

UTILIZAÇÃO DO SIG PARA ANÁLISE DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL DA ÁGUA NO SINCLINAL MOEDA

Alice Zupo Guimarães¹; Rodrigo Sérgio de Paula²; Jarbas Dias Lima Sampaio³; Jorge Geraldo Roncato Júnior⁴; Marília Carvalho de Melo⁵ & Débora Maria Diniz Barbosa⁶

Resumo: As águas subterrâneas são objetos de estudo em todo o Quadrilátero Ferrífero, por apresentar grandes reservas de água, que contribuem no abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este estudo foi realizado para auxiliar os órgãos ambientais na toma de decisões para o gerenciamento dos recursos hídricos, permitindo identificar áreas com maior potencial para instalação de poços. Para compreender os níveis das águas subterrâneas no Sinclinal Moeda, porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, é necessário coletar dados de medição em pontos de monitoramento. Entretanto, esses pontos estão distribuídos de forma irregular. O objetivo do trabalho é através da interpolação “*topo to raster*”, técnica utilizada para estimar valores desconhecidos, criar um mapa de profundidade do nível da água no Sinclinal Moeda, afim de obter informações onde não há dados suficientes. A metodologia de trabalho teve como base interpolação e construção de seções hidrogeológicas utilizando os *softwares* ArcGIS e CoreDRAW. O mapa da profundidade do nível da água mostrou uma distribuição anisotrópica e algumas regiões com predomínio de nível estático elevados, como nas porções nordeste e sudoeste.

Palavras-Chave – Profundidade do nível d’água, SIG, Interpolação.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam um manancial hídrico de grande importância econômica, social e ambiental. Entretanto, o uso descontrolado, as alterações antrópicas, ocupação do solo e atividades minerárias produziram efeitos que irão comprometer inevitavelmente a produção de água, causando sérios impactos nos sistemas naturais e com graves consequências para a segurança hídrica.

Para contribuir com uma melhor gestão dos recursos hídricos subterrâneos na tomada de decisões, as ferramentas de SIG têm se mostrado eficaz para estudos hidrogeológicos, devido a versatilidade, facilidade e benefícios que o sistema proporciona. Por meio, dessa ferramenta é possível realizar análise espacial e atividades de geoprocessamento, como a interpolação de dados hidrogeológicos (Hernandez, Athayde & Athayde 2021; Gomes 2008).

Os interpoladores são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável, para pontos inseridos em um campo de valores, transformando dados discretos em contínuos (Surfer 1999). Por meio de interpolações é possível realizar o monitoramento do nível da água, que em particular fornece um acompanhamento contínuo e sistemático das variações no volume de água subterrânea.

A área de estudo insere-se no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero (QF), região com grande importância econômica com significativos recursos minerários, além de destacar-se por seu significativo patrimônio geológico, constituído por rochas que são testemunho da evolução geológica

1) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), alicezupo@gmail.com

2) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), rodrigo.spdm@yahoo.com.br

3) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), jarbasdias@gmail.com

4) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), roncatojr@yahoo.com.br

5) Secretária do Estado do Meio Ambiente (SEMAD), marilia.melo@meioambiente.mg.gov.br

6) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), deboradiniz01@gmail.com

e do relevo (Formoso 2014; Ruchkys 2009). Na porção oeste do QF encontra-se o Sinclinal Moeda, área foco desta pesquisa (Figura 1), esse destaca-se por sua importância hidrogeológica, ao abrigar inúmeras reservas subterrâneas.

O núcleo do Sinclinal Moeda é constituído pelas rochas das formações Cauê, Gandarela e aquelas relacionadas aos grupos Piracicaba e Itacolomi, estando limitado, em seus flancos e em profundidade, pelos filitos de baixa permeabilidade da Formação Batatal. Esta conformação favorece a recarga e a acumulação de água subterrânea em seu interior, cujos pontos de descarga estão condicionados aos contatos geológicos, às estruturas tectônicas, como falhas e fraturas e aos locais de interceptação do nível d'água pelo relevo (Mourão 2007).

