



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

THIAGO DE ALBUQUERQUE LIMA

**GEOCONSERVAÇÃO DA FORMAÇÃO IPU: INVENTÁRIO E DIRETRIZES PARA
PROTEÇÃO DOS SÍTIOS PALEONTOLOGICOS**

**FORTALEZA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L711g Lima, Thiago de Albuquerque.

Geoconservação da Formação Ipu : inventário e diretrizes para proteção dos sítios paleontológicos / Thiago de Albuquerque Lima. – 2025.

122 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Maria Somália Sales Viana.

Coorientação: Prof. Dr. Paulo Victor de Oliveira.

1. Patrimônio paleontológico. 2. Geodiversidade. 3. Bacia Sedimentar do Parnaíba. 4. Ordenamento territorial. 5. Desenvolvimento sustentável. I. Título.

CDD 551

THIAGO DE ALBUQUERQUE LIMA

GEOCONSERVAÇÃO DA FORMAÇÃO IPU: INVENTÁRIO E DIRETRIZES PARA
PROTEÇÃO DOS SÍTIOS PALEONTOLÓGICOS

Dissertação apresentada à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Geologia do
Centro de Ciências da Universidade Federal do
Ceará, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Geologia. Área de
Concentração: Geologia Sedimentar e
Paleontologia.

Orientadora: Dra. Maria Somália Sales Viana
Coorientador: Dr. Paulo Victor de Oliveira

FORTALEZA

2025

THIAGO DE ALBUQUERQUE LIMA

GEOCONSERVAÇÃO DA FORMAÇÃO IPU: INVENTÁRIO E DIRETRIZES PARA
PROTEÇÃO DOS SÍTIOS PALEONTOLÓGICOS

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração Geologia Sedimentar e Paleontologia.

Aprovada em 31/01/2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Somália Sales Viana (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Pâmela Moura
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Ismar de Souza Carvalho
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

À Ela, que une todas as coisas, e as minhas
mães, Francisca, Maria, Lucineide, Elisabete e
Somália.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Maria Somália Sales Viana e Paulo Victor de Oliveira, gratidão pela dedicação à minha formação. Aos colegas paleontológicos, Olga Barros, Daniel Fortier e Ana Emilia Quezado, agradeço pela parceria acadêmica, troca de conhecimentos e pelas lições que moldaram minha trajetória. À Soraia Fernandes agradeço pela amizade, por compartilhar comigo sonhos ecossistêmicos em territórios de geoparques e por me ensinar que a geoconservação começa com as pessoas do local. Ao professor Elnatan Bezerra de Sousa, por me ensinar o valor das coisas pequenas.

À equipe do Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (Labopaleo-UVA), Caroline Brito, Aled Lopes, Sara Oliveira, Beatriz Fernandes, Janielly Nepumoceno e Jarbas Negreiros), obrigado por compartilharem comigo os dias e dias.

Aos amigos da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Gustavo Batista, Cauã Cunha, Gustavo Hugo Morais, Lucas Costa, Djorkaeff Fontenele, Felipe Orlando Silva, Cleverson Mesquita e Kaylo Borges, pelo suporte emocional e companhia nos momentos de descanso. Agradecimentos especiais a Thallyso Matias, por sua presença amiga nas noites escuras de Fortaleza, ouvindo o que ninguém jamais ouviu, e a Luís Ximenes, por dividir comigo a paixão, a geomorfologia, os afloramentos e inselbergs.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (PPGG/UFC): Thiago Evangelista pelo companheirismo na sala de estudos e por me ensinar a trabalhar no QGIS com paciência e dedicação, e Gabrielle de Melo, pela partilha dos desafios e companhia em eventos acadêmicos.

À minha avó Maria Ferreira, ao meu pai Edval Lima, às minhas tias Elisabete Lima e Lucineide Lima e às minhas irmãs Thaís Lima e Thayane Lima, pelo apoio em todos os âmbitos e por nunca permitirem que eu desistisse do meu sonho de seguir estudando, mesmo nos momentos de dificuldade. Aos que se fizeram família e me acolheram com generosidade durante os períodos em que precisei, dividindo comigo o pão, a casa e a vida: Lucas Duarte, Clécio e Cássio Arcanjo, Ednalva e Edinardo Silva, Fernanda “Muscovita” Sampaio, Leandro Mesquita, Cibelly e André Araújo. Agradeço especialmente àqueles que em uma quarta-feira saíram para me procurar: Alice Pires e Felipe Lopes.

Aos meus Três Mosqueteiros: Leonardo “Athos” Mathews, Giovanni “Porthos” Filili e David “D’Artagnan” Sousa, pela partilha de aventuras; de forma especial, ao Gerardo “Aramis” Ximenes, por ceder-me espaço em sua residência para que eu pudesse escrever este trabalho, pela gentileza, irmandade, paciência e corregulação emocional. Aos Solícitos:

Otaviano Costa, Rayssa Melo, Bárbara Melo e Crispim Melo, por tornarem a vida mais leve e aleatória. A João Vitor Souza, pela amizade incondicional e, ironicamente, por desacreditar de mim.

Ao inestimável e insubstituível Maranguape Pereira, pela amizade, companheirismo e incentivo, tanto nos trabalhos de campo quanto de gabinete, sempre me motivando a continuar. A Ederson Silva, por me acompanhar em viagens de campo não programadas. À minha irmã de outra família, Thaís Wellen, por me incentivar a continuar os meus trabalhos acadêmicos e ser bússola nos momentos em que me perco.

À UVA, minha primeira casa acadêmica, especialmente ao Curso de Ciências Biológicas, na pessoa do atual coordenador, Timbó Braga, pelo acolhimento durante o mestrado e pela autorização para o uso do Labopaleo como espaço de pesquisa; aos professores do curso, pelo apoio imprescindível na realização dos meus trabalhos de campo ao me incluírem na logística de campo de suas disciplinas. Ao Geoparque Araripe, especialmente à Pedrina França, pela acolhida, Idalécio de Freitas e Rafael Celestino, por me ajudarem a enxergar o território e além dele. Ao Laboratório de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri (LPU-URCA), por me abrigarem nas tardes escaldantes quando estive no Crato pesquisando geossítios.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFC e ao Departamento de Geologia, na pessoa da sempre solícita coordenadora Cynthia Duarte, pelo ambiente de valorização do trabalho dos pós-graduandos, pela estrutura de apoio aos estudantes e pelas ajudas de custo para participação em eventos científicos. À Prefeitura Municipal de Pacujá - CE, pela parceria e apoio logístico na realização de trabalhos de campo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos aqueles que, de alguma forma, estiveram comigo ao longo do Caminho, apontaram a Verdade e compartilharam comigo a Vida no ordinário dos dias, meu sincero agradecimento. Ao irmão Sol, à irmã Lua, a todos os dobradores de terra, lufanos e geocientistas, que me inspiraram a buscar conexões mais profundas com o mundo ao meu redor. A todos aqueles que, *in situ* ou *ex situ*, torceram e continuarão a torcer por mim durante essa jornada, minha eterna gratidão!

Saudações paleontológicas!

Por improvável não conta o que tu sentes, José? O que te salva da vida é a vida mesma, ó José, e o que sobre ela está escrito a rogo de tua fé: “No meio do caminho tinha uma pedra”, “Tu és pedra e sobre esta pedra”. A pedra, ó José, a pedra. Resiste, ó José. Deita, José, dorme com tua mulher, gira a aldraba de ferro pesadíssima. O reino do céu é semelhante a um homem como você, José. (PRADO, Adélia. Bagagem (2a edição). Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1979)

RESUMO

Os sítios paleontológicos da Formação Ipu, pertencente ao Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, possuem alta relevância científica e educacional, mas estão ameaçados pela degradação antrópica, ausência de políticas de conservação e falta de reconhecimento por parte das comunidades locais e gestores públicos. Este estudo realizou o inventário desses sítios com o objetivo de propor estratégias de geoconservação que promovam sua proteção e valorização, articulando a preservação do patrimônio paleontológico com o desenvolvimento sustentável. Para isso, foram realizadas revisão bibliográfica, análise de mapas geológicos e identificação preliminar de sítios fossilíferos. Em seguida, os sítios foram caracterizados em campo por meio de georreferenciamento, descrição geológica, análise de vulnerabilidades e registro das condições de conservação. A avaliação quantitativa utilizou a plataforma GEOSSIT para determinar o valor científico, o risco de degradação e o potencial educativo e turístico. Foram inventariados nove sítios distribuídos em quatro municípios do noroeste do Ceará, sendo os sítios Zipu e Contra Fogo, em Pacujá, os de maior relevância científica e educacional, mas também os mais vulneráveis. Como resposta às ameaças identificadas, foram propostas diretrizes específicas de geoconservação para Pacujá, incluindo a integração entre ordenamento territorial, educação ambiental e geoturismo, com a capacitação de mão de obra local, a criação de uma associação de condutores de turismo e o estabelecimento de parcerias com escolas e universidades. Sugere-se que essas diretrizes sejam replicadas em outros municípios da área de estudo, ampliando os impactos positivos da geoconservação na região. Conclui-se que a integração da geoconservação ao ordenamento territorial é essencial para a preservação dos sítios paleontológicos, sua valorização científica, cultural e econômica e o fortalecimento das comunidades locais.

Palavras-chave: Patrimônio paleontológico; geodiversidade; Bacia do Parnaíba; ordenamento territorial; desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The paleontological sites of the Ipu Formation, part of the Serra Grande Group of the Parnaíba Basin, hold high scientific and educational relevance but face threats from anthropogenic degradation, lack of conservation policies, and limited recognition by local communities and public administrators. This study conducted an inventory of these sites to propose geoconservation strategies aimed at their protection and valorization, integrating paleontological heritage preservation with sustainable development. A bibliographic review, geological map analysis, and preliminary fossil site identification were carried out. The sites were then characterized in the field through georeferencing, geological description, vulnerability analysis, and conservation status assessment. A quantitative evaluation was performed using the GEOSSIT platform to determine scientific value, degradation risk, and educational and touristic potential. Nine sites were inventoried across four municipalities in northwestern Ceará, with the Zipu and Contra Fogo sites in Pacujá standing out due to their high scientific and educational relevance but also their vulnerability. In response to the identified threats, specific geoconservation guidelines were proposed for Pacujá, including the integration of territorial planning, environmental education, and geotourism. These initiatives involve training local tour guides, creating a tour guide association, and establishing partnerships with schools and universities. It is suggested that these guidelines be replicated in other municipalities within the study area to expand the positive impacts of geoconservation. The study concludes that integrating geoconservation into territorial planning is essential for preserving paleontological sites, enhancing their scientific, cultural, and economic value, and strengthening local communities.

Keywords: Paleontological heritage; geodiversity; Parnaíba Basin; territorial planning; sustainable development.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
1.2	Contextualização da área de estudo	15
1.2.1	<i>Aspectos geológicos</i>	16
1.2.2	<i>Aspectos geomorfológicos</i>	19
1.2.3	<i>Aspectos edafoclimáticos</i>	22
1.2.4	<i>Aspectos paleontológicos</i>	23
1.2.5	<i>Aspectos socioeconômicos</i>	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	Marcos históricos	28
2.2	Geodiversidade	29
2.3	Métodos de avaliação da geodiversidade	30
2.4	Valores da geodiversidade	31
2.5	Patrimônio paleontológico	32
2.5.1	<i>Critérios de classificação</i>	33
2.5.2	<i>Desafios e oportunidades</i>	33
2.6	Geoconservação	34
2.6.1	<i>Marcos institucionais da geoconservação no Brasil</i>	35
2.6.2	<i>Estratégias e métodos de geoconservação</i>	36
2.6.3	<i>O método GEOSSIT e sua relevância no Brasil</i>	36
2.7	Ordenamento territorial	37
2.7.1	<i>Plano de Recuperação de Áreas Degradas (PRAD)</i>	39
2.7.2	<i>Estratégias do PRAD no contexto paleontológico</i>	40
2.7.3	<i>Complementaridade entre o PRAD e o ordenamento territorial</i>	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Etapas pré-campo	42
3.1.1	<i>Revisão Bibliográfica</i>	42
3.1.2	<i>Analise cartográfica e geoespacial</i>	43

3.1.3 Consulta a especialistas.....	43
3.1.4 Lista de potenciais sítios paleontológicos.....	43
3.2 Etapa de campo.....	43
3.2.1 Inventário de sítios paleontológicos.....	44
3.3 Etapas pós-campo.....	44
3.3.1 Organização e análise dos dados.....	44
3.3.2 Avaliação qualitativa.....	44
3.3.3 Avaliação quantitativa.....	45
3.3.4 Enquadramento legal.....	47
3.3.5 Revisão bibliográfica e materiais consultados.....	48
4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS SÍTIOS PALEONTOLOGICOS DA FORMAÇÃO IPU, SILURIANO DA BACIA DO Parnaíba, NOROESTE DO CEARÁ.....	49
5 PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (PRAD): COMUNIDADE ZIPU, PACUJÁ-CE.....	78
6 DIRETRIZES PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO PALEONTOLOGICO DE ZIPU E CONTRA-FOGO, PACUJÁ, CEARÁ.....	99
6.1 Estratégias de geoconservação.....	101
6.2 Diagnóstico dos sítios paleontológicos.....	102
6.2.1 Sítio paleontológico de Zipu.....	102
6.2.2 Sítio paleontológico da Fazenda Contra-Fogo.....	103
6.3 Propostas gerais de proteção e valorização.....	106
6.3.1 Cercamento e monitoramento.....	106
6.3.2 Parcerias e formação.....	107
6.3.3 Sinalização e educação ambiental.....	107
6.3.4 Valorização científica.....	107
6.3.5 Divulgação turística.....	107
6.3.6 Programas educativos e geoturismo.....	107
6.4 Exemplo aplicado: Zipu e Contra-Fogo.....	108

<i>6.4.1 Caracterização dos sítios</i>	108
<i>6.4.2 Propostas de ação</i>	109
6.5 Diretrizes gerais para o ordenamento territorial	111
<i>6.5.1 Integração com políticas públicas</i>	111
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS	115

1 INTRODUÇÃO

A geoconservação, como área de estudo e prática, dedica-se à proteção dos elementos naturais que compõem a geodiversidade, promovendo a conservação de formações geológicas, minerais, solos e fósseis. Esses elementos são fundamentais para a compreensão da história da Terra e dos processos naturais que moldaram o planeta. Além de assegurar o acesso ao conhecimento científico, a geoconservação valoriza a geodiversidade como um recurso natural, cultural e educacional, destacando sua importância tanto para a pesquisa científica quanto para o desenvolvimento sustentável (Brilha, 2005; Henriques *et al.*, 2011; Carcavilla, 2012).

