

## **Instrumentos para o planejamento e gestão territorial de paisagens cársticas no Estado de Sergipe - Brasil**

### **Instruments for planning and territorial management of karst landscapes in the State of Sergipe - Brazil**

*Heleno dos Santos Macedo*

Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
helenosamac@gmail.com

*Hélio Mário de Araújo*

Departamento de Geografia  
Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
heliomarioaraujo@yahoo.com

*Antônio Jeovah de Andrade Meireles*

Departamento de Geografia  
Universidade Federal do Ceará, Brasil  
jeovahmeireles@gmail.com

*Luana Pereira Lima*

Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
lua.luana.lima@hotmail.com

#### **Resumo**

Em Sergipe, Nordeste do Brasil, o ambiente cárstico encontra-se ameaçado pelo uso e ocupação do solo que tem se intensificado de forma desordenada ao longo do tempo histórico, sobretudo nas duas primeiras décadas do atual século. Nesse sentido, a discussão aqui apresentada baseia-se na perspectiva de um planejamento ambiental que direcione as ações para uma gestão eficaz das áreas cársticas sergipanas. Para cumprimento dos objetivos, tornou-se imprescindível a revisão bibliográfica, o levantamento cartográfico e, principalmente, a realização de trabalho de campo. Os resultados mostram que as paisagens cársticas locais necessitam de ações de intervenção para garantir sua dinâmica, mitigar os impactos causados pelo uso e ocupação desordenada, considerando a fragilidade natural dos ambientes. Essa radiografia, portanto, da situação de risco, balizou a necessidade de propor dois importantes instrumentos de apoio a gestão para manter o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e o uso racional dos recursos da natureza, a saber: o Zoneamento Ambiental e a criação de Áreas de Proteção Ambiental. No zoneamento ambiental, cinco zonas foram consideradas como fundamentais: Zona de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA); Zona de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC); Zona de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC); Zona de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU) e a Zona de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI). Entretanto, para as áreas de proteção ambiental, propõe-se a criação de duas Unidades de Conservação: APA Taquari – Maruim localizada na área cárstica Bacia Sergipe, e para o carste Olhos d'água/Frei Paulo, a APA Olhos d'água.

**Palavras-chave:** Carste Tradicional; Planejamento Ambiental; Gestão territorial

**Abstract**

In Sergipe, Northeast Brazil, the karst environment is threatened by land use and occupation, which has intensified in a disorganized way throughout historical time, especially in the first two decades of the current century. In this sense, the discussion presented here is based on environmental planning that directs the actions for effective management of the karst areas in Sergipe. Therefore, bibliographic review, cartographic survey, and field work were indispensable to fulfil the objectives. The results show that the local karst landscapes need intervention actions to ensure their dynamics, mitigate the impacts caused by the disorderly use and occupation, considering the natural fragility of the environments. This X-ray, therefore, of the risk situation marked the need to propose two important management support instruments to maintain the balance between sustainable development and the rational use of nature's resources, namely: the Environmental Zoning and the creation of Environmental Protection Areas. In the environmental zoning, five zones were considered as essential: Zone of Possible Use for Farming (ZPUF); Zone of Protection of Karstic Landscapes (ZPKL); Zone of Conservation of Karstic Landscapes (ZCKL); Zone of Conservation and Urban Development (ZCUD) and the Zone of Use for Mining and Industry (ZUMI). Meanwhile, for the environmental protection areas, the creation of two Conservation Units is proposed: APA Taquari - Maruim located in the karstic area of Sergipe Basin, and for the karst Olhos d'água/Frei Paulo, the APA Olhos d'água.

**Keywords:** Traditional Karst; Environmental Planning; Territorial Management

**1. INTRODUÇÃO**

As paisagens cársticas de Sergipe possuem relevância para vários ecossistemas, inclusive, o humano. Entretanto, o aumento da ocupação desordenada de áreas cársticas no Estado, tem se configurado como um problema ambiental diante dos impactos causados durante esse processo sobre a fauna, flora, exocarste e endocarste abrangendo as águas subterrâneas. Áreas cársticas pela sua fragilidade ambiental, necessitam de boas propostas de planejamento para uma apropriação adequada, e que mitigue impactos derivados do processo de ocupação.

Nesse tipo de paisagem, devido a sua própria natureza e vulnerabilidade, devem ser observadas no processo de ocupação, os abatimentos e colapsos de cavidades naturais, percolação de efluentes através de suas rochas que apresentam porosidade secundária relativamente expressiva, além de reservas de água subterrânea utilizadas para abastecimento e desenvolvimento de atividades agropecuárias.

No estado de Sergipe, a falta de planejamento ambiental como suporte a gestão territorial em paisagens cársticas, a torna vulnerável a exploração e ao uso e ocupação indiscriminada, sem que haja as preocupações devidas para a manutenção dos ecossistemas que a compõem. Paisagens cársticas em todo mundo requerem gerenciamento específico e multidisciplinar, pois segundo Ferreira e Martins (2001), a paisagem cárstica pode ser desestruturada por alterações decorrentes de atividades

de mineração, agricultura, ocupação urbana, obras de engenharia, turismo, da captação de água subterrânea, entre outros.

Essas atividades desenvolvidas de forma desorganizada e predatória, sem critérios técnicos adequados e sem planejamento, acabam deflagrando processos que induzem os acidentes geológicos, como subsidências e colapsos de solo e rocha, além de degradarem áreas de valor espeleológico e poluírem aquíferos (VESTENA, 2002).

Portanto, pensando em ações viáveis para uma gestão eficaz das áreas cársticas sergipanas, apresenta-se aqui duas propostas de instrumentos que auxiliem no planejamento ambiental desse ambiente, a fim de subsidiar o processo de uso e ocupação, conservação e/ou proteção dos seus componentes, garantindo as gerações futuras a possibilidade de conhecer a geodiversidade do patrimônio natural existente.

