

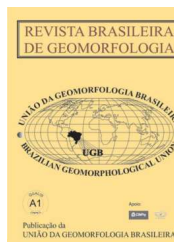


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 2 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i2.817>



CARSTE SUSPENSO E GEOMORFOLOGIA DE LONGO TERMO. A REGIÃO CÁRSTICA DOS CURRAIS DE PEDRAS, JEQUITAÍ – MINAS GERAIS

SUSPENDED KARST AND LONG TERM GEOMORPHOLOGY. THE CASE OF KARSTIC REGION OF CURRAL DE PEDRAS (MINAS GERAIS, BRASIL)

Frederico Augusto Alves Gonçalves

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil
Email: faagoncalves@gmail.com

Joël Rodet

Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Rouen
UMR 6143-CNRS, Campus, Mont Saint Aignan. CEP: 76821. França
Email: joel.rodet@univ-rouen.fr

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil
Email: magalhaesufmg@yahoo.com.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
05/05/2016
Aceito (Accepted):
16/09/2016

Palavras-chave:

Carste; Carste Suspenso;
Geomorfologia Cárstica.

Keywords:

Karst; Suspended Karst; Karstic
Geomorphology; *Lagoa do
Jacaré* Formation.

Resumo:

Paisagens cársticas suspensas podem guardar elementos resultantes de processos naturais que nelas atuaram antes do seu alçar. Na região centro-norte de Minas Gerais, esse tipo de cenário foi observado nas superfícies cimeiras de elevações topográficas tabulares situadas em terrenos da bacia do Riacho Fundo. Tais feições de relevo desenvolvem-se em carbonatos neoproterozoicos da Formação Lagoa do Jacaré – Grupo Bambuí. Essas rochas exibem feições estruturais que exerceram – e ainda exercem – um importante controle na dinâmica e na gênese de algumas das formas cársticas. As estruturas tectônicas expressam-se principalmente pela planimetria das cavernas e as estruturas congênicas pela inibição do desenvolvimento vertical do carste. Formações superficiais autóctones e alóctones também compõem a paisagem. Aproximações acerca da hidrodinâmica atuante na elaboração do carste estudado foram realizadas a partir de análises sobre a morfologia de condutos de cavernas, a planimetria da rede subterrânea, a litoestratigrafia e a litoestrutura. Foram construídas análises das relações genéticas e dinâmicas entre as formas cársticas, o relevo regional e as formações superficiais. Os seixos, em superfície e no interior de algumas cavernas, sugerem que algum curso d'água com capacidade de transporte drenou a área por um período situado

em um espaço de tempo anterior e/ou cronocorrelato ao início da instalação de uma dinâmica cárstica e da incisão da atual rede de drenagem. Os resultados alcançados sugerem que a elaboração do carste investigado teve início no Mioceno Superior.

Abstract:

Suspended karst landscapes may contain elements that result from natural processes operating over different time scales. In the north-central region of *Minas Gerais* state, Brazil, this kind of geomorphological scenario was observed on the summit surfaces of the flattened topographic elevations in the *Riacho Fundo* watershed. This morphology is modeled in Neoproterozoic carbonates of the *Lagoa do Jacaré* Formation, which integrate the *Bambuí* Group. These rocks display structural features that have influence important control in the dynamics and genesis of some karst forms. The tectonic structures are mainly expressed by the caves planimetry and the congenital ones by the inhibition of the vertical karst development. The landscape show also autochthonous and allochthonous superficial formations. This paper aims to present an initial purpose about the origin of that karst system, particularly the hydrogeomorphological processes that have acted in the past and present. The analysis was carried out investigating the caves morphology and lithostratigraphy and lithostructure aspects, as applying the underground network planimetry technique. The research also included genetic and dynamic relations analysis among the karstic forms, the regional relief and the superficial formations. Pebbles founded on surface and inside some caves suggest the past presence of some more strong watercourses, in terms of transport capacity, acting previously and/or simultaneously with the beginning of the karstification dynamic in the area and with the incision of the current drainage network. The results suggest that the origin of this karstic system is related to the Upper Miocene.

1. Introdução

As formas e as formações superficiais e subterrâneas componentes de uma paisagem cárstica suspensa podem guardar registros dos processos naturais atuantes em período anterior ao seu alçamento relativo. Segundo Llopis-Lladó (1970), um carste suspenso, ou carste de mesa, ocorre em regiões de morfologia tabular formada sobre calcários sustentados por uma camada de rochas subjacentes menos sensíveis aos processos de dissolução e posicionadas acima dos talvegues epígeos. A paleogeografia anterior ao início da incisão de tais talvegues pode estar documentada nos carstes suspensos. Datações de depósitos químicos, clásticos e de conteúdos fossilíferos indicam que os vazios subterrâneos – que caracterizam os relevos cársticos no Cráton São Francisco – já existiam no Pleistoceno Médio e mesmo no Calabriano (LAUREANO, 1998; PILÓ, 1998; AULER, 1999; SOUZA, 2011; LAUREANO, 1998).

Determinar o período de formação dessas feições é tarefa arriscada, contudo, há indícios de que sua gênese remonte ao Terciário (LAUREANO, 2014; AULER; PILÓ; SAADI, 2005; GONÇALVES, 2013). Ademais, na região do Cráton São Francisco, existem possíveis evidências localizadas de um paleocarste pré-Cambriano (AULER, 1994). O risco mencionado reside, sobretudo,

na incipiência da aplicação dos métodos de datação absoluta para a determinação de episódios de sedimentação em escala regional (BARROS, 2013). Por essa razão, devem ser consideradas as especificidades e as limitações inerentes aos métodos geocronológicos, como alertam Laureano e Karmann (2013). Esses autores destacam o valor do conhecimento das características dos depósitos sedimentares em cavernas e suas relações, e alertam sobre o risco de os dados obtidos pelos métodos geocronológicos configurarem informações isoladas e sem significado geomorfológico ou ambiental (LAUREANO; KARMANN, 2013). Assim, os estudos que apresentam interpretações geocronológicas amparadas por evidências sedimentológicas e estratigráficas podem fornecer importantes peças para o quebra-cabeça dos paleoambientes imaginados. Todavia – como será demonstrado pelo caso estudado –, há um considerável potencial corroborativo entre os resultados advindos da aplicação dos variados métodos geocronológicos absolutos e relativos. A discussão apresentada converge para a ampliação das possibilidades relativas ao discurso sobre o entendimento de que cavernas são feições predominantemente quaternárias (AULER; PILÓ; SAADI, 2005).

Na região centro-norte de Minas Gerais, há cenários cársticos em um contexto geomorfodinâmico regional que guarda indícios, superficiais e subterrâ-

neos, de uma paleogeografia distinta da atual, os quais possibilitam a reconstituição de parte dos processos geodinâmicos que atuaram na sua formação, fornecendo elementos para a realização de comparações com outros estudos regionais. O objetivo principal deste trabalho é elaborar, a partir de evidências geomorfológicas e geocronológicas, uma proposta sobre a origem do carste tropical suspenso da Região Cárstica dos Currais de Pedras (Jequitaiá/MG), levantando subsídios para a

reconstituição da paleogeografia regional. O objetivo complementar é apresentar os principais fatores envolvidos no controle da esculturação do carste investigado, de forma a elucidar as respostas morfológicas dadas aos processos geodinâmicos atuais e pretéritos.

A área estudada localiza-se na bacia hidrográfica do médio-baixo Riacho Fundo, nas proximidades da divisa entre os municípios de Lagoa dos Patos, Jequitaiá e São João da Lagoa, norte de Minas Gerais (Figura 1).