O Patrimônio Paleontológico ocupa um lugar especial dentro da geoconservação, pois abriga registros de organismos e ecossistemas antigos, fornecendo dados valiosos sobre a evolução da vida e dos ambientes da Terra. Esse patrimônio pode ser classificado de diversas formas, dependendo de suas características e do contexto de preservação. Ele é considerado Patrimônio Geológico quando seus elementos contribuem para a compreensão da história geológica, Patrimônio Natural quando sua relevância está associada à conservação dos ecossistemas atuais, aos serviços ecossistêmicos, à beleza cênica e ao potencial educativo e turístico, e Patrimônio Cultural quando possui forte vínculo com a identidade e a memória de uma comunidade.

Nos últimos anos, o debate sobre a natureza dos fósseis e sua relação com a geoconservação tem se intensificado. A tradicional visão que classifica todos os fósseis como patrimônio intocável vem sendo contestada por pesquisadores que argumentam que esses bens também podem ser compreendidos dentro da lógica de Patrimônio Mineral, especialmente quando estão inseridos na matriz de rochas exploradas comercialmente (Kuhn *et al.*, 2024; Carvalho e Leonardi, 2022; FEBRAGEO, 2023).

Diante desse cenário, estratégias de geoconservação devem equilibrar a preservação do patrimônio paleontológico com a conscientização sobre seu potencial econômico, educativo e turístico. Dessa forma, reforça-se sua relevância tanto para a ciência quanto para o desenvolvimento sustentável (Brilha, 2016; Gray, 2013; Henriques *et al.*, 2011).

Além de sua importância científica, o patrimônio paleontológico pode ser interpretado dentro de uma perspectiva cultural, uma vez que fósseis e sítios paleontológicos não são considerados patrimônio cultural em sentido estrito pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). No entanto, em determinadas circunstâncias, podem ser classificados dessa forma quando associados à identidade cultural de uma população, como

ocorre em locais de celebração ou em práticas culturais locais (IPHAN, 2019). Assim, a preservação do Patrimônio Paleontológico não se limita apenas ao avanço científico, permitindo a continuidade dos estudos sobre a biodiversidade pretérita e os paleoambientes, mas também desempenha um papel crucial no fortalecimento da identidade regional. Além disso, a valorização desse patrimônio pode servir como uma ferramenta poderosa para a educação ambiental e a conscientização pública, promovendo a integração entre ciência e sociedade e incentivando o desenvolvimento de iniciativas de geoturismo e turismo de base comunitária (Viana, 2018; Decreto-Lei 4.146, 1942; Constituição Federal, Artigo 216, 1988).

A valorização do patrimônio paleontológico envolve também uma discussão sobre seu valor econômico e funcional. Muitas vezes, os fósseis são vistos como materiais sem utilidade prática, o que compromete sua proteção e dificulta a implementação de políticas eficazes de geoconservação (Prosser *et al.*, 2018; Gray, 2013). Além disso, a degradação do patrimônio geológico pode acarretar perdas irreversíveis em serviços ecossistêmicos, como a retenção de água em aquíferos e a estabilidade de encostas (Brilha *et al.*, 2018).

A Formação Ipu, pertencente ao Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, representa um caso emblemático dentro dessa problemática. Datada do Siluriano, essa unidade sedimentar registra antigos ecossistemas marinhos preservados em afloramentos fossilíferos distribuídos no noroeste do Ceará. Estudos anteriores destacam a riqueza paleontológica da formação, caracterizada por icnofósseis e moldes de invertebrados marinhos que fornecem evidências da dinâmica paleoambiental da região (Viana *et al.*, 2010; Barroso, 2016). Contudo, esses sítios enfrentam ameaças crescentes de degradação, seja por erosão natural, seja por impacto antrópico, como expansão urbana e atividades agrícolas (Lima, Viana & Oliveira, 2024).

Neste contexto, inventários geológicos e paleontológicos desempenham um papel fundamental na identificação, caracterização e valoração de sítios fossilíferos, constituindo a base para ações efetivas de conservação e ordenamento territorial (Brilha, 2016; Prosser *et al.*, 2018). O presente estudo busca, portanto, suprir uma lacuna na documentação dos sítios paleontológicos da Formação Ipu, estabelecendo um inventário detalhado e propondo diretrizes de geoconservação que possam integrar ciência, gestão do território e desenvolvimento sustentável.

Diferente de abordagens convencionais da Paleontologia e da Geologia Sedimentar, este estudo se insere na linha do Patrimônio Geológico, focando na caracterização, valoração e preservação de sítios de interesse paleontológico. A metodologia adotada envolve a identificação e análise detalhada dos sítios, sua avaliação quantitativa por meio da plataforma

GEOSSIT e a formulação de estratégias de conservação alinhadas às diretrizes internacionais de geoconservação. Além disso, o trabalho propõe a integração dos sítios paleontológicos ao planejamento territorial e ao geoturismo, considerando seu potencial educativo e econômico para as comunidades locais (Pereira *et al.*, 2016; Viana & Carvalho, 2019).

Por fim, esta pesquisa visa contribuir para a consolidação do patrimônio paleontológico como um recurso estratégico, promovendo não apenas sua preservação científica, mas também seu reconhecimento como ativo cultural e econômico. Espera-se que as diretrizes elaboradas possam subsidiar ações futuras de gestão do território e servir de modelo para a conservação de outros sítios fossilíferos no Brasil.

1.1 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo geral inventariar os sítios paleontológicos da Formação Ipu, localizados na região da borda da Ibiapaba Setentrional, visando à elaboração de estratégias de geoconservação voltadas à proteção do patrimônio paleontológico local. O estudo busca fornecer subsídios para a aplicação de políticas públicas de ordenamento territorial e conservação, integrando os sítios paleontológicos ao contexto social, cultural e econômico da região. Para alcançar esses propósitos, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a. Identificar sítios paleontológicos da Formação Ipu, analisando suas características geológicas e paleontológicas.
- b. Inventariar os sítios paleontológicos selecionados, registrando suas coordenadas geográficas, atributos geológicos e estado de conservação.
- c. Avaliar quantitativamente os sítios paleontológicos, considerando o valor científico, o risco de degradação e o potencial de uso educativo e turístico, utilizando metodologias consolidadas na área de geoconservação;
- d. Caracterizar o território da área de estudo com base em seu patrimônio paleontológico, de forma a selecionar uma área-piloto representativa para a implementação de estratégias de geoconservação;
- e. Propor diretrizes para a conservação da área-piloto, considerando a proteção dos sítios paleontológicos e sua integração com o contexto regional.

1.2 Contextualização da área de estudo

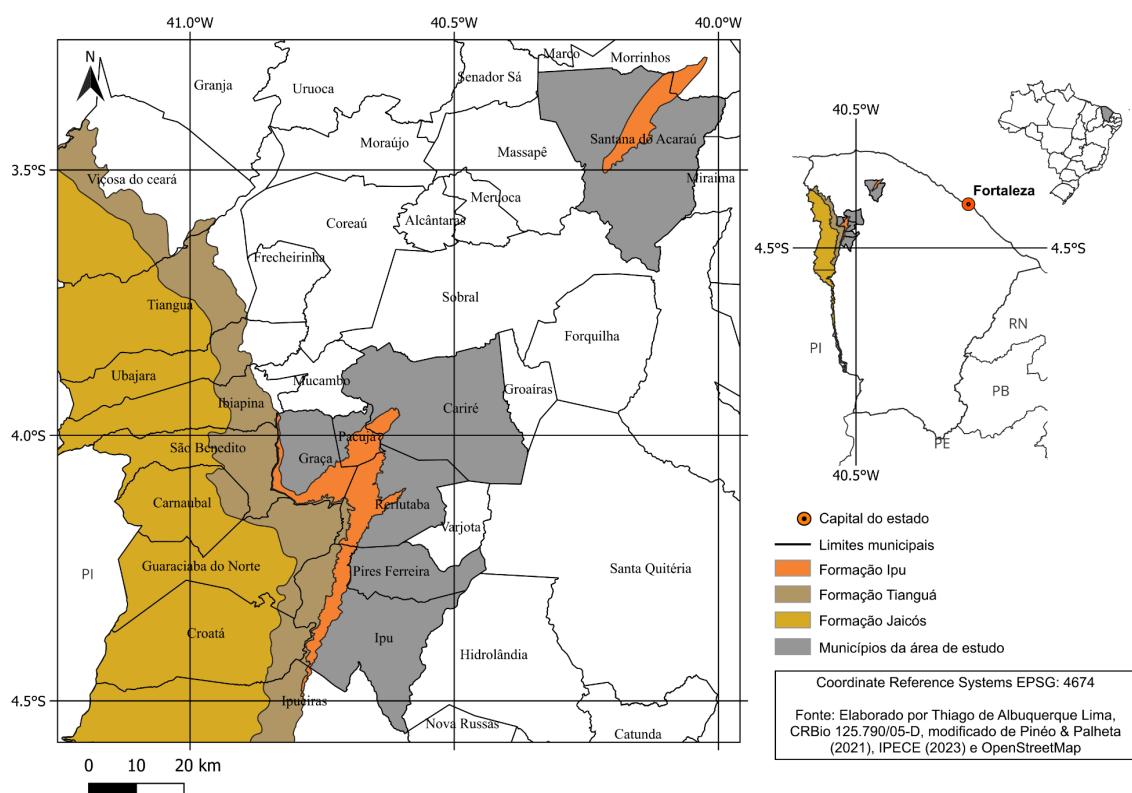
O Grupo Serra Grande é uma unidade geológica composta por formações sedimentares que integram a Bacia do Parnaíba, situada no nordeste do Brasil. Este grupo é dividido em três formações principais, dispostas de forma ascendente: Formação Ipu, Formação Tianguá e Formação Jaicós (Vaz *et al.*, 2007). A Formação Ipu, localizada na base do Grupo Serra Grande, apresenta espessura variável e é caracterizada por depósitos de conglomerados, arenitos e argilitos que indicam um ambiente de sedimentação predominantemente fluvial e deltaico, com influência de águas marinhas rasas (Caputo, 1984; Góes e Feijó, 1994). Sua evolução geológica remonta ao período Siluriano, sendo marcada por ciclos de deposição que resultaram em rochas sedimentares ricas em fósseis de invertebrados marinhos e icnofósseis, que evidenciam condições paleoambientais complexas e variadas (Viana, 2018; Barroso *et al.*, 2025).

A área de estudo foi delimitada como a "borda da Ibiapaba Setentrional" (Figura 1), concentrando a pesquisa em uma porção estratégica da Serra da Ibiapaba. De acordo com Claudino-Sales (2020), o Planalto da Ibiapaba é dividido em dois segmentos: Serra da Ibiapaba, no setor setentrional, e Serra Grande, no setor meridional. No entanto, os limites precisos dessas divisões não são claramente definidos por autores como Moura-Fé (2017) e Claudino-Sales (2020). Claudino-Sales, por exemplo, sugere que os *glints* de tipo 2 (detalhados na seção Aspectos geomorfológicos) estão presentes apenas nas porções central e meridional da serra, mas classifica o município de Ipu como parte da Serra da Ibiapaba.

Considerando essas ambiguidades e os objetivos da pesquisa, esta dissertação define como área de estudo os municípios localizados na borda da Ibiapaba Setentrional que possuem afloramentos da Formação Ipu: Graça, Pacujá, Cariré, Reriutaba, Pires Ferreira e Ipu. Além disso, Santana do Acaraú, localizado fora da região da Ibiapaba, também foi incluído devido à presença significativa de afloramentos da mesma formação geológica.

A delimitação geográfica proposta não apenas facilita o acesso aos afloramentos, mas também otimiza o levantamento de dados e o desenvolvimento das atividades de campo. A escolha da Ibiapaba Setentrional como foco da pesquisa é justificada por sua relevância geológica e paleontológica, aliada às limitações práticas impostas pelo tempo e pelos recursos disponíveis. Com cerca de 380 km de extensão e grande diversidade geológica, seria inviável abranger toda a Serra da Ibiapaba dentro do período de vigência da pesquisa.

Figura 1 - Delimitação da área de estudo e distribuição das formações geológicas no Setor Setentrional da Serra da Ibiapaba, Ceará.