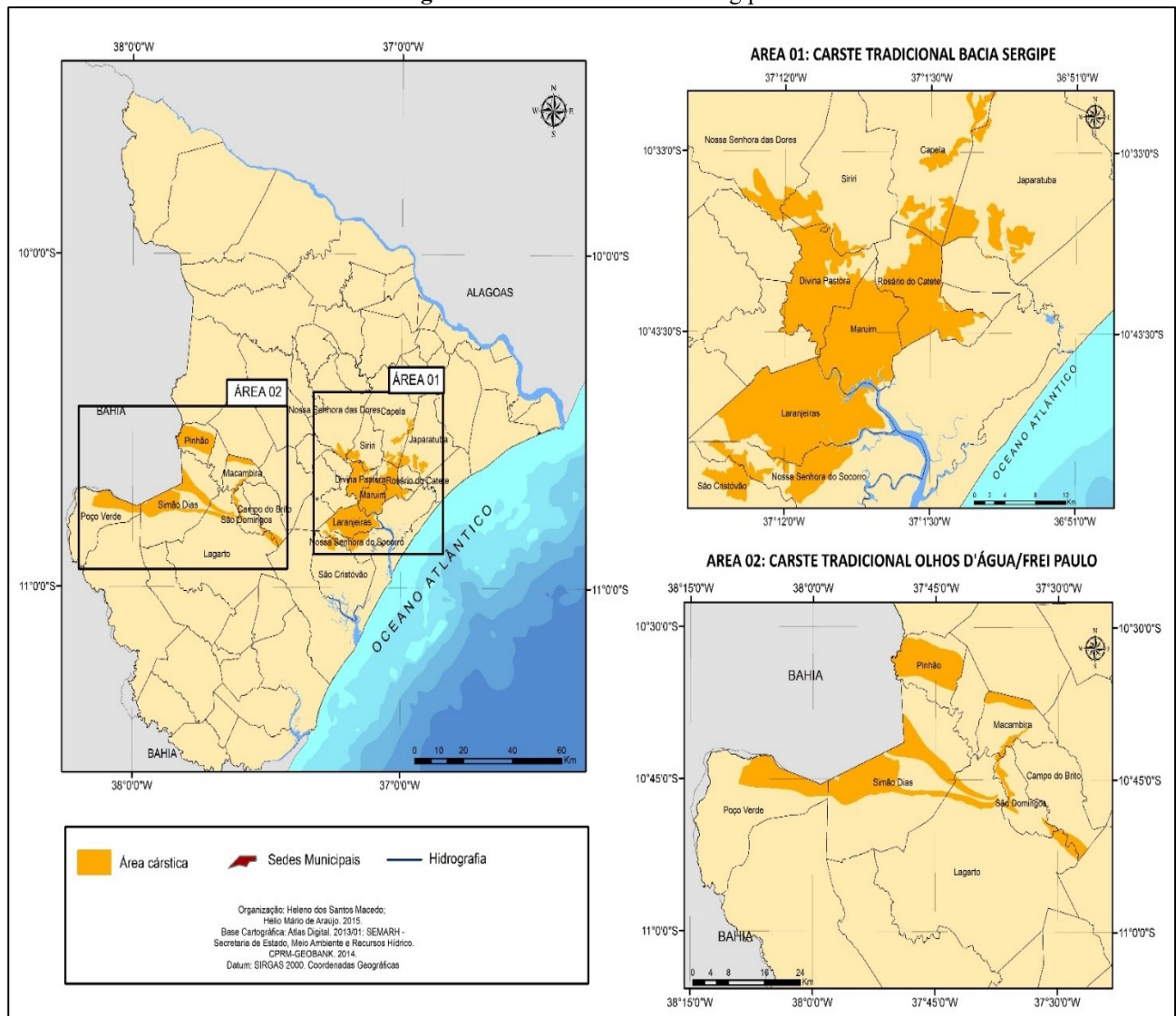
## **2. CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO ESPACIAL DA PESQUISA**

A área de abrangência dessa pesquisa corresponde a 1.453,37 Km<sup>2</sup>, equivalente a 6,63% das dimensões totais do território sergipano. Nos limites areais do carste estão localizados dezoito municípios distribuídos nas três faixas climáticas predominantes no estado de Sergipe: o litoral (Úmido), o agreste (Subúmido) e o sertão (Semiárido).

O carste tradicional está assentado sobre a Bacia Sedimentar de Sergipe, nos Grupos Sergipe e Piaçabuçu. Sobre o Grupo Sergipe encontram-se as Formações Riachuelo e Cotinguiba, e no Grupo Piaçabuçu a Formação Calumbí. Esse setor caracterizado pelos Membros Angico, Taquari, Maruim e Sapucari, está constituído litologicamente por calcário, dolomitos, calcarenitos, calcilitos, folhelhos e arenitos, em alguns casos intercalados ou níveis isolados, sendo a deposição em plataforma carbonática por leques aluviais-deltaicos ou em talude (SCHALLER, 1969; FEIJÓ, 1994).

Corresponde a maior porção do carste sergipano, com aproximadamente 651,65 km<sup>2</sup>, estando inseridos os municípios de Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Nossa Senhora das Dores, Rosário do Catete, Santa Rosa de Lima, São Cristóvão, Siriri, Capela, Divina Pastora e Japarutuba, associados aos territórios de planejamento estadual da Grande Aracaju, Leste Sergipano e do Médio Sertão Sergipano (figura 1).

Figura 1 – Áreas Cársticas de Sergipe.



Fonte: Macedo, 2019.

A paisagem cárstica nesses municípios, atualmente encontra-se bastante alterada com a substituição da cobertura vegetal primária e secundária, por práticas como pastagens, agricultura, aglomerações urbanas, extração de recursos minerais, locação da terra para implementação de distritos industriais, entre outros usos.

O carste tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo, localiza-se no Domínio Vaza-Barris, ocupando a porção centro-oeste do estado de Sergipe. Limita-se com o Domínio Estância através da falha do rio Jacaré, uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil, prolongando-se para leste até a Bacia de Sergipe, e o oeste para trechos fora do limite do Estado (CPRM, 1998). Esse domínio está constituído pelo Grupo Vaza-Barris (Formações Olhos d'Água e Palestina), Grupo Simão Dias (Formações Frei Paulo e Jacaré) e o Grupo Miaba (Formações Jacoca e Ribeirópolis).

Se caracteriza pela deposição de calcários laminados, calcário e dolomitos oolíticos, metacarbonatos (calcário e dolomito), metacarbonatos e metapelitos (com níveis de *metachert*),

metarenitos (micáceos e metassiltitos) e quartzitos depositados em ambientes de plataforma lamosa ou rasa, com eventuais condições de ambiente de intermaré, planícies de maré com tapetes algais, ambiente marinho raso, além de cunhas de clástico em ambiente tectônico instável e vulcanismo (SCHALLER, 1969; FEIJÓ, 1994).

Essa área do carste sergipano, está constituída pelos municípios de Campo do Brito, Macambira, Lagarto, Pinhão, São Domingos, Simão Dias e Poço Verde, conforme visualizados na figura 1.

