

## PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO NAS ÁREAS PROTEGIDAS DA SERRA DE SÃO JOSÉ, MG: POTENCIALIDADE DE OCORRÊNCIA DE CAVERNAS

**Pedro Henrique Silva Teixeira**

Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Geografia, São João del-Rei, MG, Brasil  
[pedrohsilvat94@gmail.com](mailto:pedrohsilvat94@gmail.com)

**Múcio do Amaral Figueiredo**

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Geociências, São João del-Rei, MG, Brasil  
[muciofigueiredo@ufsj.edu.br](mailto:muciofigueiredo@ufsj.edu.br)

**Silvia Elena Ventorini**

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Geociências, São João del-Rei, MG, Brasil  
[sventorini@ufsj.edu.br](mailto:sventorini@ufsj.edu.br)

**Helton Santos Lopes Barbosa**

Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Geografia, São João del-Rei, MG, Brasil  
[heltonbarbosa.geo@gmail.com](mailto:heltonbarbosa.geo@gmail.com)

**Leonardo Cristian Rocha**

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Geociências, São João del-Rei, MG, Brasil  
[rochageo@ufsj.edu.br](mailto:rochageo@ufsj.edu.br)

### RESUMO

Objetivou-se aqui desenvolver um método de identificação de áreas com potencial de ocorrência de cavidades na Serra de São José, que auxilie na proteção e manejo do patrimônio espeleológico existente na área investigada. A área de estudo abrange a Região Cárstica de São João del Rei, formada por rochas areno-quartzíticas, onde a formação de cavidades ocorre de maneira menos intensa. A fundamentação teórico-metodológica tem como base a análise multicritérios e a análise hierárquica de processos (AHP). Por meio da Análise Multicritério foi desenvolvido o modelo de "Potencialidade de ocorrência de Cavernas na Serra de São José", que consistiu no cruzamento das variáveis (geologia, área de concentração de blocos rochosos, declividade e hidrografia) e aplicação de pesos para cada atributo das mesmas, numa escala de 1 a 5 pontos, segundo os métodos da AHP. Foram identificados 3 estágios de potencialidade de ocorrência de cavernas, Ocorrência Improvável, Baixa Potencialidade e Média Potencialidade. Até o momento foram identificadas 31 cavernas, localizadas na região Norte/Nordeste da serra. A maior parte dessas cavernas estão localizadas nas áreas definidas como "Média e Baixa Potencialidade", visto que a formação geológica da área não proporciona um grande desenvolvimento de cavidades como por exemplo nas formações Calcárias e Dolomíticas.

**Palavras-chave:** Geopatrimônio. Análise Multicritérios. AHP.

## SPELEOLOGICAL HERITAGE PROTECTION IN THE PROTECTED AREAS OF THE SÃO JOSÉ RIDGE, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL: POTENTIALITY OF CAVES OCCURRENCE

### ABSTRACT

The objective here was to develop a method to identify areas with potential for occurrence of cavities in the São José Ridge, Minas Gerais State, Brazil, which will assist in the protection and management of speleological heritage in the investigated area. The study area covers the São João del Rei Karst Region, formed by sand-quartzite rocks, where cavity formation occurs less intensely. The theoretical-methodological basis is based on the multi-criteria analysis and the hierarchical process analysis (HPA). Through the multi-criteria analysis, the "Potentiality of Caves occurrence in São José Ridge" model was developed, which consisted of the crossing of variables (geology, rock boulders concentration, slope and hydrography) and weight application for each attribute of them, on a scale of 1 to 5 points, according to HPA methods. Three stages of potentiality of caves occurrence, Unlikely

Occurrence, Low Potentiality and Average Potentiality were identified. So far 31 caves have been identified, located in the North / Northeast region of the ridge. Most of these caves are located in the areas defined as "Medium and Low Potentiality", since the geological formation of the area does not provide a great development of cavities such as in calcareous and dolomite formations.

**Keywords:** Geoheritage. Multi-criteria Analysis. HPA.

## INTRODUÇÃO

A intervenção humana no meio ambiente vem acontecendo de forma muito intensa e acelerada nos últimos séculos a partir da revolução industrial. O que não é diferente na Serra de São José, queimadas e criação de gado são alguns dos principais e mais graves exemplos de ações humanas cometidas no local de estudo. Com isso ações para minimizar esses impactos têm de ser tomadas para que os mesmos não sejam irreversíveis ao ambiente. As cavernas são um exemplo desses ambientes intensamente impactados pelos seres humanos, locais esses que guardam grande riqueza da história da humanidade, utilizada como abrigo pelos primeiros seres humanos (CRUZ, 2008).

Visando a proteção do patrimônio espeleológico, em 2009, o Ministério do Meio Ambiente, através portaria nº 358, cria o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico – PNCPE, que visa a conservação e proteção do patrimônio espeleológico brasileiro, sendo direcionado ao Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas – CECAV, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (HARDT, 2015).

Porém, a escassez de estudos detalhados sobre o tema instigou o CECAV a investigar respostas associadas à proteção do patrimônio espeleológico, com o objetivo de minimizar as lacunas referente às propostas de preservação e conservação.

O patrimônio espeleológico (do grego spelaion = caverna), no qual se incluem as cavidades naturais subterrâneas, é constituído pelo conjunto de ocorrências geológicas que criam formações especiais, canyons, sumidouros, abismos, drenagem subterrâneas, furnas, tocas, grutas, lapas, cavernas e abrigos sobre rochas, incluindo os elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, a ele associados (MIRANDA; CHIOLDI, 2015).

Já a legislação brasileira atual, define como Patrimônio Espeleológico o “conjunto de elementos bióticos e abióticos, sócio-econômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas” (BRASIL, 2004, p.1).

Os primeiros trabalhos científicos realizados no Brasil sobre espeleologia foram realizados por Peter Lund, no estado de Minas Gerais. Através deste trabalho foi gerado o primeiro catálogo de cavernas do Brasil. Outro episódio importante para história da espeleologia brasileira foi o trabalho realizado por Richard Krone, entre os séculos XIX e XX, onde o autor desenvolveu um levantamento das cavernas por ele encontradas no Vale do Ribeira. Trabalho este que foi a base para o desenvolvimento do cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia o SBE, em contínua elaboração pelos seus associados até os dias atuais. Nas últimas décadas, como as cavernas se tornaram um patrimônio da União, o cadastro de cavernas e cavidades espeleológicas vem sendo desenvolvido pelo ICMBio através do CECAV (HARDT, 2015).

Outra discussão importante sobre conceitos que foram evoluindo durante os processos de estudos com o passar dos anos, é a definições sobre o termo cárste, cuja conceituação clássica considerava somente as rochas carbonáticas como litoambiente de desenvolvimento. Porém, o mesmo vem sofrendo alterações, tendo sua conceituação definida:

O cárste deve ser tratado em termos de sistema composto por formas de relevo superficiais e subterrâneas específicas, que possui características hidrológicas distintas, dependente de características litologias (independente da rocha) que permitam dissolução química, subordinada a características estruturais que determinem porosidade, principalmente, mas não exclusivamente, porosidade secundária.

A dimensão temporal não pode ser negligenciada, conduzindo a ideia de dinâmica, portanto, é um sistema que se transforma ao longo do tempo, convergindo para uma organização do conjunto de formas, e se adaptando a mudanças introduzidas por processos naturais ou antrópicos (HARDT, 2011, p. 24).

Com o passar dos anos e o desenvolvimento de estudos mais aprofundados sobre o assunto, além da inclusão de áreas não carbonáticas, hoje no Brasil são conhecidas 19 regiões cársticas, segundo o CECAV. São elas: Formação Caatinga, Formação Carajás, Formação Salinas, Formação Vazante, Grupo Açungui, Grupo Apodi, Grupo Araras, Grupo Bambuí, Grupo Brusque, Grupo Corumbá, Grupo Paranoá, Grupo Rio Pardo, Grupo Ubajara, Grupo Uma, Grupo Vargem Grande, Grupo Xambioá, Região Cárstica de São João Del Rei, Região Cárstica do Quadrilátero Ferrífero e Supergrupo Canudos (CECAV, 2018).

Apesar de o conhecimento espeleológico ter avançado consideravelmente na última década, no Brasil o cenário de estudos ainda está se desenvolvendo. A Serra de São José apresenta-se como uma área propícia ao desenvolvimento de cavidades em rochas areno-quartzíticas, situação não muito comum no Brasil, onde a maioria das cavidades cársticas catalogadas/descritas se encontram em ambientes litológicos carbonáticos sendo os calcários e os dolomitos, os principais tipos. Já as litologias arenito e quartzito apresentam baixo número de estudos espeleológicos onde a porcentagem de cavidades descrita e menor que 1% (ICMBio/CECAV, 2013).

Com isso alguns autores têm desenvolvido estudos neste tipo de litologia para uma melhor compreensão da formação estas cavidades. Corrêa Neto e Baptista Filho (1997) e Fabri (2011) desenvolveram estudos mostrando a evolução destas formações em rochas siliciclásticas, onde seu principal objeto de estudo foi a formação de cavernas em quartzitos.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método que identifique as áreas de maior potencialidade de ocorrências que cavernas na Serra de São José, para a proteção do patrimônio espeleológico. Para facilitar o processo de prospecção na área e que o modelo possa ser replicado em outras áreas areno-quartzíticas.

A abstração da realidade urbana desde sempre coexistiu com as atividades de planejamento das primeiras cidades sob a forma de mapas, maquetes, planos e modelos. No fim da década de 1950 e início de 1960 surgem os primeiros computadores, a fim de acelerar esse processo de planejamento. Posteriormente com a evolução tecnológica e gráfica dos computadores com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) passam a desenvolver um papel muito importante nos diferentes tipos planejamento (ALMEIDA, 2007).

