

**CARACTERIZAÇÃO DO CARSTE TRADICIONAL NO ESTADO
DE SERGIPE**

**CHARACTERIZATION OF THE TRADITIONAL KARST IN THE
STATE OF SERGIPE**

**CARACTÉRISATION DU KARST TRADITIONNEL DANS L'ÉTAT
DE SERGIPE**

Heleno dos Santos Macedo

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe/UFS
Professor Substituto do Instituto Federal de Sergipe/IFS
helenosamac@gmail.com

Hélio Mário de Araújo

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe/UFS
Professor Titular do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-graduação em
Geografia da Universidade Federal de Sergipe
heliomarioaraujo@yahoo.com.br

Antônio Jeovah de Andrade Meireles

Doutor em Geografia Física pela Universidade de Barcelona/Espanha
Professor Associado do Departamento de Geografia e dos Programas de Pós-graduação
em Geografia e Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará -
Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq - Nível 1B - E-mail:
jeovahmeireles@gmail.com

Luana Pereira Lima

Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da
Universidade Federal de Sergipe
Professora da Rede Estadual de Ensino de Sergipe (SEED/SE)
lua.luana.lima@hotmail.com

Resumo: O carste subterrâneo de Sergipe se reveste de fundamental importância para vários ecossistemas, inclusive, o humano. A partir desse fato, o objetivo desse trabalho é analisar a morfogênese e morfodinâmica do carste subterrâneo estadual, adotando para isso, o trabalho de campo, e associado a ele, a revisão da literatura especializada e o levantamento cartográfico como procedimentos metodológicos de suporte a elucidação dos fatos. Dentre os muitos serviços providos estão o suprimento de água através de nascentes, reservatórios e aquíferos, além da polinização e controle biológico. No ambiente cárstico, identificou-se sessenta e uma novas cavernas, disseminadas em tipos climáticos diferenciados, variando do úmido ao semiárido, apresentando variações de

espeleotemas com destaques para as helectites, estalactites tradicionais e do tipo *canudinho de fresco*, estalagmites e cortinas do tipo bacon, entre outros. Evidenciou-se, portanto, que do ponto de vista do uso, elas possuem grande valor estético e econômico à medida que sustentam atividades de turismo e outros aspectos do lazer. Tais atividades, se gerenciadas pelo setor público e/ou privado, sem dúvida, a curto e médio prazos podem representar um ativo importante para a economia de certos municípios.

Palavras-chave: Espeleogênese. Cavidades naturais. Espeleotemas. Sergipe.

Abstract: The underground karst of Sergipe is of fundamental importance for several ecosystems, including the human one. From this fact, the objective of this work is to analyze the morphogenesis and morphodynamics of the underground karst of the state, adopting for this, the field work, and associated to it, the revision of the specialized literature and the cartographic survey as methodological procedures of support the elucidation of the facts. Among the many services provided are the supply of water through springs, reservoirs, and aquifers, as well as pollination and biological control. Sixty-one new caves were identified in the karstic environment, disseminated in differentiated climatic types, varying from humid to semi-arid, presenting variations in speleothems, such as helectites, traditional stalactites, stalagmites, and bacon-type curtains, among others. It was evident, therefore, that from a use point of view, they have great aesthetic and economic value as they support tourism activities and other aspects of leisure. Such activities, if managed by the public and/or private sector, can undoubtedly represent an important asset for the economy of certain municipalities in the short and medium term.

Keywords: Speleogenesis. Natural cavities. Speleothems. Sergipe.

Résumé: Le karst souterrain de Sergipe est d'une importance fondamentale pour plusieurs écosystèmes, dont celui de l'homme. A partir de ce fait, l'objectif de ce travail est d'analyser la morphogénèse et la morphodynamique de l'état karstique souterrain, en adoptant pour cela, le travail de terrain, et associé à celui-ci, la révision de la littérature spécialisée et le relevé cartographique comme procédures méthodologiques de support à l'élucidation des faits. Parmi les nombreux services fournis, citons l'approvisionnement en eau grâce aux sources, aux réservoirs et aux aquifères, ainsi que la pollinisation et le contrôle biologique. Dans l'environnement karstique, soixante et une nouvelles grottes ont été identifiées, disséminées dans des types climatiques différenciés, variant de l'humide au semi-aride, présentant des variations de spéléothèmes avec des points forts pour les hélécrites, les stalactites traditionnelles et de type paille de rafraîchissement, les stalagmites et les rideaux de type bacon, entre autres. Il a donc été démontré que, du point de vue de l'utilisation, ils ont une grande valeur esthétique et économique car ils soutiennent les activités touristiques et d'autres aspects des loisirs. Ces activités, si elles sont gérées par le secteur public et/ou privé, peuvent sans aucun doute représenter un atout important pour l'économie de certaines municipalités à court et moyen terme.

Mots clés: Spéléogénèse. Cavités naturelles. Spéléothèmes. Sergipe.

Introdução

A humanidade e a vida na Terra tiveram nas cavernas o principal ponto de abrigo e proteção. Um ponto seguro fincado no mundo subterrâneo, onde o tempo definiu os mistérios e compreensões sobre o universo. Aliás, uma das maiores dificuldades para entender os processos que determinam a formação de uma caverna é a relação com o tempo. Falar em milhões de anos é comum, mas um tanto incompreensível para a maioria das pessoas. Uma caverna como é vista e visitada pelo homem moderno é o resultado de sucessivos processos geológicos ocorrendo lentamente ao sabor do tempo.

As cavernas, em sua maioria, são frutos das ações e forças que atuam no planeta há milhões de anos, sendo resultado de um lento e delicado processo de desconstrução e consequente reconstrução do meio ambiente. Sua existência, na maioria dos casos, está intimamente ligada a um tipo de terreno que é internacionalmente conhecido como carste.

Em Sergipe, esses processos também ocorreram, porém, devido a fatores climáticos, geológicos e topográficos, o desenvolvimento do carste subterrâneo não se deu semelhante ao de províncias cársticas como as dos Grupos Bambuí e Una, nas quais se encontram as maiores cavernas do Brasil. O primeiro relato sobre feições cársticas em Sergipe remete ao Geólogo americano John C. Branner em 1890 no artigo *The Cretaceous and Tertiary Geology of the Sergipe-Alagoas Basin of Brazil* publicado na revista *American Philosophical Society*. O autor fez uma descrição dos processos evolutivos ocorridos a partir do Cretáceo sobre as faixas dos estados de Sergipe e Alagoas. Nesse artigo o autor faz uma breve descrição da caverna do urubu, localizada na margem esquerda do Rio Sergipe.