### 3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS

Na definição dos instrumentos legais mais adequados para as áreas cársticas sergipanas, levou-se em consideração as inter-relações entre os sistemas físicos (presença de exocarste e endocarste, cobertura vegetal, sistemas hidrográficos, formas de relevo, solos com maior susceptibilidade aos processos erosivos, sistema de águas subterrâneas) e as intervenções impostas pelas atividades humanas (áreas urbanas, atividades agropecuária, mineração, indústria), com o intuito de nortear futuros projetos de ocupação do solo e de mitigar as áreas que possuem avançados processos de degradação ambiental. Situações que tais, apontou a necessidade da proposição de dois instrumentos que podem ser aplicados no planejamento de áreas cársticas em Sergipe: o Zoneamento Ambiental e a criação de Áreas de Proteção Ambiental.

Visando auxiliar a proposta de elaboração de um zoneamento e criação de áreas de proteção do ambiente cárstico, realizou-se um levantamento da vulnerabilidade ambiental e natural das respectivas áreas. Assim, para classificar o índice de vulnerabilidade natural e ambiental da paisagem cárstica, fez-se uma adaptação da proposta de Crepani *et.al.* (2001) e Costa *et. al.* (2006), adotando como base teórica os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece as seguintes categorias morfodinâmicas: Meios estáveis, meios intergrades e Meios fortemente instáveis.

Os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas.

A integração dos dados físicos fez-se com base no modelo utilizado por Barbosa (1997), Crepani *et al.*, (1996, 2001), Grigio (2003) e Costa *et. al.* (2006), onde o grau de vulnerabilidade determinada para cada classe foi medido através de uma escala variável de 1,0 a 3,0, com intervalo de 0,5, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (com valores próximos a 1,0), passando por situações intermediárias (com valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos erosivos modificadores das formas de relevo, morfogênese (com valores próximos de 3,0).

O conjunto dessas informações serviu para gerar e armazenar uma base de dados georreferenciados, possibilitando analisar de forma sistêmica cada elemento usado na elaboração dos mapas temáticos de vulnerabilidade natural (geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, aquíferos, solos, clima/precipitação, declividade). Tais elementos naturais foram priorizados devido a importância que possuem para o processo sistêmico de carstificação.

Assim, na elaboração dos mapas temáticos de vulnerabilidade natural e conversão para o formato *Raster*, utilizou-se o *software* ArcGis 10.2, e o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Conversion Tools, To Raster; Polygon to Raster*. Para o cruzamento dos *Rasters* aplicou-se o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Spatial Analyst Tools, Map Algebra; Raster Calculator*, utilizando os pesos a seguir como referenciais para elaboração dos referidos mapas (tabela 1).

**Tabela 1** – Pesos calculados para cada fator de vulnerabilidade natural.

FATORES						
Geologia	Geomorfologia	Cobertura Vegetal	Aquíferos	Solos	Clima/Precipitação	Declividade
3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0

**Organização:** Heleno dos Santos Macedo, 2018 - **Adaptado:** Costa *et al.*, 2006.

Os pesos foram somados e divididos pela quantidade de fatores. O resultado da média aritmética foi distribuído em cinco classes de vulnerabilidade Natural através de um conceito relativo ou lógica *Fuzzy* como mostra a tabela 2.

**Tabela 2** – Média aritmética para as classes de vulnerabilidade natural.

CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA
Muito Baixa	0,0 – 1,3
Baixa	1,4 – 1,7
Média	1,8 – 2,2
Alta	2,3 – 2,5
Muito Alta	2,6 – 3,0

**Organização:** Heleno dos Santos Macedo, 2018 - **Adaptado:** Costa *et al.*, 2006.

Na elaboração dos mapas temáticos de vulnerabilidade natural e/ou ambiental que melhor representassem as peculiaridades das áreas cársticas, aplicou-se o método de ponderação de fatores que possibilita a compensação entre os fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator. Os pesos de compensação, por sua vez, indicam a importância de qualquer fator em relação aos demais (tabela 3).

**Tabela 3** – Pesos calculados para cada fator de vulnerabilidade ambiental.

FATORES							
Geologia	Geomorfologia	Cobertura Vegetal	Aquíferos	Solos	Clima/Precipitação	Declividade	Uso do solo
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0

**Organização:** Heleno dos Santos Macedo, 2018 - **Adaptado:** Costa *et al.*, 2006.

A carta síntese de vulnerabilidade Ambiental, em sua construção, seguiu o mesmo rigor metodológico adotado para confecção dos mapas temáticos de vulnerabilidade natural, fazendo uso, inclusive, do *software* ArcGis 10.2 e do módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Conversion Tools*, *To Raster*; *Polygon to Raster*. Para o cruzamento dos *Rasters* aplicou-se o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Spatial Analyst Tools*, *Map Algebra*; *Raster Calculator*. O resultado da média aritmética foi distribuído em cinco classes de vulnerabilidade ambiental como se observa na tabela 4.

**Tabela 4** – Média aritmética para as classes de vulnerabilidade ambiental.

CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA
Muito Baixa	0,0 – 1,5
Baixa	1,6 – 1,8
Média	1,9 – 2,3
Alta	2,4 – 2,6
Muito Alta	2,7 – 3,0

**Organização:** Heleno dos Santos Macedo, 2018 - **Adaptado:** Costa *et al.*, 2006.

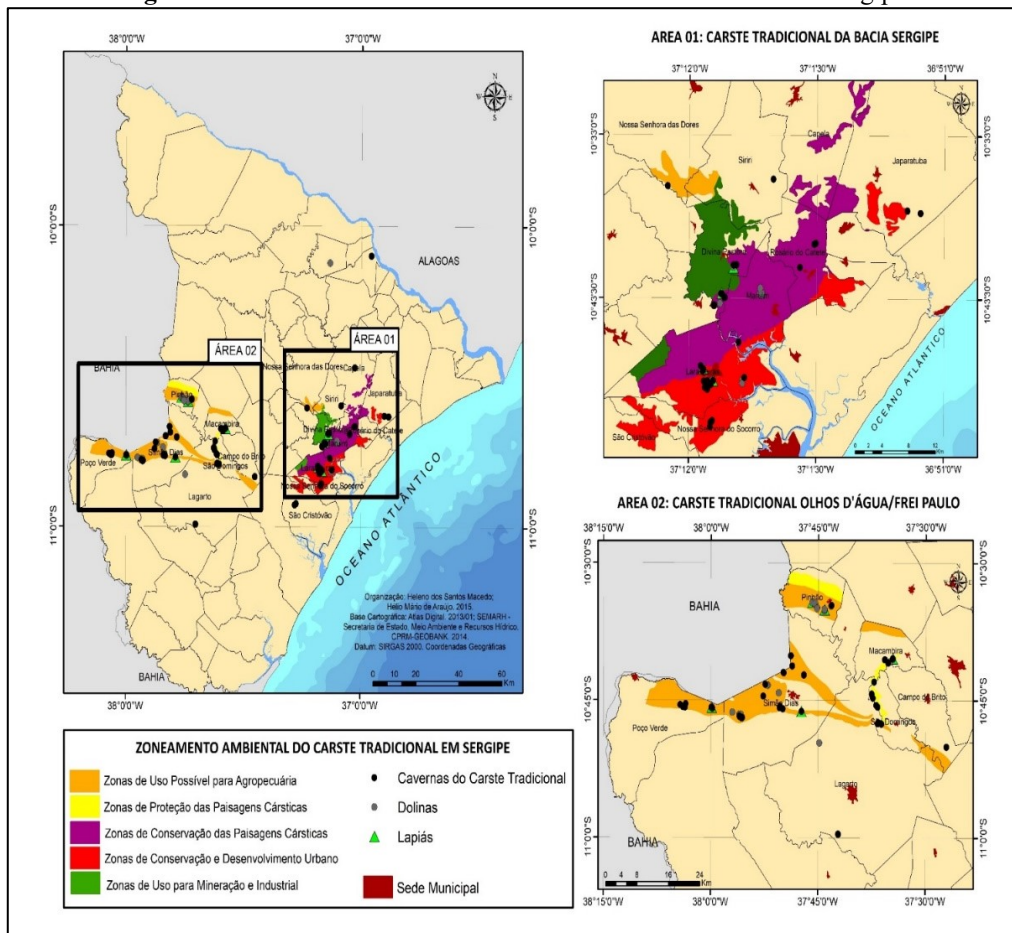
#### 4. ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CÁRSTICAS SERGIPANAS