Com isso, tecnologias que visam investigar a análise espacial dos meios naturais e/ou antrópicos começam a se desenvolver. Moura (2007) ressalta a importância de integração de fatores físicos e humanos na elaboração de mapas temáticos, pois esses fatores são considerados pela autora como um sistema, onde um necessita do outro.

Com o objeto de estudo definido, deve-se elencar os dados necessários para geração do modelo proposto, isolando em camadas os planos de informações, tais como uso do solo, pedologia, geomorfologia, hipsometria, etc, por meio de um SIG. Com isso é possível o usuário aplicar métodos para modelar a realidade e/ou fenômeno investigado. Como exemplo, pode ser citado a Análise Multicritério (CABRAL, 2012).

Francisco et al. (2007) aponta que a análise multicritério é um método de análise de alternativas para a resolução de problemas que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado.

Valente (2005) apresenta a importância da análise multicriterial dos mapas temáticos desenvolvidos para uma melhor análise da área de estudo.

“[...] seu sucesso tem como principal componente a capacidade de interação e análise dos diferentes planos de informação (características e/ou processos) que compõem as paisagens, em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) que, por sua vez, também possibilitam a produção dos mapas de prioridades em curto espaço de tempo e confiabilidade. A abordagem multicriterial é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão que foi incorporada aos SIGs. Nesta abordagem, a base para a tomada de decisão, que pode ser medida e avaliada, é chamada de critério, que pode ser dividido em fatores e restrições. Os fatores equivalem as diferentes características e/ou processos de uma paisagem, importante á geração do mapa de prioridade. (VALENTE, 2005, p.1)”

Moura (2007) define Análise Multicritério como...

“[...] um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise

Hierárquica de Pesos (AHP). O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. (MOURA, 2007, p. 201)”

A Análise Multicritério presente nos programas de SIG possibilita a criação de diferentes tipos de modelos para diferentes tipos de aplicações. Essas análises compreendem a combinação de múltiplas variáveis através das ferramentas desses softwares, que apesar da facilidade para a geração desses modelos multicritérios para posteriores tomadas de decisão, não significa que o modelo gerado corresponda a melhor resposta para análise, pois se deve questionar o impacto dos dados utilizados. Já que essa corresponde a uma parte do método (MOURA; JANKOWSKI, 2016).

Para a elaboração de uma base de dados que permita utilizar a Análise Multicritério, é necessário que os mapas em vetor sejam transformados para o formato matricial (raster) com a adoção do mesmo valor de pixel para todos os mapas (MOURA, 2007).

Para a aplicação da Análise Multicritério, além da criação dos mapas temáticos representando aspectos naturais e/ou antrópicos o usuário necessita adotar um procedimento metodológico para a mensuração de pesos, que pode variar entre 1 e 9 considerando o grau de importância de cada variável mapeada e atribuir influências em porcentagem em cada mapa cuja soma deve ser igual a 100%.

Santos e Ventorini (2017, p.66) ilustram o processo de elaboração do modelo multicritério, através do cruzamento dos diferentes mapas e seus respectivos pesos de análise com somatória final igual a 100%. Os referidos autores utilizaram a seguinte fórmula, consistindo em uma média ponderada e seus valores de influência:

$$M.=\frac{(INF.*MT1)+(INF.*MT2)+(INF.*MT3)...(INF.*MT\infty)}{100}$$

Onde:

M = Modelagem desejada;

INF. = Influência atribuída a cada mapa temático cuja soma deve ser igual a 100%;

MT = Mapa Temático.

A adoção de pesos é realizada através Análise Hierárquica de Processos (AHP), proposta por Saaty (2008). Essa análise permite o pesquisador atribuir o valor que julga mais relevante para o estudo a ser realizado. O mesmo é realizado através da comparação entre pares dentro dos critérios definidos por Saaty (2008), apresentados na tabela 1 (MOURA, 2007).

Tabela 1: Análise Hierárquica de Processos (AHP)

Pesos	Análise Hierárquica de Processos (AHP) Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de SAATY (2008, p.86).

Santos e Ventorini (2017, p.67) afirmam que para elaboração das legendas os valores utilizados como pesos para a análise multicritério permanecem de maneira hierárquica, aonde o maior valor representa a classe mais relevante e o menor valor a classe menos relevante. Tomam como exemplo uma escala de 1 a 10 as classes de legenda descritas como “alto” teriam valor 10, a “médio a alto” valor 7, “médio”, “baixo”, “nulo” teriam valor 5,1 e 0 respectivamente.

Posteriormente ao processamento da modelagem desejada, o pesquisador deverá analisar o resultado gerado além dos mapas temáticos utilizados. Para isso, são necessários trabalhos de campo e pesquisa bibliográfica pertinente ao assunto pesquisado e à área de estudo. Caso haja contradições entre o modelo

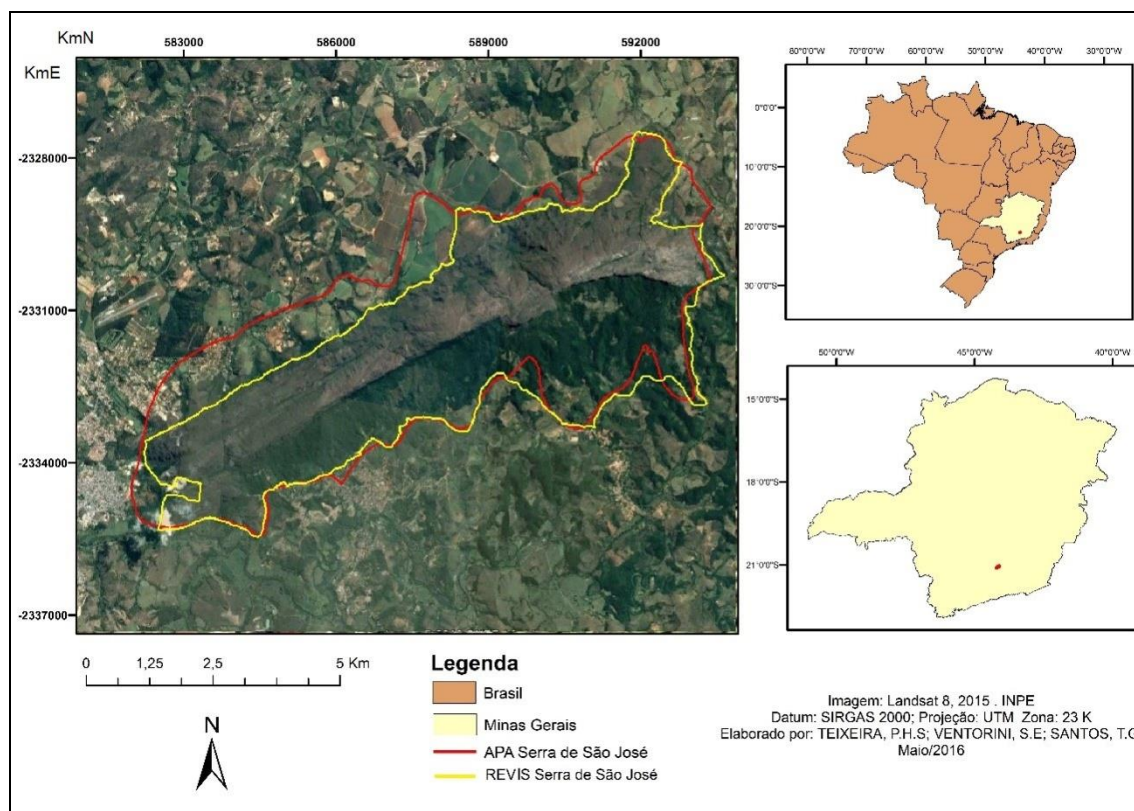
e a realidade, o processo deve ser refeito com alterações nas variáveis e/ou alterações nos pesos (MOURA, 2003, 2007, 2012).

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Serra de São José, localizada na mesorregião geoeconômica do Campo das Vertentes, no estado de Minas Gerais, inserida nos municípios de São João Del Rei, Tiradentes, Santa Cruz de Minas, Prados e Coronel Xavier Chaves. A área de trabalho está inserida nas Unidades de Conservação (UC) “Área de Proteção Ambiental (APA) Serra de São José” e “Refúgio Estadual da Vida Silvestre (REVIS) Libélulas da Serra de São José” (Fig. 1).

Figura 1 – Localização Serra de São José e suas UC.



A APA Serra de São José criada em 19 de Maio de 1981 sobre a Lei 21.308 e efetivada sobre o Decreto 30.934 de 1990 é gerida pelo Instituto Estadual de Florestas - IEF-MG, abrange área de 4.758 há. Já a REVIS Libélulas da Serra de São José, criado sob o decreto nº 43, de 5 de novembro de 2004, com área total de 3.717 há (IEF, 2018).

O clima da região enquadra-se no tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, o subtropical moderado úmido, também conhecido como clima tropical de altitude, com temperaturas 22°C nos meses mais quentes e 15°C nos meses mais frio, apresentando duas estações bem definidas (SILVA et al., 2004).

A Serra de São José está inserida na bacia hidrografia do Rio das Mortes, que por sua vez integra a Bacia Hidrográfica do Rio Grande, bacia que engloba os estados de Minas Gerais e São Paulo (IPT, 2008).