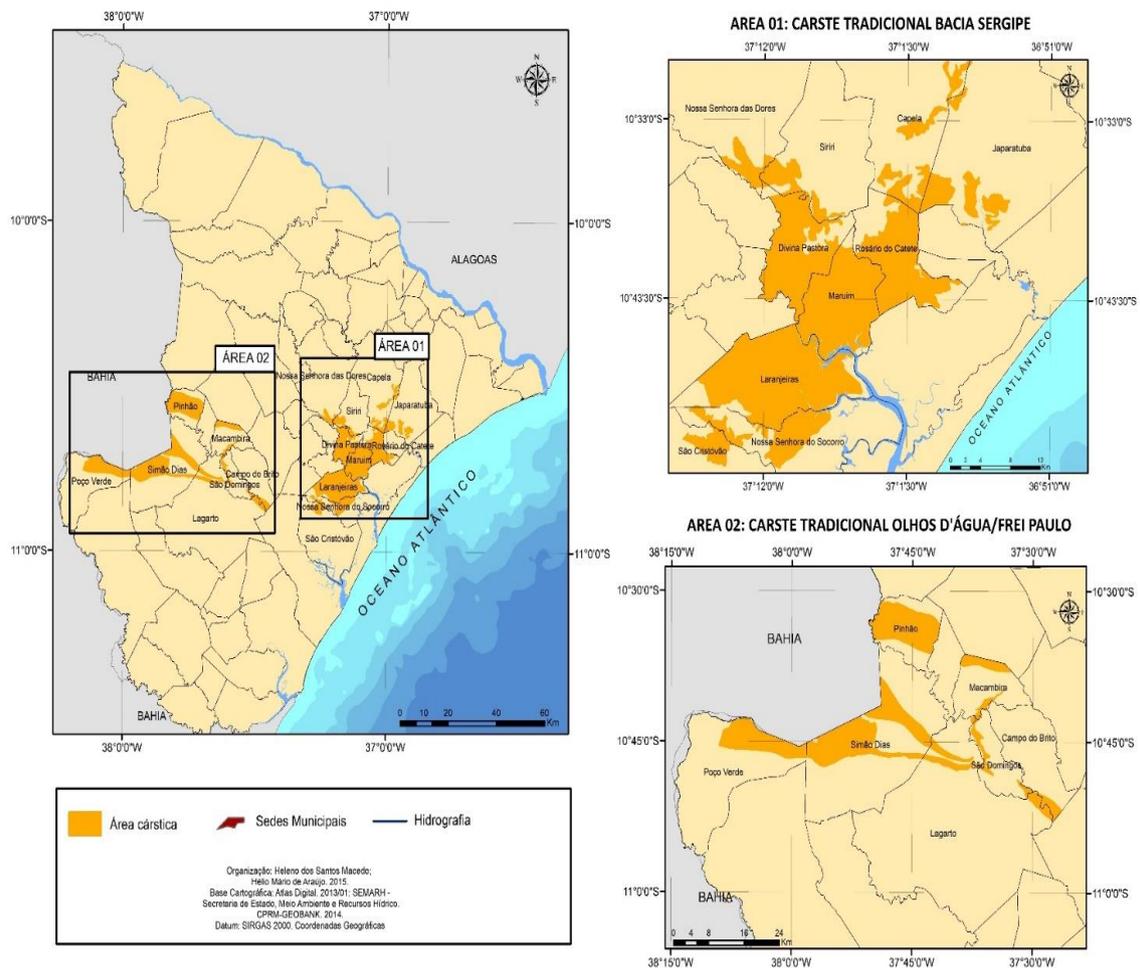
O presente artigo, aborda aspectos importantes para compreensão da evolução do carste subterrâneo no território sergipano, na perspectiva de contribuir para o planejamento e gestão de um ambiente, até então, desconhecido em sua totalidade e, que dada a sua vulnerabilidade, guarda um precioso patrimônio natural passível de proteção legal. Para além disso, fornece informações sobre eventos ocorridos no Quaternário atuantes na modelação de morfologias especiais como é o relevo cárstico.

Material e Métodos

Área de estudo

As paisagens cársticas levadas a efeito nessa investigação, referem-se ao Carste Tradicional Bacia Sergipe, localizado na Província Costeira e Margem Continental e Carste Tradicional Olhos D’Água/Frei Paulo, inserido na Faixa de Dobramentos Sergipana no Domínio Vaza-Barris (Mapa 1).

Mapa 1 – Áreas cársticas de Sergipe



Fonte: Macedo, 2019

Procedimentos metodológicos

A Teoria dos Sistemas e a Teoria dos Sistemas Dinâmicos não-lineares nortearam a construção desse trabalho, contribuindo para a compreensão da organização do espaço geográfico local, que no percurso da investigação requereu análises profundas de forma integrada sobre os diversos elementos da paisagem expressos na superfície cárstica atual. Como bem salientou Cristofolletti (1999), o uso da abordagem sistêmica na Geografia, sobretudo, nos estudos ambientais, possibilitou melhor focalizar as pesquisas e delinear com maior exatidão o campo de estudo desta ciência, além de propiciar ensejo para reconsiderações críticas de muitos conceitos.

O trabalho de campo mostrou-se eficaz, sendo etapa fundamental para o levantamento de dados primários e elucidação dos fatos, até então, desconhecidos sobre a realidade subterrânea cárstica local e, associado a ele, o levantamento da literatura especializada para suporte teórico-metodológico de sustentação as bases empíricas, além do levantamento cartográfico para subsidiar na elaboração dos mapas temáticos.

As observações em campo, com visitas a algumas cavernas previamente selecionadas e de melhor acesso ao seu interior, foram realizadas em 44 dias durante sete meses, no período de março a setembro de 2016. No total foram 7.013,5 Km percorridos, correspondendo 124,77 Km a pé. Esse percurso permitiu o registro de 61 novas cavidades do total de 133 distribuídas, atualmente, no carste tradicional Bacia Sergipe e Olhos D'Água/Frei Paulo.

A caracterização geológica e compartimentação litoestrutural desses ambientes, baseou-se nos dados da CPRM, complementados com as atividades de campo, onde priorizou-se os seguintes parâmetros: constituição litológica (considerando as suas propriedades em face das manifestações da dinâmica externa e interna); grau de solubilidade; resistência mecânica; posição estratigráfica e hipsométricas em relação a outras sequências rochosas; grau de litificação; porosidade; densidade; composição química; orientação, e direcionamento dos lineamentos estruturais que comandam as disposições do quadro morfoestrutural.

No mapeamento das feições cársticas fez-se uso de medições sucessivas de Global Positioning system (GPS) contendo altímetro digital embutido, com posterior

geração de mapas. Esse levantamento *in loco* se mostrou necessário devido à dificuldade de visualização de feições em algumas imagens de satélite pela presença de nuvens, bem como a quantificação delas pelas fotografias aéreas, em função da escala cartográfica de representação que não permitia alcançar o nível de detalhamento desejado.

Para auxiliar na descrição das cavidades naturais, realizou-se em 31 cavernas mapeamentos topográficos e morfológicos de alguns setores internos, visando a elaboração de plantas, perfis longitudinais e seções transversais dos diferentes padrões de formas. A adoção desse procedimento facilitou a análise dos sistemas de paleofluxo.

Os mapas temáticos foram elaborados com o apoio da cartografia digital e ferramenta computadorizada. Utilizou-se a mesma base cartográfica e escala, com o uso do sistema de projeção UTM e SIRGAS 2000 24S, através da base de dados disponibilizada no Atlas Digital de Recursos Hídricos de Sergipe (versão 2013) pela Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Para isso, alguns softwares foram fundamentais como o ArcGis 10.1 da ESRI®, Global Mapper 15 da Blue Marble Geographics®, SPRING 5.2.4 do INPE, ENVI 5 da Exelis VIS®, disponibilizados no Laboratório de Representação da Terra do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Sergipe, com o uso do SIG.

Caracterização dos sistemas de cavernas

Os sistemas de cavernas estão presentes nas duas unidades do carste tradicional em Sergipe, isto é, carste Tradicional Bacia Sergipe e Olhos D'Água/Frei Paulo. Nessas duas áreas da paisagem cárstica, existem 133 cavernas, sendo 34 delas localizadas no município de Poço Verde, perfazendo o maior número, seguido pelos municípios de Simão Dias (19), Laranjeiras (17) e Lagarto (13). As demais cavernas se distribuem nos quatorze municípios restantes.

As cavernas do carste tradicional em Sergipe, não possuem desenvolvimento horizontal e vertical expressivos. Apresentam baixa diversidade de espeleotemas, principalmente, pavimentares e, com exceção do maciço caraíba localizado em Poço Verde, não se encontra um sistema de cavernas conectadas, uma vez que, as cavidades evoluíram a partir de processos *in loco* em seus maciços rochosos. Esse fato resulta da presença de outros tipos de materiais depositados entre os maciços de calcário, ausência

de um epicarste desenvolvido, baixo gradiente do relevo e inexistência de uma rede subterrânea de drenagem turbulenta.

Os maciços carbonáticos nos setores cársticos, estão associados a outros tipos de litologias com graus de porosidade e permeabilidade diferentes. No carste da Bacia Sergipe, os carbonatos são cobertos ou estão intercalados por arenitos, siltitos, folhelhos, conglomerados, brechas, argilitos e calcilutitos. A intercalação desses materiais rochosos reduz os processos de carstificação, muitas vezes, impedindo a dissolução do calcário subjacente.

Na área cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo, os carbonatos e metacarbonatos estão intercalados com filitos siltosos, metarenitos, metasiltitos micáceos com lentes subordinadas de metargilitos, metagrauvas, metaconglomerados, metacherts, quartzito e filitos intercalados com metarenitos. Esses materiais rochosos associados aos carbonatos criam verdadeiras barreiras para o processo de dissolução dos carbonatos, dificultando a evolução das feições químicas no endocarste.

Nesse sentido, a incipiência da espeleogênese no carste tradicional em Sergipe, atribui-se, entre vários fatores, ao baixo desenvolvimento do epicarste. O manto de alteração, os solos e os sedimentos depositados são fundamentais para o processo de carstificação, pois entram em contato direto com as rochas carbonáticas, influenciando a circulação hídrica interna e a elaboração da morfologia rochosa coberta.