A implementação de um Zoneamento Ecológico-Econômico associado a outros instrumentos de orientações gerais para o uso e ocupação do solo, se reveste de fundamental importância na esfera do planejamento e gestão territorial de paisagens cársticas, visto a sua possibilidade de adequação à utilização do solo, considerando as suas especificidades, garantindo, com isso, o equilíbrio na relação homem-natureza. Nesse sentido, face a situação atual de ameaça ao carste sergipano, buscou-se aqui apresentar uma proposta de Zoneamento Ambiental para o estado de Sergipe, com definição de cinco zonas abrangendo o carte da Bacia Sergipe e Olhos d'Água/Frei Paulo.

Nesse aspecto, a denominação das zonas está associada ao principal objetivo de criação de cada uma delas, tomando como base a proposta da APA Carste Lagoa Santa/MG, De Nardin (2009), Macedo (2014) e Lima (2017). Assim, para o carste tradicional de Sergipe considerou-se as seguintes zonas: a) Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA); b) Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC); c) Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC); d) Zonas de

Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU) e as Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI) – figura 2.

**Figura 2 – Zoneamento Ambiental do carste tradicional da Bacia Sergipe.**



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

### a) Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA)

Compreende uma faixa territorial de 453,5 km<sup>2</sup>, abrangendo trechos dos municípios de Nossa Senhora das Dores e Siriri, localizados no Carste Tradicional Bacia Sergipe e dos municípios de Pinhão, Poço Verde, Simão Dias, Lagarto, São Domingos, Campo do Brito e Macambira inseridos em áreas de abrangência do Carste Tradicional Olhos d'água.

São áreas que apresentam desenvolvimento de projetos agropecuários, mas, precisam de critérios para o uso a fim de evitar maiores impactos sobre as paisagens cársticas. Nessa zona, observa-se em alguns trechos, classes de solos susceptíveis aos processos erosivos que requerem formas de utilização que não agridam diretamente as suas características físicas, como a redução da mecanização de cultivos, a rotação de culturas e o excesso hídrico, merecendo por isso, um manejo adequado.



Essa Zona corresponde a porções do território onde, atualmente, obtém-se uma produtividade expressiva de grãos, principalmente o milho e o Feijão cultivados nos municípios de Simão Dias e Poço Verde (figuras 3 e 4). Nos municípios do carste Bacia Sergipe, destaca-se quanto ao uso do solo o cultivo da cana-de-açúcar e prática da pecuária leiteira.

**Figura 3** – Cultivo do milho no município de Simão Dias.



**Fonte:** Heleno dos Santos Macedo, 2016.

**Figura 4** – Cultivo do Feijão no município de Poço Verde.



**Fonte:** Heleno dos Santos Macedo, 2016.

**Para o uso permitido dessa zona se enquadra:**

- Agricultura e pecuária sob condições de manejo que propiciem baixo consumo de recursos ambientais, promovendo o desenvolvimento de tecnologias que associem alta produtividade e redução de impactos ambientais;
- Produção florestal com utilização de manejo em bases ecológicas, condicionada à recomposição florística com espécies exóticas ou nativas em pelo menos 20% da área de produção;
- Utilização dos recursos hídricos subterrâneos, de acordo com a capacidade de renovação das reservas reguladoras;
- Atividades de extração e beneficiamento mineral regularmente aprovadas pelo OAC, condicionadas à implantação de sistemas de tratamento e disposição adequada de efluentes para recuperação ambiental das áreas degradadas
- Agroindústrias de pequeno porte e de baixo potencial poluidor, complementares às atividades agropecuárias da região.

**Não são permitidos os usos para:**

- Parcelamento do solo destinado a loteamentos com finalidades urbanas;
- Agricultura e pecuária em áreas com declividades superiores a 45 %, e/ou em condições de manejo que demandem alto consumo de recursos naturais e impacto ambiental com grande interferência espacial;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob condições que impliquem risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas;
- Disposição de efluentes ou de resíduos orgânicos, de agrotóxicos ou de fertilizantes provenientes da atividade agropecuária, especialmente em dolinas, uvalas e planícies cársticas;
- Implantação e operação de indústrias de alto potencial poluidor.

**b) Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC)**

Corresponde à menor zona, totalizando 61,35 km<sup>2</sup> abrangendo trechos dos municípios de Pinhão, Macambira, Campo do Brito e São Domingos. Nessa área, encontram-se importantes feições do endocarste e do exocarste sergipano, apresentando peculiaridades que as tornam de máxima relevância no conjunto da morfologia, associadas à presença de espeleotemas únicos e de uma fauna diversificada (figura 5).

**Figura 5** – Processo ativo de deposição do carbonato de cálcio recobrimdo uma antiga cortina. Caverna Furna do Flecheiro no município de São Domingos/SE.



**Fonte:** Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Mesmo possuindo uma relevância para o carste de Sergipe, as feições morfológicas exibidas nessa unidade de paisagem são ameaçadas pelo avanço das práticas agropecuárias e da mineração clandestina, principalmente de calcário para uso na construção civil. Por isso, se faz necessário uma intervenção, para evitar avanços das atividades econômicas desprovidas de uma preocupação racional quanto ao uso dos recursos da natureza, e, nessa lógica, evitar o descarte de resíduos sólidos em dolinas, como se observa com mais frequência no município de Pinhão (figura 6).