A subdivisão interna do Rio das Mortes resultou em dez sub-bacias, sendo elas: Alto Rio das Mortes, Rio Elvas, Rio Carandaí, Médio Rio das Mortes, Ribeirão Barba Lobo, Rio dos Peixes, Baixo Rio das Mortes, Rio Jacaré, Baixo do Alto Rio Grande e Rio do Cervo (IGAM, 2013). Sendo a Serra de São José é um divisor de drenagem entre duas dessas sub-bacias, a Bacia do Alto Rio das Mortes a Sul-sudeste (SSE) e a Bacia do Rio Carandaí a Norte-noroeste (NNO/NNW).

### Potencialidade de ocorrência de cavernas

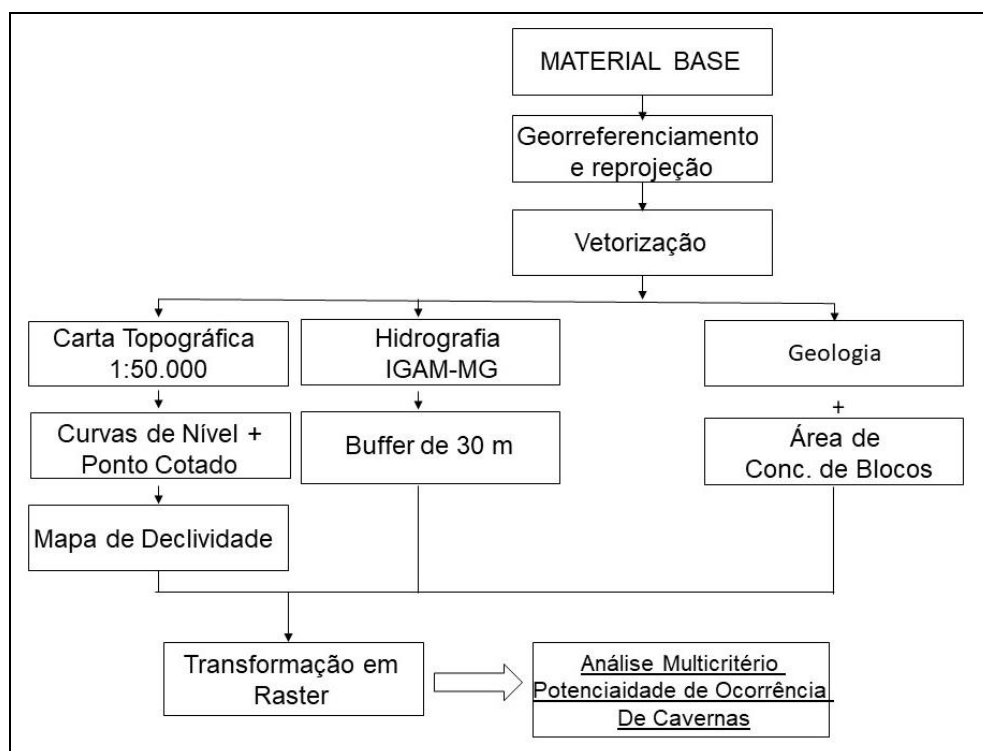
Inicialmente, realizou-se o georreferenciamento da Carta Topográfica na escala 1:50.000 na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Córrego Alegre sendo posteriormente reprojeta para Datum SIRGAS 2000. Nesta mesma carta topográfica foram vetorizadas as curvas de nível e os pontos cotados dentro do limite da área de estudo.

As curvas de nível e pontos cotados foram utilizadas para elaborar o Modelo Numérico do Terreno (MNT) pela ferramenta *Create TIN* e, posteriormente, o mapa de declividade pela ferramenta *Slope*.

Com o *shapefile* da hidrografia do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas - foram elaborados *buffers* de 30 metros para posteriormente a fusão desses dados na análise multicritérios. O *shapefile* da geologia local - Carta Geológica Folha SF. 23-X-C-II – São João Del Rei - foi obtido no site <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Já as áreas de concentração de blocos foram delimitadas com a imagem do *Google Earth* e conhecimento prévio da área de estudo.

Posteriormente essas quatro variáveis – Área de Concentração de Blocos, Declividade, Geologia e Hidrografia – foram transformadas em arquivo *raster* para a álgebra de mapas por meio da Análise Multicritério, através da ferramenta do *Weighted Overlay* (Fig. 2).

Figura 2 – Fluxograma para elaboração do modelo de “Potencialidade de Ocorrência de cavernas” (Fonte: elaboração do 1º. Autor)



Para a elaboração do modelo de “Potencialidade de Ocorrência de Cavernas” na Serra de São José, foi utilizado o AHP com escala de pesos de 1 a 5, que consistiu em três cruzamentos envolvendo as 4 variáveis (Fig. 3).

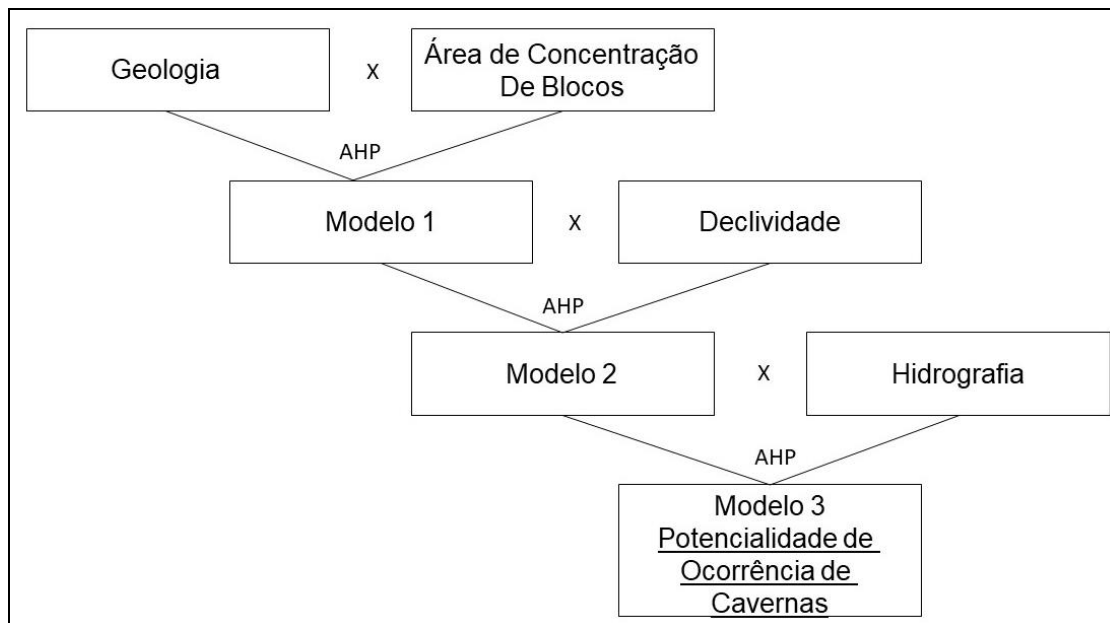
O primeiro cruzamento feito foi entre a geologia da área de estudo e as áreas de concentração de blocos, com valor de influência para cada variável sendo 40% e 60% respectivamente. A geologia local teve como base a Carta Geológica Folha SF. 23-X-C-II – São João del Rei. Escala 1: 100.000 (RIBEIRO et al. 2002). Sendo feito o georreferenciamento da mesma e digitalização da área necessária.

Os pesos aplicados nas litologias da Serra de São José tiveram como base Crepani et al (2001), que define valores para o grau de denudação das rochas, e Jansen, Cavalcanti e Lamblém, (2012), que definem o grau de potencialidade de ocorrência de cavernas por litologia no Brasil.

Os pesos aplicados para essa variável do cruzamento foram:

- Q - SEDIMENTOS FLUVIAIS RECENTES E ATUAIS: Datada do Quaternário, são compostas por “depósitos fluviais cascalhosos, arenosos e lamosos, expressivos nos principais rios da região, os rios das Mortes, Elvas e Carandaí e afluentes importantes” (RIBEIRO et al 2002).

Figura 3 – Metodologia utilizada do modelo AHP (Fonte: elaborado pelo 1º. autor).



Para análise multicritério, a sequência geológico-estratigráfica acima recebeu peso 1, por não ser relevante no modelo a ser desenvolvido.

- T<sub>faw</sub> - FANGLOMERADOS, ARENITOS, WACKES TERCIÁRIOS: São formações que datam o terciário, segundo Ribeiro et al (2002, p. 609)

“A maioria são depósitos de fluxos de detritos constituídos por brechas clastosuportadas (fanglomerados) e menor proporção de conglomerados, arenitos, wackes e escassos pelitos. Estes depósitos ocorrem em pequenas bacias associadas a falhas, localizadas ao longo de um rumo aproximado NE-SW, desde a borda leste da Serra de São José próximo a Prados, até as cercanias de São Sebastião da Vitória a oeste. Os fanglomerados são compostos por blocos e seixos angulosos de quartzitos, menor quantidade de seixos de quartzo de veio e escassos seixos de metapelitos cinzentos.”

- MEGASSEQUÊNCIA SÃO JOÃO DEL REI: Ribeiro et al (2002) caracteriza essa formação como sucessão quartzítica plataformal com cerca de 1000m de espessura, que inclui quatro seqüências, Tiradentes (P<sub>sjr1</sub>), São José (P<sub>sjr2</sub>), Tejuco (P<sub>sjr3</sub>) e Lenheiro (P<sub>sjr4</sub>). Compostas por quartzo, predominando metaquartzo-arenitos sobre metarenitos e conglomerados quartzolíticos com fragmentos de quartzitos e pelitos.

