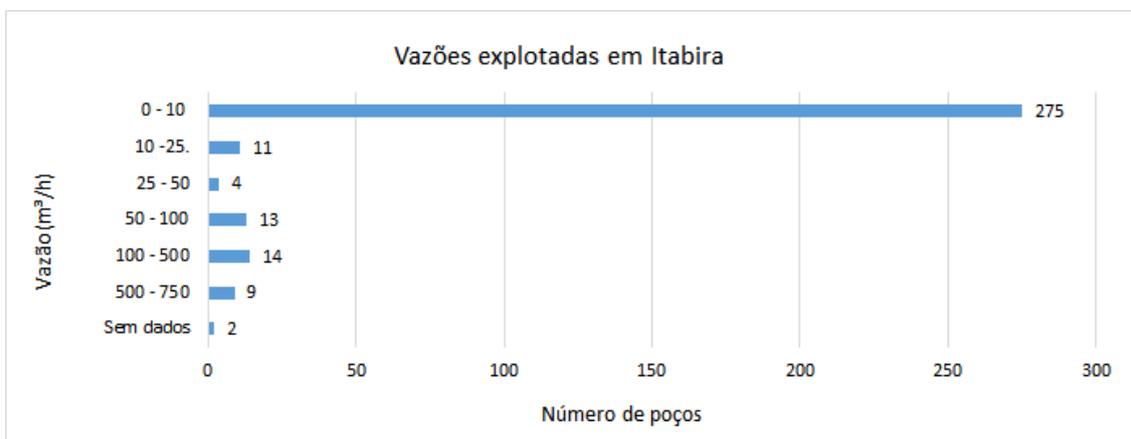
Dentre os empreendimentos que fazem o uso da água subterrânea, as propriedades particulares como sítios e condomínios, são as que detêm o maior número de outorgas, com mais 170, representando mais da metade do total das outorgas. Em sua maioria, a água é retirada de poços manuais e de nascentes. Em seguida, têm-se os empreendimentos de pequeno porte que detêm cerca de 95 outorgas, representando cerca de 28%, na qual são utilizados os três tipos de captação,

sendo os poços tubulares e os poços manuais os predominantes. O restante, são utilizados por empreendimentos de grande porte, destacando-se a empresa mineradora Vale S.A e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Itabira, que detém 38 e 10 outorgas, o que representa 11,5 % e 3,3%, respectivamente. Eles são extraídos de poços tubulares, que de acordo com Da Silva et al., (1994), é o modo mais prático de captar água.

### 3.1 Vazões dos poços

Um aspecto importante na análise quantitativa das águas subterrâneas é a vazão. Ela deve ser retirada de modo que ela seja suficiente para atender as demandas futuras. No município de Itabira às vazões exploradas possuem grande variação, com mínima de 0,008 m<sup>3</sup>/h e máxima de 750 m<sup>3</sup>/h, como mostrado na Figura 5.

**Figura 5:** Vazões exploradas outorgadas no município de Itabira-MG.



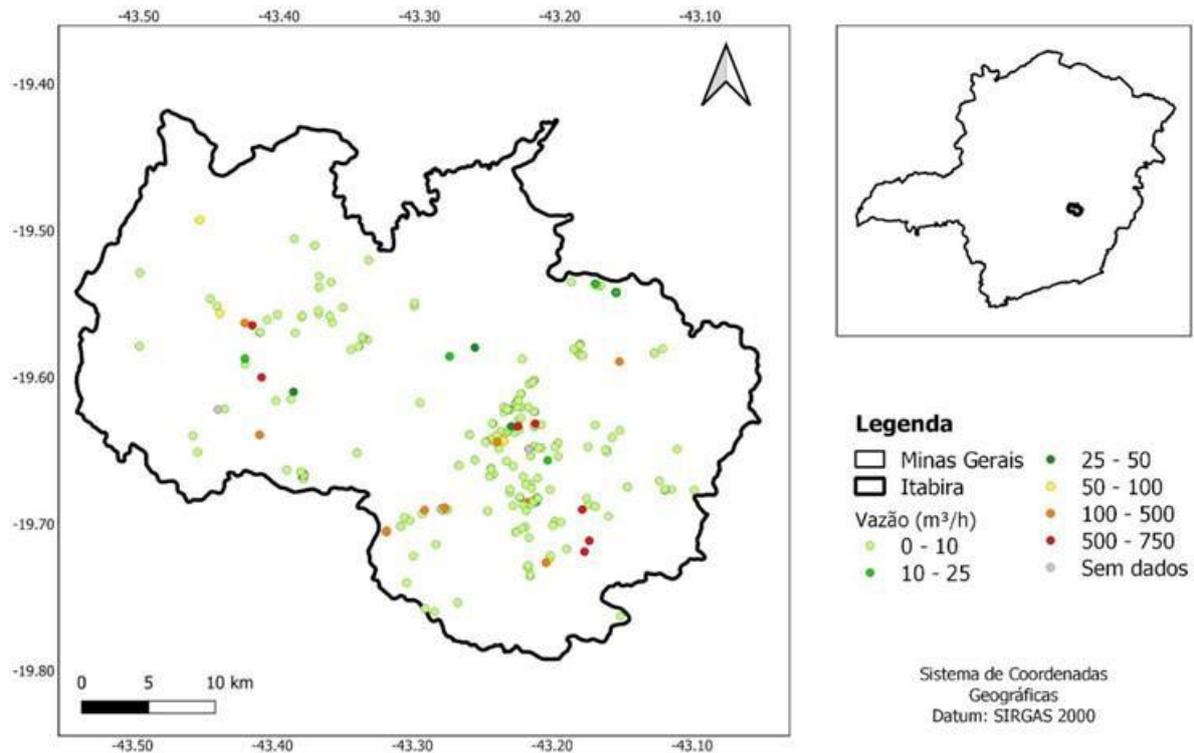
Fonte: Autores (2021).