**Para a ZPPC os usos permitidos são:**

- Reflorestamento com espécies nativas, visando ao adensamento da vegetação e recomposição florística nos entornos das áreas de vegetação natural;
- Pesquisa científica;
- Atividades agro-silvo-pastoris, em áreas cársticas com declividade inferior a 45%, e que utilizem técnicas de manejo compatíveis com os processos naturais dos ecossistemas;
- Turismo ecológico dirigido que utilize técnicas de acesso com baixo impacto sobre os ambientes a serem preservados;
- Pesca artesanal e de subsistência.

**Figura 6** – Resíduos Sólidos descartados em dolina no município de Pinhão/SE.

Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

#### **Não são permitidos para os seguintes usos:**

- Novas atividades de extração mineral em maciços que apresentem feições cársticas expressivas, sítios arqueológicos e paleontológicos;
- Criação intensiva de animais;
- Agricultura intensiva e/ou com uso de defensivos e fertilizantes tóxicos, potencialmente poluentes;
- Parcelamento do solo destinado a loteamentos, com finalidades urbanas ou áreas de recreação;
- Implantação e operação de indústrias;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob quaisquer condições;
- Disposição de efluentes ou resíduos de substâncias químicas, de agrotóxicos ou de fertilizantes tóxicos;
- Ocupação de faixas limítrofes dos mananciais, cursos d'água e lagoas, conforme normatização do Código Florestal.

#### **c) Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC)**

Essa zona ocupa parte dos municípios de Laranjeiras, Maruim, Divina Pastora, Rosário do Catete, Capela e Japaratuba perfazendo um total de 288,05 km<sup>2</sup>. Nela, encontram-se processos evidentes de formação de dolinas, lapiás, cavidades naturais com registro de uma fauna cavernícola diversificada, composta por insetos, mamíferos, répteis, anfíbios, entre outros (figura 7).

**Figura 7** – Fauna cavernícola constituída por morcegos frugívoros na Caverna de Pedra Branca, no município de Maruim/SE.



**Fonte:** Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Atualmente, nessa zona, estão assentadas as sedes dos municípios de Maruim e Rosário do Catete e, parcialmente, do município de Laranjeiras. O crescimento urbano verificado nas últimas décadas do século XX, e início do atual, tem refletido na produção de resíduos sólidos, com consequente descarte de efluentes sobre as unidades da paisagem, sem nenhum tratamento, causando impactos diretos ao desenvolvimento do sistema cárstico. Outro aspecto preocupante sob o ponto de vista da conservação, refere-se à implementação de grandes corporações extrativistas produtoras de cimento, instaladas nas últimas décadas do século XX. Essas empresas colocam as feições cársticas em condições de supressão sem que haja estudos prévios de sustentabilidade do ambiente, visando compatibilizar o desenvolvimento econômico com o estoque da natureza pré-existente.

Outro impacto evidente nessa zona e que deve ser coibido, é o processo ilegal de extração de calcário (figura 8). Embora parte das famílias sobrevivam da exploração ilegal de calcário para construção civil, verifica-se que essa prática econômica exerce uma forte pressão sobre o ambiente natural, ameaçando, sobretudo, as cavidades e sua fauna associada.

**Figura 8** – Extração clandestina de calcário no município de Laranjeiras/SE.

Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

No município de Capela, a ZCPC abrange parte da reserva Mata do Junco, importante unidade de preservação do estado de Sergipe, que ainda conserva resquícios da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira.

Por ser uma zona onde os processos de antropização já ocorrem há décadas, a proposta dessa área baseou-se na ideia de conservação das áreas cársticas remanescentes, evitando o avanço dos processos de ocupação desordenadas sobre as áreas não impactadas.

#### **São permitidos os usos para:**

- Criação animal em pastagens consorciadas, sob condições de manejo que propiciem baixo impacto ambiental, preservando-se as espécies arbóreas de médio e grande porte das formações vegetais naturais;
- Agricultura com manejo ecológico, adotando-se medidas de conservação do solo, controle biológico de pragas, restrição ao uso de biocidas, agrotóxicos e fertilizantes tóxicos;
- Produção florestal com utilização de manejo em bases ecológicas, condicionada à recomposição florística com espécies exóticas e nativas em, no mínimo, 20% da área de produção;
- Turismo ecológico condicionado à implantação de infraestrutura sanitária, preservando-se as condições ambientais locais e não induzindo à concentração populacional;

- Atividades de pesquisas técnico/científica, especialmente voltadas à biodiversidade, espeleologia, arqueologia, paleontologia, limnologia e hidrogeologia, bem como a outras de interesse científico e ambiental;
- Utilização dos recursos hídricos subterrâneos, de acordo com a capacidade de renovação das reservas reguladoras;
- Atividades de extração e beneficiamento mineral regularmente aprovadas pela Administração Estadual do Meio ambiente - ADEMA, condicionadas à implantação de sistemas de tratamento e disposição adequada de efluentes para recuperação ambiental das áreas degradadas;
- Implantação e operação de indústrias de pequeno porte e não-poluentes, complementares às atividades permitidas nesta zona.

**Não serão permitidos sobre essa zona as seguintes práticas:**

- Criação intensiva de animais, com alto impacto ambiental;
- Agricultura intensiva, com alto impacto ambiental;
- Parcelamento do solo destinado a loteamentos urbanos;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais;
- Disposição de efluentes ou resíduos químicos, de agrotóxicos ou de fertilizantes;
- Implantação e operação de indústrias com potencial poluidor.

**d) Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU)**

Essa zona ocupa áreas dos municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Iaranjeiras, Maruim, Rosário do Catete e Japarutuba abrangendo um total de 183,62 km<sup>2</sup>. Uma característica importante dessa zona é o rápido processo de urbanização e industrialização que vem ocorrendo sobre as paisagens desses municípios, sobretudo nessas duas primeiras décadas do atual século.

Com exceção de Rosário do Catete e Japarutuba, os demais municípios se encontram dentro da zona de influência do processo de metropolização de Aracaju (capital de Sergipe). Esse processo de urbanização mais acelerada seja pelo Estado e/ou pela iniciativa privada, tem refletido na expansão dos equipamentos urbanos, que são implementados nos municípios visando atender a demanda crescente de pessoas de acordo com a mobilidade. Além disso, por possuírem um preço menor do m<sup>2</sup> da terra, bem como, outras vantagens fiscais, tais municípios acabam atraindo indústrias de pequeno e médio porte, além de grandes incorporadoras que ofertam habitações para as classes de menor poder aquisitivo. São áreas com práticas econômicas nos três setores, destacando-se os setores secundário e terciário. Nessa zona, encontra-se uma das mais importantes companhias de Sergipe, a Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados - FAFEN, que devido a sucessivos prejuízos acabou sendo desativada parcialmente em 2018 (figura 9).