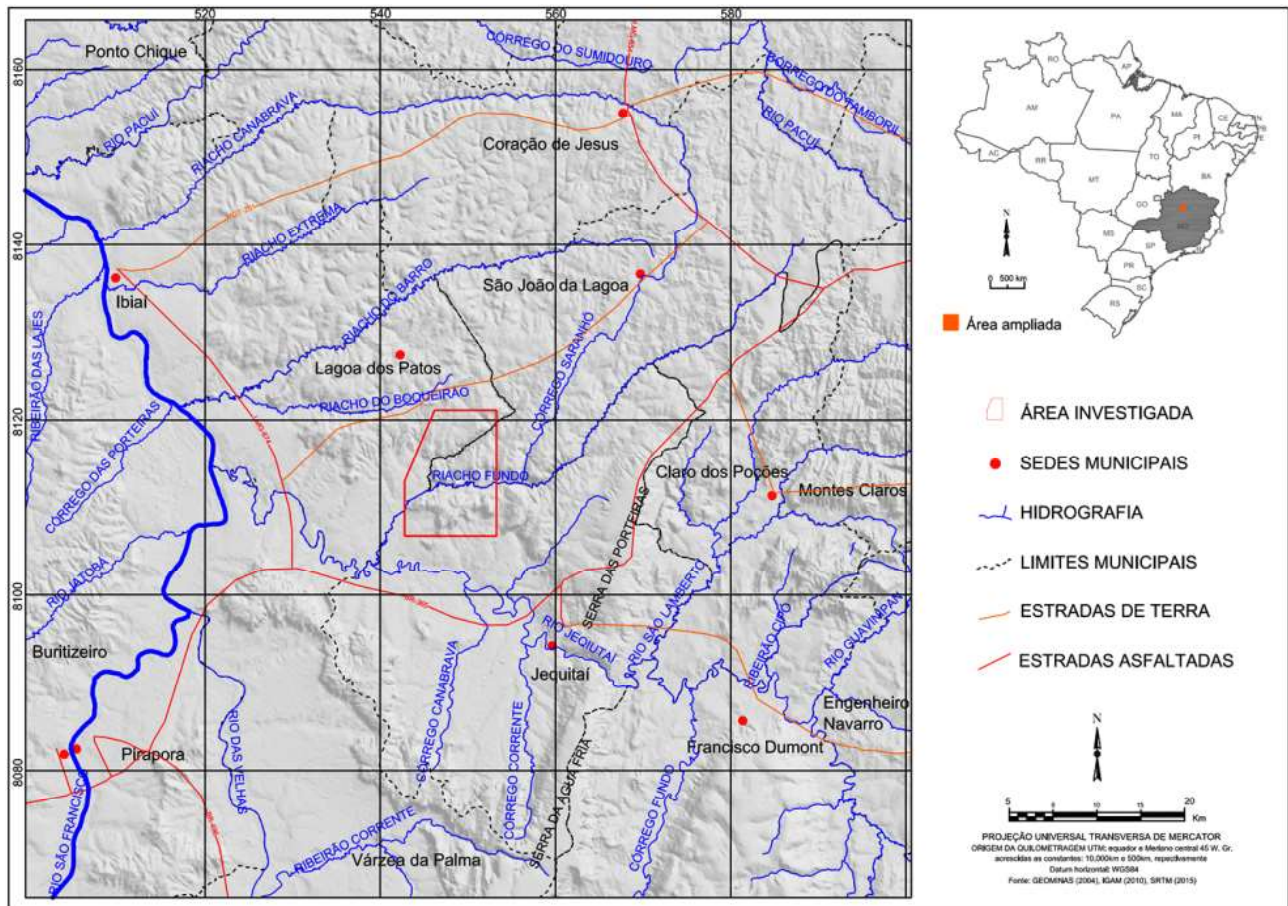


Figura 1 – Localização da área investigada.

O Riacho Fundo é um dos principais afluentes da margem direita do rio Jequitaiá, que, por sua vez, conflui para o rio São Francisco, cuja bacia está inserida, em grande parte, na província geoestrutural do Cráton São Francisco. Desde o Neoproterozoico, o Cráton foi afetado por processos geodinâmicos responsáveis, dentre outros aspectos, pela acumulação de camadas hectométricas de depósitos sedimentares que deram origem aos diversos litotipos que conformam a Bacia do São Francisco (BRAUN; MARTINS; OLIVEIRA, 1993; DOMINGUEZ, 1993; TROMPETTE, 1994;

IYER *et al.*, 1995) e a Bacia Sanfranciscana (CAMPOS; DARDENNE, 1997).

A topografia regional é caracterizada pela presença de três superfícies suavizadas, com cotas de aproximadamente 500 m a 1000 m, e separadas por desníveis com dimensões superiores a 100 m. Em algumas áreas, as vertentes que conectam as superfícies chegam a ter até 40° de inclinação. A incisão da rede de drenagem seccionou as superfícies referidas, dando origem a vales com profundidades e larguras de algumas centenas de metros entre as cotas de 500 m e de 720 m (Figura 2).

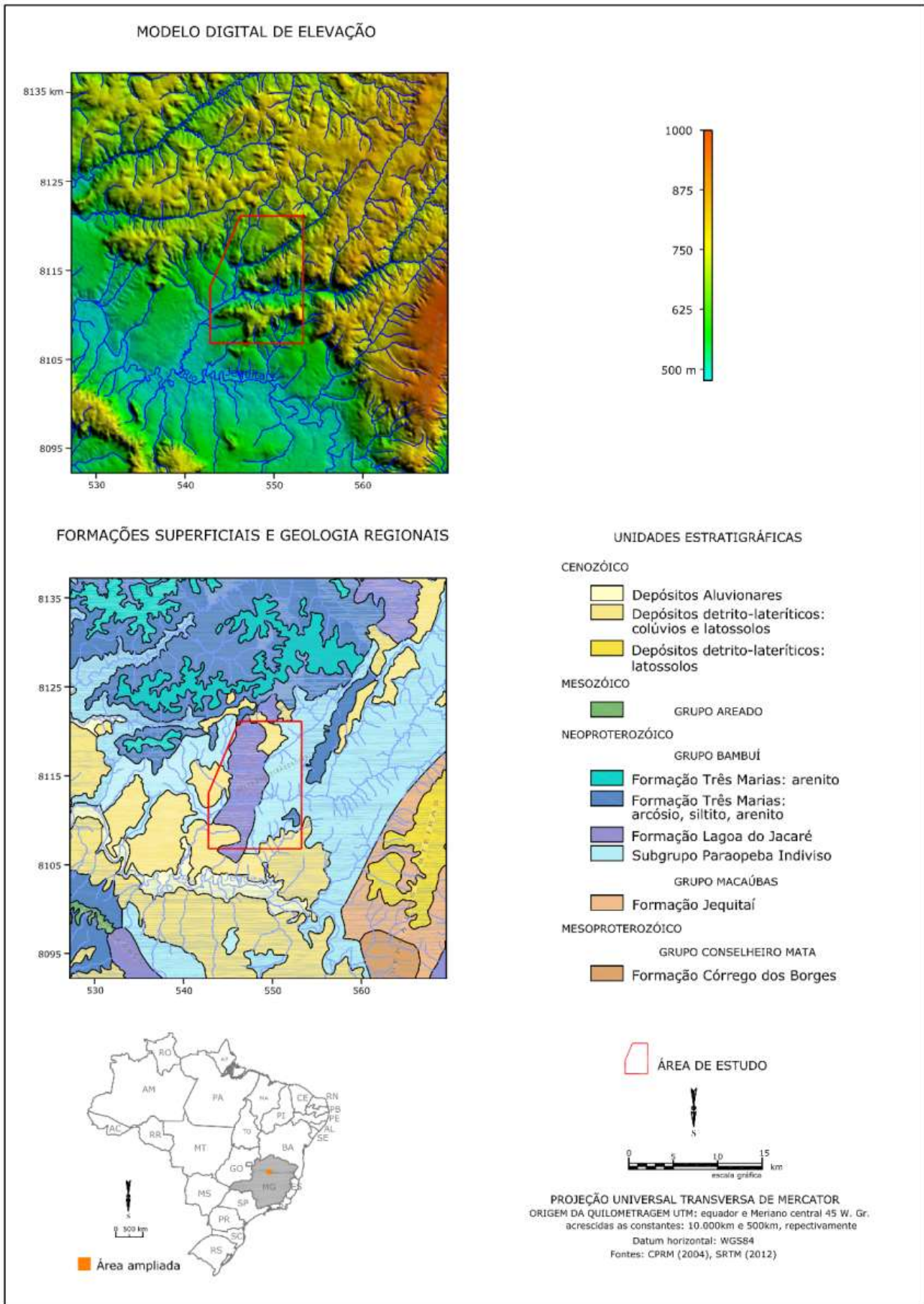


Figura 2 – Modelo digital de elevação, formações superficiais e geologia da região na qual se insere a área estudada.

Além dos processos mecânicos, registros de processos geoquímicos são evidentes na paisagem, como concreções ferruginosas, uma delgada cobertura pedológica – observada ao longo das vertentes e das superfícies de cimeira – e feições cársticas próximas aos topos.