No carste da Bacia Sergipe, a pureza dos carbonatos não contribui para a formação do manto de alteração, uma vez que os grãos minerais são dissolvidos, causando o desaparecimento das estruturas originais. Na área cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo, a acumulação de resíduos insolúveis encontrados em quantidades reduzidas nos calcários, retraem o processo de carstificação em algumas cavidades naturais, a exemplo da sílica sob várias formas e dos minerais de argila.

Ainda no que pese ao papel do epicarste para o desenvolvimento das paisagens cársticas sergipanas, percebe-se a pouca espessura das camadas pedológicas sobre os maciços calcários. Segundo afirma Yuan (1991), para o carste tradicional de áreas tropicais, como Sergipe, são necessários entre 250 a 850 mil anos para a produção de 1 metro de espessura de solo. Já Lamouroux (1972), observa que para formação de 30 cm de solo, são necessários 5 metros de rocha dura, contendo 2,2% de resíduo, sendo necessários de 50 a 100 mil anos para a formação dos solos. Seja de uma forma ou de

outra, conforme opinam os especialistas, verifica-se que nas áreas cársticas sergipanas, sobretudo, no perímetro semiárido, os solos são pouco espessos, evidenciando que os processos de alteração das rochas em condições climáticas pretéritas e atuais não ocorrem com a mesma intensidade verificada nas principais áreas cársticas do Brasil, representadas pelos Grupos Bambuí e Una que possuem espessas coberturas pedológicas.

A topografia é outro fator que não favoreceu no desenvolvimento das cavidades naturais em Sergipe. As rochas carbonáticas estão em ambientes de baixa altimetria, ou seja, no carste da Bacia Sergipe são aproximadamente 60 metros, e no carste Olhos D'Água/Frei Paulo, estima-se em 200 metros em relação ao nível de base geral. Esse aspecto da altimetria do relevo, implica no papel desempenhado pelo sistema de drenagem subterrânea, que devido ao baixo gradiente topográfico não atua de forma turbulenta nas zonas subcutâneas e, com isso, reduz a aceleração dos processos de dissolução dos carbonatos.

Outro elemento que também caracteriza as cavernas Sergipanas é que, via de regra, possuem *teto baixo*, devido, não somente, a dimensão dos maciços carbonáticos expostos na superfície, mas a ausência de uma eficiente ação hidrogeológica pela proximidade da zona vadosa com o nível freático e ausência de porosidade secundária, entre outros aspectos.

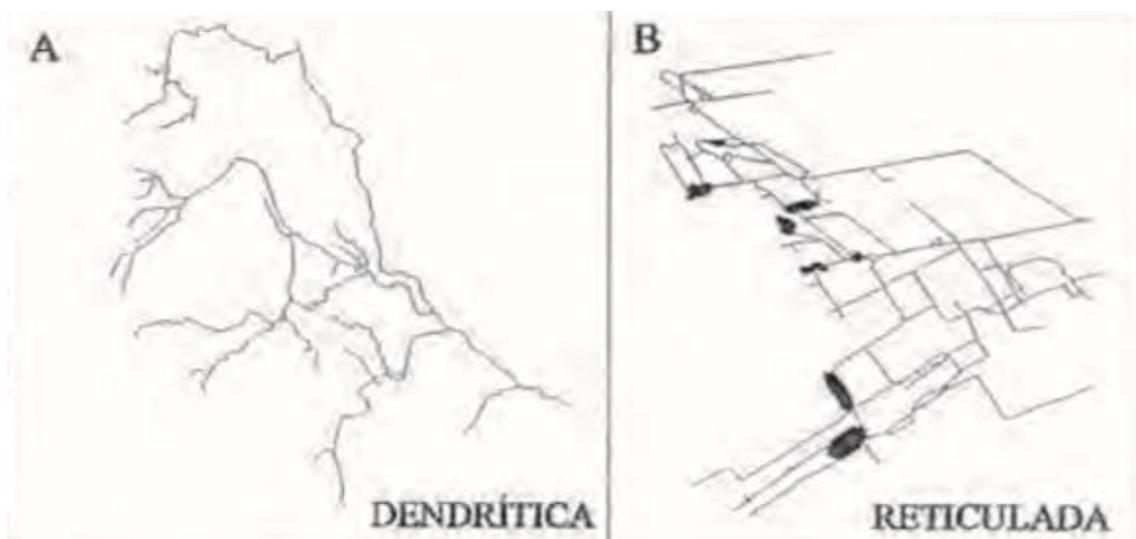
As cavernas do carste sergipano podem ser classificadas como epigênicas, geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteóricas de chuva e/ou de rios superficiais. Em cavernas com essa classificação tipológica, geralmente a água se infiltra no maciço rochoso a partir do exterior. A maneira como essa infiltração ocorre, é muito importante na definição do padrão das galerias. Não há evidências, até o momento, de cavernas hipogênicas no ambiente cárstico sergipano, cuja formação se dá pela ação química de águas ascendentes em profundidades, ou acidificadas no interior do maciço rochoso.

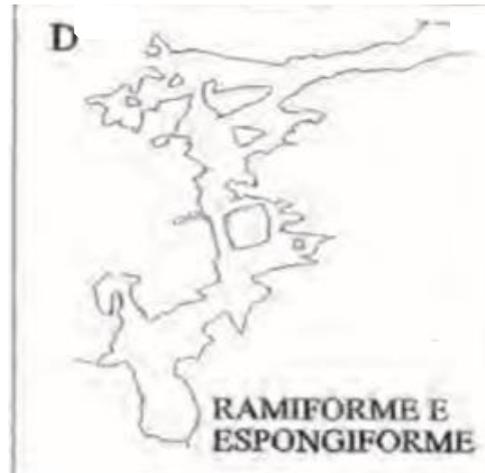
As cavernas do carste tradicional de Sergipe se desenvolvem, preferencialmente, pelas linhas de fratura da rocha. Com raras exceções, encontram-se algumas disseminadas na paisagem cárstica desenvolvidas pelos planos de acamamentos e/ou abatimentos dos materiais do maciço rochoso, devido ao rebaixamento do nível freático e a formação de zonas vadosas.

O padrão das cavernas reflete, sobremaneira, as diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha e a direção de escoamento da água subterrânea, além de outros fatores intervenientes no contexto ambiental local. A exibição em planta, após o levantamento topográfico realizado em várias delas, observou-se que a configuração espacial tende a seguir determinados padrões planimétricos conforme estabeleceu Palmer (1991) identificando os tipos: dendrítico, reticulado e ramiforme (Figura 1).

Em Sergipe, as cavernas com o padrão dendrítico constituem o tipo mais comum. Consiste em conduto de um rio pretérito, em alguns casos de regime efêmero e/ou permanente, como constatado na Gruta dos Aventureiros, no município de Laranjeiras, que apresenta condutos laterais se unindo como tributários. As cavernas reticuladas possuem galerias condicionadas por fraturas, que se entrecruzam em ângulos determinados pela estrutura da rocha. Esse tipo de padrão é o predominante nas cavernas do maciço Caráfa em áreas do município de Poço Verde e Toca da Raposinha em Laranjeiras. O padrão ramiforme, é o exemplo típico da caverna da Fumaça, localizada no município de Lagarto. Esse conduto apresenta perfil e seção irregulares, com ramificação errática.

Figura 1 – Padrões planimétricos de cavernas





Fonte: Ford, 1991

Ford & Ewers (1978) propuseram um modelo espeleogenético que pode ser aplicado para interpretação das cavidades das áreas cársticas de Sergipe. De acordo com esse modelo, a densidade das juntas na rocha define o tipo de caverna gerado. Em carbonatos dobrados com pequena densidade de juntas, o fluxo tenderá a seguir as poucas zonas de descontinuidade disponíveis, adotando um perfil com *loops* profundos. À medida que a densidade de juntas aumenta, a água poderá escolher rotas de fluxo mais retilíneas, que culminam com cavernas planas que seguem o contorno do lençol freático. As cavernas de Sergipe, em sua maioria, desenvolvem-se a partir desse perfil.

Nas cavernas sergipanas encontram-se os depósitos Alóctones (sedimentos clásticos) e os depósitos autóctones (sedimentos químicos). Os sedimentos alóctones são mais comuns nas cavidades, predominando os de origem fluvial, e, principalmente, coluvionais.