**Figura 9** – Unidade da FAFEN nas margens do rio Contiguiba no município de Laranjeiras/SE.

Fonte: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

#### **Para essa zona são permitidos:**

- Assentamentos urbanos, residencial, comercial e de serviços (*com médio a baixo índice de ocupação*), observadas as condições de implantação de arruamentos, obras de drenagem e controle de erosão compatíveis com as vulnerabilidades geotécnicas e hidrogeológicas dos terrenos;
- Loteamentos e conjuntos habitacionais com *alto índice* de ocupação desde que implantados em áreas com adequação geotécnica para o assentamento urbano e infraestrutura de saneamento básico;  
Disposição de efluentes ou de resíduos urbanos e/ou industriais, resíduos de agrotóxicos, de fertilizantes e outros resíduos perigosos;
- Expansão de loteamentos urbanos em áreas de alta vulnerabilidade geotécnica e de poluição dos aquíferos cársticos;
- Expansão do perímetro urbano sobre áreas de alta vulnerabilidade geotécnica ou de poluição dos aquíferos, e onde se observam conjuntos de *ocorrências ambientais*.

#### **e) Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI)**

Zona criada devido à presença de jazidas de exploração de argila, calcário e areia nas proximidades da borda dos Tabuleiros Costeiros. Essa atividade, causadora de impactos ambientais diretos nas áreas onde se estabelecem, representa uma atividade econômica tradicional nas terras vinculadas. Abrange os municípios de Laranjeiras, Divina Pastora e Siriri, ocupando uma área total de 183,62 km<sup>2</sup>.

A ação de algumas mineradoras, acabam acarretando consequências desastrosas para os sistemas cársticos, como é o caso de abatimentos de cavidades de pequeno porte para a retirada de



calcário. Nesse aspecto, essa zona visa permitir a exploração de determinados tipos de minerais no entorno de feições cársticas, sem que haja impacto direto sobre as morfologias.

#### **A ZUMI possui permissão de uso para os seguintes casos:**

- Atividades de mineração existentes (em operação), regularmente licenciadas pela Administração Estadual do Meio Ambiente - ADEMA. Além das exigências já contidas na licença ambiental, os empreendimentos deverão manter intactos sítios espeleológicos, arqueológicos ou paleontológicos que ocorrerem nas áreas de suas concessões ou nas imediações de suas lavras e responsabilizar-se por sua salvaguarda;
- Tratar e dispor adequadamente seus efluentes líquidos, sem que se configure alteração das águas subterrâneas ou superficiais; dispor estéril e rejeitos sem que haja interferência sobre o sistema de dolinas e sumidouros. Nos casos de ampliação dos empreendimentos, deverão ser realizados novos estudos de impacto ambiental;
- Utilização de áreas para tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais;
- Assentamentos urbanos já instalados em áreas inadequadas, desde que passem a ser dotados de sistemas de coleta, disposição e tratamento de efluentes sanitários, e das necessárias obras de drenagem e de contenção de taludes;

#### **Não são possíveis as práticas de:**

- Disposição de efluentes ou de resíduos urbanos e/ou industriais, resíduos de agrotóxicos, de fertilizantes e outros resíduos perigosos;
- Expansão de loteamentos urbanos em áreas de alta vulnerabilidade geotécnica e de poluição dos aquíferos cársticos;
- Expansão do perímetro urbano sobre áreas de alta vulnerabilidade geotécnica ou de poluição dos aquíferos, e onde se observam conjuntos de *ocorrências ambientais*.
- Novas atividades de extração mineral que estejam próximos a feições cársticas expressivas, sítios espeleológicos, arqueológicos e paleontológicos, reconhecidos como patrimônio cultural.

## **5. ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA O CARSTE DE SERGIPE**

O estabelecimento e o manejo de áreas protegidas são considerados importantes estratégias dos esforços globais para a proteção da biodiversidade (JENKINS & JOPPA, 2009; PRIMACK & RODRIGUES, 2006; UNEP-WCMC, 2008).

No Brasil, as áreas protegidas são contempladas pela Lei Federal 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais, e pela Lei Federal nº 9.985/00, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) com critérios e normas para a criação, implementação, gestão das Unidades de Conservação (UC) e divide as UCs em dois grupos: de proteção integral e de uso sustentável.

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) fazem parte das UCs de uso sustentável, que correspondem à categoria V da IUCN, considerada a categoria de manejo que sofre maior modificação das condições naturais, pois tem sua maior extensão territorial em propriedades privadas (PHILLIPS, 2002).

Neste contexto, as APAs merecem especial atenção devido ao alto grau de interferência por meio das atividades antrópicas nos recursos naturais, pois o que as difere das áreas não protegidas são o estabelecimento do plano de manejo e a gestão da área. Portanto, as APAs sem gestão e sem plano de manejo dificilmente cumprirão com a função de uma UC.

No tocante aos ambientes cársticos, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) instituído pela Lei nº 9.985/2000, tem por objetivo, dentre outros: proteger as paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica; proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos; proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental; favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico.

Sabe-se que, atualmente, 3.533 cavernas (34,85%) no Brasil estão localizadas em 143 áreas protegidas, sendo 66 de uso sustentável, 68 de proteção integral e 9 em terras indígenas. Restringindo-se ao âmbito federal, existem apenas 1.921 cavernas dentro de 40 unidades de conservação, distribuídas em cinco categorias do SNUC (APA, FLONA, RESEX, ESEC e PARNA), o que representa 18,95% das cavernas disponibilizadas pelo CECAV, em dezembro de 2011.

Desse total, cerca de 90% das cavidades se encontram dentro de áreas protegidas de Uso Sustentável (APA, FLONA e RESEX) enquanto 10% localiza-se em áreas de Proteção Integral (ESEC e PARNA), conforme dados do quadro 1.