Os elementos ambientais da Região Cárstica dos Currais de Pedras (RCCP) despertam a atenção de pesquisadores desde o final da década de 1970. Em julho de 1978, pesquisadores do Centro de Pesquisas Geológicas (CPG) exploraram algumas áreas da região e realizaram observações e interpretações sobre os aspectos geológicos, biológicos, arqueológicos e espeleológicos (CENTRO DE PESQUISAS GEOLÓGICAS, 1978). Os pesquisadores notaram similaridades fisiográficas entre as paisagens cársticas próximas aos topos de seis elevações topográficas. Cada uma delas foi denominada como um dos seis “Currais de Pedras”. Àquela época, fez-se uma interpretação sobre o condicionamento litoestratigráfico exercido sobre a hidrodinâmica do carste do Curral de Pedras I. Desde então, as pesquisas sobre o carste na região não cessaram. Em 1980, Ab-Ackel (1980) observou a similaridade entre os fenômenos cársticos presentes nos topos de diferentes elevações topográficas da RCCP. Posteriormente, entre 1996 e 2005, foi realizado um apanhado das características fisiográficas regionais (ENGEVIX, 1996a, 1996b; ENGECORPS, 2005) e, entre 2009 e 2012, foi elaborada uma interpretação sobre a dinâmica e a evolução cárstica do Curral de Pedras I (RODET, 2009, 2012, RODET, 2011).

2. Procedimentos Metodológicos

As técnicas e os procedimentos adotados puderam ser divididos em dois conjuntos principais, de forma a atender o caráter multiescalar do estudo. Tais conjuntos foram organizados de modo a reunir, em um deles, os elementos necessários aos estudos de pequena e média escala, e, no outro, os elementos pertinentes aos estudos de grande escala. Inicialmente, foram realizados trabalhos em campo e uma pesquisa bibliográfica. A ausência de mapas com níveis de detalhe requeridos trouxe à tona a necessidade de um investimento substancial na produção de documentos de base. Foram, então, empreendidos esforços no sentido de se confeccionarem produtos cartográficos na escala de 1:45.000 para os temas geologia e geomorfologia.

A realização do esboço da carta geológica am-

parou-se no mapa geológico da folha Jequitaiá, escala 1:100.000 (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2007), e na interpretação das fotografias aéreas, números 12290, 12291, 41997, 41998, 41999 e 42000, escala 1:60.000, geradas pela *United States Air Force* (USAF), durante o voo AST-10, realizado em 23 de junho de 1965. Nessa etapa, também foram interpretadas imagens adquiridas pelos satélites *Système Pour l’Observation de la Terre* (Spot) e *GeoEye1*, obtidas por meio do software *Google Earth Pro*[®], e imagens monocromáticas com 2 m de resolução espacial, obtidas pelo satélite CBERS 2B, disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Trabalhos em campo, descrições de afloramentos rochosos e análises petrográficas também compuseram essa etapa da pesquisa.

O processamento digital das imagens e a coleta de dados em campo permitiram a aquisição de informações sobre as características litoestruturais da área pesquisada. As feições lineares estruturais e os valores das suas direções azimutais foram representados em planos cartográficos e na forma de diagramas de rosetas, respectivamente.

A hipótese sobre o controle litoestratigráfico exercido no sistema cárstico foi verificada por meio de análises petrográficas e de testes por ataque com ácido clorídrico concentrado em, respectivamente, 11 e 16 amostras de rochas, as quais foram coletadas ao longo de um transecto representativo de todos os compartimentos topográficos da RCCP. Os resultados são apresentados de forma sintética em blocos diagramas.

A cartografia geomorfológica foi produzida a partir da interpretação das mesmas imagens e de fotos aéreas usadas para a confecção do esboço geológico e em concomitância à análise de cartas topográficas (folhas SE-23-X-C-I e SE-23-X-C-II) e geomorfológicas (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS, 1977). Nessa fase, foi realizada também uma compartimentação do relevo, que destacou seus aspectos morfológicos, morfométricos e composicionais (materiais constituintes), bem como a distribuição espacial dos elementos mapeados.

Os trabalhos de maior detalhe foram realizados em um compartimento específico do carste investigado, no qual foram realizados trabalhos de topografia do endocarste e do exocarste, na escala de 1:100, com precisão semelhante ao grau 4-4-BCD da *Union Internationale de Spéléologie* (UIS) (HÄUSELMANN, 2012). A seleção de tal compartimento levou em conta a existência

de um acervo de formas representativo dos processos de infiltração, armazenamento e exfiltração das águas pluviais, assim como de formas testemunhas de processos hidrodinâmicos extintos. O estudo permitiu a extração de dados morfométricos, que foram comparados às características litoestruturais registradas.

Os softwares utilizados nos trabalhos de mapeamento foram o *GoogleEarthpro*, o *AutoCadMap 2004* e o *Global Mapper 11*. Os diagramas de rosetas foram gerados com o software *Stereo 32*, versão 1.0.3.

O esboço das cartas geológica e geomorfológica, bem como os produtos resultantes das análises cartográficas podem ser consultados em GONÇALVES (2013). A aproximação à geocronologia foi elaborada a partir de dois estudos de escala regional que abrangeram a área pesquisada (VALADÃO, 1998; AULER, 1999).

3. Formas, Materias e Processos no Setor Oeste do Curral de Pedras I

As paisagens da RCCP são caracterizadas pela ocorrência de elevações topográficas de morfologia tabular, moldadas em carbonatos intercalados por pelitos atribuídos à Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí (CHAVES; BENITEZ, 2007). Suas superfícies de cimeira estão posicionadas em torno dos 700 m e

apresentam uma topografia suavizada, interrompida por proeminentes afloramentos rochosos, sobre os quais pode ser observado um vasto acervo de formas cársticas. Na área de uma dessas superfícies, foi observada a presença de um sistema cárstico completo, ou seja, de um acervo de formas e materiais representativos das fases de introdução e de restituição das águas pluviais (RODET, 2009). Essa área localiza-se na porção sudoeste da RCCP, mais especificamente no setor oeste do denominado Curral de Pedras I.

As vertentes que bordejam as superfícies cimeiras possuem declividades superiores a 40° nos compartimentos mais elevados e tornam-se suavizadas próximo às suas bases. Em algumas de suas áreas, é possível observar uma delgada cobertura pedológica recoberta por blocos e matações decimétricos de rochas carbonáticas. Esses materiais são mais abundantes nos compartimentos superiores das vertentes, onde ocorrem mudanças abruptas nas declividades, notadamente nas cercanias da transição das superfícies cimeiras para as superfícies mais inclinadas das vertentes, que conectam aquelas ao fundo do vale do Riacho Fundo, o qual possui dimensões hectométricas e é constituído por três depósitos sedimentares de origem fluvial, designados como depósito de planície aluvial, nível deposicional fluvial inferior e nível deposicional fluvial superior (Figura 3).