Os sedimentos clásticos, existentes nas cavidades, segundo Lladó (1970) podem ser classificados em *Caos de blocos* (acumulação de material rudáceo de variados tamanhos e densidades com ou sem matriz argilosa, possuindo as vezes matriz arenosa) como se verifica nas cavernas dos municípios de Rosário do Catete e Japaratuba; *Cones de dejeção*, que ocorrem a partir do acúmulo de material rudáceo com certa seleção gravitacional – os fenoclastos maiores permanecem na parte inferior, e os menores posicionados na porção superior, como se observa com muita frequência na caverna da Fumaça no município de Lagarto; *Cones centrais*, que são depósitos de morfologia cônica, situados nos ambientes onde ocorreram abatimentos; e *Corridas de blocos*, derivados de processos de solifluxão, afetando os tipos anteriores.

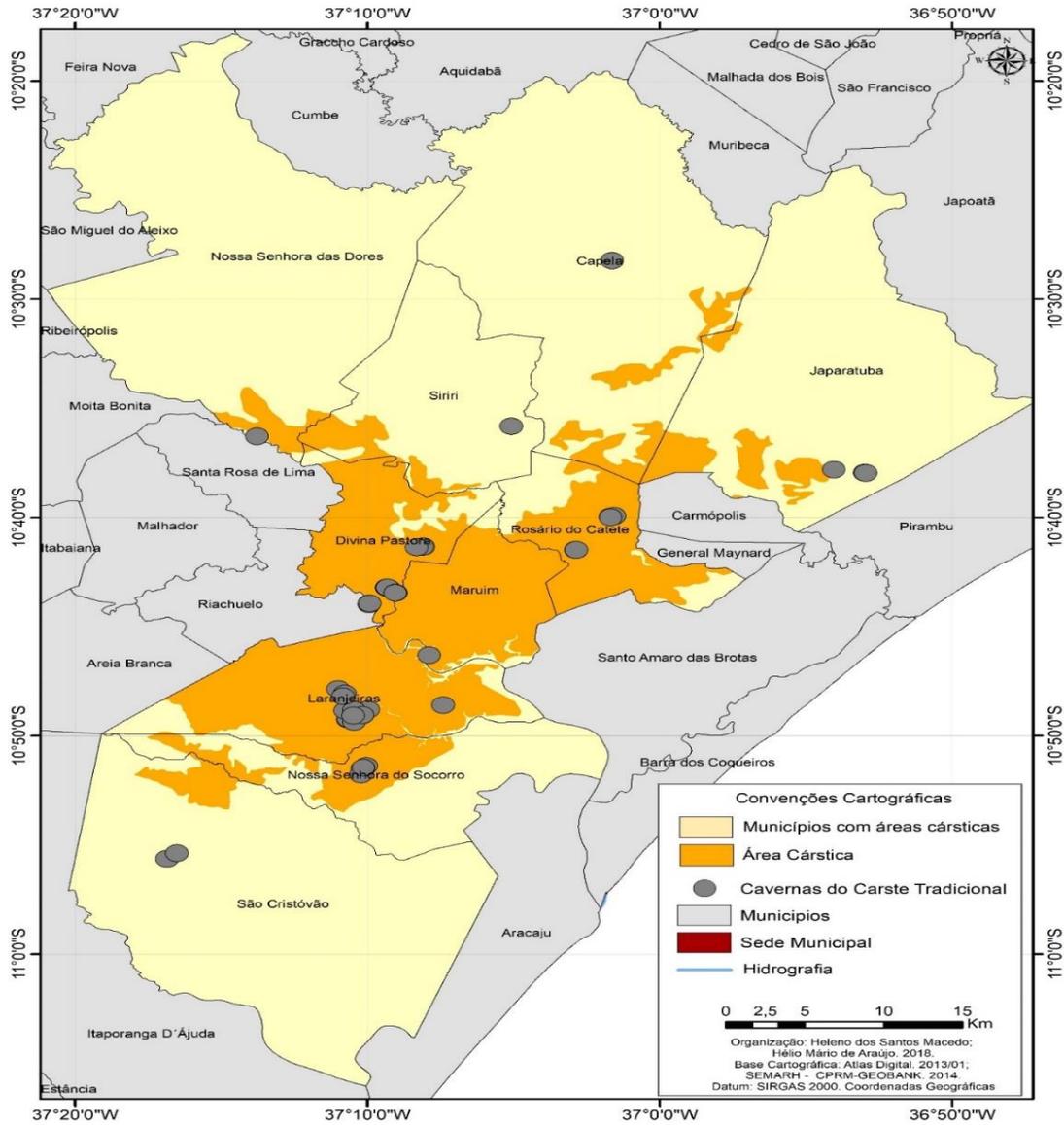
Os sedimentos de origem autóctones, são, em geral, constituídos por cristais de calcita provenientes da dissolução do calcário, quartzo, nódulos de sílex e outras partículas minerais como os grãos de areia, silte e argila.

Gênese do carste tradicional da Bacia Sergipe e Olhos D'Água/Frei Paulo

Os processos atuantes na gênese do carste no território sergipano são distintos, refletindo, não somente, as condições climáticas pretéritas do ambiente, mas o comportamento interativo de um conjunto de fatores que, na escala geológica do tempo, imprimiram respostas que justificam, nos dias atuais, uma evolução incipiente do endocarste. Nesse sentido, as investigações em campo comprovam uma evolução mais expressiva das feições endocársticas no carste Olhos D'Água/Frei Paulo, do que mesmo na Bacia Sergipe.

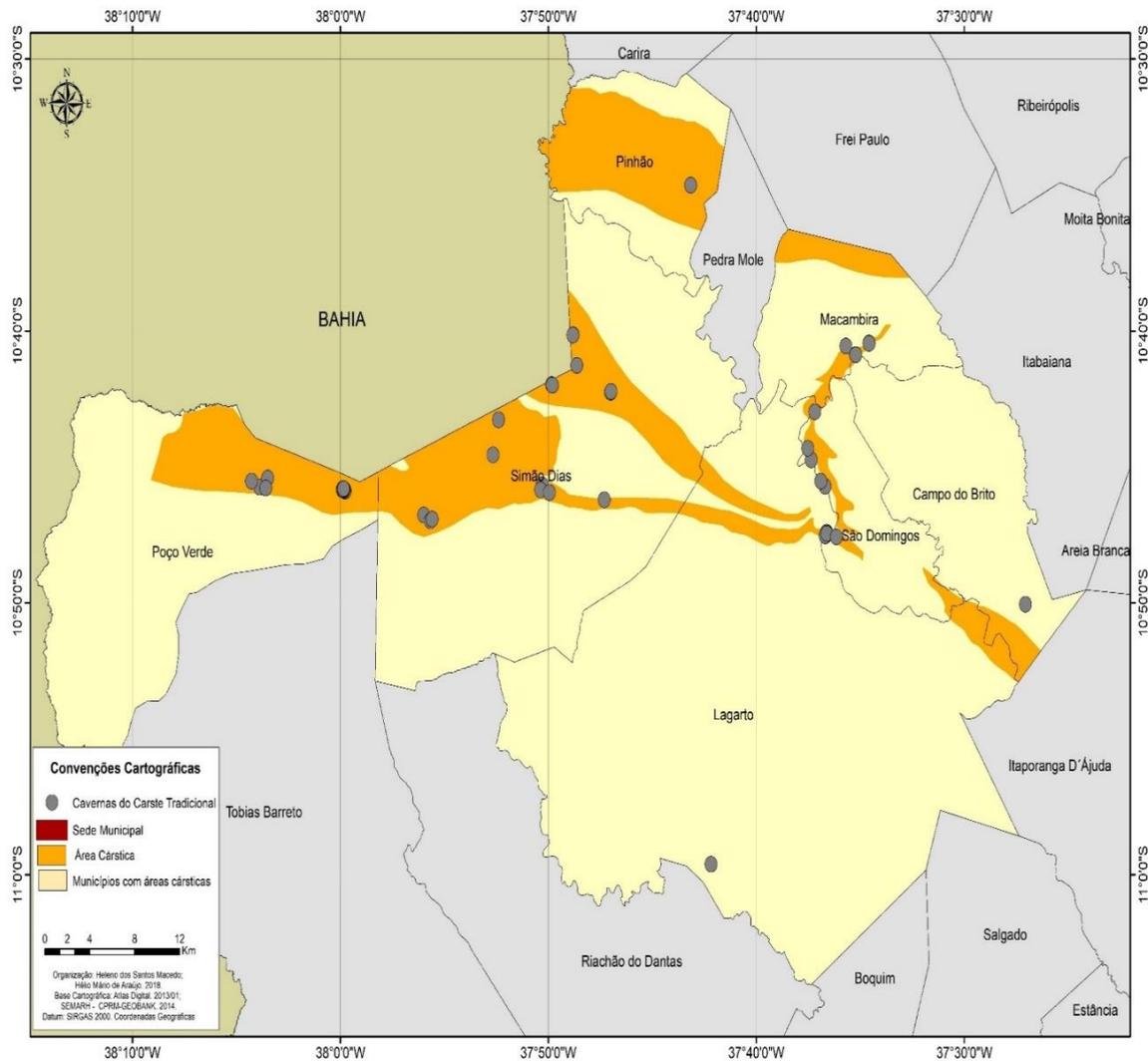
O carste da Bacia Sergipe possui 55 cavidades naturais distribuídas no espaço geográfico dos municípios de Capela, Divina Pastora, Japaratuba, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Rosário do Catete, São Cristóvão e Siriri (Mapa 2). E o carste olhos D'Água /Frei Paulo 78 cavernas localizadas nos municípios de Campo do Brito, Lagarto, Macambira, Pinhão, Poço Verde, São Domingos e Simão Dias (Mapa 3), totalizando 133 cavernas nos dois ambientes cársticos.