Relacionando o número de outorgas por empreendimento e as vazões utilizadas pelos mesmos, pode-se observar que, apesar do maior número serem destinados a pequenas empresas e as propriedades particulares, as empresas de maior parte são as que mais utilizam as águas subterrâneas, principalmente as destinadas à mineração. Em seu trabalho Arantes (2009) também chama atenção ao grande volume de água subterrânea por esse tipo de empresa, que apesar do estado de Minas Gerais apresentar um número reduzido de outorgas solicitadas por empresas de mineração, os valores extraídos são consideravelmente altos.

Os maiores valores, são encontradas pelas empresas de médio e grande porte, com destaque da empresa mineradora Vale S.A, que é a que apresenta o maior número de outorgas dentre elas e também as maiores vazões, variando de 3 a 750 m<sup>3</sup>/h, com média de 255 m<sup>3</sup>/h. Só ela é responsável por quase 82% do total de água subterrânea extraída no município, retirando cerca de 10.199,1 m<sup>3</sup>/h do total de 11.371,8 m<sup>3</sup>/h. Outro empreendimento que também se destaca é o SAAE que utiliza 5% da água subterrânea, tendo uma média de 48 m<sup>3</sup>/h, com mínima de 3,4 m<sup>3</sup>/h e máxima de 124,34 m<sup>3</sup>/h.

Outros empreendimentos possuem menor representatividade em termos de vazão, que são os pequenos empreendimentos e as propriedades particulares, que utilizam 526,94 m<sup>3</sup>/h, com mínima de 0,008 m<sup>3</sup>/h e máxima de 31 m<sup>3</sup>/h, o que representa 4,63% do total utilizada no município. Castro (2021) também mostra resultados similares em seu estudo, na qual as baixas vazões são derivadas de poços domiciliares ou comerciais. A Figura 6 mostra a localização das vazões exploradas em cada outorga.

**Figura 6:** Mapa de vazão total da água subterrânea explorada em Itabira.



Fonte: Autores (2021).

Em relação à zona urbana de Itabira, observa-se que existem 78 outorgas, utilizando uma vazão de 2250,7 m<sup>3</sup>/h. Nessa área, destacam-se as empresas mineradoras Belmont e Vale S.A, sendo elas responsáveis por consumirem 1891,06 m<sup>3</sup>/h, ou seja, 84%. Observa-se que a maior parte das vazões subterrâneas são usadas para fins minerários, enquanto uma pequena parcela é destinada para o abastecimento humano.

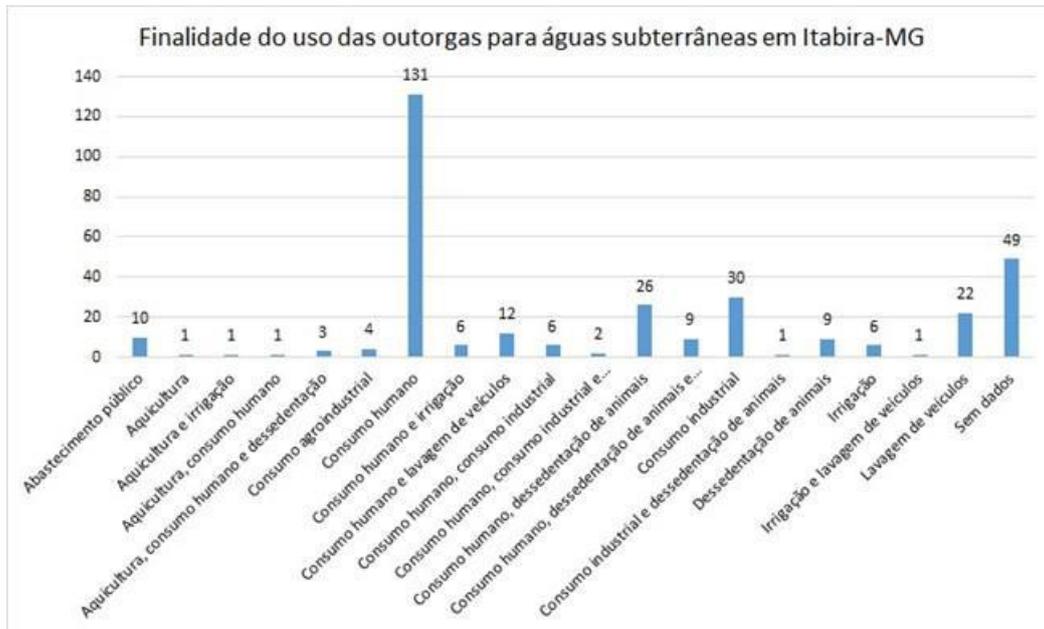
Grande parte da região urbanizada do município, bem como suas outorgas estão inseridas na Bacia do Piracicaba, contendo 234 pontos, com um total de 8.576,30 m<sup>3</sup>/h. Dentre eles, estão localizados os poços de maiores vazões utilizados pelo SAAE e principalmente por empresas mineradoras. De acordo com o IGAM (2020), essa bacia possui um grande diferencial comparado às demais, que também são pertencentes a Bacia do Rio Doce, devido a maior demanda de água ser destinada ao consumo industrial/mineração, seguindo por abastecimento público/consumo humano, corroborando com o alto volume das vazões estudadas.