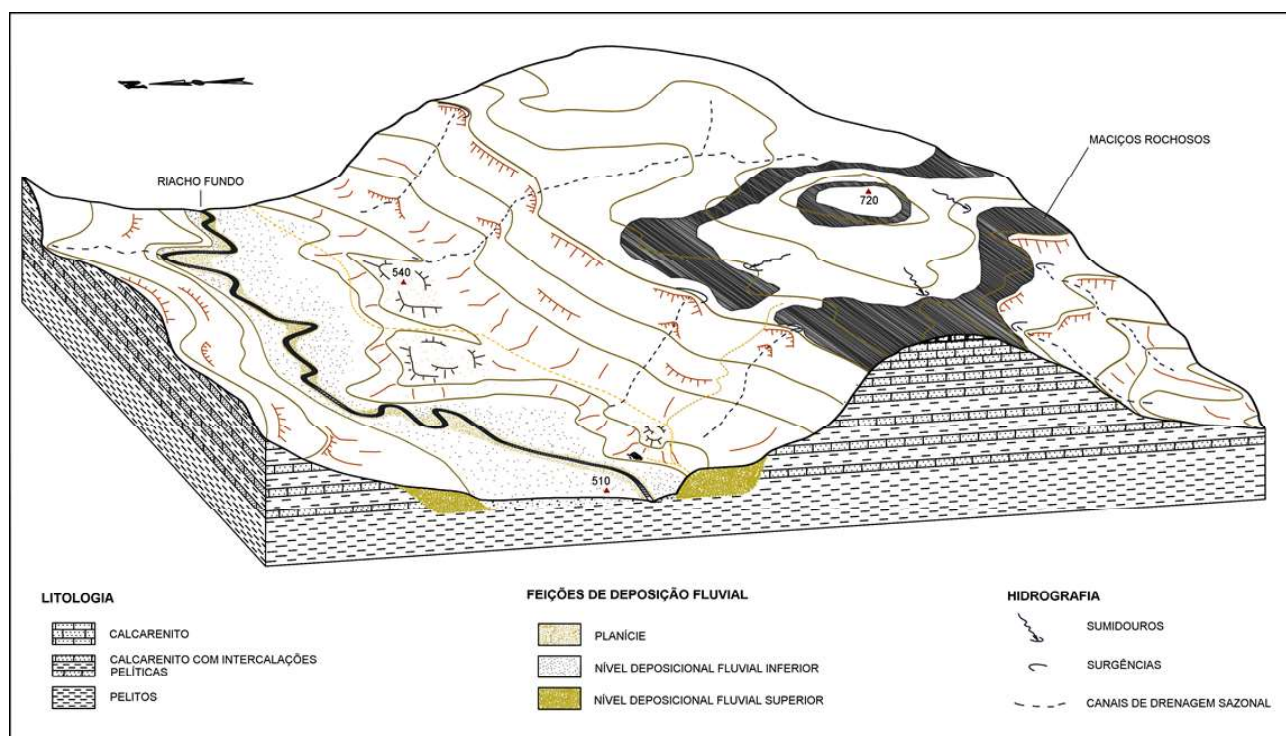


Figura 3 – Bloco diagrama representando um trecho do vale do Riacho Fundo próximo à elevação topográfica que hospeda o Curral de Pedras I.

Os processos hidrodinâmicos nos sistemas cársticos controlam a gênese de formas cársticas específicas. No caso de um carste suspenso, aquelas relacionadas à fase de infiltração livre das águas pluviais podem ser caracterizadas por um desenvolvimento vertical mais pronunciado em relação ao horizontal. No entanto, a presença de algum elemento que dificulte o fluxo livre pode dar origem a formas com configuração inversa à descrita, com destaque para o desenvolvimento areal. Ainda assim, todas podem ser definidas como formas de absorção (LOPIS-LLADÓ, 1970) ou de introdução (RODET, 1981; FORD; WILLIAMS, 2007).

No setor oeste do Curral de Pedras I, foram identificados dois conjuntos de formas de absorção com morfologia e funcionamento hidrológico distintos. O primeiro é composto por formas do *karren*, como fraturas, fendas e abismos, que funcionam como pontos de infiltração direta das águas pluviais para a rede de condutos subterrâneos. As águas pluviais, ao penetrarem no sistema cárstico, entram em atrito somente com as superfícies das formas referidas. Essas feições compõem a porosidade secundária da rocha e, por suas superfícies representarem vias únicas de condução da água ao meio subterrâneo, foram nomeadas como Formas de Absorção Unimodal (FAUs). O segundo é

composto por depressões fechadas decimétricas a métricas, incluindo algumas dolinas, e por depressões fechadas com fundo plano constituído por materiais terrígenos, dentre os quais se destaca um *mini-polje* ativo (RODET, 2009). Por conformarem níveis de base locais do setor oeste, as depressões mencionadas concentram os fluxos superficiais difusos advindos das áreas de cobertura pedológica e os direcionam para o meio subterrâneo. Além da drenagem superficial, algumas dessas depressões recebem também fluxos provenientes do meio subterrâneo, com origem no escoamento realizado a partir das FAUs. Devido ao fato de serem alimentadas por fluxos com diferentes origens, essas formas foram chamadas de Formas de Absorção Polimodal (FAPs).

Após a infiltração realizada pelas FAUs e pelas FAPs, os fluxos hídricos pluviais percolam até os pontos de exurgência, os quais são responsáveis pela passagem das águas subterrâneas para o meio epígeo. As respostas geomórficas aos processos envolvidos nesse cenário são representadas por cavidades com aberturas com dimensões métricas e também por formas residuais, como torres e pináculos, por exemplo.

As três fases descritas são aqui caracterizadas como introdução, transição e restituição hídrica (Figura 4).

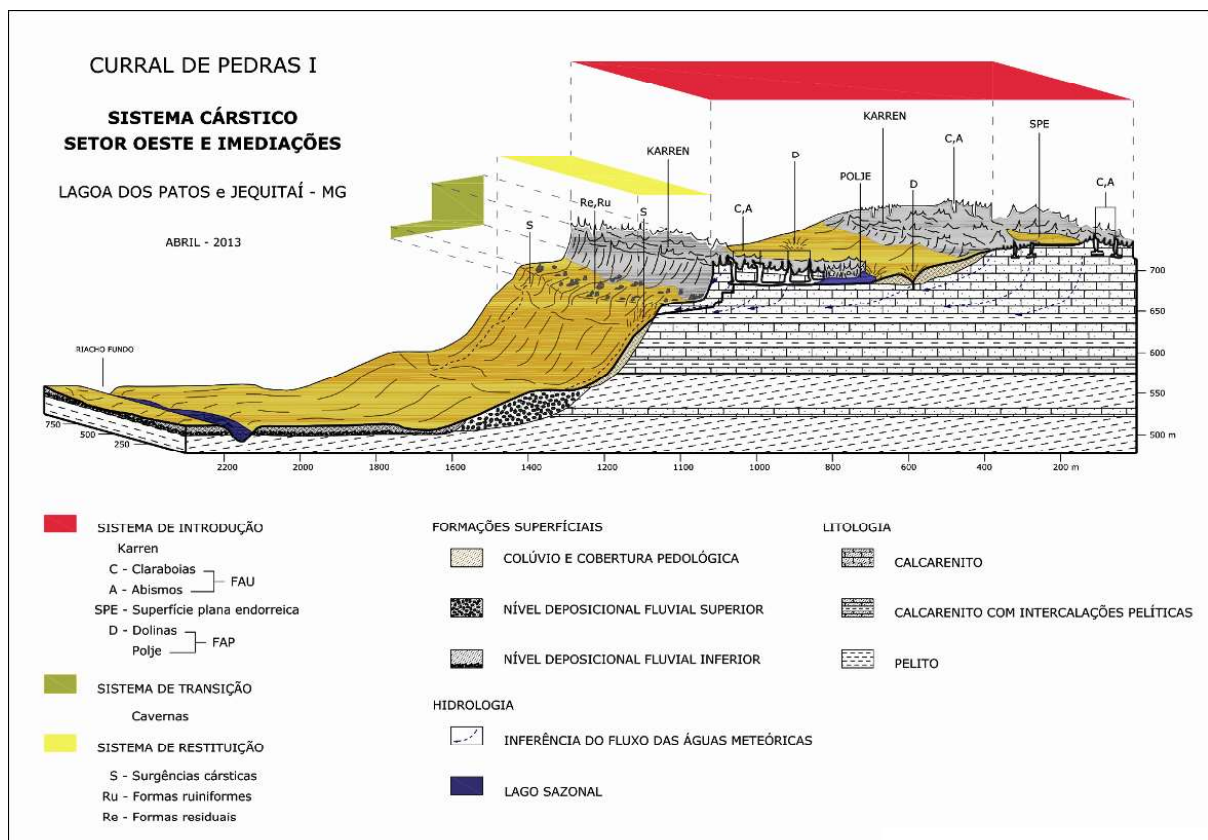


Figura 4 – Bloco diagrama representando o sistema cárstico do setor oeste do Curral de Pedras I e uma parte do fundo do vale do Riacho Fundo.

Em alguns locais situados nas cercanias do setor oeste do Curral de Pedras I, foi observada a presença de depósitos de seixos com dimensões centimétricas esculpidos em rocha siliclástica e posicionados em superfície e subsuperfície. Os clastos estão ora unidos por matriz areno-argilosa parcialmente laterizada, ora dispostos de forma esparsa em superfície e subsuperfície (Figura 5). Nesse setor, também foram observadas seções de condutos subterrâneos truncados pela topografia atual.