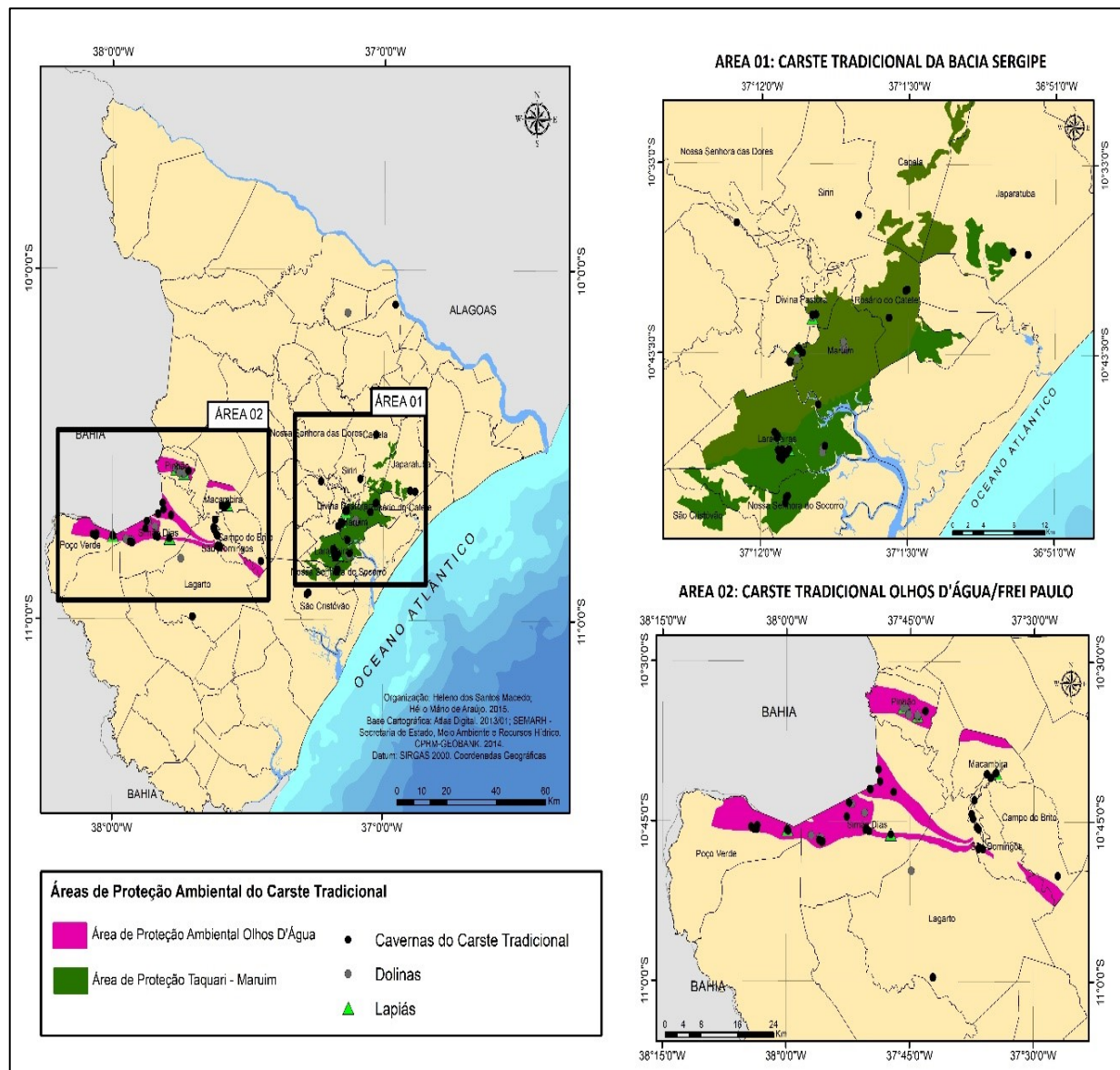
**Quadro 1** – Cavidades naturais distribuídas em Unidades de Conservação.

Categoria	Grupo	Quantidade de unidades de conservação federais com cavernas <sup>(1)</sup>	Quantidade de cavernas dentro de unidades de conservação federais <sup>(2)</sup>
Floresta Nacional (FLONA)	Uso Sustentável	3	1.054
Área de Proteção Ambiental (APA)	Uso Sustentável	11	667
Reserva Extrativista (RESEX)	Uso Sustentável	3	9
Subtotal 1 (Uso Sustentável)		17	1.730
Parque Nacional (PARNA)	Proteção Integral	19	183
Estação Ecológica (ESEC)	Proteção Integral	4	8
Subtotal 2 (Proteção Integral)		23	191
Total		40	1.921

Fonte: CECAV, 2018.

No caso de Sergipe, são propostas duas Áreas de Proteção Ambiental que tenham o carste como objeto central. Na faixa que corresponde ao carste da Bacia Sergipe, sugere-se a criação da APA Taquari – Maruim, e para o carste Olhos d’água/Frei Paulo, a APA Olhos d’água (figura 10).

**Figura 10** – Área de proteção ambiental do carste tradicional Bacia Sergipe.



Para a criação das APAs, além da presença das feições cársticas, foram levados em consideração a biodiversidade da fauna e flora, a relevância dos mananciais subterrâneos e do número de nascentes em trechos cobertos por matas secundárias, o comportamento do relevo associado aos processos erosivos e o uso do solo. A maior parte dos trechos das APAs, encontra-se em situação de média/alta vulnerabilidade ambiental devido ao uso excessivo do solo sem planejamento ao longo de décadas. Assim, a proposta de criação das APAs vem justamente mitigar esses processos, para que o

meio físico remanescente seja utilizado pelos ecossistemas que dependem desses ambientes de forma direta e/ou indireta.

A APA Taquari – Maruim, possui um território de 370,83 km<sup>2</sup> abrangendo os municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Maruim, Divina Pastora, Rosário do Catete, Capela e Japarutuba. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) se constituem em práticas comuns nesses municípios, tanto que o grau de antropização tem cada vez mais acelerado os processos de degradação ambiental na APA, prejudicando a qualidade do ar, da água, aumentando os problemas de saúde, além de impactos na fauna e flora comprometendo a realização de suas atividades em seus ecossistemas.

A APA Olhos d'água, possui um território de 423,58 km<sup>2</sup> abrangendo os municípios de São Domingos, Macambira, Campo do Brito, Pinhão, Simão Dias, Lagarto e Poço Verde. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) também se constituem em práticas comuns nos municípios, principalmente os associados às atividades agropecuárias, consideradas de maior risco, atualmente, no processo de antropização, acelerando, inclusive, a degradação ambiental no território da APA. No que pese a exploração mineral, o processo ainda é inicial na escala dos municípios, com destaque para os municípios de Poço verde e Simão Dias que se destinam a exploração do metacalcário para a produção de corretivos de uso no solo e a extração do mármore visando suprir as necessidades da construção civil.