O alto consumo é evidenciado por empreendimentos com uso intensivos na demanda de água, uma vez que ela é imprescindível na utilização em processos minerários.

Ela é utilizada, em todas as etapas, na qual o processo de lavra e beneficiamento as que mais utilizam a água. As fontes subterrâneas são viabilizadas nas situações em que a disponibilidade superficial é reduzida, quando existem restrições ambientais quanto à captação e principalmente nas situações em que há a necessidade de rebaixamento do aquífero para permitir as operações de lavra, atividade conhecida como rebaixamento do lençol freático (ANA, 2006; De Freitas, 2012).

Apesar do grande volume das águas subterrâneas serem utilizadas para uso na atividade de mineração, a maioria da sua finalidade destina-se ao consumo humano, como mostra a Figura 7.

**Figura 7:** Finalidades do uso das outorgas para águas subterrâneas em Itabira.



Fonte: Autores (2021).

O consumo humano é o responsável pela maior emissão das outorgas, que representa quase 40%. Quando acompanhado por outras atividades, como a irrigação, lavagem de veículos, consumo industrial, aquicultura e dessedentação de animais, o seu valor representa 59,3 %. Um alto número de outorgas destinada ao consumo humano deve-se à demanda nas zonas rurais, contemplando 80 poços. Em seguida, tem-se o consumo industrial representando 9%, lavagem de veículos representando 6,6% e abastecimento público com 3%.

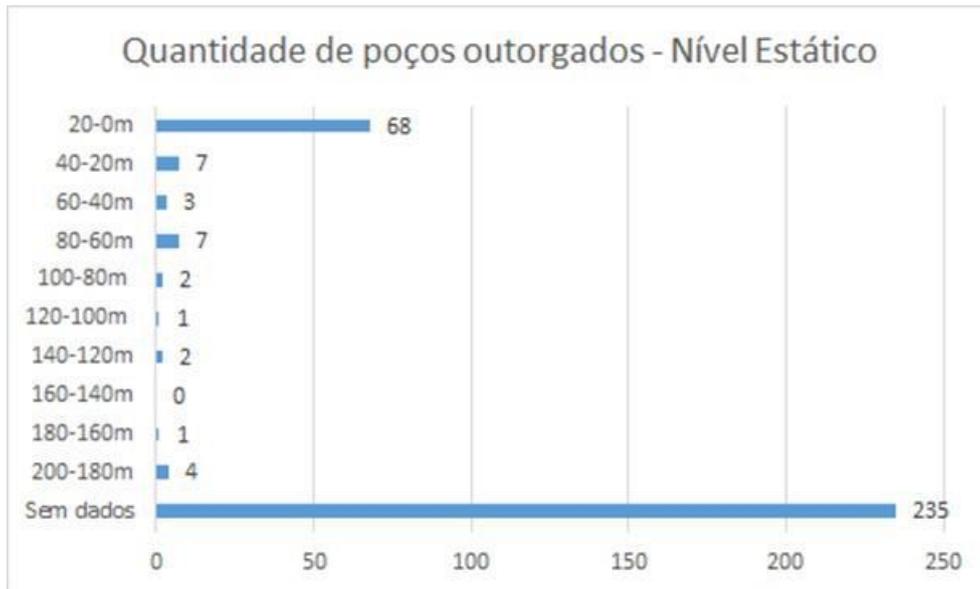
A baixa porcentagem relacionada ao uso da irrigação e dessedentação animal são características da Bacia do Rio Piracicaba, onde essas finalidades são poucas expressivas (PARH-PIRACICABA, 2010). No entanto, as porcentagens podem variar devido ao grande número de outorgas não conter a sua finalidade.

### 3.2 Nível Estático e Nível Dinâmico dos poços

O nível estático de uma camada aquífera é a distância retilínea que vai desde a boca do poço até o nível d'água no poço, sem que esteja havendo bombeamento. Os maiores valores de nível estático representam profundidades maiores do nível da água subterrânea na área. A análise da variação dos níveis estáticos é importante para verificar se não há superexploração dos aquíferos, contribuindo assim para os rebaixamentos locais.