Adicionalmente, a porção setentrional da serra concentra uma rica diversidade de sítios fossilíferos com alto potencial para geoconservação, além de ser uma área cientificamente pouco abordada no contexto do patrimônio paleontológico cearense (Moura, 2018; Claudino-Sales, 2020). A escassez de estudos específicos reforça a relevância desta pesquisa, que busca documentar, analisar e propor estratégias de proteção para esse patrimônio, promovendo sua integração ao âmbito social e cultural regional.

1.2.1 Aspectos geológicos

A Formação Ipu faz parte do Grupo Serra Grande, que compõe a sequência sedimentar siluriana da Bacia do Parnaíba, abrangendo os estados do Ceará, Piauí, Maranhão e Tocantins. Esta formação é a unidade basal do Grupo Serra Grande e se estende ao longo da borda da

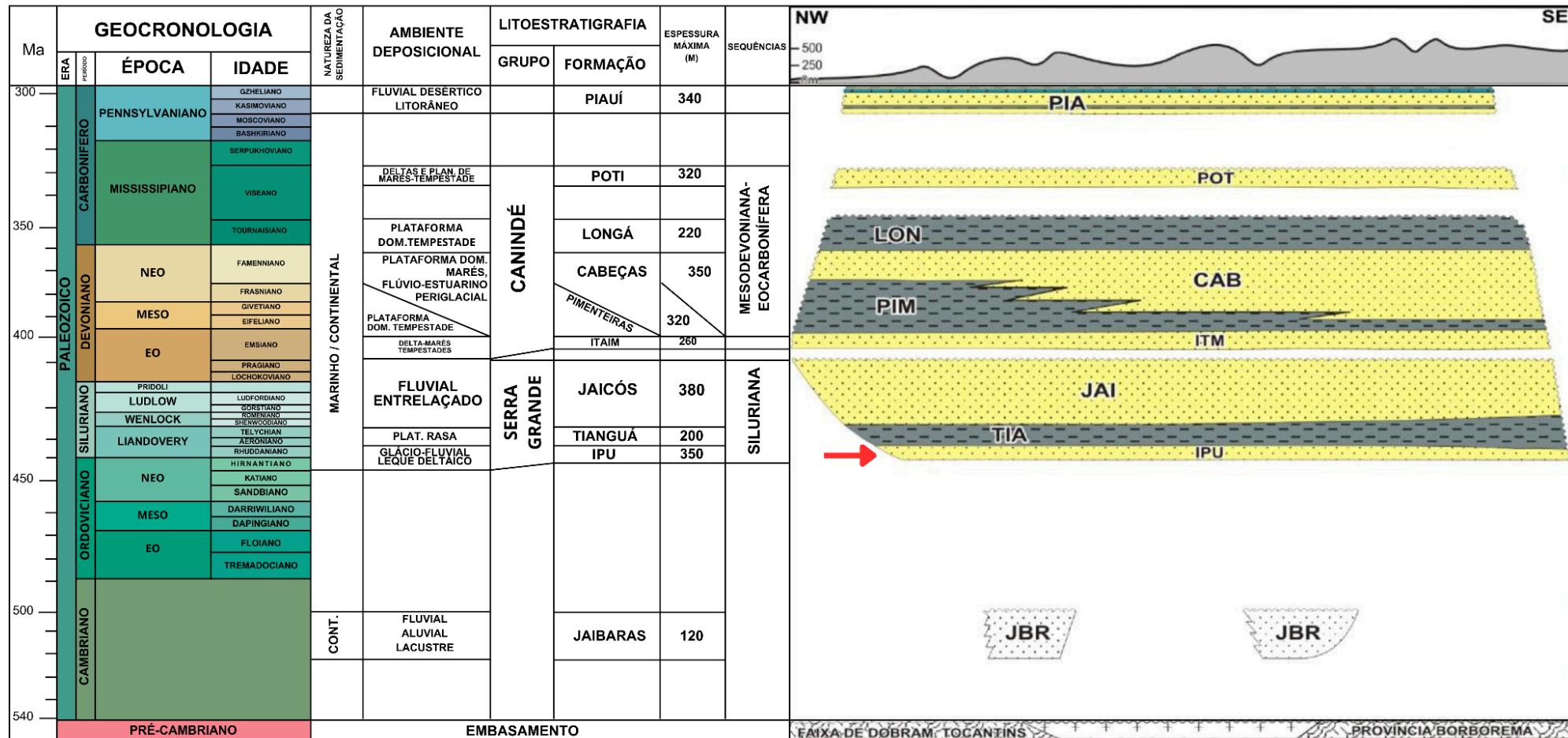
Bacia do Parnaíba, com afloramentos proeminentes na borda leste da bacia, particularmente no noroeste do Ceará (Barrera *et al.*, 2020). A ocorrência mais oriental desta formação no Ceará é observada na região de Santana do Acaraú, onde os afloramentos são controlados pela orientação do Lineamento Transbrasiliano (LTB), também conhecido como Lineamento Sobral-Pedro II (Claudino-Sales, 2020). Este lineamento atua como um limite tectônico significativo, controlando a disposição das rochas sedimentares da bacia e delimitando a transição entre o embasamento cristalino e as unidades sedimentares sobrejacentes. Além disso, sua influência tectônica durante o Siluriano foi fundamental para moldar as condições de deposição, ao criar áreas de maior subsidência que favoreceram o acúmulo de sedimentos e a formação de discordâncias erosivas (Batista *et al.*, 2020; Claudino-Sales, 2020).

A Formação Ipu faz parte de uma sequência siliciclastica do Siluriano, composta por conglomerados, arenitos, diamictitos e siltitos, que refletem uma diversidade de ambientes deposicionais, desde fluviais até glaciais (Barrera *et al.*, 2020). A unidade apresenta espessura variável, alcançando até 350 metros, com arenitos contendo seixos, conglomerados de matriz areno-argilosa e matações de quartzo e quartzito (Batista *et al.*, 2020). Segundo Batista *et al.* (2020) e em consonância com Caputo e Lima (1984), os arenitos dessa formação exibem texturas que variam de finos a grossos, predominantemente de cor branca a cinza-claro, com variação entre estruturas maciças e estratificação cruzada.

Essa composição litológica é indicativa de uma grande variedade de ambientes deposicionais, que vão desde glacial proximal e glacio-fluvial até sistemas de leques aluviais e frentes deltaicas, destacando a complexidade da sedimentação ocorrida durante o Siluriano (Batista, 2020; Caputo e Lima, 1984). Nos arenitos, predominam grãos subarredondados a angulosos, moderadamente selecionados, o que sugere uma deposição relativamente próxima das áreas fonte (Batista *et al.*, 2020). Na região de Santana do Acaraú, os depósitos de diamictitos indicam uma influência glacial mais intensa nesta porção leste da formação, enquanto esses depósitos se tornam menos frequentes nas proximidades da Serra da Ibiapaba, onde predominam os afloramentos areníticos (Barrera *et al.*, 2020).

A espessura da Formação Ipu varia significativamente, podendo atingir até 350 metros, especialmente nas proximidades da borda leste da Serra da Ibiapaba. Essa variação resulta de fatores deposicionais e processos tectônicos, como a subsidência diferencial controlada pelo Lineamento Transbrasiliano (Barrera *et al.*, 2020; Claudino-Sales, 2020). O contato da Formação Ipu com o embasamento é geralmente marcado por uma discordância erosiva, indicando um período de intensa atividade tectônica antes do início da sedimentação fluvial durante o Siluriano (Batista *et al.*, 2020).

Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba

Fonte: adaptado de Vaz *et al.* 2007.

A diagênese das rochas da Formação Ipu é marcada por processos como compactação mecânica, cimentação por óxidos de ferro e crescimento de quartzo autigênico, que influenciam significativamente as características texturais e estruturais desses sedimentos (Batista *et al.*, 2020). Estudos petrográficos mostram que os arenitos fossilíferos dessa formação variam de subarcósios a quartzoarenitos, evidenciando uma proveniência predominantemente de blocos continentais com áreas-fonte mistas, incluindo cráticos estáveis e ambientes transicionais para os quartzoarenitos e subarcósios, respectivamente, e orógenos reciclados para os conglomerados (Barrera *et al.*, 2020; Batista *et al.*, 2020).

Texturalmente, esses arenitos são compostos por grãos predominantemente monocristalinos de quartzo, com fragmentos subordinados de feldspato e minerais acessórios, como muscovita e zircão (Batista *et al.*, 2020). Evidências sedimentológicas, como direções de paleocorrentes e análises texturais e composicionais, sugerem que os sedimentos foram depositados próximos às áreas-fonte, com transporte relativamente curto (Batista *et al.*, 2020).

1.2.2 Aspectos geomorfológicos

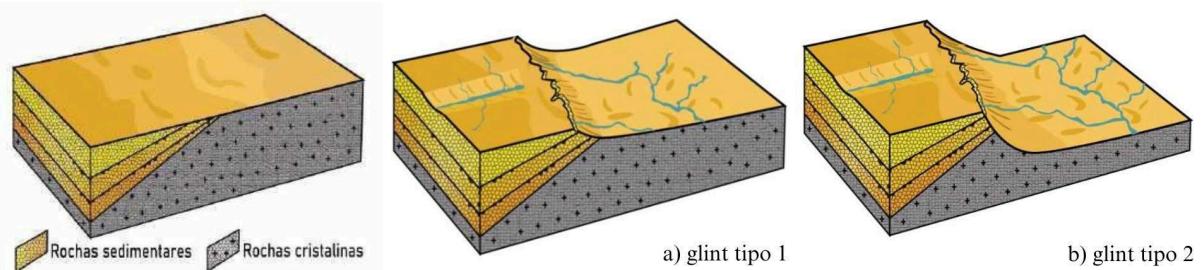
A conformação atual da Serra da Ibiapaba reflete uma longa história de evolução tectônica, orogenética e geomorfológica, associada à Bacia do Parnaíba. Essa bacia sedimentar, formada após a Orogênese Brasiliiana no Neoproterozoico, acumula sequências sedimentares paleozoicas, com destaque para o Grupo Serra Grande, de idade Siluriana, onde está incluída a Formação Ipu (Claudino-Sales, 2020). Durante o Siluriano, a subsidência térmica e o aplainamento da região permitiram a deposição de espessas camadas siliciclásticas, caracterizadas por conglomerados e arenitos, em um contexto fluvial e marinho raso.

No Mesozoico, a abertura do Oceano Atlântico e os processos de rifteamento associados ao rompimento do supercontinente Gondwana exerceram influência direta sobre a borda leste da Bacia do Parnaíba, onde está o Planalto da Ibiapaba. Esses processos resultaram em soerguimentos crustais e reativações tectônicas que moldaram as feições geomorfológicas atuais. O Lineamento Transbrasiliano (LTB), ou Lineamento Sobral-Pedro II, desempenhou um papel fundamental nesse contexto, controlando a formação de falhas transcorrentes e contribuindo para a segmentação e dissecação do relevo (Claudino-Sales, 2020).

Os glints, uma característica marcante da geomorfologia da Serra da Ibiapaba, são escarpamentos aclinais contínuos formados pelo contato discordante entre as rochas

sedimentares do Grupo Serra Grande e o embasamento cristalino. Essas estruturas são produto de erosão diferencial: enquanto as rochas sedimentares apresentam maior resistência aos processos erosivos, o embasamento subjacente ou adjacente, mais fragilizado, foi gradualmente rebaixado (Fig. 03). Segundo Claudino-Sales (2020), o glint de tipo 2 é predominante nos segmentos central e meridional da serra, especialmente entre os municípios de Ipu, Guaraciaba do Norte e São Benedito, onde as vertentes são sustentadas por rochas sedimentares e o sopé é composto por rochas do embasamento cristalino. Já no segmento setentrional, que engloba áreas próximas a Viçosa do Ceará e Ubajara, o glint de tipo 1 se destaca, caracterizado por um maior recuo erosivo das rochas sedimentares, expondo amplamente o embasamento.

Figura 03 - Representação dos tipos de *glint* e sua relação com o embasamento geológico.

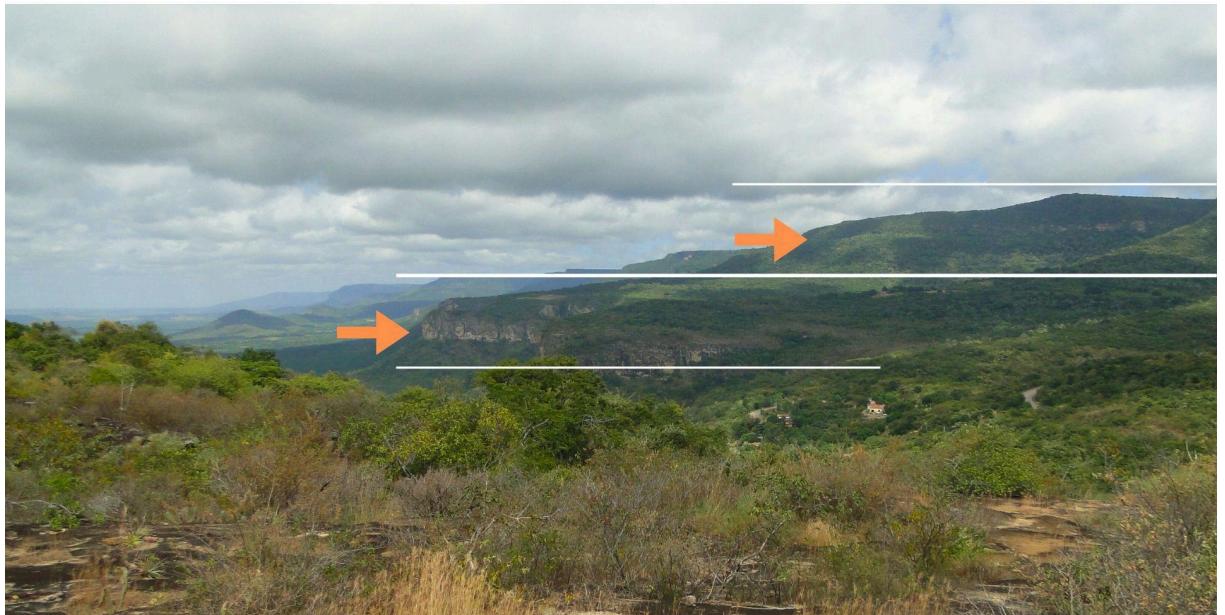


Fonte: Claudino-Sales (2020).