Mapa 2 – Cavernas do Carste Tradicional Bacia Sergipe



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Mapa 3 – Cavernas do carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2019

O estágio inicial de formação dessas cavernas ocorreu em profundidade abaixo do lençol freático, a partir de canalículo de diâmetro milimétrico que se expandiu até atingir importante estágio de transição (*Breakthrough*), com a contribuição de um fluxo d'água mais turbulento. Nas cavernas do carste da Bacia Sergipe, esse processo iniciou, possivelmente, no Neógeno durante o Pleistoceno médio, e nas do carste Olhos D'Água/Frei Paulo, no Neógeno, período Plioceno, mas o seu desenvolvimento expressivo ocorreu, principalmente, na fase de *Breakthrough* durante o Quaternário. Dessa fase em diante, as cavernas se desenvolveram mais rapidamente, até que, devido ao contínuo rebaixamento do lençol freático fosse exposta à zona vadosa.

Após esta fase de ampliação horizontal das galerias e condutos subterrâneos, a dinâmica evolutiva passou a depender, inclusive, do contexto geomorfológico. Em relevos estáveis ou associados a processos de soerguimento, em que se enquadra Sergipe, o rebaixamento dos níveis de base local expandiu a caverna, orientada por vetores gravitacionais (verticais) em ambiente vadoso (subaéreo). Há evidências de que cerca de 90% das cavernas conhecidas no mundo tenham essa origem epigênicas (Palmer, 2011), e bem assim, a maior parte das cavernas sergipanas. Esse estágio evolutivo é de suma importância para o endocarste, porque é a partir dele que se inicia o processo de formação dos espeleotemas de cimeira, parietais e pavimentarias no interior das cavernas.

Por outro lado, se o sistema cárstico se desenvolvesse em relevo deprimido, os condutos das cavidades tenderiam a ser preenchidos pelo acúmulo progressivo de sedimentos, resultando em uma circulação de águas subterrâneas progressivamente ascendentes. Essa circulação resultaria na escavação do teto das cavernas, que só cessaria se houvesse mudanças ambientais, como, por exemplo, eventos de neotectônica, interrompendo a dinâmica de acumulação sedimentar. Essa situação foi evidenciada em várias cavidades do carste da Bacia Sergipe, sobressaindo entre elas, a caverna de Pedra Branca, no município de Maruim, que apresenta formação de cúpulas em todos os tetos dos salões. As cavernas da Bacia Sergipe, possuem dimensões entre 6 a 204 metros de desenvolvimento horizontal, destacando-se no cenário cárstico a Gruta dos Aventureiros, localizada no município de Iaranjeiras com 204 metros, considerada, até então, a de maior dimensão nesse ambiente. Entre as menores está a Gruta Maria Passava com, apenas, 6 metros, atestando pouco processo evolutivo ao longo do tempo geológico. As cavidades da unidade Olhos D'Água/Frei Paulo são mais desenvolvidas em projeção horizontal, com extensão variando entre 8 a 305 metros, possuindo em suas terras, a maior caverna de Sergipe, a Toca da Raposa, com 305 metros de desenvolvimento horizontal, localizada no município de Simão Dias.

No que pese a origem das cavernas, a mensuração mostrou-se ineficiente, face a remoção do material que deu origem aos vazios pelos processos de dissolução química. Os sedimentos clásticos ou químicos que preenchem as galerias seriam, portanto, passíveis de datação. Entretanto, observou-se que as cavidades do carste sergipano, como regra, apresentam quantidade muito reduzida de sedimentação de origem química,

tendo a sua maioria passado por processos de redeposição química, não conservando mais os sedimentos químicos originais, dificultando, com isso, a adoção do procedimento de datação.

Demais disso, a sedimentação clástica existente nas cavidades, não é recomendável para se obter a idade do processo de entalhamento da caverna pelo método da datação, devido ao permanente carreamento de sedimentos dentro dos condutos das cavernas. O incipiente desenvolvimento horizontal e vertical das cavidades, contribui para uma rápida mobilização dos sedimentos sob o efeito das precipitações pluviométricas e, até mesmo, dos riachos efêmeros, não permitindo por um longo período a deposição, com a conseqüente formação de camadas que possibilitam descrever um processo evolutivo no decorrer do tempo geológico.

Em todo caso, embora as condições de semiaridez de um ambiente não sejam extremamente favoráveis para o pleno desenvolvimento do modelado cárstico, seja do ponto de vista do exocarste e/ou endocarste, há de se considerar que, ambientes comportando tais características climáticas, tem desempenhado importante papel no processo de deposição do sedimento, uma vez que, a escassez pluviométrica, típica de climas secos, onde os eventos pluviais não ocorrem com muita frequência durante o ano, contribui para que os sedimentos transportados da área fonte e depositados no ambiente de recepção, ali permaneçam por um período maior de tempo sem remoção.

Situações que tais, justificam o fato de as cavernas Toca da Raposa, Gruta da Miaba e demais cavidades do Maciço Caraíba apresentarem em sua estrutura sedimentar pacotes mais espessos constituídos por materiais clásticos e químicos. Além disso, outro fator que também contribui para a formação de camadas sedimentares nesses ambientes cársticos e em situações iguais, é o processo de verticalização dessas e outras cavidades, possibilitando o acúmulo de sedimentos ao longo do tempo geológico, e, com isso, retardando o processo de substituição por outros sedimentos mais novos.

Os depósitos químicos, ou espeleotemas, são os que ornamentam e dão beleza cênica à caverna. Compreendem centenas de formas de variados tamanhos, cor, textura, estrutura e mineralogia gerados por meio de processos de dissolução e precipitação. Podem ser classificados de diversas maneiras, sendo a mais utilizada aquela em que considera o ambiente de formação, dividida em classes, como segue: 1) depósitos de águas circulantes/gotejantes; 2) depósitos de águas estagnadas; e 3) depósitos de

exsudação. Na realidade, observa-se que a maioria dos espeleotemas é formada pela junção de mais de um destes três tipos de processos, dificultando uma classificação mais exata. Os espeleotemas ocorrem tanto no teto (forma de cimeira), como nas paredes (forma parietal) e no piso da caverna (forma pavimentaria).

Nas cavernas do carste tradicional em Sergipe, os espeleotemas mais comuns são as estalactites, estalagmites, helectites, cortinas, colunas e concreções de piso em geral, que se formam a partir do gotejamento e/ou escorrimento e precipitação de solução rica em carbonato de cálcio (figura 2).