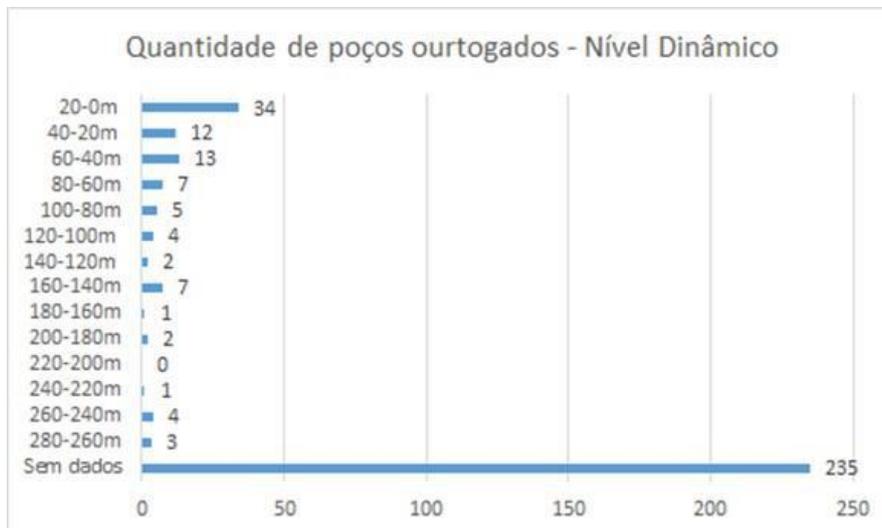
Avaliando os níveis estáticos e dinâmicos, foram analisados apenas 95 dos 330 poços, devido ao restante não conter os dados desses níveis. Para os dois níveis, foi observado que a maior parte dos poços se encontravam na faixa de 0 a 20 m, como observado nas Figuras 8 e 9.

**Figura 8:** Quantidade de poços outorgados em relação ao nível estático.



Fonte: Autores (2021).

**Figura 9:** Quantidade de poços outorgados em relação ao nível dinâmico.



Fonte: Autores (2021).

Em relação ao nível estático, a média foi de 29,02 m, com mínimo de 0 m e o máximo de 194,14 m. Os níveis estáticos maiores que 20 metros representam 28,42% do total dos poços estudados. De acordo com Silva (2012) os poços que apresentam nível estático abaixo de 20 m caracterizam em aquíferos raso e freático, onde as condições de exploração exigem muito cuidado, sobretudo quanto a preservação da qualidade da água e da recarga das águas subterrâneas, tornando-se mais sério quando há um elevado nível de ocupação da área. Já o nível dinâmico, apresenta profundidades em torno de 71,62 m, com mínimo de 3,65 m e o máximo de 280 m. Quando comparado ao nível estático, ele apresenta maiores valores, na qual 64,21% deles são maiores de 20m.

### 3.3 Profundidade dos Poços

Em relação à profundidade, foram analisados apenas 134 dos 330 poços, devido ao restante não conter dados. A maior parte dos poços do município tem profundidades na faixa entre 0 e 40 m, representando 48,50%, Figura 10.

**Figura 10:** Profundidade dos poços outorgados.



Fonte: Autores (2021).

De acordo com Cutrim et al., (2002) os poços, principalmente de profundidades superiores a 100 m, na maioria das vezes, são construídos para abastecimento público, tanto no meio urbano quanto rural. Diante disso, observa-se que os poços que são de responsabilidade do SAAE, destinados ao abastecimento público, são os que apresentam as maiores profundidades, variando entre 200 a 433 m. Já o de menores profundidades são destinados ao consumo humano e dessedentação de animais, variando de 3,5 a 250 m.

### 3.4 Uso Insignificante

Itabira possui 183 poços outorgados considerados como uso insignificante, correspondendo a 55,45% da totalidade dos poços, como observado na Figura 11. De acordo com IGAM (2021), no caso de captações subterrâneas, tais como, poços manuais, surgências e cisternas, são consideradas como insignificantes aquelas com volume menor ou igual a 10 m<sup>3</sup>/dia.

**Figura 11:** Quantidade de poços outorgados em relação ao uso insignificante.



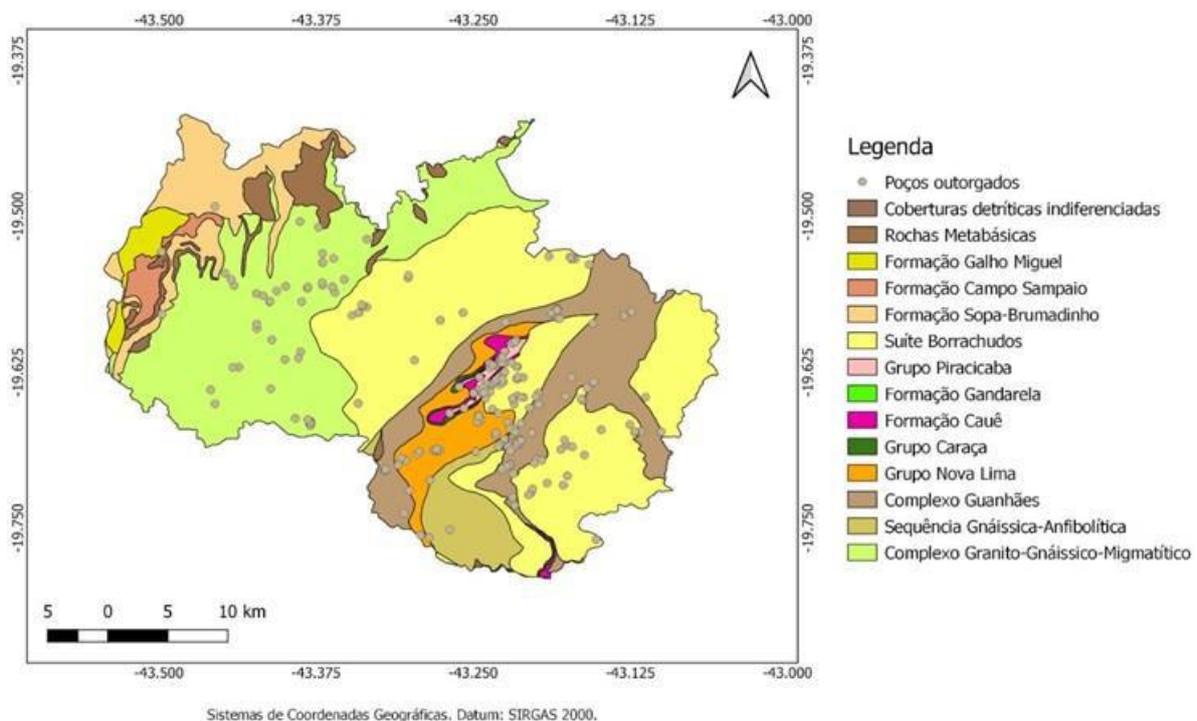
Fonte: Autores (2021).