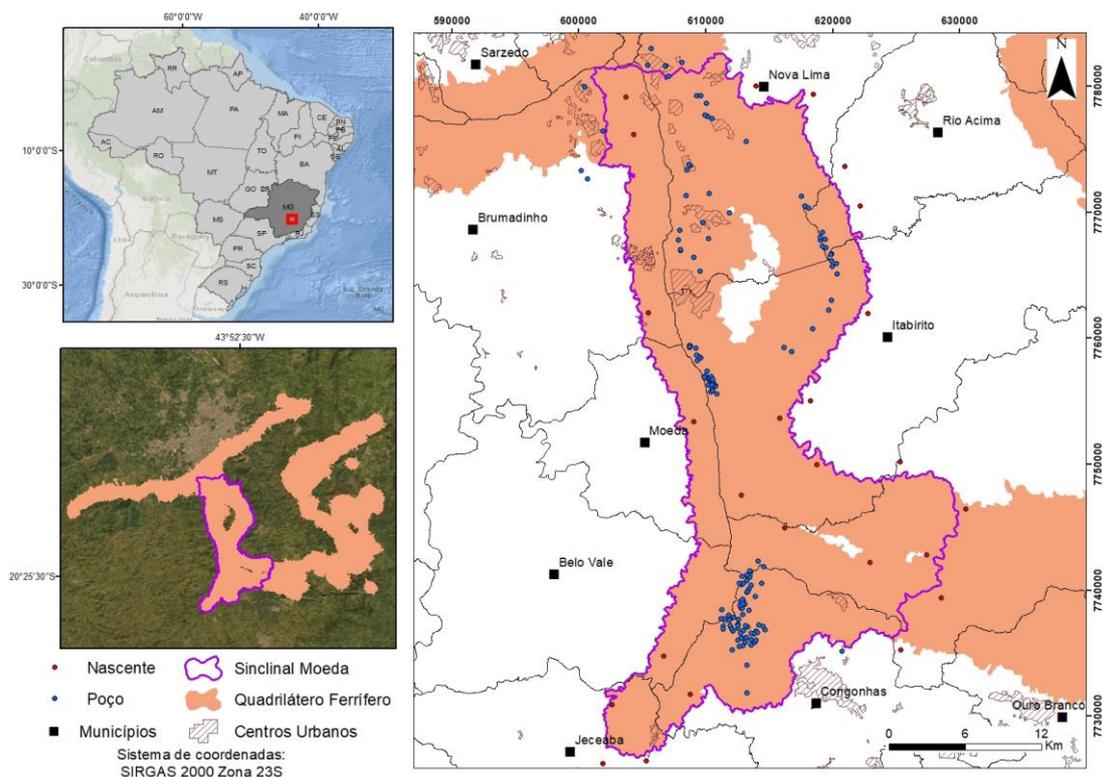
Com isso, esse trabalho foi realizado para enriquecer os estudos relacionados a hidrogeologia na região e possui como objetivo avaliar a profundidade do nível d'água, no Sinclinal Moeda, utilizando o método de interpolação "Topo to Raster". Além de, conhecer a distribuição espacial do nível estático e estimar áreas potenciais à perfuração de poços tubulares para não comprometer a segurança hídrica subterrânea da área de estudo.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localização

A área de estudo está localizada no Quadrilátero Ferrífero na porção centro-sudeste do estado de Minas Gerais (Ruchkys 2009). O Sinclinal Moeda corresponde à face oeste do QF e encontra-se localizado na porção sul da Região metropolitana de Belo Horizonte (Formoso, 2014). Os municípios que fazem parte do Sinclinal Moeda são: Belo Horizonte, Belo Vale, Brumadinho, Congonhas, Ibirité, Itabirito, Moeda, Nova Lima, Ouro Preto e Rio Acima (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de Localização do Sinclinal Moeda, situado na porção oeste do QF. É possível visualizar a localização dos poços (azul) e nascentes (vermelho) utilizados para fazer a interpolação do nível d'água.