P<sub>sjr1</sub> - Seqüência Tiradentes: Com até cerca de 200m de espessura, medidos em perfis colunares detalhados (Ribeiro, 1997), esta seqüência reúne três associações quartzíticas (T1, T2 e T3), incluídas em uma só unidade de mapeamento (P<sub>sjr1</sub>). Em síntese, a Seqüência Tiradentes registra sedimentação plataformal transgressiva numa costa aberta, em zonas de *foreshore/shoreface* (T1); ou de maior profundidade, de *shoreface* média (T2) e distal (T3) (RIBEIRO et al, 2002, p.570).

P<sub>sjr2</sub> - Seqüência São José: Esta unidade apresenta espessuras entre 90 e 150m. Sua principal característica é o predomínio de sucessões quartzíticas bem litificadas que se destacam na paisagem pelo acamamento espesso (30-100cm) ou muito espesso (>100cm). A unidade pode ser dividida em duas associações: SJ1, basal, constituída de arenitos e pelito, e SJ2 essencialmente quartzítica, reunidas em uma única unidade de mapeamento, P<sub>sjr2</sub> (RIBEIRO et al, 2002, p.575).

Seqüência Tejuco - P<sub>sjr3</sub> (Quartzitos, Pelitos e Calcários): Com cerca de 150m de espessura, esta unidade inclui três associações de litofácies, essencialmente quartzíticas: granulo-arenitos basais (TJ1),

arenitos e intercalações pelíticas (TJ2), e heterolítica (TJ3), reunidas em uma única unidade de mapeamento, Psjr3 (RIBEIRO et al, 2002, p.578).

Para análise multicritério, as sequências geológico-estratigráficas acima receberam peso 3, por terem média relevância no modelo a ser desenvolvido.

- Sequência Lenheiro (Unidades de Mapeamento Psjr4, Psjr5 e Psjr6): Com espessuras entre 500 e 600m, é dividida em três unidades. “A unidade Psjr4 é essencialmente pelítica e interpretada como depósito de pró-delta. Psjr5 é composta por arenitos finos de frente deltaica. Psjr6 inclui arenitos, arenitos seixosos e conglomerados de planície deltaica (RIBEIRO et al, 2002).”

Para análise multicritério, as sequências geológico-estratigráficas acima receberam peso 4, por terem uma alta relevância no modelo a ser desenvolvido.

- Pyf - GRANITÓIDE FÉ: O corpo Fé é constituído por monzogranitos e sienogranitos deformados, com xistosidade gerando o aspecto gnáissico. Suas rochas possuem cor branca, granulação fina a média e são compostas por plagioclásio, quartzo, microclina, biotita, muscovita e epidoto, e menor quantidade de allanita, granada, zircão, titanita, estilpnomelana, fluorita, anfibólio verde escuro, apatita e minerais opacos, representados por ilmenita, molibdenita, ouro, calcopirita e pirita. Ocorrem também clorita, carbonato e sericita (RIBEIRO et al, 2002, p.543).

- Psvs - METAFELSITOS, METABASITOS E METASSEDIMENTOS: Esta unidade inclui metafelsitos e metabasitos, são rochas finas maciças, com xistosidade geralmente melhor desenvolvida nos metabasitos. As raras rochas frescas aparecem em afloramentos nos córregos ou em blocos soltos nas encostas de morros. Os saprólitos podem ser brancos, amarelados, avermelhados ou roxos, e preservam texturas e estruturas originais. Os metafelsitos analisados são riolitos e riodacitos cinza claros ou brancos, constituídos por uma matriz equigranular composta por quartzo e feldspatos, e menor quantidade de minerais opacos, mica branca, epidoto e traços de zircão (RIBEIRO et al, 2002, p.553).

Para análise multicritério, as sequências geológico-estratigráficas acima receberam peso 1, por terem uma baixa relevância no modelo a ser desenvolvido.

Já as áreas de concentração de blocos foram elaboradas através da imagem do *Google Earth*, onde foram delimitadas as áreas de maior concentração destes elementos e com o conhecimento prévio da área, visto que a formação de cavidades neste tipo de litologia ocorre de maneira menos intensa por processos dissolutivos.

O peso adotado para análise multicritério referente às áreas de concentração de blocos foi 4, por terem alta relevância na geração do modelo final (Tabela 2).

Tabela 2 – Mapas, influências e pesos adotados para a elaboração do modelo síntese 1.

Variáveis	Influência	Classes	Pesos
Mapa Geológico	40%	Q	1
		Tfaw	1
		Psjr1	3
		Psjr2	3
		Psjr3	3
		Psjr4	4
		Psjr5	4
		Psjr6	4
		Pyf	1
		Psvs	1
Áreas de Ocorrência de	60%	-	4



Blocos	
Total	100%

Fonte: elaboração do 1o. autor

A equação utilizada para a geração do modelo consistiu na seguinte fórmula:

$$M^1 = \frac{(40 \cdot \text{Geo}) + (60 \cdot \text{Blo})}{100} \quad (1)$$

Onde: Geo = Geologia; Blo = Blocos.

Posteriormente foi feito o cruzamento entre o resultado da primeira análise (geologia + área de concentração de blocos) com a declividade da área. Os valores de influência atribuídos a este cruzamento foi 70% para o resultado da primeira análise e 30% para declividade.

Os pesos adotados para análise multicritério do resultado da primeira análise foram de 1, 2 e 3, onde cada valor indicou o grau de relevância no segundo modelo a ser gerado.

Os pesos para análise multicritério referente a declividade (Tabela 3) local foi dividido da seguinte forma a seguir:

Tabela 3 – Pesos atribuídos as classes de declividade.

Declividade (°)	Pesos
2	1
6	1
10	2
13	2
16	2
19	3
22	3
26	4
> 30	4

Fonte: Elaborado pelo 1o. autor.

Com isso, o modelo gerado pela segunda análise multicritérios (Tabela 4) teve como resultado três variáveis.

Tabela 4 – Mapas, influências e pesos adotados para a elaboração do modelo síntese 2.

Variáveis	Influência	Classes	Pesos
Análise 1	70%	Potencialidade	1
		Improvável	
		Baixa	2
		Potencialidade	
		Média	3
		Potencialidade	
Declividade	30%	2°	1
		6°	1
		10°	2
		13°	2
		16°	2
		19°	3
		22°	3
26°	4		

		>30°	4
Total	100%		

Fonte: elaborado pelo 1o. autor.

A equação utilizada para a geração do modelo consistiu na seguinte fórmula:

$$M^2 = \frac{(70.M^1) + (30.*Dec)}{100} \quad (2)$$

Onde: M<sup>1</sup>= Modelo 1; Dec = Declividade.

Já a terceira análise multicritérios, realizada entre o resultado da segunda análise [(geologia x áreas de concentração de blocos) x (declividade)] mais o buffer de 30 metros da hidrografia local, de acordo com Lei Nº 12.651 do Código Florestal, foram atribuídos valores de influência de 80% e 20%, respectivamente.

Os pesos utilizados para o resultado da segunda análise foram de 1, 3, e 4, de acordo com a relevância do modelo desejado (Tabela 5). Já o peso utilizado para análise multicritério referente ao *buffer* da hidrografia foi 3, por ter uma média relevância na modelagem desejada.

Tabela 5 – Mapas, influências e pesos adotados para a elaboração do modelo síntese 3.

Variáveis	Influência	Classes	Pesos
Análise 2	80%	Potencialidade	1
		Improvável	
		Baixa	3
		Potencialidade	
		Média	4
		Potencialidade de Ocorrência	
Hidrografia	20%		3
Total	100%		

Fonte: elaborado pelo 1o. autor.

A equação utilizada para a geração do modelo consistiu na seguinte fórmula:

$$M^3 = \frac{(80.M^2) + (20.*Hid)}{100} \quad (3)$$

Onde: M<sup>2</sup>= Modelo 2; Hid = Hidrografia

Os modelos gerados pelos cruzamentos tiveram como base as cores nas classes de legendas a classificações de Jansen et.al (2012), Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na Escala 1:2.500.000. No modelo final foram geradas 3 classes de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas, sendo elas, Potencialidade Improvável, Baixa Potencialidade e Média Potencialidade. O modelo não apresentou uma classe de “Alta Potencialidade”, pois a geologia local não proporciona o alto desenvolvimento de cavernas, como nas litologias carbonáticas calcárias ou dolomíticas.

Posteriormente foram feitas pesquisas bibliográficas com o intuito de localizar pontos de cavernas já registradas em trabalhos anteriores (CARDOSO et al, 2015; TEIXEIRA et al, 2015; COSTA et al, 2017; CECAV, 2018). Também foram feitas expedições de campo para realização de prospecções espeleológicas para validação do modelo, além de tentar localizar novas cavidades que não tinham sido cadastradas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