Embora sejam necessários estudos mais completos, com diagnósticos mais precisos para a formulação das APAs, esta proposta já recomenda algumas medidas que podem ser adotadas na gestão do território, para que a APA uma vez estabelecida e regulamentada por lei, contribua na/para manutenção dos sistemas cársticos. Neste caso, são indicadas as seguintes medidas:

1. Recuperação de áreas degradadas por erosão, abatimentos ou por escorregamentos;
2. Avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas;
3. Sistema geográfico de informação e banco de dados integrando os diversos estudos e levantamentos realizados nas APAs;
4. Inventário completo dos sítios espeleológicos, arqueológicos e paleontológicos;
5. Desenvolvimento de técnicas de manejo florestal que potencializem a diversidade biológica existente;
6. Divulgação dos atributos ambientais do sistema cárstico e dos ecossistemas florestais.
7. Promoção de atividades de interesse ambiental;
8. Suporte logístico, técnico e financeiro, através de parcerias Governo/Setor Privado, para viabilizar os programas ambientais;
9. Inventário completo e banco de dados espeleológicos das APAs, em desenvolvimento pela CPRM;
10. Implantar o banco de ideias tecnológicas de manejo florestal que potencializem a diversidade biológica existente e representem atividades produtivas, perfeitamente integradas aos processos naturais do sistema cárstico; programas de mitigação e correção de incompatibilidades;

11. Banco de dados integrando os diversos estudos e levantamentos realizados para o zoneamento das APAs;
12. Banco de dados com inventário completo da biodiversidade, dos sítios arqueo-paleontológicos e constituição de banco genético de flora e fauna das APAs;
13. Dinamização da Educação Ambiental através do Centro de Referência da APAs;
14. Apoio ao programa de Educação Ambiental através do Centro de Referência;
15. Saneamento básico, controle de fossas sépticas e recuperação de áreas;
16. Divulgação das APAs, através de eventos promocionais do patrimônio arqueológico/espeleológico e cultural da região;
17. Apoio tecnológico visando orientar a extração e beneficiamento de minerais e rochas e;
18. Criar condições técnicas, financeiras e administrativas para a organização dos produtores e beneficiadores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As paisagens cársticas necessitam de ações de intervenção para garantir sua dinâmica, mitigar os impactos causados pelo uso e ocupação desordenada, levando em consideração a sua fragilidade natural. A real possibilidade de supressão das feições do exocarste e endocarste motiva a proposição de medidas que, se aplicadas, podem proteger o carste sergipano, sendo elas o Zoneamento Ambiental e a criação de Unidades de Conservação.

No geral, são áreas que já possuem práticas que envolvem a agropecuária, atividade industrial, mineração, trechos urbanos e que precisam do estabelecimento de critérios para que o desenvolvimento das atividades socioeconômicas não venha ampliar os impactos sobre as paisagens cársticas. Além disso, observa-se, portanto, nas zonas, trechos com solos susceptíveis a erosão, precisando revisão nas formas de manejo para que não agridam diretamente as propriedades físicas e de fertilização.

O grau de vulnerabilidade natural e ambiental das paisagens cársticas sergipanas foi semelhante para as duas áreas. O carste Bacia Sergipe possui 52,3% de sua área, que corresponde a 130.206, 603 ha (cento e trinta mil, duzentos e seis e seiscentos e três hectares), em situação de alta vulnerabilidade natural; e 18,2 % que corresponde a 45.310,902 ha (quarenta e cinco mil, trezentos e dez e novecentos e dois hectares) em situação de muito alta vulnerabilidade natural. Quanto a vulnerabilidade ambiental, 61,8% do carste Bacia Sergipe, que corresponde a 153.857,818 ha (cento e cinquenta e três mil, oitocentos e cinquenta sete e oitocentos e dezoito hectares), é considerado como alta vulnerabilidade e possui elevados índices de morfogênese, comprometendo, assim, o seu funcionamento.

O carste Olhos D'Água/Frei Paulo possui a maior parcela da sua área – 39,7% que corresponde a 101.522,825 ha (cento e um mil, quinhentos e vinte e dois e oitocentos e vinte e cinco hectares) – em situação de muito alta vulnerabilidade natural; e 28,5 % ou 72.881,625 ha (setenta e dois mil, oitocentos e oitenta e um e seiscentos e vinte e cinco hectares) em situação de alta

vulnerabilidade natural. Quanto a vulnerabilidade ambiental, 42,7% do carste Olhos D'Água/Frei Paulo, que corresponde a 109.194,575 ha (cento e cinquenta e três mil, oitocentos e cinquenta sete e oitocentos e dezoito hectares), é considerado como muito alta vulnerabilidade e possui elevados índices de morfogênese, comprometendo, assim, o seu funcionamento.

Por fim, torna-se necessário a preocupação com a integridade das áreas cársticas em Sergipe, tendo em vista os seus valores naturais, culturais, científicos, pois, a partir do momento que a sociedade conhece a relevância dessas áreas, entende a necessidade de conservá-las, garantindo o bom funcionamento dos ecossistemas relacionados a esses ambientes.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

BRASIL. **Código Florestal**. Lei nº 12.651, 2012.

COSTA, Fabiane Hilario dos Santos. et al. **Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas**. Revista Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, v. 2, n. 58, p. 119- 27, ago. 2006.

CPRM. **Programas levantamentos geológicos básicos do Brasil**: Mapa geológico do Estado de Sergipe, Brasília, CPRM, 1998.

CREPANI, E. et. al. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E. et. al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre.

FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências**, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-161, 1994.

FERREIRA, R.L. & MARTINS, R.P. Cavernas em risco de 'extinção'. **Ciência Hoje**, V.29, n.173, p.20-28, 2001.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco as atividades da indústria petrolífera**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

JENKINS, C. N.; JOPPA, L. Expansion of the global terrestrial protected área system. **Biological Conservation**, n. 142, p. 2166–2174, 2009.

LIMA, L. P. **Ordenamento do uso e ocupação do solo na Planície Fluviolagunar do Rio Betume e adjacências**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

MACEDO, H. S. **Ordenamento Territorial- Ambiental na Bacia Costeira Caueira/Abaís**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

PHILLIPS, A. **Management Guidelines for IUCN Category V Protected Areas Protected Landscapes/Seascapes**. IUCN, 2002.

PRIMACK, R.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Planta, 2006.

SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências**, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 21-86, 1969.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE (UNEP-WCMC). **State of the World's Protected Areas 2007: An Annual Review Of Global Conservation Progress**. Cambridge, 2008.

VESTENA, L. R. *et al.* Considerações sobre a gestão ambiental em áreas cársticas. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n. 06, p. 81-93, 2002.

Trabalho enviado em 18/07/2021

Trabalho aceito em 15/09/2021