Figura 2 – Teto da caverna Toca da Raposinha exibindo espeleotemas do tipo helectites e estalactites

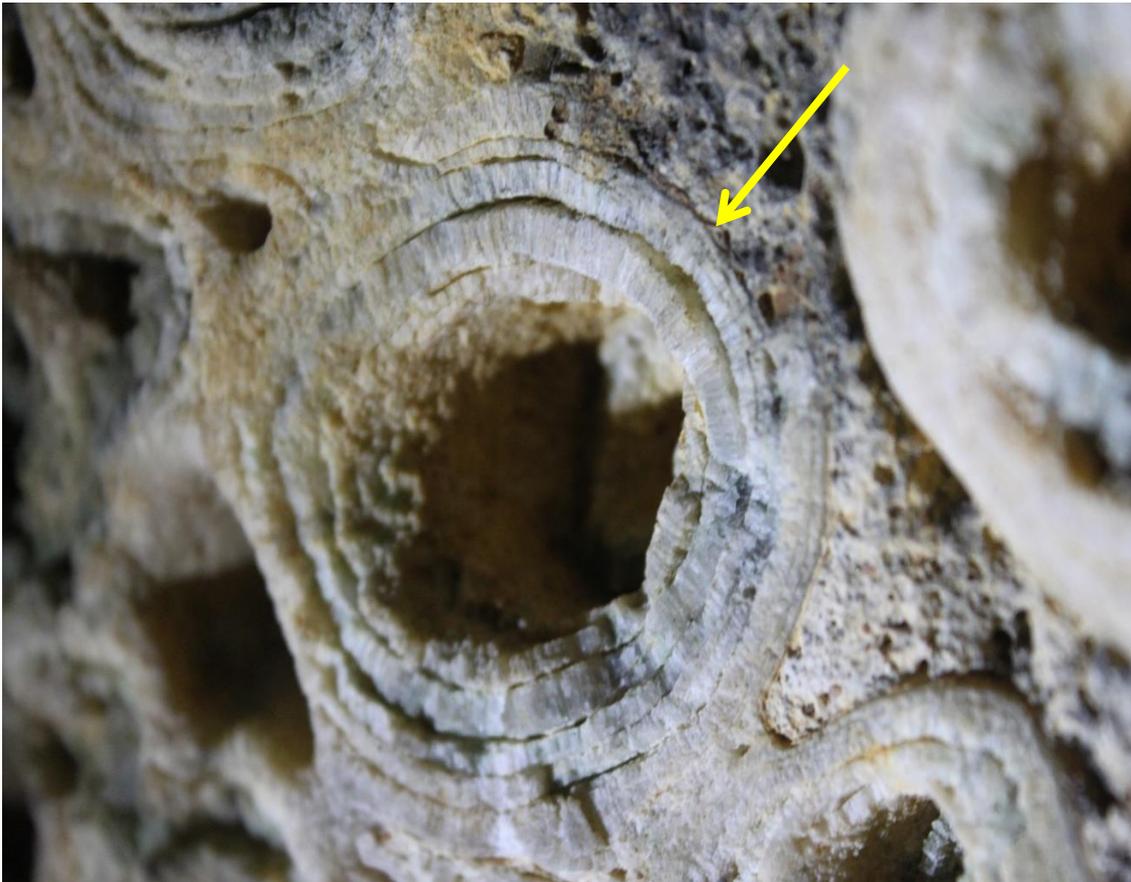


Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Na composição litológica os minerais mais comuns são a calcita CaCO_3 e a aragonita que é um polimorfo da calcita (apresenta a mesma fórmula química, porém com hábito de cristalização distinto) – Figura 3. A coloração dominante é branca, com variações associadas à presença de outros minerais em solução. A presença de ferro,

resulta em espeleotemas alaranjados a avermelhados, do manganês, em colorações variando do marrom ao preto-azulado, e os óxidos de cobre, em espeleotemas de coloração azulada.

Figura 3 – Cristais de aragonita na caverna Toca da Raposa no município de Simão Dias



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Os espeleotemas do carste da Bacia Sergipe e Olhos D'Água Frei Paulo, podem ser classificados de acordo com a velocidade, vazão da solução (f) saturação e pressão CO_2 , ou, através do processo deposicional.

Assim, com base na classificação estabelecida por Montoriol & Thomas (1953) e Eraso (1963), no ambiente cavernoso sergipano, há o predomínio do tipo fluxo (caudal) já que a maioria dos espeleotemas presentes nas cavidades são as estalactites, onde o baixo fluxo d'água faz com que as gotas da solução permaneçam muito tempo no teto da caverna propiciando o desenvolvimento desse tipo de espeleotemas. Essa é

uma importante evidência de que, no pretérito, as duas áreas cársticas foram influenciadas por condições climáticas diferentes das atuais, marcadas por períodos úmidos que possibilitaram a formação de estalagmites e períodos mais secos que contribuíram para a formação das estalactites) – Figura 4.

Figura 4 – Espeleotemas (estalactites, estalagmites e cortinas) na caverna Toca da Raposinha no município de Laranjeiras



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Quanto ao processo deposicional, as cavidades do carste sergipano podem ser classificadas a partir de depósitos de águas circulantes, onde o fluxo aquoso ocorre por gotejamento, escorrimento e turbilhonamento, formando as estalactites, estalagmites e cortinas, como também pelas águas de exsudação formadas por capilaridade, solução de percolação nos poros da rocha e vazios intersticiais, como as helectites.

No carste da Bacia Sergipe são mais comuns as estalactites, estalactite do tipo canudo de fresco, cortinas serrilhadas e do tipo bacon e os coraloides. Em três cavernas, apenas, do universo existente (Toca da Raposinha, Caverna do Urubu e do

Urubuzinho), identificou-se estalagmites. A ausência desse tipo de espeleotemas, está associada a entrada frequente de fluxo meteórico nos condutos das cavidades, levando às deposições do carbonato de cálcio, durante o processo de escoamento superficial, que se encontram sobre o piso das cavernas.

Nessa área cárstica os espeleotemas ainda se encontram em desenvolvimento, já que o processo de gotejamento e escoamento do carbonato de cálcio continua ativo. Em algumas cavernas, observou-se processos de deposição química no piso, escoamento em paredes e processos de redeposição sobre estalagmites (figura 5).

Figura 5 – Estalagmites recobertas por carbonato de cálcio na caverna Toca da Raposinha no município de Laranjeiras



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Na paisagem cárstica Olhos D'Água /Frei Paulo, os espeleotemas são mais abundantes e possuem dimensões mais expressivas. São encontradas estalactites de vários tipos, como os canudos de refresco e serrilhados, cortinas, estalagmites, colunas e turfás calcárias. A presença desses espeleotemas comportando dimensões que refletem melhor desenvolvimento no processo evolutivo, denunciam dois aspectos importantes

sobre essa área cárstica: o primeiro, é que seu processo de formação é mais antigo em relação ao carste da Bacia Sergipe e, o segundo, é que as condições climáticas pretéritas na região eram opostas às condições climáticas atuais, com maior frequência e intensidade de precipitações pluviométricas ensejando umidade climática, que sem dúvida, possibilitou a existência de uma rede de drenagem mais densa, com canais fluviais permanentes exercendo de forma contínua o entalhamento dos condutos dessas cavidades (figura 6).

Figura 6 – Colunas na Gruta da Miaba em São Domingos



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Os processos deposicionais continuam ativos, principalmente nas cavidades próximas as bordas do Domo estrutural de Itabaiana, como se constatou na caverna Casa de Pedra no povoado Ribeira, município de Campo do Brito, e Gruta do Flecheiro na Serra da Miaba, município de São Domingos. Nessas duas cavidades, a deposição química se intensificou ao longo do ano, não somente pela posição geográfica das cavidades em zona de transição climática, com variação do tipo úmido para o Subúmido, e ocorrências frequentes de chuvas orográficas ocasionadas pela presença do relevo local, mas, também, pelo baixo grau de antropização. Situação contrária ocorre

no carste da Bacia Sergipe, que está localizado em área de concentração industrial e urbana acentuando os processos de antropização (figura 7).

Figura 7 – Escorrimento de calcita na Gruta da Miaba no município de São Domingos



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

Nos ambientes cársticos, encontram-se depósitos de origem biológica (*biotemas*) formados pela ação de morcegos. O *guano* quando excretado por eles, geralmente é depositado sobre o piso ou em alguns espeleotemas. Assim, sobre o depósito dessa matéria orgânica, ocorre a precipitação do carbonato de cálcio criando uma crosta resistente formando novos espeleotemas, os quais são encontrados, principalmente, nas cavidades dos municípios de Divina Pastora, Laranjeiras e Maruim.