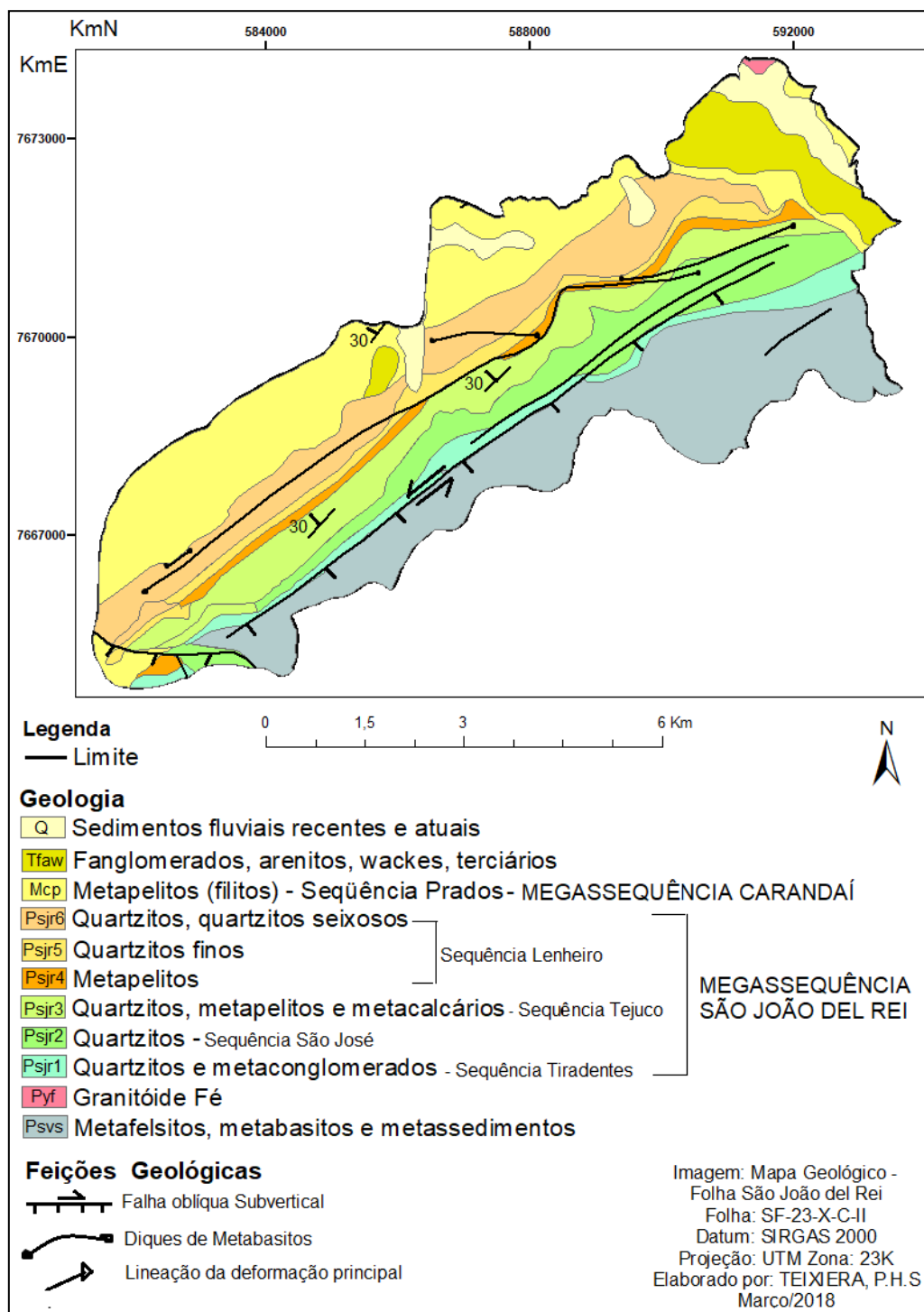
### **Potencialidade de Ocorrência de Cavernas**

- Geologia

Geologicamente, as litologias da Formação Tiradentes compõem a Serra São José e são constituídas por metarenitos puros com níveis ortoconglomeráticos e estruturas preservadas (como “ripples”: marcas de ondas). Contata as demais formações do Grupo São João Del Rei por planos de falha, (RADAMBRASIL, 1983).

Saadi (1991) identificou a ação da tectônica ressurgente na dinâmica da paisagem das adjacências da área estudada, analisando a descrição de um graben formado no contato entre os metarenitos da Formação Tiradentes e metassiltitos da Formação Prados. A região faz parte do Planalto de Andrelândia, caracterizado por colinas com topos convexos, tabulares e encostas convexizadas. Elevações metareníticas como a Serra São José representam estruturas com vertentes assimétricas, sendo a parte voltada para sudeste e sul uma escarpa vertical, mostrando os efeitos de basculamento a que foram submetidas (RADAMBRASIL, 1983).

Figura 4 – Geologia da Serra de São José.



Segundo Ribeiro (1997), geologicamente a formação Tiradentes inclui quatro seqüências quartzíticas reunidas na Megassequência São João Del-Rei. A Sequência Lenheiro é a quarta, e aparece em concordância relativa sobre a Sequência Tijuco (Fig. 4).

Geomorfológicamente, conforme CETEC (1989), na Serra de São José predominam as altitudes entre 1250 e 1430m, e onde é verificado um marcante contraste morfológico entre as vertentes da face setentrional, caracterizadas por escarpas descontínuas, desníveis em geral menores, pedimentos e rampas de colúvios, e as vertentes da face meridional, onde se destaca um extenso e contínuo escarpamento, além de uma ampla faixa de tálus. Nas áreas de cimeira entre as cristas e na vertente

norte, predomina a vegetação de campos rupestres e campos limpos, enquanto na vertente sul, sobre o talus, encontra-se ainda razoavelmente conservada, vegetação de mata tropical perenifólia.

Ainda de acordo com o CETEC (1989), em toda esta subunidade, a maior parte das áreas planas de topo foram identificadas como testemunhos da Superfície Pós-Gondwana, identificada por King (1956) em todo o leste e sudeste brasileiro, ocorrendo também, ali, alguns remanescentes da Superfície Sul Americana de King (1956).

O estudo do CETEC (1989) aponta ainda que as destacadas altitudes da Serra de São José, mesmo considerando que os quartzitos, litologia predominante, possuem maior resistência litológica ao intemperismo e erosão, a extensão, orientação e a conservação da escarpa de falha voltada para a cidade de Tiradentes, os nítidos lineamentos e planos de falhas localmente concordantes com a foliação e/ou estratificação de quartzitos, o controle estrutural da drenagem, o lineamento transversal aproveitado pela trilha Tiradentes – Águas Santas, o espesso talus que recobre o sopé da escarpa de falha principal (face Tiradentes), a existência de escarpas ou rupturas de declive escalonadas coincidentes com mergulhos e/ou planos de xistosidade e os alinhamentos de quedas d'água, considerados individualmente, constituem sugestões de atuação tectônica na elaboração do relevo atual (CETEC, 1989, p.90).

Saadi (1991) aponta diversas evidências de atividade neotectônica cenozóica na região da Serra de São José, apresentando uma detalhada discussão do tema em seu estudo.

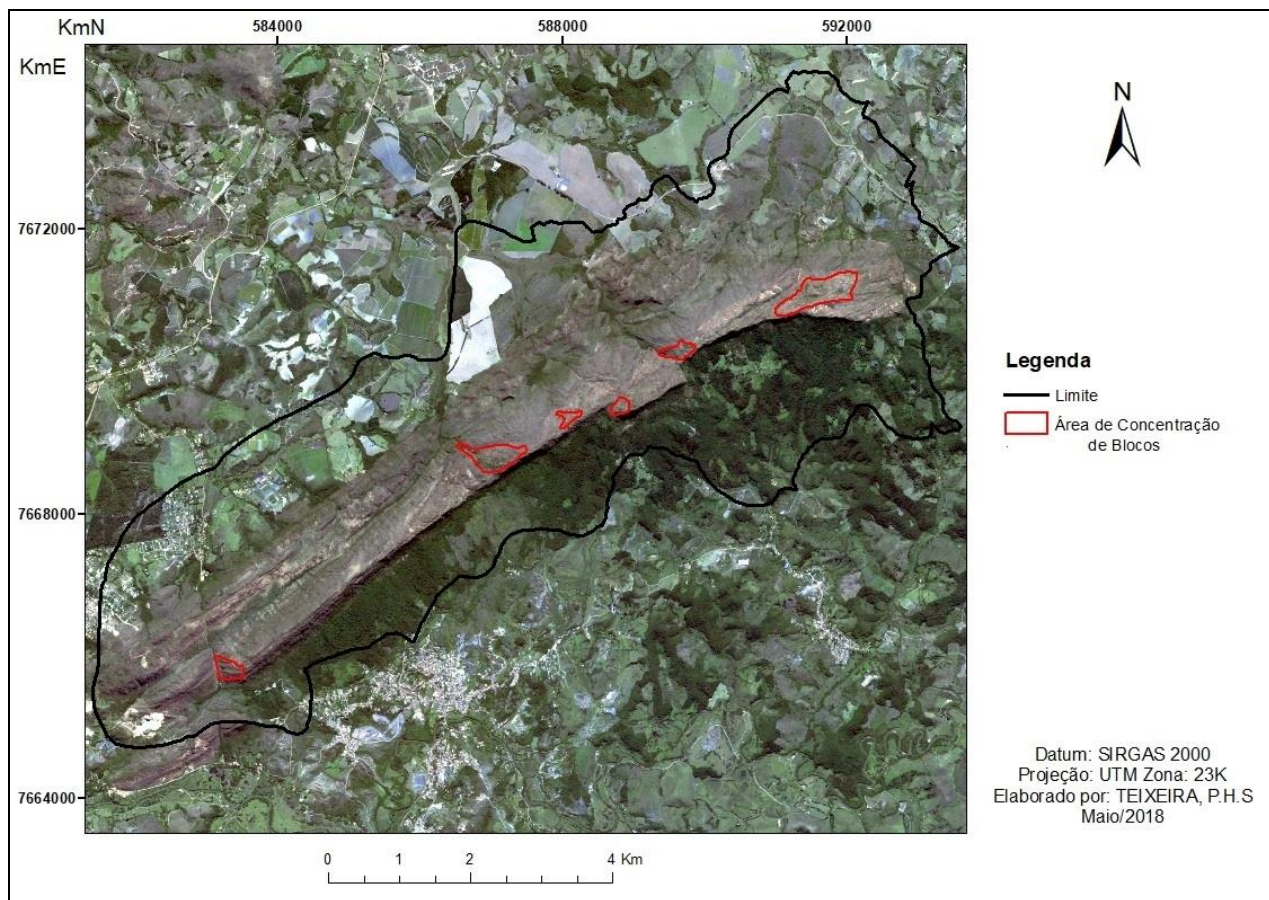
O detalhado estudo do CETEC (1989) mostra ainda que o conjunto de cristas e vertentes retilíneas, típicas de relevo com forte índice de dissecação, se destaca na Serra de São José, apresentando os maiores valores para declividades médias do relevo, variando de  $>10^\circ$  a  $>40^\circ$ , e forte aprofundamento da drenagem ( $>90\text{m}$ ), sendo ainda identificados topos aplainados em áreas restritas das superfícies cimeiras.