Contexto Geológico

O Quadrilátero Ferrífero encontra-se inserido no extremo sudeste do Cráton São Francisco, ocupa uma área de cerca 7.000 km², devendo seu nome ao arranjo definido por um conjunto de serras lineares com altitude, em média, variando entre 1.100 e 1.600 metros (Chemale Jr, Rosière & Endo 1991; Noce 1995).

De acordo com Endo *et al.* (2020) o QF é constituído por unidades litodêmicas e litoestratigráficas do Arqueano, do Paleo-Mesoproterozoico e do Cenozoico, a saber:

i) Complexos Metamórficos, constituídos de gnaisses bandados ou não, migmatitos, granitoides, anfíbolitos e corpos máficos/ultramáficos;

ii) Supergrupo Rio das Velhas, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas, metavulcanoclásticas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas. Formado pelos Grupos Nova Lima (inferior) e Maquiné (superior) (Carneiro, Noce & Teixeira 1995).

iii) Supergrupo Minas, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas de idade paleoproterozoica e dispõe-se em discordância sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, geralmente em contato tectônico. Esse supergrupo é composto, da base para o topo, dos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba (Endo *et al.* 2020; Noce 1995).

iv) Supergrupo Estrada Real, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas, composto pelos grupos Sabará e Itacolomi (Endo *et al.* 2020).

v) Unidades sedimentares, correspondentes às coberturas do Paleógeno ao Holoceno, constituídas por sedimentos terrígenos.

Contexto Hidrogeológico

O Sinclinal Moeda é constituído por quatro unidades hidrogeológicas, a saber: Sistema Aquífero Poroso são relacionados aos depósitos aluvionares, coluvionares, eluvionares, cangas, depósitos terrígenos e a Formação Cauê. Em geral, constituem aquíferos livres, com porosidade e permeabilidade primárias.

Sistema Aquífero Fissural são relacionadas as rochas da Suíte Máficas-Ultramáficas Catas Altas da Noruega, Santa Rita, Samambaia, Souza Noschese, Amarantina e Funil, as rochas do Supergrupo Estrada Real, Grupo Piracicaba, Formação Moeda, Supergrupo Rio das Velhas e Complexos TTG. São aquíferos livres a confinados, com porosidade e permeabilidade secundária, condicionada pelas fraturas nas rochas.

Unidade Aquífera Cárstica é representada pelas rochas dolomíticas da Formação Gandarela (Grupo Itabira). São aquíferos livres a confinados, com porosidade e permeabilidade secundária, condicionada pelas fraturas nas rochas e condutos cársticos como resultado da dissolução do carbonato.

Aquitardo Batatal reúne as rochas da Formação Batatal, com predominância de filitos. As rochas dessa unidade não são capazes de transmitir água, somente armazenar. Exercem um importante papel ao confinar outras unidades produtoras de água.

METODOLOGIA

A profundidade do nível da água de poços tubulares foi obtida por meio de dados públicos nos órgãos, Instituto Mineiro de Gestão das águas (IGAM), Sistema Integrado de Informações Ambientais (SIAM) e Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e complementados com dados de nascentes obtidos através de *shapefiles* de cursos d'água do IDE SISEMA (Infraestrutura de Dados Espaciais), totalizando 190 pontos distribuídos de forma uniforme na área de estudo.

As informações foram organizadas em um banco de dados e avaliadas de forma a verificar erros relacionados à duplicidade, coordenada ou demais informações inconsistentes. Em seguida, os dados de nível da água subterrânea foram filtrados do período seco (abril a setembro) e posteriormente restringidos para o período (maio até agosto) buscando a menor interferência de eventos pluviométricos, os anos de 2011 até 2020. Esse procedimento de validação e filtragem foram realizados no software *Excel*.

Existem vários métodos de interpolação, podendo ser diferenciados quanto à abordagem, dentre os métodos de interpolação existentes, optou-se por utilizar a função *topo to raster*. Esse método permite que arquivos, como curvas de níveis, cursos de rios e delimitações de bacias, possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venha a serem cometidos pelo método. O objetivo dessa interpolação é converter dados vetoriais em modelo hidrogeológico de elevação de terreno exatos. O método se utiliza da eficiência computacional de interpolação local, como ponderação do inverso da distância, sem perder a continuidade superficial dos métodos global (Nogueira e Amaral 2009).