4. Controle Morfoestrutural E Litoestratigráfico

As formas cársticas, quando analisadas em uma perspectiva genética morfoestrutural e morfotectônica, possibilitam a visualização de elementos que condicionam suas transformações nas mais variadas escalas tempo-espaciais. No setor oeste do Curral de Pedras I, o condicionamento referido pôde ser verificado a partir da comparação entre as direções azimutais dos eixos maiores das maiores FAPs, das feições lineares estruturais e dos condutos subterrâneos mapeados. A hipótese anterior –

sobre o condicionamento litoestratigráfico à dissolução exercido pelos níveis pelíticos presentes no contexto do sistema cárstico do Curral de Pedras I (RODET, 2011; CENTRO DE PESQUISAS GEOLÓGICAS, 1978) – foi verificada por meio de uma detalhada identificação das litofácies que compõem o empilhamento sedimentar local da Formação Lagoa do Jacaré.

A estruturação tectônica do arcabouço litológico da RCCP é expressa em superfície por feições lineares orientadas segundo quatro direções mais pronunciadas, a saber: a) N0-10, b) N330-340, c) N320-330, d) N270-280. No Curral de Pedras I, foram realizadas 269 medições, que revelaram as principais direções estruturais: N10-40 e N280-300. No setor oeste, as medições foram realizadas nos maiores eixos de 30 FAUs, das dez maiores FAPs e em mais de uma centena de segmentos de condutos subterrâneos, sendo obtidos os respectivos valores: N10-20/N280-290, N290-310 e N0-20/N280-290.

A Tabela 1 e a Figura 6 representam, de forma sintética, a organização litoestrutural secundária da área investigada.

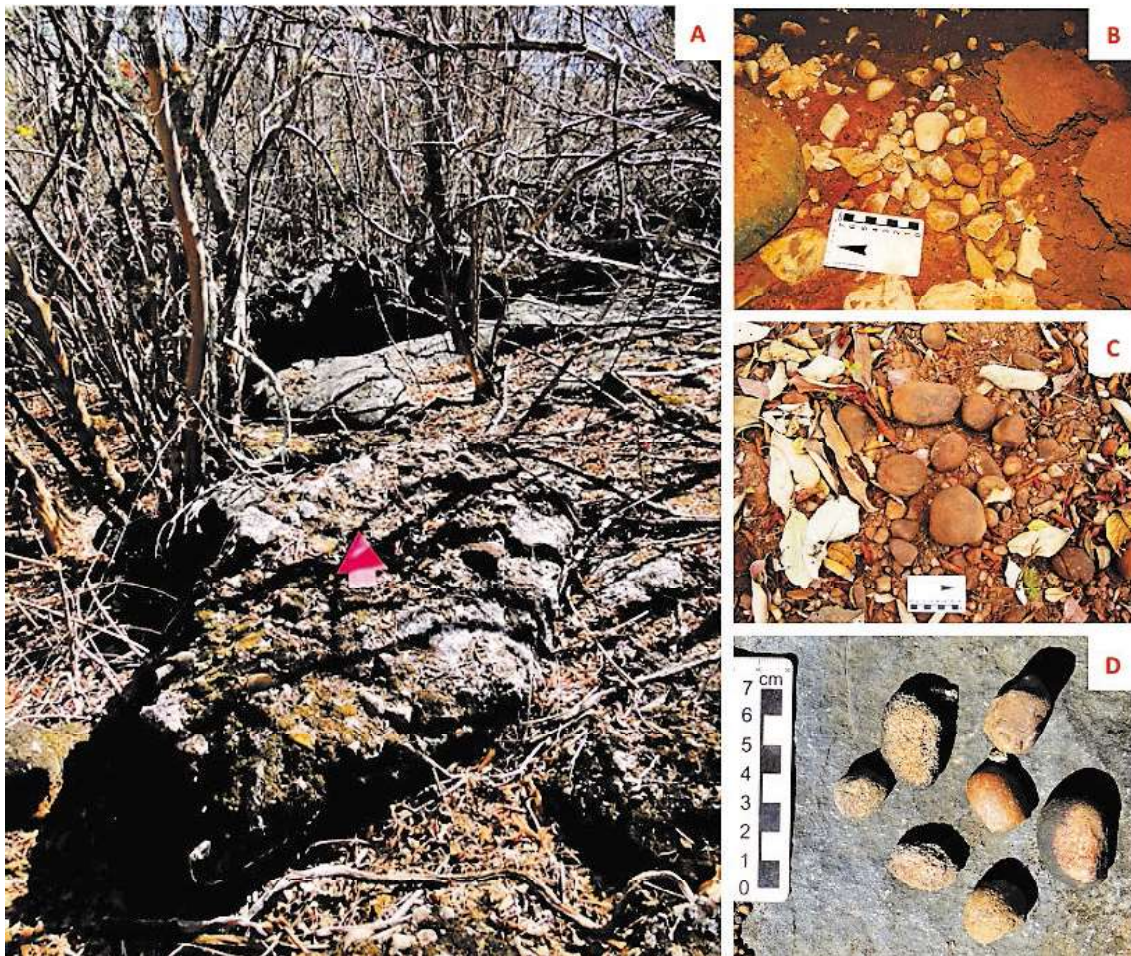


Figura 5 – Depósitos de seixos no Curral de Pedras I. A) Conglomerado com matriz parcialmente laterizada. B) Seixos sobre piso de caverna. C) e D) Seixos em superfície.

Tabela 1: Principais direções azimutais das feições lineares estruturais mensuradas na área investigada

Área ou feição mensurada	Principais direções azimutais
RCCP	N340-350, N270-280, N0-10 e N310-320
Curral de Pedras I	N10-40, N280-300
FAUs	N10-20, N280-290
Maiores FAPs	N290-310
Conduto s subterrâneos - setor oeste do CPI	N0-20, N280-290