Essa diferenciação geomorfológica influencia diretamente a conservação do patrimônio paleontológico da região. Nos setores onde o embasamento está mais exposto, os processos erosivos podem acelerar a degradação dos sítios fossilíferos. Já nas áreas onde os glints apresentam maior estabilidade estrutural, há potencial para a preservação prolongada dos afloramentos fossilíferos, o que reforça a importância de estratégias de geoconservação adaptadas a cada contexto.

Além disso, os glints de tipo 2 geralmente são associados à presença de cornijas (Fig. 04), que representam a porção superior das formações sedimentares e caracterizam-se por sua verticalidade e resistência. Na geomorfologia, as cornijas constituem a parte superior do material que mantém a resistência evolutiva do front, controlando a morfologia das escarpas. Essas feições são evidentes na paisagem da Serra da Ibiapaba, particularmente nas formações sedimentares da Formação Ipu e da Formação Tianguá, sendo observadas em áreas como a Trilha das Três Pedras (Várzea do Giló, Ipu) e nos arredores do Parque Nacional de Ubajara.

Figura 04 - Cornijas inferiores da Formação Ipu e superiores da Formação Tianguá evidenciando a resistência evolutiva do front em um *glint* tipo 2, Trilha das Três Pedras, Várzea do Giló, Ipu.



Fonte: Arquivo LABOPALEO. As setas laranja indicam duas cornijas, abaixo a da Formação Ipu e, acima, a da Formação Tianguá. As linhas brancas destacam os patamares sedimentares das formações.

Além dos glints, a área de estudo apresenta uma diversidade de formas geomorfológicas, incluindo escarpas, relevos residuais e maciços com topos aplainados. Em locais como a Serrinha (Pacujá) e Floresta (Cariré), observa-se a influência combinada de dissecação fluvial e controle tectônico no modelado do relevo. Na região de Santana do Acaraú, destacam-se morros isolados e estruturas residuais, como o Serrote Santana (ou Serrote das Rolas), resultantes da interação entre falhas transcorrentes reativadas e processos erosivos (Soares, 2017; Claudino-Sales, 2020).

As rochas da Formação Ipu expostas na região possuem textura média a grossa, frequentemente acompanhadas de conglomerados e estruturas sinformais. Essas características, aliadas à resistência diferencial dos conglomerados e arenitos em relação ao embasamento cristalino, influenciam a formação de escarpas, cornijas e relevos residuais que se destacam na paisagem geomorfológica, especialmente na direção NE-SW ao longo de aproximadamente 30 km (Destro *et al.*, 1994). O controle estrutural do LTB influenciou diretamente os processos de erosão e deposição, moldando a paisagem ao longo do tempo. A interação entre tectônica e erosão criou uma configuração geomorfológica única,

caracterizada pela combinação de glints, cornijas, escarpas e relevos residuais que testemunham a longa história de evolução da Serra da Ibiapaba.

1.2.3 Aspectos edafoclimáticos

A área de estudo, localizada no semiárido nordestino, está inserida em uma dinâmica ambiental complexa que envolve clima, biodiversidade e geodiversidade. Essa interação é crucial para compreender os desafios relacionados à preservação dos fósseis presentes nos afloramentos sedimentares da Formação Ipu, uma vez que os processos erosivos, diretamente influenciados pelas condições climáticas e pedológicas, desempenham um papel central na exposição e na degradação desses registros paleontológicos.

O clima semiárido da região é caracterizado por chuvas irregulares e sazonalidade marcante, concentrando precipitações entre os meses de fevereiro e maio. A média pluviométrica anual varia entre 700 e 1.000 mm (IPECE, 2022; FUNCEME, 2020). Essa distribuição sazonal, associada a períodos prolongados de estiagem, afeta diretamente os processos de intemperismo físico e químico, que atuam sobre os afloramentos. Durante os períodos de chuva, o escoamento superficial intenso é intensificado pela baixa infiltração dos solos, contribuindo para a degradação das camadas fossilíferas expostas.

Os solos predominantes na área incluem Neossolos Litólicos, Planossolos e Luvissolos (IBGE, 2012). Em sua maioria, esses solos são rasos e apresentam baixa capacidade de retenção hídrica, o que potencializa a erosão, especialmente em áreas de relevo mais inclinado. Em terrenos suavizados, como em áreas de vales, os Planossolos e Luvissolos apresentam melhores condições para infiltração e retenção de água, reduzindo parcialmente o impacto erosivo. No entanto, esses solos também podem contribuir para o soterramento parcial de fósseis devido à deposição de sedimentos em regiões mais rebaixadas.

A vegetação típica do bioma Caatinga, composta por espécies xerófitas como a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), o mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), desempenha um papel importante na cobertura do solo e na redução da erosão superficial (Moro *et al.*, 2015). Entretanto, variações locais, como a maior retenção hídrica em vales ou áreas rebaixadas, criam microambientes onde a vegetação é mais densa e contribui para uma maior estabilização do solo. Nessas áreas, é possível observar uma menor degradação dos afloramentos expostos, o que pode favorecer a preservação dos fósseis.

Figura 05 - Vegetação xerófita e afloramentos rochosos no Sítio Paleontológico Floresta, Cariré.



Fonte: Arquivo LABOPALEO. A imagem apresenta duas pessoas com altura de 1,80 metros, servindo como escala visual.

Esses fatores ambientais, embora não possam ser diretamente controlados, precisam ser considerados ao elaborar diretrizes para a geoconservação. A erosão, apesar de ser responsável pela exposição dos fósseis, também ameaça sua preservação, acelerando sua degradação e eventual perda. Por isso, compreender essa dinâmica climática, edáfica e vegetal é essencial para implementar estratégias de manejo que minimizem os impactos negativos sobre os afloramentos fossilíferos. A integração de medidas de conservação do solo, proteção dos afloramentos e convivência com as condições ambientais da região pode contribuir para a sustentabilidade das ações de preservação paleontológica e geológica.

1.2.4 Aspectos paleontológicos

A Formação Ipu, localizada na base do Grupo Serra Grande na Bacia do Parnaíba, destaca-se por sua importância paleontológica, especialmente devido aos registros fósseis do Siluriano que vêm sendo estudados há décadas. Esses fósseis incluem uma diversidade significativa de invertebrados marinhos e icnofósseis, que fornecem informações valiosas sobre os ambientes costeiros da época.

Barroso (2016) documentou a possível presença de invertebrados marinhos, como anêmonas-do-mar, além de uma variedade de icnofósseis preservados em afloramentos nos municípios de Ipu, Pacujá, Reriutaba e Santana do Acaraú. Estudos mais recentes, conduzidos por Rusinelli e Branco (2019) e Rusinelli (2021), revisaram as icnofácies presentes nos arenitos da Formação Ipu, identificando diversos icnogêneros associados a ambientes de alta energia, característicos de zonas costeiras dominadas pela icnofácie *Skolithos*. Entre os icnofósseis identificados estão *Conichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites* e *Skolithos* (fig. 06a), além de vestígios de biofilmes e esteiras microbianas, que tiveram um papel importante na preservação dos fósseis.

Um ponto de destaque é a descoberta da nova espécie *Arenactinia ipuensis*, descrita por Barroso *et al.* (2025). Essa espécie é interpretada como uma anêmona-do-mar de preservação excepcional, permitindo a identificação de características anatômicas como discos oral e aboral (fig. 06b) e vestígios de tentáculos, indicando soterramento rápido em posição de vida. Inicialmente, essas estruturas circulares (Fig. 06c) haviam sido atribuídas ao icnogênero *Circulichnus* por Rusinelli (2021). No entanto, estudos mais detalhados realizados pela equipe do LABOPALEO esclareceram que se tratam de moldes anatômicos dessa nova espécie, ampliando o registro de cnidários fósseis do Siluriano.

Figura 06 - Fósseis de invertebrados marinhos e icnofósseis do sítio paleontológico Contra-Fogo, Pacujá.



Fonte: Arquivo LABOPALEO. a) icnofósseis *Palaeophycus*, *Diplocraterion*, *Skolithos*; b) Molde tridimensional de *Arenactinea ipuensis*; c) moldes de *Arenactinea ipuensis*, vista em superfície.

Com base nos trabalhos realizados por Barroso (2016), Rusinelli e Branco (2019), Viana *et al.* (2023), Barroso *et al.*, 2025 entre outros autores, a Formação Ipu abriga uma diversidade significativa de fósseis, conforme listado a seguir:

a) **Invertebrados marinhos:**

- *Arenactinia ipuensis* (Barroso *et al.*, 2025).

b) Icnofósseis:

- *Conichnus* Männil, 1966.
- *Palaeophycus* Hall, 1847.
- *Planolites* Nicholson, 1873.
- *Skolithos* Haldeman, 1840.
- *Diplocraterion* Töörnquist, 1884.

c) Outros vestígios:

- Biofilmes e esteiras microbianas.

A descoberta de *Arenactinia ipuensis* é particularmente significativa, pois não apenas amplia o registro de cnidários fósseis do Siluriano, mas também proporciona novas perspectivas sobre a paleoecologia de ambientes costeiros da Bacia do Parnaíba. A preservação excepcional dessa espécie e de outros icnofósseis ressalta a importância dos afloramentos da Formação Ipu para o entendimento da vida marinha e das condições ambientais do período Siluriano.

1.2.5 Aspectos socioeconômicos

De acordo com o Censo IBGE de 2022, a população total dessa região é de aproximadamente 138.529 habitantes, representando cerca de 1,5% da população total do estado do Ceará. O município mais populoso é Ipu, com 41.081 habitantes, enquanto Pacujá é o menos populoso, com 6.175 habitantes. A densidade demográfica média é de 43,1 habitantes por km², mas varia significativamente entre os municípios. Pacujá apresenta uma densidade elevada (69,89 hab/km²), enquanto Santana do Acaraú possui uma densidade menor (31,49 hab/km²). Os indicadores socioeconômicos dos municípios da área de estudo estão resumidos da Tabela 1.

Tabela. 01 - Indicadores socioeconômicos dos municípios da área de estudo

Município	Área territorial (km ²)	Total	População urbana	População rural	Densidade (hab/km ²)	IDHM
Santana do Acaraú	972,573	30628	14741	15887	31,49	0,587
Pacujá	88,355	6175	4014	2161	69,89	0,621
Ipu	626,049	41081	25089	15992	65,62	0,618
Cariré	755,597	17632	8678	8954	23,34	0,596
Reriutaba	372,949	18606	10974	7632	49,89	0,601

Município	Área territorial (km ²)	Total	População urbana	População rural	Densidade (hab/km ²)	IDHM
Graça	258,943	13.801	6258	7543	53,30	0,570
Pires Ferreira	244,464	10606	4157	6449	43,38	0,591
Total	2442,574	95516	52522	42994	41,74	

Fonte: Censo IBGE (2022)

A economia dos municípios que compõem a área de estudo é diversificada, predominando atividades como agricultura, pecuária, comércio e, em menor escala, turismo. Conforme apontado por Rabelo *et al.* (2016), a economia do Ceará, especialmente em regiões rurais, está frequentemente vinculada à agricultura familiar e à pecuária de subsistência, com destaque para o cultivo de grãos como milho e feijão, além da mandioca. A pecuária leiteira e de corte também desempenha um papel relevante em municípios como Santana do Acaraú, enquanto Cariré se destaca pela fruticultura, com cultivos como caju e coco-da-bahia.

O setor comercial e de serviços é mais expressivo em municípios como Ipu, que atua como um centro comercial para os municípios vizinhos devido à sua localização estratégica. Pacujá e Graça possuem uma economia voltada para a agricultura familiar e o comércio local. Já o turismo tem destaque em Ipu, com potencial de desenvolvimento no segmento de ecoturismo e geoturismo, impulsionado por atrativos como a Bica do Ipu.

A integração dos dados socioeconômicos e das atividades econômicas é essencial para o planejamento de estratégias de geoconservação alinhadas às realidades locais. O turismo baseado no patrimônio geológico e paleontológico, como o geoturismo, pode gerar novas oportunidades de emprego e renda, promovendo conscientização ambiental e valorização da identidade regional.

Nos municípios predominantemente agrícolas, como Pacujá e Cariré, a educação ambiental desempenha um papel crucial. Conscientizar as comunidades sobre o uso sustentável do solo e a preservação dos sítios paleontológicos pode minimizar os impactos negativos e assegurar a conservação desses patrimônios naturais. Além disso, a proteção desses sítios frágeis requer o equilíbrio entre o crescimento urbano e a preservação ambiental, especialmente em áreas de alta densidade populacional.