Com o objetivo de fazer uma avaliação em corte, foi realizado dois perfis hidrogeológicos utilizando as informações obtidas pela interpolação e as unidades aquíferas, foram produzidos dois perfis hidrogeológicos.

Para realizar a interpolação do nível d'água foi utilizado o *software* ArcGIS 10.8.2, aplicando a interpolação "*Topo to raster*" localizada na aba *Spatial Analyst Tools*. Os perfis hidrogeológicos foram elaborados no *software* CorelDRAW versão de 2021.

RESULTADOS

O levantamento totalizou 153 poços e 25 nascentes, deste total, 50 pontos (26,3%) estão localizados nas rochas da Unidade Aquífera Poroso da Formação Cauê, 42 pontos (22,10%) estão situados na Unidade Aquífera Poroso das Coberturas cenozoicas, 30 pontos (15,78%) nas rochas da Unidade Aquífera Cárstica da Formação Gandarela, os demais estão distribuídos uniformemente nas Unidades aquíferas fissurais no Sinclinal Moeda.

Essa distribuição irregular da profundidade do nível d'água é devida a produtividade de cada aquífero, sendo assim as unidades aquíferas porosas da formação Cauê e das coberturas são os aquíferos que apresentam maior capacidade de armazenamento, comparando-as com as demais unidades aquíferas no Sinclinal Moeda. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 2.

Os níveis estáticos analisados mostraram profundidade de 0 a 5 metros para 4,50% dos poços observados, enquanto 15,60% demonstram intervalo entre 5 a 25 metros, de 25 a 50 metros 20,90% dos poços, de 50 a 100 metros 34,60%, e por fim, 24,40% apresentaram profundidade maiores de 100 metros. Observa-se também, que predomina na área de estudo a profundidade de 0-5 metros, com 32,2%, em seguida a variação de profundidade de 50-100 metros representando 21,8% da área total, a profundidade de 25-50 metros constituindo 20,7% da área de estudo, de 5-25 metros caracteriza

16,1% e por último, a profundidade maior que 100 metros é encontrada em somente 9,2% do Sinclinal Moeda (Tabela 1).

Tabela 1- Porcentagem de área do Sinclinal Moeda distribuída conforme a variação da profundidade do nível d'água.

Profundidade do Nível da água	Área (Km²)	Porcentagem
< 5 metros	260,30	32,20 %
5-25 metros	130,20	16,10 %
25-50 metros	167,40	20,70 %
50-100 metros	176,20	21,80 %
> 100 metros	74,50	9,20 %

A profundidade do nível da água apresenta média em torno de 63 metros, mas também atingem valores elevados com cerca de 232 metros como na Unidade Aquífera Poroso da Formação Cauê. Os poços tabulares profundos estão distribuídos de forma irregular no Sinclinal Moeda, situados nas porções nordeste e sudoeste. Essa profundidade está relacionada ao tipo de rocha dessa unidade, os itabiritos são rochas com elevada porosidade primária, formando excelentes aquíferos com alta capacidade de armazenamento de água.