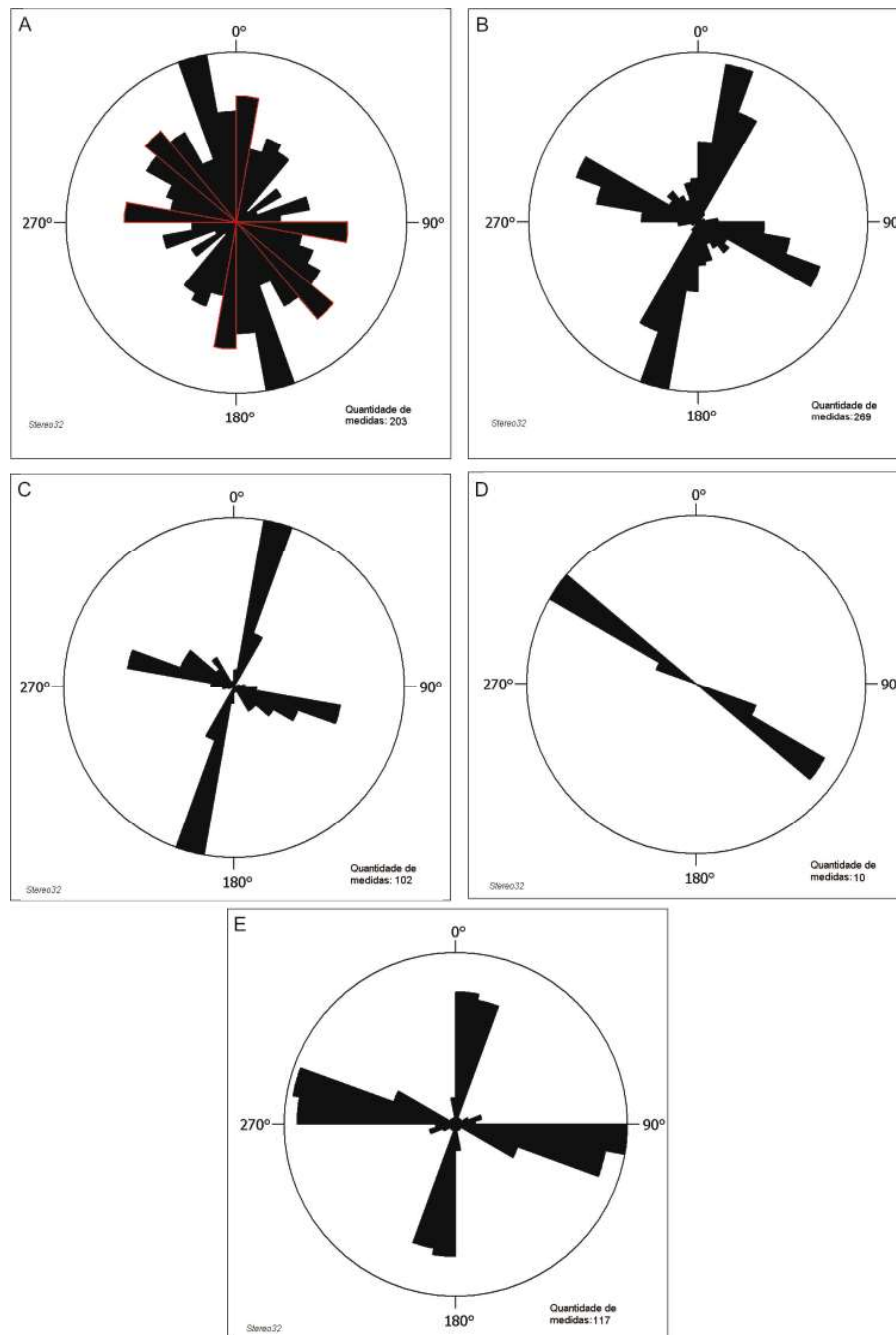


Figura 6 – A) Direções azimutais na RCCP (a cor vermelha demonstra todas as escalas analisadas). B) Curral de Pedras I. C) maiores eixos das FAUs. D) maiores eixos das FAPs. E) rede de condutos subterrâneos mapeada no setor oeste do Curral de Pedras I.

As estruturas singenéticas presentes nas rochas da RCCP são expressas por camadas sub-horizontalizadas de rochas carbonáticas intercaladas por pelitos. Na elevação topográfica, que hospeda o Curral de Pedras I, verificou-se que as rochas da base da sequência estratigráfica apresentam uma maior quantidade de intercalações por níveis pelíticos. De forma gradativa, essas estruturas dão lugar a carbonatos mais puros no sentido do topo do empilhamento sedimentar.

Experimentos realizados por meio de um ataque com ácido clorídrico concentrado (HCl) em 16 amostras de rocha, coletadas entre as cotas 550 m e 710 m, demonstraram que, a partir de 660 m, os níveis pelíticos tornam-se raros. Descrições petrográficas de 11 amostras revelaram que, a partir daquela cota, os teores de minerais carbonáticos são superiores a 85%, podendo atingir valores de até 95%.

Medições realizadas em aproximadamente 30 das FAUs posicionadas próximas à cota 690 m demonstraram que nenhuma delas possui mais de 20 m de profundidade. Assim, seus limites inferiores posicionam-se próximos a 670 m, altitude perto daquela na qual os níveis pelíticos tornam-se mais abundantes. Essa constatação mostra que os níveis pelíticos podem estar atuando como inibidores para o aprofundamento vertical das FAUs, e pode explicar o fato de várias surgências cársticas também ocorrerem próximas à cota aludida, corroborando, assim, as hipóteses construídas por RODET (2009) e pelo Centro de Pesquisas Geológicas (1978). A presença de um pacote rochoso menos sensível à dissolução subjacente a carbonatos solúveis foi chamada por Llopis-Lladó (1970) de nível de base cárstico local.

5. O Carste Suspenso e as Implicações Geomorfológicas

O relevo e suas transformações ao longo do tempo e do espaço podem ser observados e medidos a partir de uma infinita gama de pontos de referência. A ausência de um plano de fundo único permite sua análise com base em variados ângulos e posições.

A integração analítica das observações realizadas, dos dados coletados em campo e de dois estudos geocientíficos realizados em escala regional permite a interpretação e a proposição dos eventos relativos ao início da carstificação na RCCP.

Ao longo do tempo geológico, as transformações das paisagens do setor oeste do Curral de Pedras I estiveram – e ainda estão – envolvidas em um contexto geomorfológico mais amplo. A incisão da atual rede hidrográfica da RCCP – possivelmente iniciada na transição Plioceno-Pleistoceno (VALADÃO, 1998) – foi um dos processos modeladores da atual paisagem geomorfológica da área investigada e, conseqüentemente, exerceu um importante controle sobre o desenvolvimento das morfologias cársticas.

A paisagem geomorfológica da Região Cárstica dos Currais de Pedras pode ser caracterizada pela presença de duas superfícies erosivas com declividades inferiores a 10°, marcando compartimentos altimétricos distintos. A transição entre as referidas superfícies dá-se por meio de um desnível abrupto de cerca de 200 m e declividades médias próximas a 40°. Há indícios de que a elaboração da superfície elevada tenha perdurado entre o Mioceño Médio e o Plioceno Superior, quando um provável soerguimento marcou a interrupção de sua elaboração e o início da incisão da atual rede hidrográfica e da elaboração da superfície rebaixada. Essa interpretação cronológica foi construída, sobretudo, com base em dados levantados em campo e naqueles extraídos do *Deep Sea Drilling Project* (DSDP), segundo os quais, a partir do Plioceno Superior, houve um rápido acréscimo na taxa de acumulação sedimentar das bacias oceânicas profundas (Figura 7). Esse acréscimo teria sido uma resposta à intensificação da desnudação continental associada ao soerguimento Pliocênico (VALADÃO, 1998).

A possibilidade de mudanças climáticas terem exercido um papel importante nos estágios inicial e intermediário do processo de incisão referido parece ser menos provável, pois são desconhecidos indícios de que o deslocamento latitudinal do continente sul-americano tenha atingido magnitude capaz de posicioná-lo próximo às zonas temperadas nos últimos milhões de anos, desfavorecendo, desta forma, o estabelecimento duradouro de condições climáticas caracterizadas pelo predomínio de temperaturas e umidades médias drasticamente inferiores às atuais. Contudo, a presença dos dois níveis deposicionais aluviais no fundo do vale do Riacho Fundo pode estar relacionada à passagem de um clima mais seco para um clima mais úmido. Essa variação climática, no contexto do estado de Minas Gerais, pode ter caracterizado a transição do Pleistoceno para o Holoceno (BARROS *et al.*, 2011; STRÍKIS, 2011) e

pode ter contribuído para o conjunto de processos que fomentou os estágios mais recentes de incisão do vale do Riacho Fundo. Assim, acredita-se que condições

climáticas quentes e úmidas tenham predominado durante a maior parte do tempo representado pela hipótese cronológica proposta neste estudo.

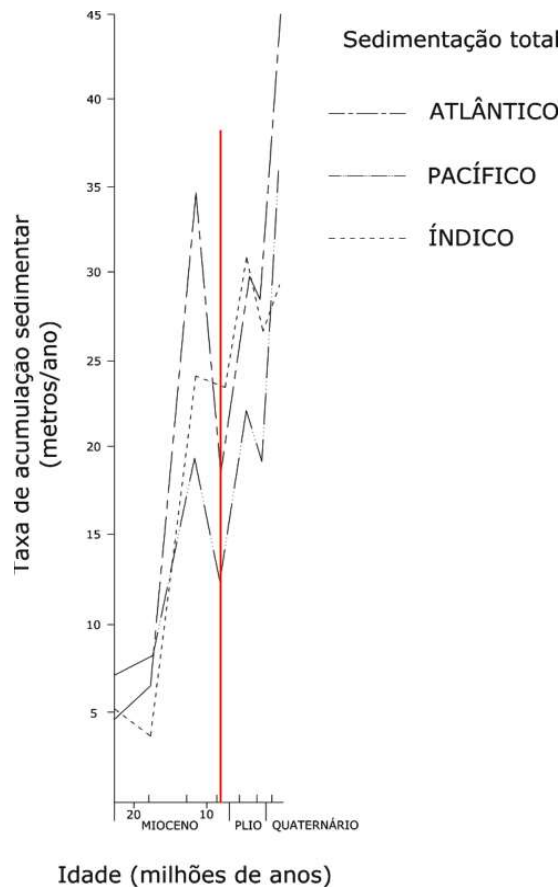


Figura 7 – Taxa de acumulação sedimentar cenozoica das bacias oceânicas do Atlântico, Pacífico e Índico, segundo dados coletados pelo Deep Sea Drilling Project (DSDP). A linha vermelha indica as baixas taxas de sedimentação que antecederam possíveis pulsos de soerguimento. Fonte: Davies (1977) apud Valadão (1998) (adaptado).