Dessa forma observa-se que todos que possuem o cadastro como uso insignificantes, a água subterrânea é destinada ao consumo humano, irrigação, dessedentação de animais e lavagem de veículos, com uma média de 1,14 m<sup>3</sup>/h. Nesse uso, a água é captada através de cisternas e nascentes. Já para os usos não insignificantes, que corresponde a 44,55% do total de poços, tem-se uma média de 76,45 m<sup>3</sup>/h, na qual estão contemplados os empreendimentos de grande porte que utilizam a água para o abastecimento público, consumo industrial e consumo humano, sendo este último captado de poços tubulares

### 3.5 Relação da Geologia local com a disponibilidade hídrica subterrânea

Em relação a disposição das outorgas em relação a geologia do município, nota-se a maioria dos poços estão distribuídos em 6 das 14 geologias presentes sendo elas: Suíte Borrachudos, Complexo Guanhães, Complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico, Grupo Piracicaba, Grupo Nova Lima e Formação Cauê, como mostra a Figura 12.

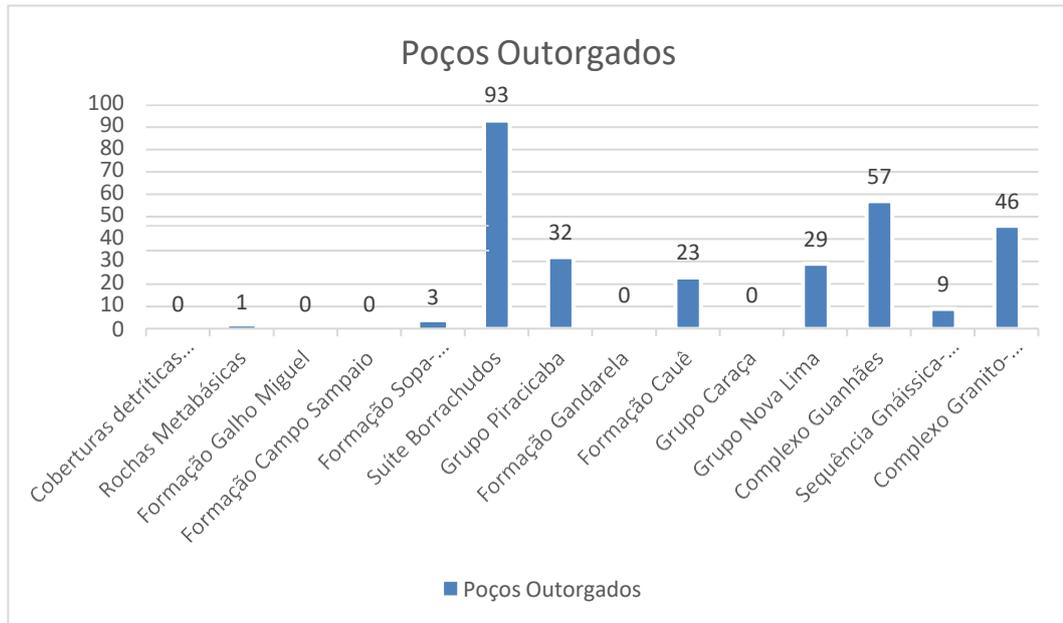
**Figura 12:** Localização dos poços outorgados em relação à geologia.



Fonte: Autores, modificado de Gonçalves et al., (2021).

Na Figura 13 é mostrado que as formações Suíte Borrachudos, Complexo Guanhães e Complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico detém mais da metade dos poços de Itabira, representando quase 60% das outorgas. A Suíte Borrachudos é a que detém a maior quantidade poços do município, totalizando 93 pontos, o que corresponde a 28,8% das outorgas.