#### - Área de Concentração de Blocos Rochosos

A escolha deste elemento para composição da análise multicritérios se deu através de observações feitas em campo, onde os autores puderam concluir que o abatimento desses blocos rochosos levava a um emaranhado de espaços vazios abaixo desses blocos. Porém o processo de dissolução das rochas continuam ocorrendo, fazendo com que a formação de cavidades se dê pela união dos processos de intemperismo físico e químico.

Foram definidas 6 áreas de concentração de blocos rochosos, sendo duas na região NE da Serra de São José, três na região central e uma na região SW (Fig. 5), sendo a área a NE, a de maior concentração de cavidades, próximo ao município de Prados (Fig. 6).

Figura 5 – Delimitação das áreas de concentração de blocos.



#### - Declividade

Outro aspecto analisado foi a declividade local, onde foram aplicados pesos mais altos para locais com maior grau de declividade. Esses valores levaram em consideração o acúmulo de blocos rochosos, visto que áreas de maior declividade tinham maior acúmulo de blocos e conseqüentemente processos de intemperismo ocorrendo de maneira mais acelerada, pela energia presente no local.

Foram definidas 10 classes de declividade entre 2° e 40°, sendo as áreas de topo da Serra de São José, classificadas com declividade entre 26° e 40° (Fig. 7).

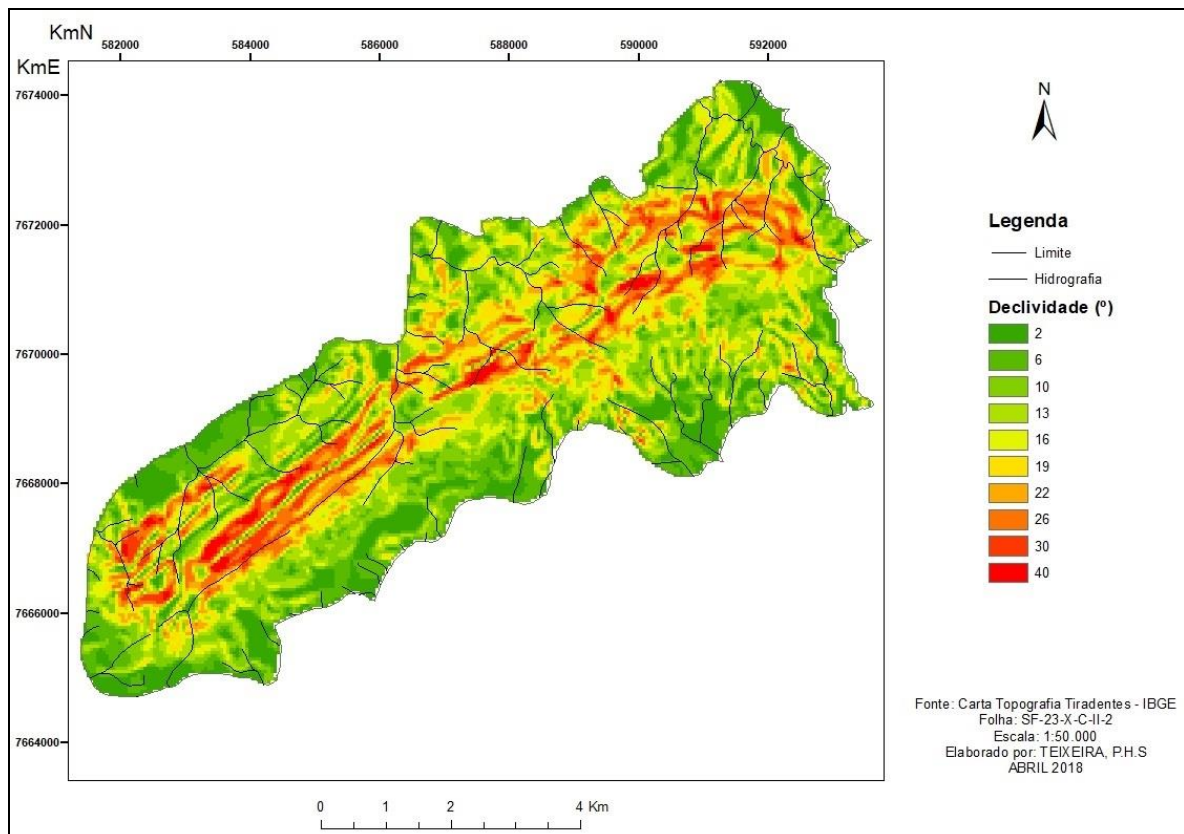
#### - Hidrografia

A Serra de São José está inserida na bacia hidrografia do Rio das Mortes, que por sua vez integra a Bacia Hidrográfica do Rio Grande, bacia que engloba os estados de Minas Gerais e São Paulo dividida em 60,2% e 39,8% respectivamente em cada estado (IPT, 2008). Os principais afluentes dessa rede de drenagem são os Rio Elvas, localizado na porção Sul da mesma e o Rio Carandaí, na porção Norte, tendo a Serra São José como seus divisores de água (FABRANDT, 2000).

Figura 6 – Áreas de Concentração de Blocos. Foto: P.H.S. Teixeira (2017)



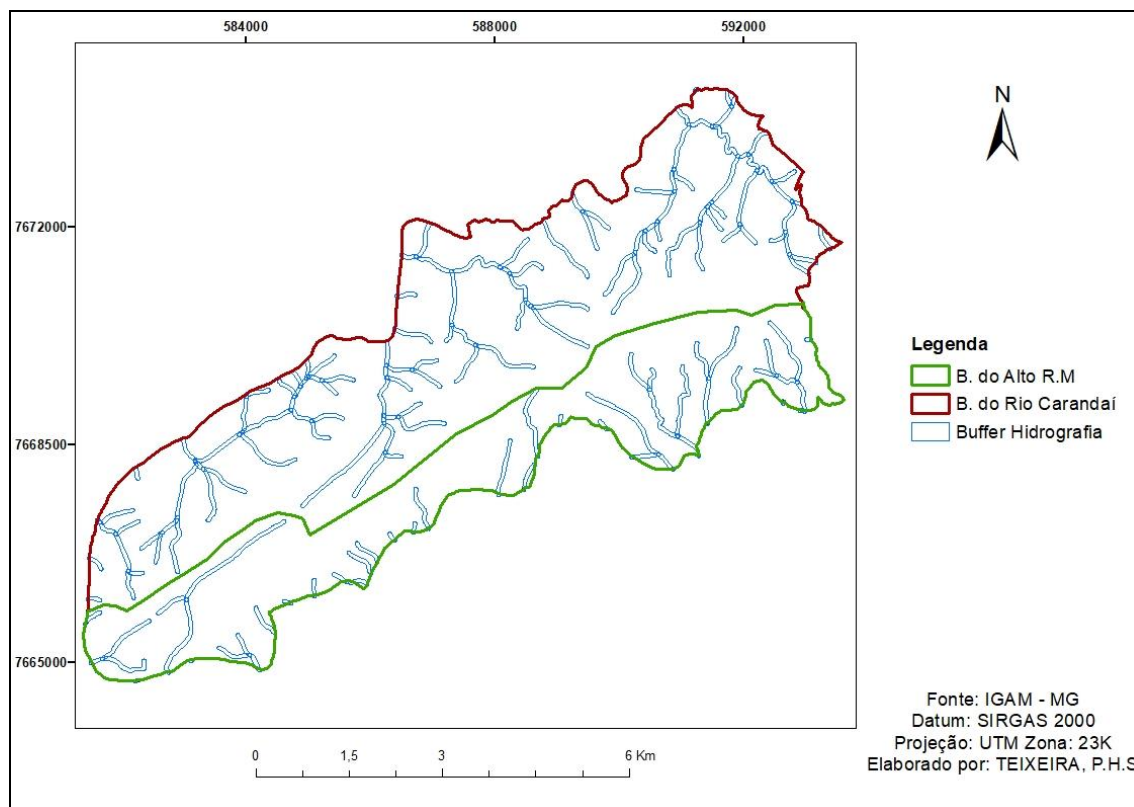
Figura 7 – Declividade da Serra de São José.



A subdivisão interna do Rio das Mortes resultou em dez sub-bacias, sendo elas: Alto Rio das Mortes, Rio Elvas, Rio Carandaí, Médio Rio das Mortes, Ribeirão Barba Lobo, Rio dos Peixes, Baixo Rio das Mortes, Rio Jacaré, Baixo do Alto Rio Grande e Rio do Cervo (IGAM, 2013).

A Serra de São José é um divisor de drenagem entre duas dessas sub-bacias, a Bacia do Alto Rio das Mortes a Sul-sudeste e a Bacia do Rio Carandaí a Norte-noroeste. Foi aplicado o buffer de 30 metros da hidrografia local, de acordo com Lei Nº 12.651, do Código Florestal (Fig. 8).

Figura 8 – Divisor de drenagem das sub-bacias do Rio das Mortes com buffer de 30m da hidrografia da Serra de São José.