A adoção de uma abordagem "*bottom-up*" na geoconservação, que priorize o protagonismo das comunidades locais, é essencial para o sucesso das estratégias de conservação. Conscientizar a população sobre o valor cultural, educativo e econômico dos sítios paleontológicos é um passo fundamental para garantir que as ações sejam eficazes e sustentáveis. Por meio da educação ambiental e da valorização da geodiversidade, espera-se

promover o desenvolvimento de políticas públicas que protejam os sítios e incentivem o crescimento econômico sustentável das comunidades envolvidas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A proteção dos elementos naturais, bióticos e abióticos, é um conceito que se consolidou ao longo do tempo por meio de eventos históricos e iniciativas que fomentaram a conservação da natureza em âmbito global. Inicialmente, os esforços de preservação estavam voltados exclusivamente para a biodiversidade, com ações destinadas à proteção de espécies de flora e fauna ameaçadas de extinção. Gradualmente, entretanto, emergiu a compreensão de que a natureza também inclui uma dimensão abiótica — composta por rochas, solos, minerais, fósseis e paisagens. Essa expansão conceitual integrou a geodiversidade ao pensamento conservacionista.

Os avanços nesse campo foram impulsionados por marcos históricos, como o surgimento das primeiras áreas protegidas no final do século XIX. A criação do Parque Nacional de Yellowstone em 1872, nos Estados Unidos, foi um exemplo pioneiro, marcando o início de uma abordagem sistemática para a conservação. Esses esforços, inicialmente focados na proteção de paisagens naturais de grande beleza cênica, abriram espaço para discussões mais amplas sobre a importância de elementos geológicos e geomorfológicos na formação dessas paisagens e na manutenção de processos ecológicos. Em 1948, a criação da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) marcou um avanço significativo na proteção dos recursos naturais em escala global. No entanto, a consideração explícita dos recursos abióticos no escopo da conservação só ganhou destaque a partir de 2010, quando iniciativas voltadas à geodiversidade e ao patrimônio geológico passaram a ser discutidas no âmbito da organização, culminando na formação do Geoheritage Specialist Group dentro da IUCN-WCPA.

No campo das Ciências da Terra, a geoconservação emerge como uma disciplina intimamente relacionada aos conceitos de geodiversidade e patrimônio geológico. Esses conceitos destacam que fósseis, minerais, formações rochosas e estruturas geomorfológicas são mais do que testemunhas da história da Terra. Eles possuem grande valor educativo, científico e cultural (Henriques *et al.*, 2011). Esse entendimento consolidou uma abordagem que busca preservar o patrimônio abiótico, tanto em contextos naturais quanto urbanos.

A geoconservação tornou-se ainda mais relevante diante das pressões antrópicas contemporâneas, como o crescimento urbano e a exploração desordenada de recursos naturais.

Essas atividades representam uma ameaça direta a elementos essenciais da geodiversidade. No caso desta dissertação, o foco recai sobre o patrimônio paleontológico, uma categoria específica do patrimônio geológico que inclui fósseis e sítios paleontológicos. Esses sítios, por sua vez, são particularmente vulneráveis em áreas urbanizadas, onde atividades como a construção civil e a exploração de materiais comprometem sua integridade e valor científico.

Portanto, compreender os fundamentos históricos e conceituais que sustentam a geoconservação é essencial para justificar ações voltadas à preservação dos sítios paleontológicos. Este capítulo explora como eventos históricos e a evolução do pensamento conservacionista global contribuíram para consolidar a preservação integral da natureza, incluindo sua dimensão abiótica, culminando no reconhecimento da geoconservação como uma disciplina essencial nas Ciências da Terra.

2.1 Marcos históricos

A consolidação da geoconservação como campo emergente das Ciências da Terra é resultado de uma série de eventos históricos e iniciativas globais que impulsionaram a conservação da natureza, tanto em sua dimensão biótica quanto abiótica. Esses marcos foram fundamentais para construir uma visão integrada da natureza, culminando no reconhecimento do patrimônio geológico como um elemento essencial para a preservação ambiental.

Um dos primeiros eventos significativos nesse processo foi a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Estocolmo, em 1972. Este encontro estabeleceu as bases para práticas modernas de conservação, promovendo políticas públicas e investigações científicas voltadas para questões ambientais. Ainda naquele ano, em Paris, a Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial Cultural e Natural destacou a importância de formações geológicas e fisiográficas como elementos de valor patrimonial, incluindo-as nas diretrizes globais de preservação.

Nos anos seguintes, documentos como o relatório *Nosso Futuro Comum* (1988) e eventos como a Rio 92 consolidaram conceitos-chave, como biodiversidade e desenvolvimento sustentável. Durante a Rio 92, o termo geodiversidade foi introduzido por cientistas independentes, inspirados pelo impacto que o conceito de biodiversidade teve nas políticas de conservação da natureza (Carcavilla *et al.*, 2007; Gray, 2005).

No início dos anos 1990, iniciativas mais específicas voltadas à conservação geológica começaram a ganhar forma. A 1ª Conferência Internacional para a Proteção do Patrimônio Geológico, realizada na França em 1991, resultou na Declaração Internacional dos Direitos à

Memória da Terra. Este documento reforçou a importância do patrimônio geológico como testemunho da história planetária. Em 1992, foi criada a Associação Europeia para a Conservação do Patrimônio Geológico (ProGeo), representando um marco na promoção da geoconservação no continente europeu.

No âmbito da UNESCO, o Projeto GILGES, que evoluiu para o Projeto Global Geosites em 1994, desempenhou um papel central ao incentivar a catalogação de sítios geológicos e paleobiológicos de relevância global. No Brasil, essa iniciativa fomentou a criação da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), em 1997, marcando o início de esforços organizados para o mapeamento e a catalogação do patrimônio geológico nacional. Apesar de sua descontinuidade após a publicação de três volumes, o SIGEP deixou um legado significativo para a geoconservação no Brasil, consolidando a importância dos inventários sistemáticos de geossítios. Embora não tenha havido uma continuidade formal do programa, a temática do patrimônio geológico segue sendo abordada em iniciativas diversas, como as edições especiais do *Journal of the Geological Survey of Brazil* (JGSB), que vêm contribuindo para a difusão do conhecimento e das práticas de geoconservação no país (Nascimento, Garcia e Mansur, 2021; Horodyski e Junior, 2024).

De acordo com Mansur (2022), tanto a ProGeo quanto o extinto Projeto Global Geosites continuam influenciando a identificação e proteção de geossítios em escala internacional e nacional. Além disso, trabalhos como o de Medeiros (2011) discutem como iniciativas de geoconservação no semiárido brasileiro reforçam o impacto cultural e econômico do geoturismo em regiões específicas.

O avanço da produção acadêmica em periódicos especializados, como o JGSB, evidencia uma evolução na abordagem da geoconservação no Brasil. O campo passou de estudos descritivos para uma perspectiva interdisciplinar, incorporando aspectos sociais, econômicos e ambientais. Esse amadurecimento é também refletido pelo crescente número de eventos científicos, como o Simpósio Brasileiro sobre Patrimônio Geológico (SBPG), e pela ampliação do debate público e científico sobre a integração da geoconservação nas políticas públicas e no planejamento territorial (Nascimento *et al.*, 2021; Schobbenhaus *et al.*, 2002; Winge *et al.*, 2009, 2013).

2.2 Geodiversidade

A geodiversidade é um conceito central para a geoconservação, representando a variedade de elementos abióticos da natureza, incluindo rochas, minerais, fósseis, solos,

formas de relevo e processos geomorfológicos. Esses elementos interagem dinamicamente com os componentes bióticos, desempenhando um papel fundamental na integridade e no equilíbrio dos sistemas naturais.

O termo "geodiversidade" foi inicialmente introduzido por Sharples (1995) no contexto da conservação florestal, destacando a importância de proteger elementos geológicos e geomorfológicos como parte da gestão ambiental. Em 2002, Sharples ampliou essa definição, descrevendo a geodiversidade como "a variedade natural de características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas e suas associações, incluindo as evidências de processos naturais em curso". Gray (2004, 2013) consolidou o conceito, definindo-a como "a diversidade natural de materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis), formas e processos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos que moldam a paisagem do planeta". Além disso, Gray (2018) destacou sua integração ao conceito de serviços ecossistêmicos, sugerindo que a geodiversidade fornece suporte essencial a processos ecológicos, culturais e econômicos.

No Brasil, a CPRM adota uma abordagem funcional para a geodiversidade, destacando seu papel no planejamento territorial e considerando valores intrínsecos, culturais, estéticos, econômicos, científicos, educativos e turísticos (Silva, 2008). Moura (2018) também reforça a ideia de que a geodiversidade é o substrato do meio biótico, integrando-se a ecossistemas diversos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

2.3 Métodos de avaliação da geodiversidade

Do ponto de vista quantitativo, a geodiversidade pode ser avaliada com base na frequência, variabilidade e distribuição espacial de elementos abióticos em um território específico (Nieto, 2001; Carcavilla *et al.*, 2008). Gray (2013) propôs duas abordagens principais para definir e avaliar a geodiversidade:

- a) **Definições temáticas:** Qualitativas e amplas, considerando a geodiversidade como um novo paradigma das geociências.
 - b) **Definições territoriais:** Quantitativas e aplicadas, relacionando a frequência de características do meio físico a uma unidade de área.
- Métodos de avaliação incluem:
- a) **Qualitativos:** Baseados na documentação e descrição dos elementos geológicos e na avaliação de seus valores (ex.: intrínseco, estético, cultural).

- b) **Quantitativos:** Incluem o cálculo de índices de geodiversidade, uso de modelos estatísticos e ferramentas de geoprocessamento (Pereira *et al.*, 2013; Araújo e Pereira, 2017).
- c) **Quali-quantitativos:** Combinações de técnicas qualitativas e quantitativas, como análises hierárquicas e métodos mistos (Benito-Calvo *et al.*, 2009).

No Brasil, a CPRM lidera iniciativas para mapear a geodiversidade em escalas nacional e estadual, enfatizando suas limitações e potencialidades para atividades como agricultura, mineração, geoturismo e planejamento ambiental (Silva, 2008; Moura, 2018).

2.4 Valores da geodiversidade

A conservação da geodiversidade fundamenta-se em uma ampla gama de valores que demonstram sua relevância ambiental e socioeconômica (Gray, 2013; Brilha *et al.*, 2018):

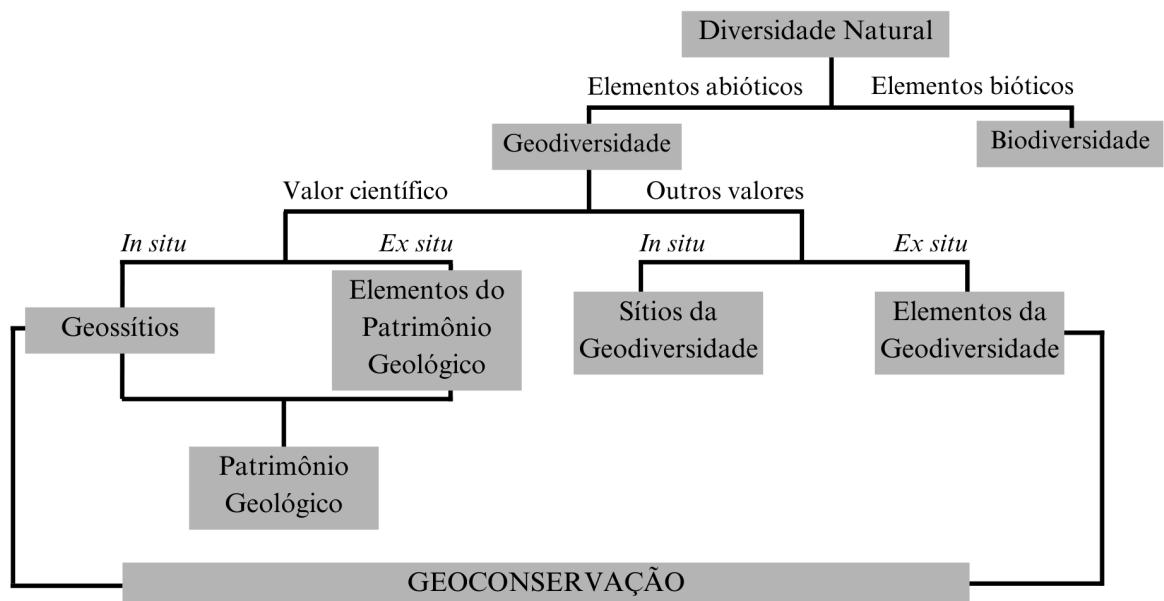
- a) **Valor intrínseco:** Refere-se ao valor próprio da geodiversidade, como testemunho da história natural da Terra, independente de sua utilidade prática.
- b) **Valor cultural:** Elementos geológicos têm significados culturais e espirituais, associados à identidade e memória de comunidades locais, sendo incorporados ao patrimônio cultural.
- c) **Valor estético:** Paisagens moldadas por processos geológicos, como cânions e montanhas, possuem beleza significativa que fomenta o turismo e o bem-estar humano.
- d) **Valor econômico:** A exploração sustentável de geossítios por meio do geoturismo gera receita e impulsiona o desenvolvimento local. No planejamento territorial, a geodiversidade auxilia na gestão de áreas de risco e na infraestrutura resiliente.
- e) **Valor funcional:** A geodiversidade suporta serviços ecossistêmicos essenciais, como provisão de recursos geológicos (ex.: água subterrânea, minerais) e regulação de processos ecológicos.
- f) **Valor científico e didático:** Elementos geológicos e geomorfológicos são registros únicos da história da Terra, fundamentais para o avanço do conhecimento em áreas como paleontologia, estratigrafia e tectônica, além de serem ferramentas educacionais valiosas.