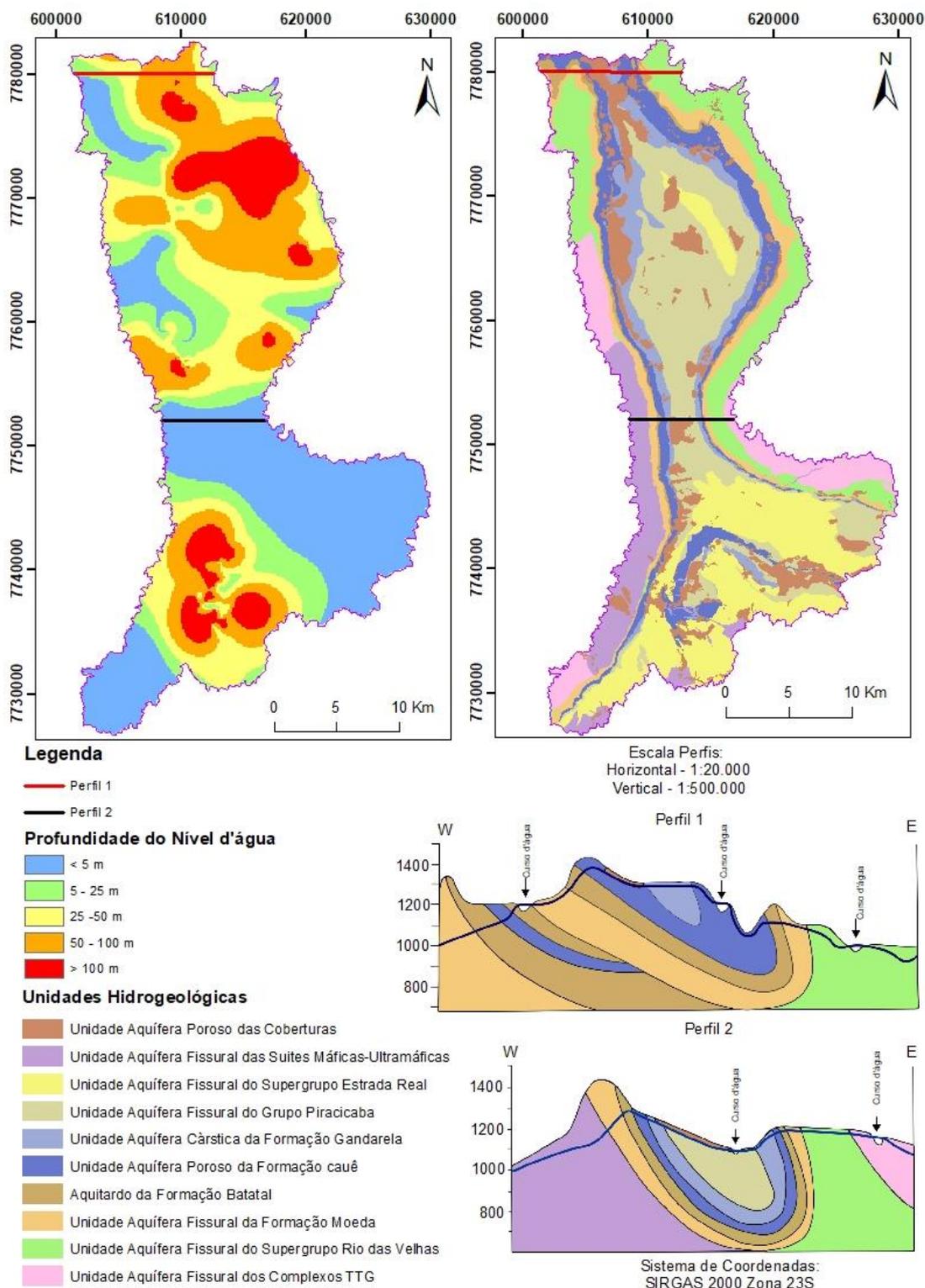
É possível observar que a maior parte da área de estudo encontra-se entre níveis de água com menos de 5 metros, representados pelas unidades aquíferas fissurais, ou seja, aquíferos com baixa capacidade de armazenamento e com porosidade secundária, condicionado pelas fraturas.

A partir do mapa de interpolação “*Topo to Raster*”, é possível analisar as direções preferenciais do fluxo sendo elas, nordeste-sudoeste, localização na porção mais ao norte da área de estudo e sudoeste-nordeste na porção mais ao sul do Sinclinal Moeda. O sentido do fluxo da água subterrânea, comparadando com as unidades aquíferas, está em direção principalmente as rochas da unidade aquífera fissural do Supergrupo Estrada Real.

Os perfis hidrogeológicos demonstram a variação do nível estático ao longo das unidades hidrogeológicas do Sinclinal Moeda, no perfil 1 é possível observar que o nível estático varia entre 0 e 100 metros, assim como no mapa de interpolação. Já no perfil 2 a variação do nível estático é de 0 até 200 metros, entretanto ao analisar o mapa de interpolação do perfil 2, esse está inserido em profundidade menor que 5 metros.