#### - Modelos

O resultado dos três cruzamentos com as 4 variáveis apresentou um modelo com três, Potencialidade Improvável, Baixa Potencialidade e Média Potencialidade, sendo a Análise 1 o cruzamento da geologia com a área de concentração de blocos rochosos. A Análise 2, o cruzamento do resultado anterior com a declividade e o modelo final Análise 3, o cruzamento do resultado da Análise 2 com a hidrografia (Fig. 9).

#### **Patrimônio Espeleológico**

Hoje no Brasil de acordo com a base de dados do CECAV, existem cadastradas até o momento 17.487 cavernas em todo território nacional. Sendo 2 localizadas na área de estudo (CECAV, 2018). Já no Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil – CNC existem 7.466 cavidades cadastradas, com 3 cavidades nos municípios que englobam a área de estudos. Sendo 2 em Prados e 1 em São João Del Rei (SBE, 2018).

Na Serra de São José, até o momento foram identificadas 31 cavernas, representadas no modelo de potencialidade de ocorrências de cavernas. A maior parte dessas cavernas estão localizadas nas áreas de “Média Potencialidade” que são as áreas definidas como maior probabilidade, de acordo com o modelo proposto (Fig. 10).



Figura 9 – Modelos de análise multicritério da probabilidade de ocorrência de cavernas.

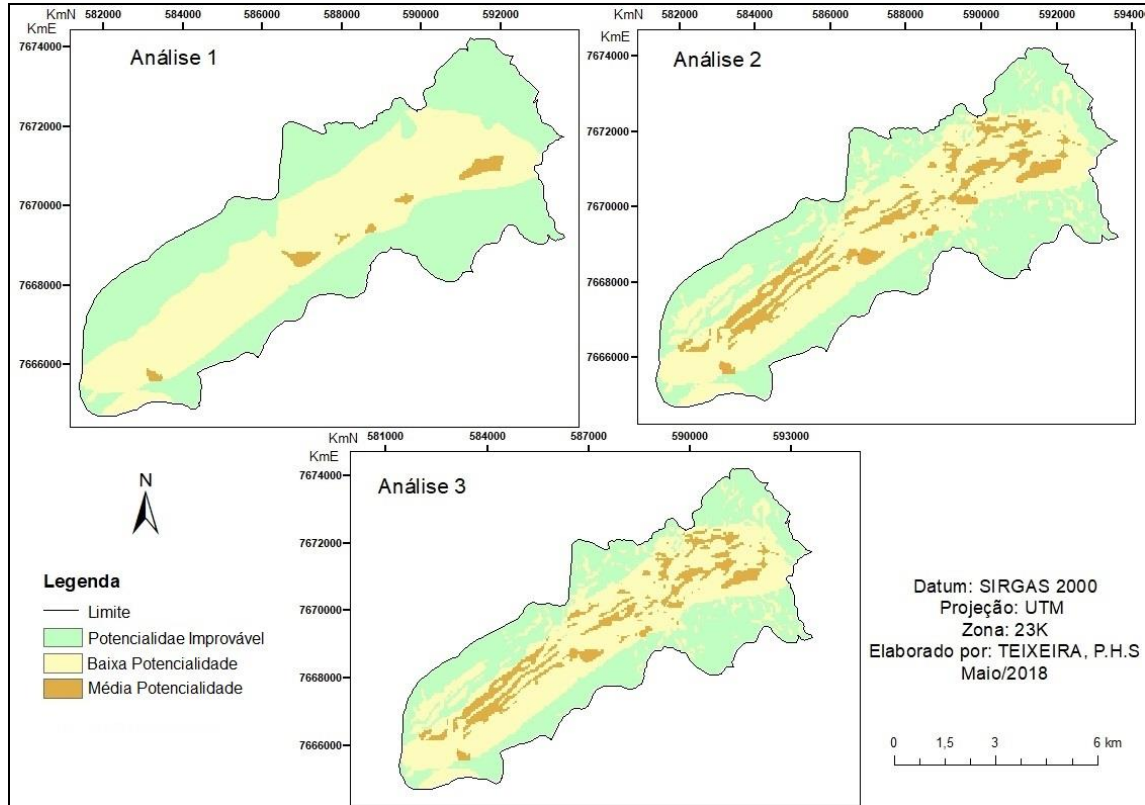
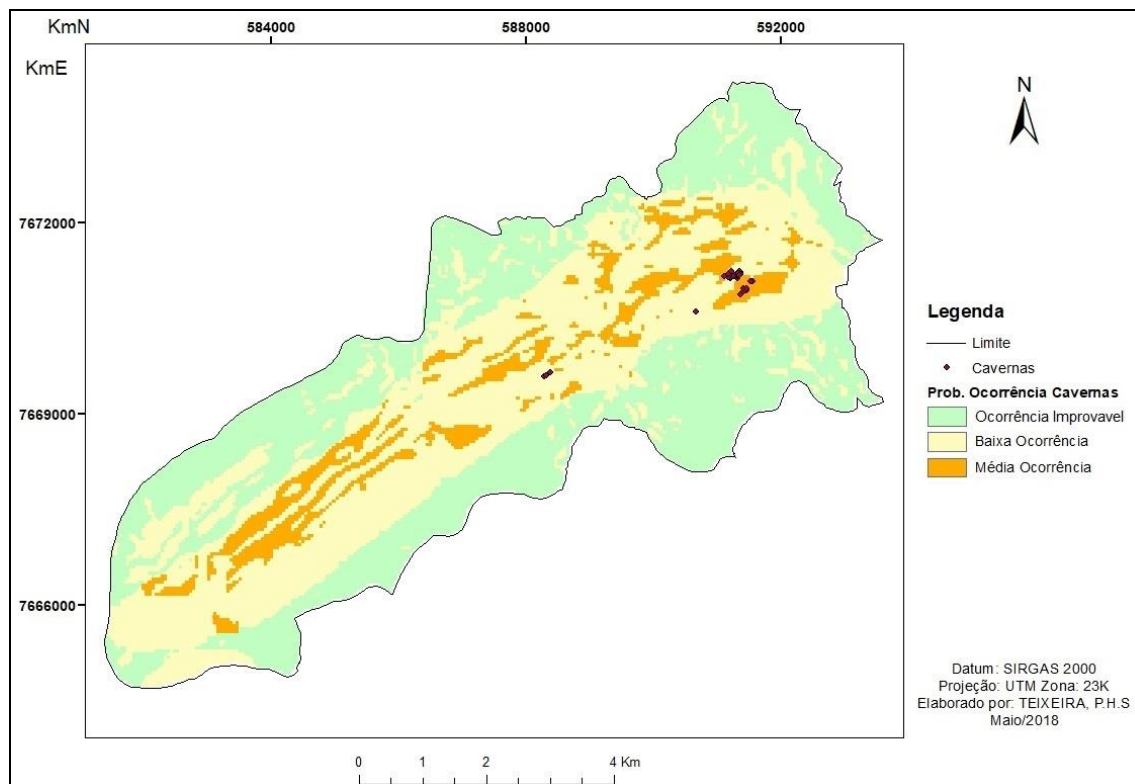


Figura 10 – Modelo final “Potencialidade de Ocorrência de Cavernas” na Serra de São José.



Na porção nordeste da Serra de São José, está a maior concentração de cavernas, corroborando com Willems et al. (2008), que viram um forte controle estrutural na evolução de cavernas areno-quartzíticas na Serra do Espinhaço Meridional e na Serra do Ibitipoca (Serra da Mantiqueira), em Minas Gerais.

Com base em observações de campo e discussão posterior, embasadas na literatura, o acúmulo/concentração de blocos parece estar relacionado ao desarranjo do corpo quartzítico do entorno, conforme modelos propostos por Martini (1979, 1984a, 1984b, 1984c, 1987); Corrêa-Neto e Baptista Filho (1997) e Corrêa-Neto e Dutra (1997), ocasionando a compartimentação da superfície quartzítica, isolando blocos residuais. Muitos desses blocos teriam tombado/adernado por falta de sustentação (dissolução/corrosão progressiva de zonas quartzíticas menos resistentes), que, associado à forte declividade, e a um provável ambiente pretérito de alta umidade, maior que o regime atual, criaria as condições propícias ao desenvolvimento de cavidades de variadas extensões e morfologias.

As cavidades catalogadas na área de estudo têm como característica estarem situadas em altitudes com variação entre 1340 e 1380 metros e com declividade acima dos 30° (Fig. 11).

Figura 11 – Litoambiente quartzítico da área de estudo. Fotos: H.S.L. Barbosa (2016)



Outra característica importante neste tipo de caverna é o espeleotema encontrado. Segundo White (2012), espeleotema é um termo que surgiu em 1952 para diferenciar do termo “formação de rochas” que era facilmente confundido. Estes são depósitos secundários na formação das cavernas, que surgem através da dissolução das rochas presentes. Nas cavidades catalogadas, os espeleotemas encontrados foram os coralóides, comuns em cavernas quartzíticas (Fig. 12).

Figura 12 – Coralóide, espeleotema comum no contexto local.



Além dos elementos presentes na paisagem e do contexto litológico, também foram identificados nestas cavernas elementos da fauna e da flora. Outra característica bastante comum entre as cavernas catalogadas, foi a presença de raízes e matéria orgânica gerada pelas folhas da vegetação em torno das cavidades (Fig. 13).

Figura 13 – Fauna e flora presentes no interior das cavidades



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou um estágio intermediário, considerando que ainda há um grande potencial espeleológico a ser identificado e estudado na área investigada.