Os espeleotemas que resultam dessa ação bacteriológica sobre os depósitos de morcegos, são os do tipo leite de lua (*Moon-Milk*), uma pasta de cor branca que ao secar se assemelha a giz e o salitre.

Outro aspecto importante na ação biológica, é que os animais interagem na corrosão do material litológico, sendo recorrente a formação de cúpulas nos tetos das cavidades do carste da Bacia Sergipe. A respiração e excreção dos animais, acabam por

contribuir na dissolução da rocha, deixando o registro de microformas sem um formato geométrico único e estritamente definido (figura 8).

Figura 8 – Cúpulas no teto da caverna de Pedra Branca no município de Maruim



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

No processo evolutivo das cavidades, é incontestável o papel desempenhado pela erosão diferencial atacando as rochas e os seus minerais constituintes de acordo com o grau de dureza. Assim, os materiais resistentes a ação erosiva permaneceu no ambiente, enquanto os constituídos por minerais de baixa dureza, oferecendo menor resistência ao ataque erosivo, sofreram o transporte por processos de dissolução.

Vale ressaltar que, nas cavernas do carste tradicional de Sergipe, a erosão é um fenômeno ativo e tem se manifestado em graus diferenciados. A Toca da Raposa no município de Simão Dias exemplifica esse tipo de intervenção pela presença de camadas intercaladas de sílica com os carbonatos da Formação Olhos D'Água (figura 9).

Devido à ausência de fatores controladores no processo de carstificação não se encontram no carste tradicional em Sergipe espeleotemas não muito comuns e de rara

beleza cênica existentes em outras áreas no Brasil, e em diversas cavidades naturais em escala planetária, onde as condições ambientais permitiram, no processo evolutivo, um desenvolvimento pleno do modelado cárstico, como as represas de travertinos, agulhas

Figura 9 – Ação da erosão diferencial nas intercalações de sílica com os carbonatos da Formação Olhos D'Água, na caverna Toca da Raposa no município de Simão Dias



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

de aragonita e gipsita, flores de aragonita e gipsita, pérolas, vulcões, clavas, espigas, castiçais, bolhas de calcita, jangadas, cotonetes, cabelo de anjo, entre outros. Assim, dentre os fatores impeditivos para essa situação específica sergipana, estão o pouco volume de água no processo de dissolução da rocha calcária, a ausência de um epicarste desenvolvido, a baixa saturação e pressão de CO_2 .

Províncias cársticas nos municípios de Laranjeiras, Divina Pastora e Simão Dias

Na gênese das cavernas desses três municípios, deve-se considerar alguns parâmetros essenciais na formação geral das cavidades, tais como: a litologia, o grau de fraturamento das rochas e a dinâmica hidrogeológica dos ambientes.

Salienta-se que, as maiores cavidades naturais de Sergipe estão inseridas nessas três províncias, onde em mais de 50% delas realizou-se mapeamento topográfico, associado aos levantamentos bioespeleológicos, paleontológicos e arqueológicos.

Situação bastante preocupante, sob o ponto de vista da conservação desses ambientes naturais, é que são perceptíveis os impactos diretos provocados pelas diversas atividades humanas, tanto pela falta de um gerenciamento dos gestores municipais, quanto de um instrumento de base legal que estabeleça critérios normativos de uso desses recursos. Por isso, tem sido frequente a depredação de espeleotemas, o descarte de resíduos sólidos e o uso, irrestrito da população, para manifestações culturais e religiosas.

A província cárstica de Laranjeiras, até o ano de 2016 possuía 17 cavernas conhecidas, liderando o *rank* entre as demais províncias. Das cavidades existentes no cenário paisagístico municipal, sobressaem-se as grutas da Pedra Furada (considerada a mais popular do Estado), do Tramandaí, Raposa, Mariana, Janela e Mimosinha; as Tocas do Outro Lado e das Colmeias, bem como as Cavernas dos Aventureiros, Lumo e Túmulo.

As cavernas, nesse município, apresentam teto baixo com incipiente desenvolvimento horizontal e vertical, condutos estreitos e poucos salões. São cavidades que se encontram a pouco mais de 20 km da linha de costa, inseridas em terras de abrangência do sistema hidrográfico do rio Sergipe, onde alguns de seus importantes afluentes e tributários de 2ª ordem exercem papel importante de esculturação do carste.

Os espeleotemas dessas cavidades, em sua maioria, são constituídos de estalactites do tipo *canudinho de refresco* e cortinas do tipo *Bacon*. Nesta província cárstica, encontrou-se na Gruta da Raposa, apenas uma amostra de estalagmite. Nos espeleotemas, de modo geral, verificou-se o processo de redeposição de carbonato de cálcio, de abrangência expressiva, cujo recobrimento impossibilita o uso para fins de levantamentos paleoclimáticos.

A província cárstica de Divina Pastora, desenvolve-se na margem esquerda do rio Sergipe. Está constituída por 10 cavidades naturais, sendo uma delas a Caverna do Urubu, considerada a primeira documentada em Sergipe. Além dessa cavidade, outras também são encontradas como as cavernas Vassouras, Vassourinhas, urubuzinho e sobe

e Desce; as grutas da Casa Grande, do Blocão e do Rubens; e as tocas do Buraco Raso e da Centésima.

A morfometria dessas cavidades naturais, assemelha-se aos processos ocorridos nas cavidades do município de Laranjeiras, apresentando pequenas distinções nos salões que possuem melhor desenvolvimento horizontal e vertical e, condutos mais amplos. Essa melhor condição, refletida no processo evolutivo, atribui-se a altimetria do relevo e a exposição expressiva do maciço carbonático em superfície, permitindo a atuação direta dos agentes naturais na dinâmica interna das cavidades.

As cavidades se formaram através dos abatimentos de blocos, devido ao rebaixamento do nível freático. Os processos de dissolução são bem evidenciados nas cavidades, principalmente, pela presença de *Scallops* nas laterais de condutos e salões seguindo o lineamento preferencial de falhas estruturais que condicionaram tais processos. Nessas cavidades, encontram-se as estalactites, estalagmites e cortinas de vários tipos e dimensões, com vários espeleotemas parcialmente e totalmente recobertos por carbonato de cálcio e outros resíduos superficiais carregados pelo escoamento adentrados através da percolação das águas.

Nas cavernas desse município, encontram-se as principais *BatCaves* de Sergipe apresentando grupos distintos de morcegos. Pela quantidade no interior delas, a eles são atribuídos a mudança do microclima dos salões e participação na dissolução da rocha, devido a acidificação provocada por suas atividades biológicas.

Ressalta-se, finalmente que, a frequência de estalagmites nas cavidades naturais do município, sugere que as reduções do nível freático e formação da zona vadosa ocorreram em períodos anteriores, inclusive, do evidenciado no município de Laranjeiras.

A província cárstica do município de Simão Dias, constitui-se de 19 cavidades naturais, entre as quais, destacam-se as cavernas Toca da Raposa, Pórtico, Cumbe e Sacrifício, as furnas do Brinquinho, Ailton, Bié, Pau Ferro e o abismo de Simão Dias, que devido as suas estórias lendárias, tornou-se a mais popularizada feição cárstica do município.

Os carbonatos dessa província desenvolvidos no carste Olhos D'Água/Frei Paulo foram depositados no Neoproterozóico. As cavidades comportam salões e condutos

amplos, e uma diversidade de estalactites, estalagmites e cortinas decorrentes de uma morfogênese mais ativa favorecida pelas condições ambientais pretéritas.

O abismo de Simão Dias se desenvolveu a partir da linha de falha preferencial, associado ao abatimento de blocos efetivados com a redução do lençol freático, que apresenta um nível hidrostático de 54 metros em relação a entrada. Em suas paredes, são encontradas colunas em diversas dimensões e estalactites em pequenos condutos laterais nas proximidades da abertura principal do abismo (Figura 10).

Figura 10 – Abismo de Simão Dias



Fonte: Isaias Santos, 2012

A caverna Toca da Raposa com 305 metros de extensão horizontal, originou-se a partir da dissolução química, através do entalhamento realizado pelas águas subterrâneas, que seguiu o lineamento preferencial da falha principal. Os registros dos *Scallops* nas paredes laterais dessa cavidade, são os testemunhos atuais mais evidentes desse processo evolutivo (Figura 11).