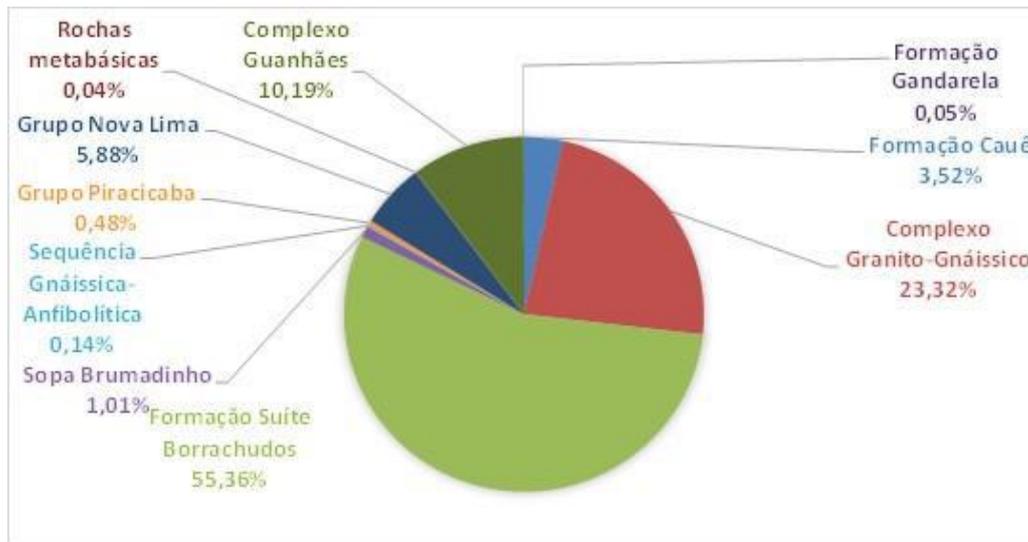
**Figura 13:** Relação dos poços outorgados com a formação geológica.



Fonte: Autores (2021).

Além disso, nela estão localizadas as outorgas de maiores vazões, que vão desde 280 m<sup>3</sup>/h a 750 m<sup>3</sup>/h. A Figura 14 mostra a porcentagem das vazões encontradas em cada geologia. As formações Coberturas detríticas indiferenciadas, Galho Miguel, Campo Sampaio e o Grupo Caraça não apresentaram nenhum poço inserido, portanto sua vazão é 0 m<sup>3</sup>/h.

**Figura 14:** Porcentagem da vazão em relação a formação geológica.



Fonte: Autores (2021).

Observa-se que as formações geológicas Suíte Borrachudos, Complexo Guanhões e Complexo Granito-Gnáissico são responsáveis por 88,87% de toda vazão extraída no município. De acordo com Gonçalves et al., (2019), essas formações são pertencentes ao sistema de aquífero Gnáissico-Granítico que são representados pelos granitos, gnaisses, migmatitos, granitoides e rochas básicas e metabásicas intrusivas, na qual são caracterizados por aquíferos descontínuos, anisotrópicos,

heterogêneos, fraturados e livres a semiconfinados pela rocha alterada. Por estes aquíferos apresentarem dupla porosidade, com circulação e armazenamento da água subterrânea em descontinuidades provocadas pelo fraturamento das rochas (porosidade de fraturas) e nos interstícios do manto de alteração (porosidade intersticial), a porosidade de fraturas apresenta maior permeabilidade e a porosidade de interstícios, e, portanto, maior capacidade de armazenamento das águas subterrâneas.

Diante disso, observa-se que as outorgas de maiores vazões são concentradas nesses três tipos de geologia, que além de possuírem uma boa capacidade de armazenamento da água subterrânea, Gonçalves et al., (2021) diz que devido aos grandes índices pluviométricos locais e a existência de um espesso regolito, a recarga subterrânea é potencializada, o que pode favorecer a disponibilidade hídrica da região. Porém é necessário que haja atenção para que a extração de água subterrânea não ultrapasse os limites de produção das reservas reguladoras ou ativas do aquífero, o que poderia vir causar danos no próprio recurso e ao meio ambiente (BRASIL, 2009).

Outra unidade geológica que também possui boas características é a Formação Cauê. O aquífero nesta unidade é constituído pelas hematitas e itabiritos, sendo o principal reservatório de água subterrânea do Quadrilátero Ferrífero. Possui elevada capacidade de armazenamento devido a sua porosidade intersticial, porém é intercalado por zonas de porosidade fissural, proporcionada a uma elevada condutividade hidráulica ao meio e espessura saturada média de 400m, comprovando o importante potencial subterrâneo deste aquífero (Da Silva et al., 1994).

De acordo com Mourão (2007) e PARH PIRACICABA (2010) a Formação Cauê possui elevada capacidade de armazenamento devido a sua natureza porosa ou fraturada, sendo um grande potencial de água subterrânea. São, em geral, recobertas por solos pouco desenvolvidos que guardam forte relação com o substrato ferruginoso e apresentam significativa importância na recarga do aquífero (Mourão, 2007).

Além da formação Cauê, o Grupo Piracicaba também apresenta texturas de porosidades primária e secundária, ou seja, uma combinação de condições extremamente favoráveis para o armazenamento e circulação das águas subterrâneas (Lamounier et al., 2010).

Em relação ao Grupo Piracicaba constituem-se no aquífero xisto e as rochas dos aquíferos quartzíticos. É formado 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 às estruturas rúpteis (falhas, fraturas) (Gonçalves et al., 2021). Os aquíferos fissurados quartzíticos possuem maior favorabilidade hidrogeológica em relação aos aquíferos desenvolvidos em rochas cristalinas e xistosas e, portanto, podem ser utilizados para exploração de água para usos consuntivos (PARH PIRACICABA, 2010).