- Foram identificadas 31 cavidades, sendo 28 localizadas na porção nordeste da Serra de São José e outras 3 na parte central da área de estudo.
- Por meio da análise de mapas temáticos e a elaboração de um mapa de potenciais locais para o desenvolvimento de cavernas, foram feitas diversas análises para uma melhor caracterização da área. Foi constatado que o modelo gerado para a definição das potencialidades foi satisfatório, visto que a presença de cavidades na Serra de São José nas áreas definidas pelo mapa.
- Outro fator importante deste estudo foi a possibilidade de caracterização do local como uma área de distrito espeleológico, semelhante à proposta de Córrea-Neto e Dutra (1997) para regiões próximas, visto que a concentração de cavidades encontradas neste ponto da Serra de São José é muito grande e existe o conhecimento de outras cavidades localizadas próximo a esta catalogadas.
- A preservação desta área se faz cada vez mais necessária tendo em vista o grande potencial espeleológico evidenciado na Serra de São José, com a possível formação de diversas cavernas localizadas em toda a sua extensão. O manejo desta área é de fundamental importância para a conservação destes locais de características tão singulares.
- Os resultados apresentados podem servir de apoio para a gestão das áreas de proteção da Serra de São José (APA e REVS) visando a proteção e conservação das mesmas. Outro ponto importante neste trabalho é a divulgação do patrimônio espeleológico local, fazendo com que mais trabalhos possam ser desenvolvidos nesta mesma área.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapemig pela concessão da bolsa de pós-graduação do primeiro autor e o IEF-MG pela autorização para pesquisa nas áreas protegidas citadas no trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. M. O. Diálogo entre as dimensões real e virtual urbano. In: ALMEIDA, CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V (org.) **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 347, de 10 de Setembro de 2004, dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico**. Brasília DF, 10 set. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34704.xml>> Acesso em: março 2018.
- CABRAL, A. V. Análise multicritério em sistemas de informação geográfica para a localização de aterros sanitários: o caso da região sul da ilha de Santiago, Cabo Verde. 2012. 100 f. **Dissertação** (Mestrado) - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- CARDOSO, R.C.; FRANCO JÚNIOR, R.; TEIXEIRA, R.S.; CARDOSO, A.C. Considerações sobre cavernas em quartzito na 'Serra Nova' e a Lapa do Jair, localizados na APA da Serra de São José, município de Prados, MG. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.315-319. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_315-319.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_315-319.pdf)>. Acesso em: 09 Mai. 2017.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS – CECAV (BRASIL). **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>> Acesso em: 01 Mar. 2018.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (CECAV/ICMBio). **IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília: ICMBio. 2013. 207 p.
- CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Caracterização Ambiental da Bacia do Rio das Mortes – MG**. Etapa 1. v.1. Belo Horizonte: CETEC, 1989. 218 p.
- CORRÊA-NETO, A.V.; BAPTISTA FILHO, J. Espeleogênese em quartzitos da serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 20, p.75-87. 1997.
- CORRÊA-NETO, A.V.; DUTRA, G. A Província Espeleológica Quartzítica Andrelândia, sudeste de Minas Gerais. In: RASTEIRO, M.A.; PEREIRA-FILHO, M. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 24, 1997. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 1997. p.37-43. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais24cbe/24cbe\\_037-043.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais24cbe/24cbe_037-043.pdf)>. Acesso em: 01 Mar. 2018.
- COSTA, B.G.; BARROS, J.S.; FERREIRA, R.L. Morcegos em cavidades subterrâneas no Refúgio Estadual da Vida Silvestre Libélulas da Serra de São José, Minas Gerais, Brasil.. In: II Simpósio Brasileiro de Biologia Subterrânea, 2017, LAVRAS. Resumos, 2017.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CRUZ, J. B. Levantamento Espeleológico: Prospecção, identificação e caracterização de cavidades naturais subterrâneas no lajedo do Arapuá, Felipe Guerra/RN, tendo como suporte geotecnologias. 2008. **Monografia** (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- FABRANDT - FUNDAÇÃO ALEXANDER BRANDT. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental (APA) São José, MG**. Belo Horizonte: FNMA/FABRANDT (008/98), 2000. 117 p.
- FABRI, F.P. Estudo das cavernas quartzíticas da região de Itambé do Mato Dentro, Serra do Espinhaço Meridional, MG. 2011. 179f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.
- FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007, p.2643-2650.
- HARDT, R. Breve Inventário do Patrimônio Espeleológico. In: RUCHKYS, U. de A; TRAVASSOS, L.E.P; RASTEIRO, M.A; FARIA, L.E.(Orgs). **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas**. 1ª ed. Parte I. Campinas: Grafia Mundo, 2015, p. 44-55.

\_\_\_\_\_. Da carstificação em arenitos. Aproximação com suporte de geotecnologias. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. 2011. 228f. **Tese** (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. **Área de Proteção Ambiental**. 2018. <<http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/quadrosUCs/2012/apa-estadual.pdf>> Acesso em: 27 Mai. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Plano Diretor de Recursos Hídricos e enquadramento de corpos de água da Bacia Hidrográfica Rio das Mortes – GD2**. Belo Horizonte: SISEMA/SEMAD/IGAM. 2013. 676p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande** – Anexo 2 e 3. São Paulo: IPT, 2008.

JANSEN, D. C. Análise ambiental da Área de Proteção Ambiental do Morro da Pedreira e do Parque Nacional da Serra do Cipó para a proteção do patrimônio espeleológico. 2013. 150f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na Escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v.2, n.1, p. 42-57, 2012.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.3-121, 1956.

MARTINI, J. Les phénomènes karstiques des quartzites d'Afrique du Sud. **Karstologia**, n.9, p.45-52, 1987.

\_\_\_\_\_. Piping in cellular media. **Bull. South Afr. Speleo. Ass.**, n.24. p.18-24, 1984a.

\_\_\_\_\_. Rate of quartz dissolution and weathering of quartzite. **Bull. South Afr. Speleo. Ass.**, v.25, p.7-10. 1984b.

\_\_\_\_\_. Speleology of the Mogoto System. **Bull. South Afr. Speleo. Ass.**, v.24, p.37-46, 1984c.

\_\_\_\_\_. Karst in Black Reef quartzite near Kaapsehoop. Eastern Transvaal. **Annal. Geol. Surv. S. Afr.**, v.13, p.115-128. 1979.

MIRANDA, M.P.S; CHIODI, C.K. Proteção Jurídica do Patrimônio Espeleológico. In: RUCHKYS, U. de A; TRAVASSOS, L.E.P; RASTEIRO, M.A; FARIA, L.E.(Orgs). **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas**. 1ª ed. Campinas: Grafia Mundo, 2015, Parte I, p. 56-77.

MOURA, A. C. M; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas Como complementação às análises multicritérios - "sensitivity analysis to suitability evaluation". **Revista Brasileira de Cartografia**: Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial, v. 4, n.68, p.665-684, 2016. Disponível em:

<<http://geoproea.arq.ufmg.br/+dmFront/downloadContent?u=eyJtZWVpYV9pZCI6IjU2NiIsInRpbWVzdGFtY2I6MTQ4NDgzODEzMH0=>>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

MOURA, A. C. M. Learning Topics in Urban Planning at UFMG: geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. In: International Seminar on Environmental Planning and Management, 5., 2012, Brasília. Anais... Brasília: Urbenviron e UnB. 2012. p.1-15.

\_\_\_\_\_. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007, p. 2899-2906.

\_\_\_\_\_. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folhas SF.23/24, Rio de Janeiro/Vitória**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 780p. 1983.

RIBEIRO, A.; ÁVILA, C. A.; VALENÇA, J. G. & PACIULLO, F. V. P. **Carta Geológica – Folha SF.23-X-C-II – São João Del-Rei – Escala 1:100.000 com texto explicativo**. Projeto Sul de Minas – Etapa I. Belo Horizonte: COMIG. 2002.

- RIBEIRO, A. Estratigrafia e Paleoambientes nas sucessões metassedimentares proterozóicas das Serras do Lenheiro e São José, São João DelRei, Sul de Minas Gerais. 1997. **Tese** (Doutorado) -Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.
- SAADI, A. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intra-placa, descontinuidades crustais e morfogênese. 1991. 285f. **Tese** (Professor Titular) - Departamento de Geografia - Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**. v.1, n.1. p.83-98, 2008.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do Córrego do Lenheiro. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n.64, p.60-77. 2017.
- SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINEZ CORTIZAS, A.; GARCIA RODEJA, E. Solos do topo da Serra São José (Minas Gerais) e suas relações com o paleoclima no sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.455-466, 2004.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA – SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil - CNC**. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/Default.aspx>>. Acessado em: 18 Jun. 2018.
- TEIXEIRA, P. H. S.; BARBOSA, H. S. L.; FIGUEIREDO, M. A.; SIQUEIRA, K. C. D.; SANTOS, B. L.; TEIXEIRA, R. S.; SOUZA, J. M.; SENA, I. S. Prospecção espeleológica como subsídio à inventariação do patrimônio geológico da Serra de São José, Prados, MG. In: III Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico, 2015, Lençóis-Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO, 3., 2015, Lençóis. Anais... Feira de Santana: UEFS, 2015. p.512-515.
- VALENTE, R. O. A. Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG. 2005. 137f. **Tese** (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- WHITE, W.B.; CULVER, D.C. **Encyclopedia of Caves**. Second Edition. Waltham: Elsevier. 2012. 963p.
- WILLEMS, L.; RODET, J.; POUCLLET, J.; MELO, S.; RODET, M.J.; AULER, A.S. Polyphased karst systems in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil. In: International Congress of Speleology, 14., 2005, Athens-Kalamos. Proceedings... Athens: Hellenic Speleological Society, 2005. p.284-288.

---

Recebido em: 01/09/2020

Aceito para publicação em: 22/03/2021