Auler (1999), com base em técnicas paleomagnéticas, estimou uma taxa de incisão fluvial no Cráton do São Francisco na ordem de 25-34 m/Ma. Considerando-se a média desses valores (29,5 m/Ma), seriam necessários cerca de 6,8 Ma para a formação do desnível topográfico que separa as duas superfícies erosivas presentes na RCCP. Deste modo, para que o Riacho Fundo conseguisse escavar um vale com 200 m de profundidade em seu trecho inserido na RCCP, o processo de incisão deveria ter se iniciado ao final do Mioceno, período ao qual Valadão (1998) também associou o início da incisão da rede hidrográfica atual da região central do estado de Minas Gerais.

Os processos responsáveis pela elaboração das

formas cársticas do Curral de Pedras I não são controlados de forma evidente pelo nível de base representado pelo leito do Riacho Fundo. No sistema cárstico do setor oeste, foram identificados e mapeados condutos com morfologias circular, lenticular e elipsoidal fossilizadas, as quais denotam que sua gênese ocorreu sob pressão hidrostática. Isso quer dizer que, quando os condutos foram formados, encontravam-se completamente submersos, condição possível de ter ocorrido em um período anterior e/ou inicial da incisão da atual rede hidrográfica. O padrão planimétrico labiríntico predominante na rede subterrânea mapeada (Figura 8) evidencia sua elaboração em condições hidrodinâmicas de baixa energia (PALMER; PLAMER, 2009).



Figura 8 – Rede subterrânea e mini-poljes do setor oeste do Curral de Pedras I.

Admitindo-se as interpretações realizadas por Auler (1999) e Valadão (1998), é provável que o início da carstificação do Curral de Pedras I remonte ao Mioceno Superior, período no qual a paleogeografia da RCCP provavelmente era conformada por uma superfície suavizada com maior expressão areal.

No Plioceno Inferior, o início da incisão da atual rede hidrográfica teria respondido ao rebaixamento do nível de base, resultando na formação de um gradiente hidráulico antes inexistente (VALADÃO, 1998). Com o avanço da incisão, devem ter surgido as primeiras formas de restituição. Assim, o sistema cárstico, ou-

trora submetido somente a condições freáticas, passa a sofrer também as consequências do estabelecimento de condições epígeas. Provavelmente, essas condições fizeram com que, à medida que os processos de incisão se desenvolviam, vários setores do sistema cárstico investigado passassem a ser controlados por uma dinâmica vadosa. Isso teria proporcionado o retrabalhamento da morfologia de parte dos condutos outrora submetidos a uma dinâmica freática. Esse episódio ficou impresso nas formas de incisão vertical de alguns dos condutos de morfologia *claviforme* no setor oeste do Curral de Pedras I (Figura 9).

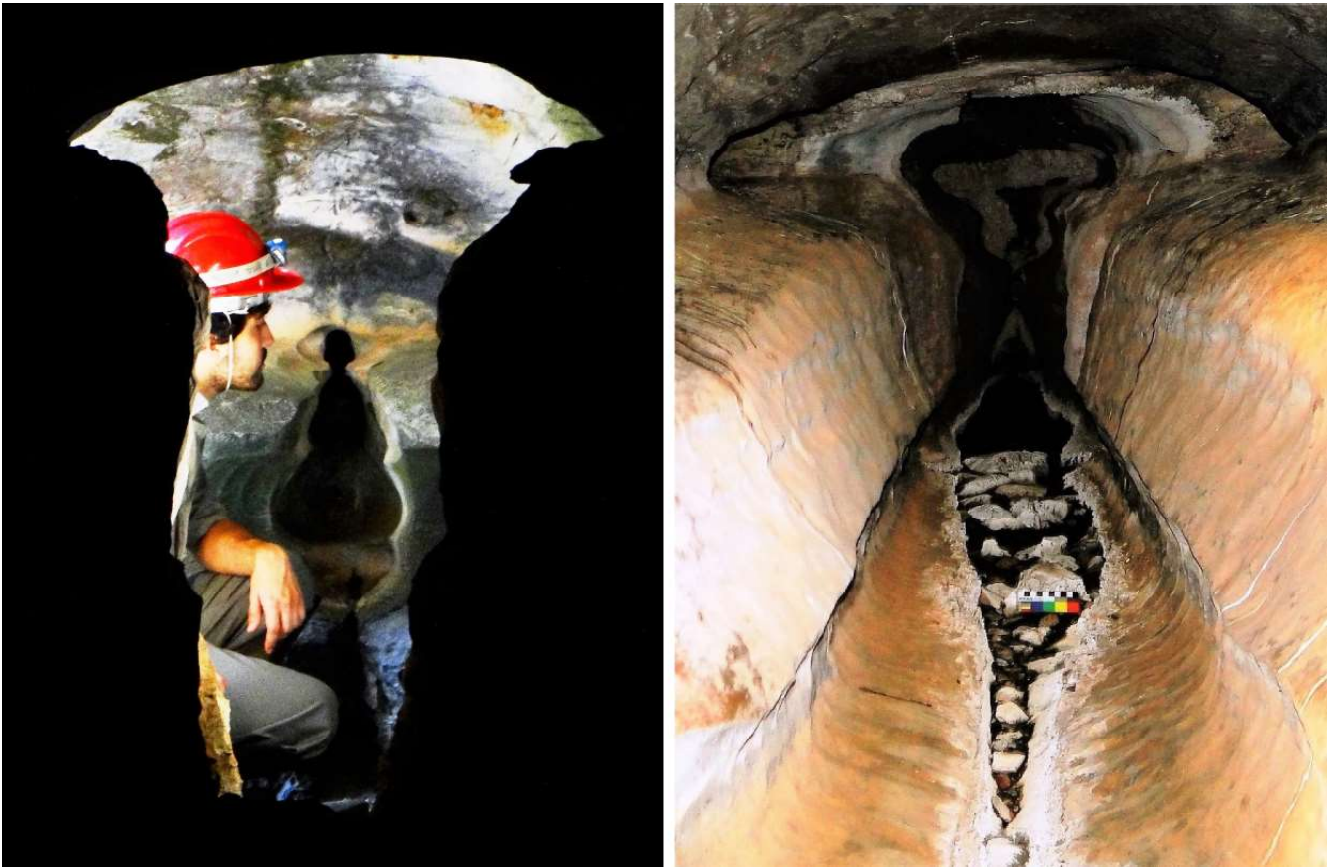


Figura 9 – Condutos de morfologia claviforme no setor oeste do Curral de Pedras I.

A laterização dos conglomerados encontrados em alguns pontos da superfície do topo da elevação que hospeda o sistema cárstico do Curral de Pedras I sugere a ocorrência de um longo período de estabilidade tectônica. Os resultados do estudo apontam para a possibilidade desses conglomerados serem atribuídos à Formação Abaeté (Cretáceo). Valadão (1998, p. 215) sugere que, em muitos locais da porção central do estado de Minas Gerais, a “incisão linear dos canais fluviais alcançou o arcabouço litoestrutural proterozoico após ter promovido a erosão da cobertura cretácica”.

Na RCCP, depois da remoção da cobertura cretácica, a litoestrutura herdada do evento compressional brasileiro/pan-africano impressa no arcabouço carbonático neoproterozoico passou a comandar as aberturas do vale do Riacho Fundo e também a organização da rede de condutos subterrâneos do setor oeste do Curral de Pedras I. Os diagramas apresentados na Figura 6 corroboram essa hipótese ao demonstrarem a existência de uma relação concordante entre as direções das feições lineares estruturais da RCCP, das feições cársticas do Curral de Pedras I e de seu setor oeste.

Ademais, outros elementos sugerem que os estágios iniciais de incisão da atual rede hidrográfica foram provavelmente acompanhados, ou até mesmo precedidos, do início da carstificação da área investigada. Os testes ácidos realizados demonstraram que, no setor oeste, os carbonatos situados entre o topo da elevação e a cota 660 m são significativamente mais sensíveis à dissolução do que aqueles que conformam a base e o meio da sequência litoestratigráfica local. O nível de base cárstico local conformado pelos litotipos menos sensíveis à dissolução deve ter proporcionado o desenvolvimento de um relevo cárstico subjacente, o qual ocupava uma grande extensão areal da superfície e teria precedido a intensificação da incisão da rede de drenagem. Tal intensificação teria acontecido a partir do momento em que o aprofundamento da incisão atingiu os litotipos com intercalações pelíticas, que, por serem significativamente menos porosos do que os calcarenitos do topo da Formação Lagoa do Jacaré, favoreceram o escoamento superficial e a consequente incisão da rede hidrográfica, em detrimento da infiltração, principal processo responsável pela carstificação.