O interpolador utilizado leva em consideração os valores próximos, no entanto, a distribuição espacial irregular dos poços na região sul do Sinclinal Moeda, com maior presença de nascentes e poços agrupados, influenciaram na interpolação. Há necessidade de medições de nível de água exatos para uma interpolação mais coerente.

Figura 2 – Mapa com a profundidade do nível da água subterrânea (esquerda) e unidades aquíferas do Sinclinal Moeda (direita). Na parte inferior apresenta dois perfis hidrogeológicos, destaque para o nível estático em azul.



CONCLUSÕES

A partir de dados de cadastros de poços e nascentes, foi realizada uma avaliação do nível d'água subterrânea no Sinclinal Moeda, com a elaboração de mapa a partir da interpolação *topo to raster* e posterior comparação com as unidades aquíferas. Esse tipo de método interpolação tem como principal objetivo converter dados vetoriais em modelo hidrogeológicos de elevação de terreno exatos.

A interpolação espacial foi realizada a fim de estimar valores de variáveis de interesse onde não se têm informações suficientes, permitindo fazer uma análise da profundidade da água mais concisa. Podendo auxiliar na identificação de anomalias nos dados de medição para assim garantir uma melhor compreensão da dinâmica das águas subterrâneas na área de estudo entre as unidades aquíferas, além de futuros modelos de fluxo no Sinclinal Moeda.

Com os resultados obtidos foi possível avaliar as direções dos fluxos preferencias do Sinclinal Moeda, sendo de sudoeste-nordeste, na porção mais ao norte e nordeste-sudoeste na porção mais ao sul do Sinclinal Moeda. Além de fazer uma caracterização das unidades aquíferas e compará-las com os níveis estáticos, definindo assim que as maiores profundidade são encontradas na unidade aquífera porosa da Formação Cauê, devido sua alta permeabilidade.

A interpolação mostrou-se satisfatória e coesa para interpretação dos dados, entretendo há a necessidade de obter maior quantidade de níveis d'água subterrânea de forma mais espaça no Sinclinal Moeda, para complementar os dados de medições e assim, garantir a precisão das estimativas e melhorar a confecção do modelo proposto.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG), e ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Secretária de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) pela participação e apoio durante todas as etapas envolvidas.

REFERÊNCIAS

CHEMALE Jr. F.; ROSIÈRE, C.A.; ENDO, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Um modelo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, 18 (2): 104-127.

ENDO, I.; MACHADO, R.; GALBIATTI, H.F.; ROSSI, D.Q.; ZAPPAROLI, A.C.; DELGADO, C.E.R.; CASTRO, P.T.A.; OLIVEIRA, M.M.F. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CASTRO, P.T.A.; ENDO, I.; GANDINI, A.L. Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte, 2020. P. 70-113.

FORMOSO, D. (2014). Identificação e estudo das áreas prioritárias para conservação do Sinclinal Moeda (MG), com base nos serviços ecossistêmicos. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GOMES, F.E.M (2008). “*Geoprocessamento em ambiente SIG aplicado à hidrogeologia*”. Org. por Feitosa, F.A.C.; Filho, J.M.; Feitosa, E.C. e Demetrio, J.G.A, Hidrogeologia Conceitos e Aplicações, ed. CPRM, Rio de Janeiro – RJ, pp. 293 – 319.

HERNANDEZ, P.G.L.; ATHAYDE, G.B.; ATHAYDE, C.V.M.; (2021). Técnicas de espacialização de parâmetros hidrogeológicos: Estudo de caso em aquíferos sedimentares no estado do Paraná. *Águas Subterrâneas*, 4 p.

MOURÃO, M.A.A. 2007. Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

NOCE, C.M. 1995 Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de geociência.

RUCHKYS, U.A. (2009). Geoparques e a Musealização do Território: Um Estudo sobre o Quadrilátero Ferrífero. *Revista do Instituto de Geociências-USP, São Paulo*. v.5, p.35-46.

SURFER. (1999). *User's Guide*. Golden Software Inc. USA.