2.5 Patrimônio paleontológico

A noção de patrimônio é uma construção cultural que reflete os valores atribuídos a determinados elementos que transcendem gerações. Esses valores podem ser financeiros, culturais, históricos ou naturais, compondo uma herança a ser preservada. Moura (2018) define que, no caso do patrimônio geológico, "esta herança diz respeito à história da Terra e à fração dessa herança que se pretende guardar para as futuras gerações, tendo relação direta com a concepção de natureza da nossa sociedade."

De acordo com Brilha (2005, 2016, 2018), o patrimônio geológico é composto por elementos da geodiversidade, *in situ* ou *ex situ*, que possuem elevado valor científico (Figura 7) e são devidamente inventariados e caracterizados. Esses elementos incluem rochas, minerais, fósseis e estruturas geológicas que fornecem dados essenciais para compreender a história geológica da Terra.

Figura 7 - Arcabouço conceitual da geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação, tendo em vista o âmbito da geoconservação.



Fonte: traduzido de Brilha (2016)

O patrimônio paleontológico, como uma categoria do patrimônio geológico e parte integrante da geodiversidade, compreende o conjunto de ocorrências fossilíferas de uma área (patrimônio *in situ*) e fósseis retirados de seus locais de origem, preservados em coleções museológicas ou científicas (patrimônio *ex situ*). Esses fósseis possuem valores científico,

educativo e cultural, sendo fundamentais para a compreensão da história da vida na Terra e para o ensino do conceito de Tempo Profundo (Lima *et al.* 2024). Quando um depósito fossilífero é reconhecido por sua notável presença de fósseis, ele pode ser classificado como um sítio paleontológico, tornando-se passível de proteção como monumento natural (Viana, 2018).

Além de seu valor científico, os fósseis têm significados que transcendem a ciência, adquirindo interpretações culturais e sociais. Henriques *et al.* (2011) destacam que os fósseis são elementos multifacetados e polissêmicos, capazes de reforçar identidades locais e promover práticas conservacionistas integradas que dialoguem com as comunidades. Contudo, o reconhecimento dos fósseis como patrimônio cultural depende de sua associação com a identidade de uma população, conforme estabelecido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). De acordo com a Constituição Federal de 1988 (Art. 216) e o Decreto-Lei 4.146 de 1942, os fósseis são bens da União, classificados como recursos naturais e patrimônio nacional, embora nem todos sejam explicitamente reconhecidos como patrimônio cultural.

2.5.1 Critérios de classificação

Os critérios que caracterizam um sítio paleontológico como patrimônio incluem:

- a) **Representatividade:** Sua relevância para compreender aspectos geológicos, paleontológicos ou paleoecológicos;
- b) **Integridade:** O estado de conservação do elemento;
- c) **Raridade:** A singularidade do registro fóssil ou geológico;
- d) **Conhecimento Científico:** A contribuição do sítio para o entendimento da geologia e paleontologia locais.

Segundo Mansur (2010) e Brilha (2016), esses critérios conferem singularidade ao patrimônio paleontológico, justificando sua preservação e proteção.

2.5.2 Desafios e oportunidades

Embora o patrimônio paleontológico seja amplamente reconhecido como recurso científico, educativo e cultural, sua proteção enfrenta desafios significativos no Brasil. A falta

de regulamentação específica para sua gestão compromete sua preservação, especialmente diante de pressões antrópicas, como a expansão urbana e a exploração econômica (Viana e Carvalho, 2019). Apesar disso, a integração entre órgãos públicos, instituições científicas e comunidades locais é vista como uma estratégia promissora para superar essas dificuldades. Essa abordagem pode equilibrar preservação e uso sustentável, promovendo a conscientização pública e o desenvolvimento econômico.

Fósseis também representam um recurso estratégico para o geoturismo, ao fomentar práticas de conservação integradas e gerar novas oportunidades de emprego e renda para as comunidades locais. Viana e Carvalho (2019) destacam que o uso sustentável do patrimônio paleontológico em iniciativas de geoturismo pode fortalecer a conscientização pública e criar um ciclo virtuoso de preservação e desenvolvimento.

2.6 Geoconservação

A geoconservação é uma área do conhecimento que emergiu tardivamente no contexto da conservação da natureza, apesar de sua prática indireta e não sistemática em iniciativas anteriores. Exemplos como a proteção de feições geológicas nos parques nacionais de Yellowstone (1872) e Yosemite (1890), nos Estados Unidos, evidenciam esforços iniciais para preservar elementos geológicos e paisagísticos, mesmo sem o uso do termo "geoconservação". Esses movimentos, embora centrados na preservação da beleza natural, careciam de uma base conceitual sistemática. Foi somente décadas depois que o conceito ganhou estrutura científica, com marcos significativos na Europa e em outros locais (Burek e Prosser, 2008; Brilha, 2018).

O conceito de geoconservação passou por uma evolução significativa ao longo do tempo. Sharples (1993) foi um dos primeiros a propor uma visão sistemática, destacando os valores do patrimônio geológico em sua dimensão científica e cultural. Posteriormente, Gray (2004, 2013) ampliou esse entendimento ao associar a geoconservação à proteção da biodiversidade, defendendo a importância de reconhecer seus valores e potenciais ameaças. Brilha (2005), por sua vez, avançou ao definir a geoconservação como a conservação e gestão do patrimônio geológico e dos processos naturais a ele associados. Mais recentemente, Sharples (2002) reforçou a necessidade de considerar a biodiversidade como um elemento essencial para a sustentabilidade ecológica e para a compreensão da história da Terra.

No contexto dessa evolução, Henriques *et al.* (2011) sugerem que elementos geológicos com valor excepcional – seja científico, educacional, turístico ou cultural – devem

ser gerenciados para garantir sua preservação. Essa abordagem amplia a função da geoconservação, que não apenas protege a biodiversidade, mas também reconhece sua relevância como patrimônio natural com múltiplos valores. Assim, a geoconservação evoluiu para se tornar um campo interdisciplinar que valoriza os elementos abióticos do meio natural, reconhecendo seus valores intrínsecos, bem como sua relevância cultural, científica e econômica.

A sistematização da geoconservação como ciência foi consolidada com iniciativas como a criação dos primeiros geoparques na Europa, nos anos 2000. Esses espaços foram concebidos como áreas protegidas que integram elementos naturais, culturais e estratégias de desenvolvimento sustentável, tendo o patrimônio geológico como eixo estruturante. Essa iniciativa consolidou a geoconservação como uma abordagem científica com diretrizes metodológicas específicas voltadas à identificação, proteção e gestão de locais de interesse geológico.

2.6.1 Marcos institucionais da geoconservação no Brasil

A geoconservação no Brasil é uma disciplina em desenvolvimento, marcada por iniciativas importantes que buscaram sistematizar a proteção do patrimônio geológico e paleontológico.

- a) **SIGEP (1997-2012):** O primeiro projeto nacional voltado ao inventário e avaliação de sítios geológicos e paleontológicos resultou na catalogação de 116 sítios ao longo de três volumes publicados. Apesar de sua descontinuação em 2012, o SIGEP deixou um legado importante, promovendo o mapeamento e a valorização do patrimônio geológico nacional.
- b) **Geoparques do Brasil (2006):** Criado pela CPRM, o projeto identificou áreas potenciais para geoparques, como o Geopark Araripe, o primeiro geoparque global da UNESCO na América Latina. O Geopark Araripe tornou-se um modelo de integração entre preservação, educação e desenvolvimento sustentável, servindo de referência para outras iniciativas no Brasil.
- c) **Plataforma GEOSSIT:** Desenvolvida pela CPRM, essa ferramenta permite o inventário e a avaliação quantitativa de sítios geológicos em âmbito nacional. Inicialmente voltada para geoparques, a plataforma foi ampliada para compor um inventário nacional abrangente.

Apesar desses avanços, a geoconservação no Brasil enfrenta desafios significativos. A concentração de iniciativas na região Sudeste e a ausência de proteção legal específica para patrimônios geológicos no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) são limitações importantes. Além disso, a integração da geodiversidade ao ordenamento territorial e a criação de políticas públicas específicas permanecem como lacunas que precisam ser preenchidas.

2.6.2 Estratégias e métodos de geoconservação

As primeiras metodologias sistemáticas de geoconservação desenvolvidas ao longo das últimas décadas, com a consolidação do conceito de Lugares de Interesse Geológico (LIG), estabelecem critérios para a identificação, classificação e proteção de fenômenos geológicos com base em sua relevância científica, educativa e turística. Uceda (2000) contribuiu significativamente para a organização desse conceito ao propor um sistema tipológico que auxilia na gestão e conservação desses locais, orientando a formulação de estratégias de proteção e uso sustentável do patrimônio geológico.

Gonggrijp (2000) propôs uma abordagem holística, integrando identificação, proteção e gestão de sítios geológicos. Seu modelo inclui a definição de categorias geológicas, a implementação de mecanismos legais e estratégias de monitoramento para garantir a proteção dos locais.

Posteriormente, Brilha (2016) revisou essas metodologias, ampliando o escopo da geoconservação para além do patrimônio geológico e valorizando elementos da geodiversidade de notável importância científica, educativa ou cultural. Essa perspectiva reconhece a geodiversidade como base para a conservação da natureza e para a sustentabilidade ecológica.

No Brasil, Moura (2018) destaca a aplicação prática dessas metodologias em projetos estratégicos, como o mapeamento da geodiversidade pela CPRM. Esses projetos enfatizam a integração entre a conservação do meio abiótico e o planejamento territorial, identificando potencialidades para atividades como mineração, agricultura e geoturismo.

2.6.3 O método GEOSSIT e sua relevância no Brasil

No Brasil, o GEOSSIT, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), destaca-se como o método mais amplamente utilizado para a geoconservação. Criado para realizar o inventário, qualificação e avaliação quantitativa de geossítios e sítios da biodiversidade em âmbito nacional, o GEOSSIT também abrange áreas relacionadas a geoparques. Sua estrutura inicial foi baseada nas metodologias propostas por Brilha (2005) e Garcia-Cortés e Urquí (2009). Posteriormente, foi adaptado para incorporar os avanços metodológicos de Brilha (2016), resultando em uma reformulação dos critérios de avaliação quantitativa.

Atualmente, o método GEOSSIT utiliza critérios estruturados em tabelas que avaliam o valor científico, o potencial de uso educativo e turístico dos geossítios, bem como o risco de degradação. Essa abordagem permite uma análise detalhada e padronizada dos elementos abióticos, contribuindo para o planejamento e a implementação de estratégias de geoconservação em todo o território nacional.

O GEOSSIT não apenas organiza e orienta ações de inventário, conservação, valorização e monitoramento, mas também desempenha um papel estratégico no projeto Geoparques do Brasil. A plataforma fornece suporte metodológico e ferramentas essenciais para a construção de um inventário nacional de geossítios, promovendo uma gestão integrada e sistemática. Esse sistema reforça a conexão entre ciência e práticas de conservação, destacando-se como uma ferramenta essencial para o ordenamento territorial e o planejamento ambiental.

Por meio de sua abordagem estruturada, o GEOSSIT tem contribuído significativamente para a consolidação da geoconservação no Brasil. Ele integra ciência, gestão e práticas conservacionistas, promovendo o reconhecimento e a valorização dos elementos abióticos como parte fundamental do patrimônio natural do país.

2.7 Ordenamento territorial

O ordenamento territorial é um instrumento essencial para o planejamento e a gestão do espaço geográfico, promovendo a organização do uso do solo de maneira equilibrada e sustentável. Mais do que uma regulamentação rígida do território, trata-se de um processo dinâmico que reflete a interação entre fatores físicos, socioeconômicos e culturais, moldando o desenvolvimento das regiões a partir de suas potencialidades e limitações (Haesbaert, 2004). Segundo Sá (2005), o ordenamento territorial pode ser definido como “a expressão da organização territorial, caracterizada pelas múltiplas dimensões (física, cultural, política,

econômica e social), nas várias escalas geográficas, refletindo as múltiplas facetas do ‘viver’ das pessoas no espaço físico”.

Nesse sentido, o planejamento e a organização das atividades econômicas e da expansão urbana devem considerar as fragilidades e a capacidade do meio físico e biótico. Como pressuposto, devem se apoiar no conhecimento científico para que a ocupação do território garanta o desenvolvimento, sem perda de aspectos singulares da bio e geodiversidade. Esse princípio deve estar na base de um programa de ordenamento territorial, com amplo acesso à informação (Mansur *et al.*, 2010). No Brasil, o artigo 21, inciso IX, da Constituição Federal, atribui à União a competência de “elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social”, sendo que, para essa finalidade, diversas políticas públicas vêm sendo discutidas, como a Política Nacional de Ordenamento Territorial (Mansur *et al.*, 2010). Entretanto, a maior dificuldade na implementação dessas políticas reside na coordenação das ações entre os diferentes níveis de governo e nas áreas que envolvem mineração, meio ambiente e patrimônio cultural.