É importante ressaltar que, em relação a morfogênese dessa cavidade, identificou-se no percurso interno abatimentos de blocos e paleoníveis em vários setores justificando as mudanças no nível freático/Zona vadosa ao longo da sua formação. Os principais espeleotemas são estalactites e cortinas recobertas por carbonato de cálcio e outros materiais mobilizados da superfície. Tem-se, ainda, a calcita e minerais de aragonita em algumas feições que compõem o cenário subterrâneo da caverna.

Figura 11 – *Scallops* nas paredes da caverna Toca da Raposa no município de Simão Dias, evidenciando turbilhonamento no processo de escoamento subterrâneo



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016

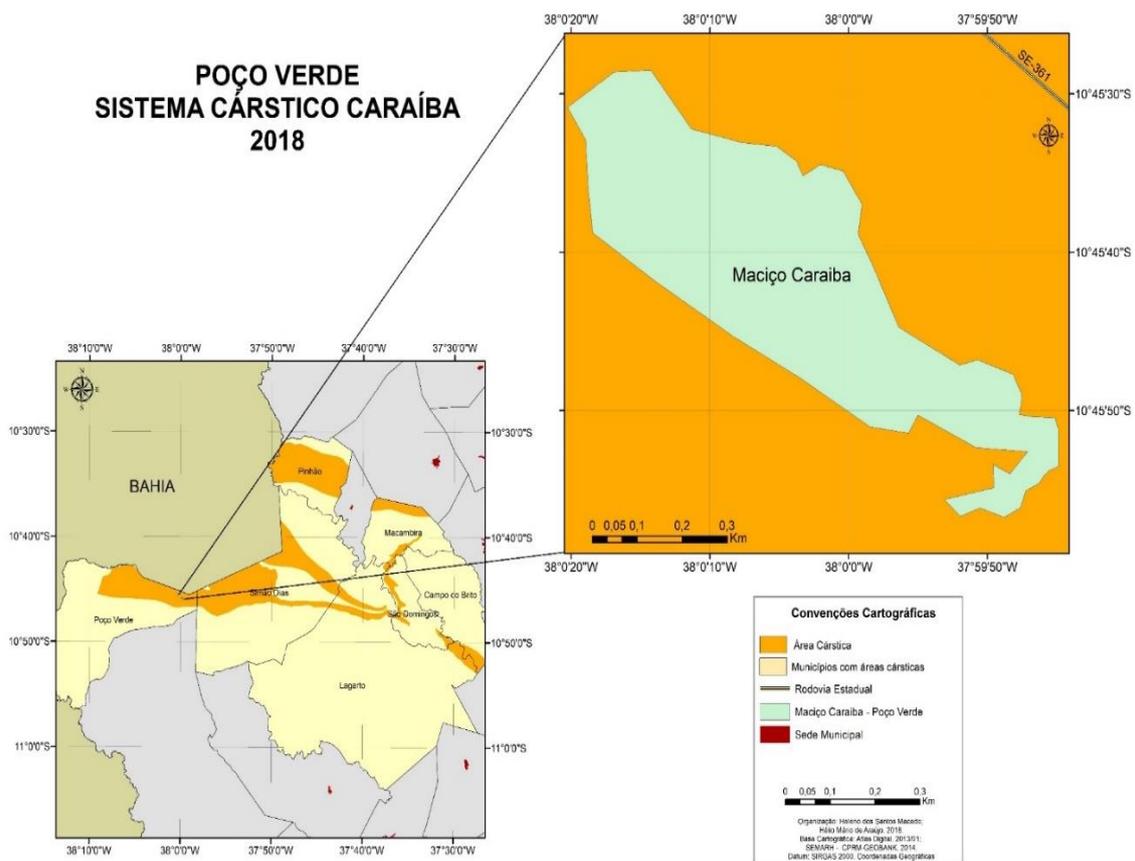
Sistema cárstico do maciço caraíba no município de Poço Verde

A maior província espeleológica de Sergipe encontra-se no município de Poço Verde na região semiárida do Estado. Em áreas territoriais desse município identificou-se 34 cavidades naturais, sendo 17 cavernas com projeção horizontal, variando

aproximadamente entre 7 a 60 metros, e 17 furnas e/ou abismos com desnível horizontal entre 8 a 15 metros (Mapa 4).

O sistema cárstico do Maciço Caraíba assenta-se no Domínio Vaza-barris na Formação Olhos D'Água. Constitui-se de carbonatos depositados no Neoproterozóico em ambiente de plataforma rasa e, retrabalhados durante os processos de *pré-rift* e *pós-rift*. Esses carbonatos são intercalados com filitos e metacherts, além de metaconglomerados e lentes de quartzito próximo ao contato com a Formação Palmares.

Mapa 4 – Sistema Cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde



Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2019

As cavernas do Sistema Caraíba, até o momento, não foram exploradas devido à presença de animais peçonhentos e colmeias que se abrigam nas entradas das grutas. A formação dessas cavernas não difere do mesmo contexto geológico do carste de Simão Dias que reflete a atuação da tectônica regional. Nesse sistema cárstico, zonas de cisalhamento rúptil foram responsáveis pelos arranjos escalonados na rocha carbonática.

As cavernas desse ambiente cárstico experimentaram processos de paragênese que podem servir de base para datação de pesquisas que visem explicar a fase inicial de entalhamento dos condutos (figura 12).

O processo de carstificação encontra-se ativo, porém, mais lento devido as condições climáticas atuais. Dentre os espeleotemas comuns em cavernas, sobressaem-se as estalactites, estalagmites, helectites, cortinas e coraloides.

Figura 12 – Sedimentos evidenciando processo de paragênese no piso da Furna dos Três Caverneiros, município de Poço Verde



Fonte: David Cardoso, 2016

Considerações Finais

O carste subterrâneo de Sergipe possui relevância para vários ecossistemas, inclusive, o humano. Dentre os serviços providos cita-se o suprimento de água através de nascentes, reservatórios e aquíferos; polinização e controle biológico, provendo abrigos para, respectivamente, espécies-chave visando a reprodução de plantas (caso

dos morcegos nectarívoros/polinívoros) e para predadores importantes de insetos, sobretudo, morcegos insetívoros; refúgio de espécies ameaçadas de extinção; recreação e cultura, por seu valor científico, estético, artístico e educacional, proporcionando oportunidades de turismo de natureza e esportes de aventura.

Do ponto de vista do uso, as cavernas possuem valor estético e econômico, à medida que sustentam atividades de turismo e outros aspectos do lazer. Tais atividades podem representar um ativo importante para a economia de vários municípios inseridos nos ambientes cársticos.

Em Sergipe, as principais ameaças as áreas do carste subterrâneo são em decorrência da exploração pelas fábricas de cimento, além da extração de blocos de calcário utilizados na construção civil de forma ilegal. O município de Laranjeiras, que tem uma das principais províncias espeleológicas do Estado, já possuiu três unidades de produção de cimento, fazendo de Sergipe um dos maiores vendedores desse produto no final da década de 1990 e primeiros anos do século XXI. Porém, o principal impacto está associado as práticas agropecuárias, com destaque para as culturas da cana-de-açúcar (no carste Bacia Sergipe), produção de milho e feijão (carste Olhos D'Água/Frei Paulo) além da pecuária extensiva.

Portanto, o endocarste sergipano necessita de ações de intervenção para garantir sua dinâmica, mitigar os impactos causados pelo uso e ocupação desordenada, levando-se em consideração a sua fragilidade natural.

Referências

- CHRISTOFOLETTI, A. Análise de sistemas em geografia. São Paulo: Hucitec, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. Karst geomorphology and hidrology. United Kingdom: Wiley, 2007.
- LOWE, D. J. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Early Modern Approach. In: KLIMCHOUK, B. A. et. al (editores). **Speleogenesis** - Evolution of Karst Aquifers. Huntsville: National Speleological Society, 2000.
- MACEDO, H. S. Ambientes Cársticos em Sergipe: vulnerabilidade e instrumentos para sua gestão. São Cristóvão, 2019. Tese doutorado (Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe.

SWEETING, M. M. Karst landforms. London: Mackmillan, 1972.

WHITE, W.B. Geomorphology and hidrology of karst terrains. New York: Oxford University Press, 1988.

WHITE, W. B. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Modern Period: 1957 to the Present. In: KLIMCHOUK, B. A. et. al. (editores). Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers. Huntsville: National Speleological Society, 2000.