A hipótese da existência de uma paleosuperfície carstificada com maior alcance areal também é corroborada pela existência de condutos fossilizados em afloramentos isolados, pela presença de antigos condutos subterrâneos seccionados pela topografia atual dos afloramentos e por galerias truncadas pela abertura das maiores depressões que compõem as FAPs. Isso sugere que a abertura dessas depressões é posterior ao estabelecimento da rede de condutos subterrâneos que teria existido sob uma paleosuperfície miocênica.

A hipótese cronológica representada por esta proposta interpretativa corrobora discussões apoiadas em dados geocronológicos magnetoestratigráficos que refutam o entendimento amparado por dados bioestratigráficos, os quais sugerem que a maior parte das cavernas são feições resultantes de processos ocorridos no Pleistoceno (HAJNA *et al.*, 2010; WILLIAMS *et al.*, 2001).

7. Agradecimentos

À equipe do projeto “Arqueologia na região de Jequitai e Buritizeiro/MG: em busca da variabilidade regional do registro arqueológico pré-histórico” e ao CNPq (Processo nº 130873/2011-0), pelo apoio logístico e financeiro. Ao Dante Nascimento, pela ajuda com a revisão do texto.

8. Referências Bibliográficas

AB-ACKEL, M. V. A. Notas de espeleologia. Província espeleológica do Curral de Pedras. Currais III e IV-Localidade de Tesouras (Lapa da Festa). In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 14, 1980, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1980. p.42-46.

AULER, A. S. Intercalações de filitos nos calcários da lapa do Boi, Sete Lagoas, MG: possível feição paleocarstica? **Espeleo-Tema**, v. 17, p. 1-6, 1994.

AULER, A. S. **Karst evolution and paleoclimate of esatern Brazil**. 269 f. Tese (Doutorado) – Faculty of Science – University of Bristol, Bristol. 1999.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. Ambientes Cársticos. In: SOUZA, Célia Regina de Gouveia *et al.* (Orgs.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos. p. 321-343. 2005.

RODET, J. **Contribution à l'étude du karst de la craie: l'exemple normand et quelques comparaisons**. 1981. 427 f. Tese (Doutorado) – Université de Paris I – Panthéon – Sorbonne,

1981.

RODET, J. **Mission géoarchéologique dans la région de Jequitai (Minas Gerias, Brésil)** du 15 au 25 juillet. Relatório interno, UMR 6143 CNRS, 18 p. 8 de Outubro 2009.

RODET, J. **Tópicos Especiais IV: Geomorfologia cárstica – Princípios e técnicas**. Belo Horizonte, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, ago.-nov. Minicurso. 2011.

RODET, J. **Prémices d'une approche géoarchéologique et karstologique de la région de Jequitai (Minas Gerais, Brésil)** – Primícias de uma abordagem geoarqueológica e carstológica da região de Jequitai (Minas Gerias, Brasil). CNEK, collection Carso Brasiliensis 2, mars 2012: 58 p. 2012.

GONÇALVES, F. **Morfodinâmica e morfogênese de um carste suspenso e evolução geomorfológica de longo termo. Uma aproximação com base no setor oeste do Curral de Pedras I – Jequitai – MG**. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C.; LIMA, S. L.; MAGALHÃES Jr., A. P. A.. Síntese dos cenários paleobioclimáticos do quaternário tardio em Minas Gerais/sudeste do Brasil. **Soc. & Nat.**, v. 23, n. 3, p. 371-386, 2011.

BARROS, P. H. C. A. **Controvérsias geomorfológicas: dialética entre teoria e produção do conhecimento – as múltiplas perspectivas do pensar e fazer Geomorfologia**. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BRAUN, O. P. G.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, W. J. Continuidade das sequências rifeanas sob a Bacia do São Francisco constatada por levantamentos geofísicos em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG/SGM/CNPq, 1993. p. 164-166. 1993.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Rev. Bras. de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.

CENTRO DE PESQUISAS GEOLÓGICAS (CPG). **Relatório de pesquisas realizadas na região denominada Curral de Pedras**. Relatório interno. Belo Horizonte: CPG, 18 p. 1978.

CHAVES, M. L. de S. C.; BENITEZ, L. **Geologia da Folha Jequitai-SE.23-X-C-II**. Nota explicativa. Brasília: CPRM/UFMG. 41 p. 2007.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Mapa geológico do Brasil ao milionésimo. **CPRM**.

Rio de Janeiro: CPRM, 2004.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Mapa geológico. **Folha Jequitai-SE.23-X-C-II**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

DAVIES, T. A. Estimates of Cenozoic sedimentation rates. *Science*, v. 197, n. 4298, p. 53-55, 1977.

DOMINGUEZ, J. M. L. As coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: Dominguez, J. M. L.; Misi, A. (Orgs.). **O Cráton do São Francisco**. Salvador: SBG/Núcleo BA-SE/SGM/CNPq. p. 137-159. 1993.

ENGEORPS. **Estudo de Impacto Ambiental**: Projeto Jequitai. Brasília: Codevasf, 1113 p. 1993.

ENGEVIX. Diagnóstico do patrimônio, cultural/natural da área de influência do meio físico-biótico do Projeto Jequitai, MG. In: **Projeto Jequitai**. Estudo de Impacto Ambiental. Relatório interno. Brasília: Codevasf, 1996a.

ENGEVIX. **Relatório de Impacto Ambiental**: Projeto Jequitai. Relatório interno. Brasília: Codevasf, 1996b. 43 p.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst hydrology and geomorphology**. Chichester: John Wiley & Sons. 2007.

GEOMINAS. **Base Digital**. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br>>. Acesso em: 23 fev. 2004.

HAJNA, N. Z.; MIHEVC, A.; PRUNER, P.; BOSÁK, P. Paleomagnetic research on karst sediments in Slovenia. *International Journal of Speleology*, v. 39, n. 2, p. 47-60, 2010. (DOI: 10.5038/1827-806X.39.2.1 Source: DOAJ)

HÄUSELMANN, P. 2012. **UIS Mapping Grades**. Disponível em: <<http://www.uisic.uis-speleo.org/UISmappingGrades.pdf>>. Acesso em: 1º jun. 2013.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (IGA). Mapa geomorfológico. **Folha Montes Claros**. Belo Horizonte, 1977.

IYER, S. S.; BABINSKI, M.; KROUSE, H. R.; CHEMALE Jr. F. Highly ¹³C enriched carbonate and organic matter in the Neoproterozoic sediments of the Bambuí Group, Brazil. *Precambrian Res.*, v. 73, p. 271-282, 1995. (DOI: 10.1016/0301-9268(94)00082-3).

LAUREANO, F. V. **Idades de soterramento ²⁶Al/¹⁰Be em**

grãos de quartzo e o assoreamento de sistemas de cavernas na região de Iraquara (BA): 2 milhões de anos de registro sedimentar quaternário. 132 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

LAUREANO, F. V. **O registro sedimentar clástico associado aos sistemas de cavernas Lapa Doce e Torrinha, município de Iraquara, Chapada Diamantina (BA)**. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

LAUREANO, F. V.; KARMANN, I. Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e suas contribuições em estudos geomorfológicos: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, n. 1, p. 23-33, 2013. (DOI: 2050/rbg.v14i1.306).

LLOPIS-LLADÓ, N. **Fundamentos de hidrogeologia carstica**: introducción a la geoespeleología. Madrid: Blume. 1970.

PALMER, A. N.; PALMER, M. V. **Caves and karst of the USA**. Huntsville: National Speleological Society, 2009.

PILÓ, L. B. **Morfologia cárstica e materiais constituintes**: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos - Baú - carste de Lagoa Santa, MG. 267 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

SOUZA, T. R. A. **O carste em mármore na borda oeste da Serra do Cipó, MG**: investigações acerca da morfodinâmica cárstica. 215 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

STRÍKIS, N. M. **Paleopluviosidade no norte de Minas Gerais durante o glacial tardio e holoceno com base em registro de espeleotemas**. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

TROMPETTE, R. **Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma)**. Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. Rotterdam: A. A. Balkema, 1994.

VALADÃO, R. C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil oriental**: desnudação, superfícies de aplainamento e soerguimentos crustais. 242 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador. 1998.

WILLIAMS, P. W. *et al.* Paleoclimate Data from New Zealand Speleothems. **13th International Congress of Speleology**. 2001.