No contexto da geoconservação, o ordenamento territorial desempenha um papel estratégico ao viabilizar a identificação, proteção e valorização de áreas de importância geológica e paleontológica. A ausência de um planejamento territorial adequado pode resultar na destruição irreversível de sítios fossilíferos devido à expansão urbana, atividades minerárias e outras formas de degradação ambiental (Mansur *et al.*, 2010). Para evitar essas perdas, a integração do patrimônio paleontológico às políticas públicas de ordenamento territorial é essencial, garantindo sua preservação e promovendo seu reconhecimento como recurso científico, educativo e cultural.

O ordenamento territorial, quando aplicado à geoconservação, deve contemplar três eixos fundamentais:

- a) **Mapeamento e delimitação de áreas prioritárias:** identificação e catalogação de sítios paleontológicos relevantes, assegurando sua proteção contra usos do solo conflitantes.
- b) **Zoneamento e planejamento sustentável:** estabelecimento de diretrizes para a ocupação e uso do território, prevenindo impactos adversos sobre áreas de valor geológico e paleontológico.
- c) **Incorporação da geoconservação às políticas públicas:** integração da proteção do patrimônio geológico em Planos Diretores municipais, unidades de conservação e outras normativas ambientais.

A implementação desses princípios requer um esforço coordenado entre órgãos governamentais, instituições acadêmicas e comunidades locais. Experiências bem-sucedidas, como a gestão do Geoparque Araripe, demonstram que a articulação entre ordenamento territorial e geoconservação pode garantir a proteção do patrimônio geológico e, ao mesmo tempo, fomentar o desenvolvimento sustentável por meio do turismo e da educação ambiental (Borba, 2011).

A proteção do patrimônio paleontológico não deve ser vista como uma barreira ao desenvolvimento territorial, mas como um componente essencial do planejamento regional. Sua integração ao ordenamento territorial não apenas garante a preservação dos sítios fossilíferos, mas também promove a valorização da biodiversidade como um recurso cultural e econômico, reforçando sua importância para as gerações futuras.

O ordenamento territorial é uma ferramenta que busca antecipar e prevenir a degradação de áreas de valor paleontológico. Contudo, em locais onde o impacto já ocorreu, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) surge como uma solução essencial. Tradicionalmente voltado à recuperação de áreas impactadas em seus processos bióticos, o PRAD, no contexto da geoconservação, amplia seu escopo ao integrar componentes abióticos, permitindo que os planos de recuperação ambiental considerem também a proteção de elementos geológicos e paleontológicos.

2.7.1 Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é um instrumento técnico e normativo amplamente utilizado na legislação ambiental brasileira, com o objetivo de mitigar os impactos causados por atividades humanas em ecossistemas. Tradicionalmente voltado à recuperação de componentes bióticos, o PRAD adquiriu uma nova dimensão com a publicação da Instrução Normativa 14/2024 do IBAMA, que reconhece explicitamente os componentes abióticos como parte integrante dos atributos ambientais.

Esse reconhecimento está formalizado no Capítulo I, Artigo 3º da Instrução Normativa, que redefine os conceitos fundamentais aplicáveis ao PRAD. Dois incisos são particularmente relevantes para a ampliação do escopo desse instrumento:

a) **Art. 3º, Inciso VI:**

"Atributo ambiental: componente biótico ou abiótico dos sistemas socioecológicos, assim como recurso natural, bem, serviço ecossistêmico ou características e

propriedades que possam ser utilizadas para descrevê-lo ou qualificá-lo, como seu enquadramento legal, magnitude, origem ou duração, entre outros."

Essa definição amplia a aplicação do PRAD ao reconhecer elementos da geodiversidade, como afloramentos fossilíferos e sítios paleontológicos, como atributos ambientais que devem ser protegidos e recuperados.

b) **Art. 3º, Inciso XXXI:**

"Trajetória de recuperação: rota sucessional pela qual um ecossistema se desenvolve ao longo do tempo. Na restauração, a trajetória esperada começa com o ecossistema degradado, danificado ou destruído e progride rumo ao estado desejado de restauração. Durante sua trajetória, o ecossistema pode se dirigir para estados alternativos estáveis ou para estados indesejados. A trajetória envolve todos os atributos ecológicos - bióticos e abióticos - de um ecossistema e, em teoria, pode ser monitorada por meio de indicadores ecológicos."

Esse inciso reforça a importância de incluir componentes abióticos nas estratégias de recuperação, considerando que atributos geológicos e paleontológicos são partes integrais de ecossistemas e podem ser monitorados por meio de indicadores específicos.

Esses dispositivos legais deixam claro que o PRAD pode e deve ser adaptado para proteger e recuperar elementos da geodiversidade, especialmente aqueles associados a áreas de interesse paleontológico.

2.7.2 Estratégias do PRAD no contexto paleontológico

Com base no reconhecimento dos componentes abióticos como atributos ambientais, o PRAD pode ser ampliado para lidar com impactos em áreas de interesse paleontológico. As principais estratégias incluem:

- a) **Proteção física de afloramentos fossilíferos:** Implementação de ações como controle de acessos, isolamento das áreas e revegetação para evitar danos adicionais aos sítios paleontológicos.

- b) **Monitoramento contínuo:** Uso de indicadores ecológicos específicos para componentes abióticos, permitindo avaliar a eficácia das medidas de recuperação e assegurar a integridade das camadas fossilíferas ao longo do tempo.
- c) **Valorização do patrimônio científico e cultural:** Integração de áreas recuperadas a programas educativos, turísticos e científicos, promovendo a conscientização pública e fortalecendo a geoconservação.

Essas estratégias ampliam o escopo do PRAD, que passa a atuar não apenas como uma ferramenta de mitigação ambiental, mas também como um instrumento de valorização do patrimônio geológico e paleontológico.

2.7.3 Complementaridade entre o PRAD e o ordenamento territorial

A integração entre o PRAD e o ordenamento territorial é fundamental para uma gestão territorial sustentável e preventiva. Enquanto o ordenamento territorial foca na identificação e proteção de áreas prioritárias, delimitando zonas de interesse paleontológico e controlando o uso do solo, o PRAD se apresenta como uma ferramenta essencial para mitigar os impactos em áreas já degradadas.

Essa complementaridade permite alinhar ações de planejamento e recuperação, reforçando o papel da geoconservação no planejamento territorial sustentável. Em territórios com significativo valor paleontológico, como os municípios analisados nesta dissertação, essa articulação é crucial para garantir a preservação e a valorização de elementos da biodiversidade, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos para as comunidades locais.

Ao alinhar-se com os objetivos da geoconservação, o PRAD assume uma importância ampliada, não apenas como instrumento de recuperação ambiental, mas também como ferramenta de preservação e valorização do patrimônio paleontológico. A recuperação de sítios fossilíferos degradados contribui para a construção de uma consciência ambiental e científica, ao mesmo tempo em que promove o engajamento comunitário e incentiva o desenvolvimento sustentável em áreas de alta relevância geológica e paleontológica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta dissertação baseia-se na abordagem proposta por Moura (2018) e Brilha (2016), estruturando-se em um processo sistemático para a identificação, avaliação e proposição de estratégias de geoconservação para os sítios paleontológicos da Formação Ipu. Para fins de organização, as atividades foram divididas em três etapas metodológicas principais: pré-campo, campo e pós-campo. Essa divisão é didática e visa facilitar a estruturação da pesquisa, mas não configura, por si só, a metodologia adotada.

O foco desta adaptação do método utilizado por Moura (2018) para os sítios paleontológicos da Formação Ipu busca padronizar os procedimentos aplicados nos inventários do patrimônio geológico do Ceará, facilitando a correlação desses dados em pesquisas futuras, bem como sua integração e utilização nas políticas públicas de gestão territorial. Além disso, a pesquisa incorpora as diretrizes metodológicas de Brilha (2016) para a avaliação qualitativa e quantitativa dos sítios, garantindo um diagnóstico mais robusto para subsidiar medidas de geoconservação.

O método empregado seguiu os princípios da geoconservação, envolvendo inventário, avaliação qualitativa e quantitativa, enquadramento legal, conservação e valorização do patrimônio geológico, conforme os referenciais de Brilha (2005, 2016) e Moura (2018).

3.1 Etapas pré-campo

A fase pré-campo compreendeu pesquisa bibliográfica, análise cartográfica e consulta a especialistas, visando à identificação preliminar dos sítios paleontológicos e ao estabelecimento dos critérios de avaliação.

3.1.1 *Revisão Bibliográfica*

Foi realizada uma revisão detalhada da literatura científica sobre a Formação Ipu e os sítios paleontológicos previamente registrados. Essa etapa teve como objetivo contextualizar os aspectos geológicos e paleontológicos da região e levantar diretrizes metodológicas aplicáveis ao estudo.

As fontes consultadas incluem artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), mapas geológicos e documentos legais que regulamentam a proteção do patrimônio paleontológico no Brasil.

3.1.2 Análise cartográfica e geoespacial

A identificação inicial dos locais de interesse foi realizada por meio da análise de mapas geológicos, topográficos e imagens de satélite. As principais fontes utilizadas foram:

- a) **Mapa Geológico do Estado do Ceará** (Cavalcante *et al.*, 2003).
- b) **Projeto mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará** (Pinéo e Palheta, 2021)
- c) **Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará** (Brandão e Freitas, 2014).
- d) **Imagens de satélite do Google Earth e Google Maps**, com análise do histórico de uso e ocupação do solo.

Além disso, foram examinadas fotografias públicas postadas por usuários no Google Maps, identificando padrões que pudesse corresponder a icnofósseis e potenciais afloramentos fossilíferos.

3.1.3 Consulta a especialistas

Foram consultados pesquisadores que já desenvolveram trabalhos na região, buscando informações sobre ocorrências fossilíferas não documentadas. Além disso, foram realizadas entrevistas exploratórias com condutores de turismo, agentes ambientais e moradores locais, visando compreender a percepção sobre os fósseis e os possíveis impactos sobre os sítios.

3.1.4 Lista de potenciais sítios paleontológicos

Com base nesses levantamentos, foi elaborada uma lista preliminar de Locais de Interesse Geológico Paleontológico (LIGp), composta por afloramentos com potencial científico, educativo ou turístico.

3.2 Etapa de campo

A fase de campo consistiu no inventário e caracterização dos sítios paleontológicos identificados na etapa anterior. Essa atividade incluiu visitas técnicas para descrição geológica e paleontológica, documentação fotográfica e avaliação da vulnerabilidade dos afloramentos.

Os trabalhos de campo foram realizados em seis expedições principais e três complementares, distribuídas ao longo de 2022 e 2023.

3.2.1 Inventário de sítios paleontológicos

Os sítios foram inventariados segundo um protocolo padronizado, baseado nos referenciais metodológicos de Brilha (2016) e Viana *et al.* (2023). As seguintes informações foram registradas para cada sítio:

- a) **Coleta de dados qualitativos:** descrições geológicas e paleontológicas detalhadas.
- b) **Fotografia e georreferenciamento:** registro visual e localização precisa dos sítios.
- c) **Avaliação das condições de acesso e vulnerabilidade:** análise do regime de propriedade, fragilidade e possíveis impactos ambientais.
- d) **Registro de integridade e raridade:** classificação conforme as características geológicas e paleontológicas de cada sítio.

3.3 Etapas pós-campo

Após a realização dos trabalhos de campo, os dados foram sistematizados para análise e proposição de estratégias de geoconservação.

3.3.1 Organização e análise dos dados

A avaliação dos sítios foi conduzida em dois níveis complementares:

3.3.2 Avaliação qualitativa

A avaliação qualitativa dos sítios paleontológicos da Formação Ipu baseou-se nos critérios de integridade, acessibilidade, fragilidade e potencial educativo e turístico, seguindo metodologias amplamente utilizadas na geoconservação (Brilha, 2016; Moura, 2018). Esses critérios permitem um diagnóstico abrangente, considerando tanto a relevância científica dos sítios quanto sua vulnerabilidade e potencial para ações de conservação e valorização, onde:

- a) **Integridade:** Refere-se ao estado de preservação dos afloramentos fossilíferos e sua configuração original. São analisados fatores como grau de alteração devido a processos naturais (erosão, intemperismo) e impactos antrópicos (destruição parcial ou total, extração ilegal de fósseis, descarte inadequado de resíduos).
- b) **Acessibilidade:** Considera a facilidade de acesso aos sítios, tanto para pesquisadores quanto para visitantes. Avalia-se a proximidade de vias de acesso, condições do terreno, restrições físicas ou legais e a existência de infraestrutura mínima para visitação.
- c) **Fragilidade:** Mede a vulnerabilidade dos sítios frente a processos degradativos, sejam eles naturais (erosão acelerada, instabilidade estrutural) ou antrópicos (expansão urbana, turismo desordenado, práticas agrícolas e pecuárias invasivas). Quanto maior a fragilidade, mais urgente é a implementação de medidas de proteção.
- d) **Potencial educativo e turístico:** Avalia a capacidade dos sítios de serem utilizados para atividades de divulgação científica, educação patrimonial e geoturismo. Para isso, são considerados fatores como diversidade e qualidade dos fósseis, grau de compreensão dos processos paleoambientais registrados, atratividade visual e conexão com roteiros turísticos já existentes.

A análise desses critérios permitiu a identificação dos sítios prioritários para a implementação de estratégias de geoconservação, buscando equilibrar a preservação do patrimônio paleontológico com seu uso sustentável.