Apesar da formação não apresentar altas vazões exploráveis, Neto et al., (2001) diz que o bombeamento das águas subterrâneas dos aquíferos será responsável pelo esgotamento do nível de água não só na área das minas, mas também nas áreas circundantes, causando a redução da vazão das nascentes associadas aos aquíferos bombeados, Cauê e Piracicaba.

A Formação Sopa-Brumadinho corresponde a um aquífero clástico onde a permeabilidade e a capacidade de armazenamento estão condicionadas principalmente à presença de fraturas. As precipitações pluviais e drenagens superficiais recarregam o aquífero. A Formação apresenta pequena capacidade de infiltração, devido às descargas se darem em áreas deprimidas e no fundo de vales, além dos terrenos serem montanhosos e ondulados.

Já o Grupo Nova Lima, os seus aquíferos são constituídos predominantemente por xistos metassedimentares e metavulcânicos. Possui porosidade fissural e baixo potencial hidrogeológico, demonstrado pela produtividade dos poços tubulares (capacidade específica mediana de 0,3 m<sup>3</sup>/h/m) e vazões médias das nascentes de 1,1 m<sup>3</sup>/h (Beato et al., 2005).

Ele é composto pelas rochas xistosas que formam o aquífero xisto e as rochas quartzíticas ferruginosas que formam os aquíferos das formações ferríferas. Estes aquíferos, podem ser encontrados em zonas de xisto são, não meteorizado e nos interstícios do xisto intemperizado. O primeiro é considerado 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 (Gonçalves et al., 2019).

Dentre as geologias apresentadas, as que apresentam maior disponibilidade de água são as Formações Suíte Borrachudos, Complexo Guanhões, Complexo Granito-Gnáissico, Formação Cauê e Grupo Piracicaba. E os menos favoráveis à disponibilidade são os Grupo Nova Lima e Formação Sopa-Brumadinho. Diante o exposto, ressalta-se a importância da preservação das águas subterrâneas, principalmente em locais que ocorrem atividades mineradoras, uma vez que a maioria dos poços outorgados no município de Itabira são destinados à fins minerários.

#### 4. Conclusão

Os resultados do estudo revelam que quase um terço dos poços outorgados pelo IGAM e mais da metade da disponibilidade hídrica estão localizados nas rochas da Suíte Borrachudos. Foi verificado também que as maiores vazões outorgadas estão concentradas nas rochas da Suíte Borrachudos, Complexo Guanhões e Complexo Granito-Gnáissico, que são responsáveis por quase toda vazão extraída no município de Itabira. Estes terrenos apresentam boas condições para o armazenamento e disponibilidade hídrica. Embora estas litologias apresentem favorabilidade hídrica, é necessário que se tenha uma extração adequada, de modo que não ultrapasse os limites de produção das reservas reguladoras ou ativas do aquífero, causando danos ao meio ambiente.

Na Formação Cauê e no Grupo Piracicaba foram as que se apresentaram menos favoráveis à retenção da água, por isso há necessidade de maior atenção na exploração das águas. Diante disso, ressalta-se a importância da preservação das águas subterrâneas, pois a prática da mineração pode causar danos à qualidade da água devido aos processos químicos utilizados na extração do minério, sedimentação, aumento da turbidez e pH, poluição dos rios e mortalidade de peixes.

Em relação à análise quantitativa, verifica-se que o maior número de outorgas é destinado a pequenos empreendimentos e ao consumo humano, entretanto são as que utilizam as menores vazões. Da empresa Vale S.A foram encontrados 38 poços, correspondendo a 11,5% das outorgas, porém só ela é responsável por quase 82% do volume total da água subterrânea extraída no município.

Foi verificado a ausência de informações das outorgas, dificultando a análise quantitativa das águas subterrâneas. Apenas 100 dos 330 poços contém os dados dos níveis dinâmico, estático e profundidade.

Verificou-se também um problema relacionado a perfuração de poços sem nenhum tipo de autorização, outorga ou licença, o que faz com que os dados disponíveis no Estado não sejam completos, apenas uma amostra, e não se tenha dados oficiais da quantidade de poços perfurados em Itabira. Diante disso, é imprescindível estudos mais detalhados dos sistemas aquíferos, enfatizando a fiscalização das outorgas e cobrança dos órgãos competentes, a fim de se obter dados mais precisos acerca dos mananciais subterrâneos.

Dada a importância do tema e a relevância dos problemas de escassez hídrica e mudanças climáticas, sugere-se novos estudos e pesquisas sistematizadas no território mineiro visando o refinamento dos procedimentos e metodologias para o melhor uso e melhor gestão das águas subterrâneas amparadas no marco legal do estado.

#### Referências

- ANA (2006). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília.
- Arantes, A. D. S. (2009). *Diagnóstico do uso da água com base nos processos de outorga, estudo de casa UPGRH Piranga*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Beato, D. A. C., Monsorens, A. L. M. & Bertachini, A. C. (2005). Hidrogeologia. In: *Projeto APA Sul RMBH Estudos do Meio Físico: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG. v.9.

- BRASIL. (1997). Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília, DF: Presidência da República.
- BRASIL. (2009). Ministério do Meio Ambiente – MMA. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. *Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH*. Programa Nacional de Águas Subterrâneas. Brasília. 52 p.
- Bonfim, L. F. C. (2010). *Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia*. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2010, São Luís. Artigo. São Luís: CPRM, 2010. p. 1-18.
- Castro, K. Q. (2021). *Caracterização e quantificação do potencial hídrico subterrâneo do baixo curso do Rio Piracicaba (MG)*. Dissertação de Mestrado PROFÁGUA. Universidade Federal de Itabirá, Itabira, MG.
- Cutrim A. O., Shozo, S., Casarin, J. C. & Rebouças, A. C. (2002). Locação de poços tubulares profundos na Bacia do Paraná, no município de Rondonópolis – MT, usando sondagem elétrica vertical. In: *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Florianópolis.
- Da Silva, A. B., Neto, A. F. S. & Bertachini, A. C. (1994). Potencial de águas subterrâneas do quadrilátero ferrífero. *Águas Subterrâneas*.
- De Freitas, S. P. (2012). *O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da PCH Bicas*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- Dussin I. A., Dossin T. M., Charvet, J., Cocherie A. & Rossi P. (1993). Single-zircon dating by step-wise Pb-evaporation of Middle Proterozoic magmatism in the Espinhaço Range, southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). In: *SBG, Simpósio Craton São Francisco, Salvador, Anais*, 1, 39-42.
- Dussin, I. A. (1994). *Evolution structurale de la region de l'espinhaco meridional, bordure sud-est du craton sao francisco bresil: tectoniques superposees au proterozoique*. 1994. Tese de Doutorado. Orléans.
- ENGEORPS (2015). Engecorps Engenharia S.A. *Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Itabira: Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos serviços de saneamento básico. Itabira*.
- Gonçalves, J. A. C., Pereira, P. H. R. & Almeida, M. S. L. (2021). Caracterização dos Sistemas Aquíferos do Distrito Ferrífero de Itabira, Minas Gerais. *Águas Subterrâneas*, 35, 1.
- Gonçalves, J. A. C., Almeida, M. S. L., Ferreira, M. A. M. & Paiva, B. L. F. (2019). Disponibilidade de Águas Superficiais e Subterrâneas na bacia do Rio do Peixe, Itabira, MG. *Research, Society and Development*, 8, 12, 1-17.
- IGAM – (2020). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Gestão e situação das águas de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Belo Horizonte. 230 p.
- IGAM – (2021). Instituto Mineiro de Gestão de Águas. *Cadastro de Uso Insignificante*, Belo Horizonte.
- IGAM – (2018). Instituto Mineiro de Gestão de Águas. *Gestão de Bacias Hidrográficas: Critérios para definição de áreas prioritárias para revitalização*, Belo Horizonte.
- IGAM – (2016). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte.
- ITABIRA. (2009). *Plano de Manejo do Parque Natural Municipal do Intelecto*. Itabira: Prefeitura Municipal de Itabira, 2009.
- ITABIRA. (2014). *Plano Diretor Participativo do Município de Itabira*. Itabira: Prefeitura Municipal de Itabira, Fundação Israel Pinheiro.
- Lamounier, W. L., Carvalho, V. L. M., Salgado, A. A. R. & Marent, B. R. (2010). A influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero - MG. *Revista Geografias*, 152-165.
- Lopes, J. W. B., Pinheiro, E. A. R. & Neto, J. R. A. (2012). Modelagem da recarga de águas subterrâneas em uma bacia semiárida: influências da ocupação agrícola. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 6, 1, 33-40.
- Mangore, E. & Taigbenu, A. E. (2004). Land-use impacts on the quality of groundwater in Bulawayo. *Water*, 30, 4, 453-464.
- MINAS GERAIS. (2017). Decreto nº 47.297, de 01 de janeiro de 2017. *Institui o Programa de Eficiência Ambiental no âmbito do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos*.
- MINAS GERAIS. (2019). Decreto nº 47.787, de 13 de dezembro de 2019. *Dispõe sobre a organização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*. Belo Horizonte.
- Mourão, M. A. A. (2007). *Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- Neto, A. F. S. et al. (2001). Hydrogeological model of the itabira iron ore district. *Metalurgia & Materiais ABM (Brazil)*, 58, 64-70.
- Paixão, M. M. O. M., Carvalho, J. L. G., Prates, L. & Galvão, P. H. F. (2017). A Condição de Exploração de Água Subterrânea em Minas Gerais à Luz dos Critérios da Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH.
- PARH PIRACICABA (2010) Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba PARH Piracicaba. *Plano integrado de recursos hídricos da Bacia do Rio Doce e dos planos de ações de recursos hídricos para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da Bacia do Rio Doce*.
- Pedrosa, C. A. & Caetano, F. A. (2002). *Águas Subterrâneas*. Superintendência de Informações Hidrológicas, Agência Nacional de Águas. Brasília, 85 p.

Puerari, E. M., Costa, C. T. & Castro, M. A. H. (2003). Utilização do Método DRASTIC na Análise de Vulnerabilidade Natural do Complexo Industrial e Portuária do Pecém - Fortaleza/Ceará. *Águas Subterrâneas*.

Silva, C. A. D. A. (2012). *Avaliação quantitativa da água subterrânea no estado de Mato Grosso do Sul*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Silva, M. B. & Grigolo, T. M. (2002). Metodologia para iniciação científica à prática da pesquisa e da extensão II. *Caderno Pedagógico*. Florianópolis.