3.3.3 Avaliação quantitativa

A metodologia adotada segue os critérios propostos por Brilha (2016), com adaptações para a realidade local, e foi aplicada por meio da plataforma GEOSSIT, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Essa abordagem busca integrar informações sobre relevância científica, potencial educativo e turístico, além de riscos de degradação, fornecendo um embasamento técnico para a definição de estratégias de geoconservação.

A avaliação foi estruturada em quatro critérios principais, descritos a seguir:

- a) **Valor científico:** Mede a importância do sítio para a pesquisa paleontológica e geológica, considerando aspectos como raridade dos fósseis, nível de preservação, diversidade taxonômica, potencial de contribuição para reconstruções paleoambientais

e relevância dentro do contexto geológico da Bacia do Parnaíba. Sítios que contêm fósseis bem preservados e com dados inéditos apresentam alto valor científico e demandam maior atenção em estratégias de conservação.

- b) **Valor educativo:** Avalia o potencial do sítio para atividades didáticas em diferentes níveis de ensino, desde a educação básica até a formação universitária. Considera-se a clareza e acessibilidade das feições paleontológicas, a facilidade de interpretação dos processos geológicos e a possibilidade de integração do sítio a programas de educação patrimonial e ambiental. Sítios com fósseis visíveis in situ e contextos geológicos de fácil compreensão são especialmente valorizados nesse critério.
- c) **Valor turístico:** Relaciona-se ao potencial do sítio para atividades de geoturismo, analisando fatores como beleza cênica, facilidade de acesso, infraestrutura turística disponível e possibilidade de inserção em roteiros já estabelecidos. Sítios que combinam relevância paleontológica com atrativos naturais e culturais têm maior viabilidade para exploração turística sustentável, contribuindo para o desenvolvimento local.
- d) **Risco de degradação:** Mede a vulnerabilidade do sítio frente a ameaças naturais e antrópicas, incluindo erosão acelerada, instabilidade geológica, impacto de atividades humanas (expansão urbana, exploração mineral, turismo desordenado), risco de vandalismo e facilidade de acesso a fósseis passíveis de coleta ilegal. Sítios com alto risco de degradação exigem ações prioritárias de conservação, como delimitação, sinalização e controle de visitação.

A avaliação quantitativa foi realizada por meio da atribuição de pontuações a cada critério, permitindo a classificação dos sítios conforme seu grau de relevância e vulnerabilidade. Já a análise qualitativa envolveu observações em campo, entrevistas com especialistas e comunidades locais, e revisão bibliográfica, complementando os dados quantitativos com informações contextuais essenciais para o planejamento das estratégias de geoconservação.

Com base nos resultados obtidos, os sítios paleontológicos foram classificados em duas categorias principais:

- a) **geossítios:** áreas de alto valor científico, educativo ou turístico, cuja preservação é prioritária devido à sua importância no contexto da geodiversidade regional.

b) **sítios de geodiversidade:** áreas com relevância moderada ou complementar, que podem desempenhar um papel secundário na valorização do patrimônio paleontológico, mas ainda assim possuem importância no contexto local.

c)

Essa abordagem integrada possibilitou a hierarquização dos sítios em termos de prioridade para conservação, além de orientar a definição de medidas específicas para sua proteção e uso sustentável. A partir dessas informações, selecionou-se uma área-piloto para a implementação das diretrizes de geoconservação, visando à replicação das estratégias em outros municípios da Ibiapaba Setentrional.

3.3.4 Enquadramento legal

A análise do enquadramento legal foi realizada com base nas principais leis e normativas brasileiras que regulam a proteção do patrimônio natural. Os principais instrumentos avaliados foram:

a) Legislação Federal

- Constituição Federal de 1988

Os artigos 20, 23, 24 e 216 da Constituição de 1988 estabelecem os fósseis como bens da União e determinam a responsabilidade compartilhada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios na proteção do patrimônio natural e cultural. O artigo 216, em especial, define os sítios paleontológicos como patrimônio cultural brasileiro, sujeitando-os a todas as formas legais de acautelamento e preservação.

- Decreto-Lei nº 4.146/1942

Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos, considerando-os bens públicos e estabelecendo que sua extração dependa de autorização prévia do DNPM (atualmente ANM).

- Decreto nº 72.312/1973

Promulga a Convenção da UNESCO (1970) sobre a proibição e prevenção da transferência ilícita de bens culturais, incluindo fósseis.

- Lei nº 9.985/2000 (SNUC)

Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza,

incluindo sítios paleontológicos em categorias como monumentos naturais e parques.

- **Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal)**

Regula o uso sustentável e a preservação ambiental, incluindo áreas de interesse paleontológico situadas em zonas de proteção permanente (APPs).

- **Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais)**

Define sanções para crimes contra o patrimônio natural, com artigos específicos para a proteção de bens culturais e ambientais, incluindo fósseis.

- **Código Penal**

Os artigos 163 (dano) e 180 (recepção) penalizam ações que afetem diretamente os depósitos fossilíferos ou resultem na exploração e comercialização ilegal de fósseis.

b) **Normativas Técnicas e Ambientais**

- **Portaria DNPM nº 155/2016**

Regulamenta os procedimentos de autorização e comunicação para a coleta de fósseis, incluindo salvamentos paleontológicos.

- **Portaria MCT nº 55/1990**

Estabelece as normas para coleta de material paleontológico por estrangeiros, exigindo parceria com instituições nacionais.

- **Instrução Normativa IBAMA nº 2/2009**

Define diretrizes para a proteção de cavidades naturais e sítios arqueológicos e paleontológicos.

- **SISCOMEX – NCM 9705.00.00**

Regula a exportação de fósseis, exigindo registro no Sistema Integrado de Comércio Exterior e anuência da ANM.

3.3.5 Revisão bibliográfica e materiais consultados

Além da literatura científica, foram consultados mapas e relatórios técnicos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), incluindo:

1. **Mapa Geológico do Estado do Ceará** (Cavalcante *et al.*, 2003).
2. **Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará** (Brandão e Freitas, 2014).

3. **Carta Geológica: Folhas Ipu, Sobral e Frecheirinha** (ABREU *et al.*, 2015; GORAYEB *et al.*, 2014; SILVA JUNIOR *et al.*, 2014).
4. **Projeto ARIM Noroeste do Ceará** (PINÉO *et al.*, 2018).

4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS SÍTIOS PALEONTOLOGICOS DA FORMAÇÃO IPU, SILURIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, NOROESTE DO CEARÁ

A avaliação quantitativa dos sítios paleontológicos é um passo essencial para a definição de estratégias de geoconservação, permitindo a identificação de áreas prioritárias para conservação e uso sustentável. Neste capítulo, apresenta-se um artigo científico que sintetiza os resultados obtidos na análise dos sítios fossilíferos da Formação Ipu, identificados e classificados com base na metodologia de Brilha (2016) e na plataforma GEOSSIT do Serviço Geológico do Brasil.

O artigo intitulado "Avaliação Quantitativa dos Sítios Paleontológicos da Formação Ipu, Siluriano da Bacia do Parnaíba, Noroeste do Ceará" foi publicado na Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024, e está disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/993>. O estudo detalha o inventário paleontológico realizado nesta dissertação e tem como principal objetivo quantificar e classificar os sítios fossilíferos estudados, destacando aqueles que necessitam de proteção prioritária.

Os resultados apresentados foram fundamentais para a definição da área-piloto de geoconservação, assim como para a proposição de estratégias de proteção e valorização do patrimônio paleontológico na região. A abordagem quantitativa utilizada, associada à análise dos potenciais científicos, educativos e turísticos dos sítios, permite integrar a geoconservação ao ordenamento territorial, promovendo sua incorporação em políticas públicas locais e regionais.

A seguir, o artigo é apresentado na íntegra, conforme publicado no periódico.



AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS SÍTIOS PALEONTOLÓGICOS DA FORMAÇÃO IPU, SILURIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, NOROESTE DO CEARÁ

Quantitative evaluation of paleontological sites of Ipu formation, silurian of the Parnaíba basin, northwestern Ceará

Evaluación cuantitativa de los sitios paleontológicos de la formación Ipu, siluriano de la cuenca de Parnaíba, Noroeste de Ceará

 <https://doi.org/10.35701/rgcs.v26.993>

Thiago de Albuquerque Lima¹

Maria Somália Sales Viana²

Paulo Victor de Oliveira³

Histórico do Artigo:

Recebido em 14 de outubro de 2023

Aceito em 19 de maio de 2024

Publicado em 26 de maio de 2024

RESUMO

A borda leste da Bacia do Parnaíba abriga sítios paleontológicos do Siluriano. Objetivou-se com esta pesquisa, identificar e analisar quantitativamente Locais de Interesse Geopaleontológicos (LIGp) da Formação Ipu no Ceará. Com base na metodologia de Brilha e utilizando-se da plataforma GEOSSIT do Serviço Geológico do Brasil foram selecionados, classificados e quantificados os LIGp. Realizaram-se sete missões de campo resultando na identificação de nove sítios paleontológicos em quatro municípios: Sapó e Baixa Fria dos Santos, em Santana do Acaraú; Contra Fogo e Zipu, em Pacujá; Caveira e Floresta, em Cariré; Bica do Ipu, Três Pedras e Palmeirinha, em Ipu. Foram avaliados: valor científico, risco de degradação, prioridades de proteção, potencial uso educativo e turístico. Os sítios Contra Fogo e Zipu necessitam de proteção prioritária pois possuem alto risco de degradação; os demais, apesar de possuírem moderado risco de degradação, tem potencial uso educativo de

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

E-mail: limathial@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3445-8162>

² Professora adjunta do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

E-mail: somalia_viana@hotmail.com

 <http://orcid.org/0000-0001-5961-2667>

³ Professor adjunto do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

E-mail: victoroliveira@ufpi.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-1841-9999>

relevância nacional, fazendo-se necessária a construção de uma plano de conservação para todos. Como ponto de partida para o desenvolvimento de estratégias de geoconservação, sugere-se a inserção do conhecimento sobre o patrimônio paleontológico nos programas ambientais e educativos municipais, bem como o aproveitamento desses sítios paleontológicos no desenvolvimento regional sustentável através da economia, cultura e turismo.

Palavras-chave: Geoconservação. Patrimônio paleontológico. Sítios da geodiversidade. Geossítios. Paleooinvertebrados.

ABSTRACT

The eastern edge of the Parnaíba Basin is home to Silurian paleontological sites. The objective of this research was to identify and quantitatively analyze Geopaleontological Sites of Interest (LIGp) of the Ipu Formation in Ceará. Based on Brilha's methodology and using the GEOSSIT platform of the Geological Survey of Brazil, LIGp were selected, classified and quantified. Seven field missions were carried out resulting in the identification of nine paleontological sites in four municipalities: Sapó and Baixa Fria dos Santos, in Santana do Acaraú; Contra Fogo and Zipu, in Pacujá; Caveira and Floresta, in Carié; Bica do Ipu, Três Pedras and Palmeirinha, in Ipu. The following were assessed: scientific value, risk of degradation, potential educational and tourist use and protection priorities. The Contra Fogo and Zipu sites require priority protection as they have a high risk of degradation; the others, despite having a moderate risk of degradation, have potential educational uses of national relevance, making it necessary to create a conservation plan for everyone. As a starting point for the development of geoconservation strategies, it is suggested the inclusion of knowledge about paleontological heritage in municipal environmental and educational programs, as well as the use of these paleontological sites in sustainable regional development through economy, culture and tourism.

Keywords: Geoconservation. Paleontological heritage. Geodiversity sites. Geosites. Paleooinvertebrates.

RESUMEN

El borde oriental de la cuenca de Parnaíba alberga sitios paleontológicos del Silúrico. El objetivo de esta investigación fue identificar y analizar cuantitativamente Sitios de Interés Geopaleontológico (LIGp) de la Formación Ipu en Ceará. Con base en la metodología de Brilha y utilizando la plataforma GEOSSIT del Servicio Geológico de Brasil, se seleccionaron, clasificaron y cuantificaron LIGp. Se realizaron siete misiones de campo que resultaron en la identificación de nueve sitios paleontológicos en cuatro municipios: Sapó y Baixa Fria dos Santos, en Santana do Acaraú; Contra Fogo y Zipu, en Pacujá; Caveira y Floresta, en Carié; Bica do Ipu, Três Pedras y Palmeirinha, en Ipu. Se evaluaron: valor científico, riesgo de degradación, potencial uso educativo y turístico y prioridades de protección. Los sitios Contra Fogo y Zipu requieren protección prioritaria ya que tienen un alto riesgo de degradación; los demás, a pesar de tener un riesgo moderado de degradación, tienen potenciales usos educativos de relevancia nacional, por lo que es necesario crear un plan de conservación para todos. Como punto de partida para el desarrollo de estrategias de geoconservación, se sugiere la inclusión del conocimiento sobre el patrimonio paleontológico en los programas ambientales y educativos municipales, así como el uso de estos sitios paleontológicos en el desarrollo regional sustentable a través de la economía, la cultura y el turismo.

Palabras clave: Geoconservación. Patrimonio paleontológico. Sitios de geodiversidad. Geositios. Paleooinvertebrados.

INTRODUÇÃO

Patrimônio está associado à herança e a valores, sejam estes físicos ou abstratos. Esses valores, ampliados ou perdidos, passam de geração em geração. O Patrimônio Natural é formado por monumentos naturais constituídos por formações físicas e biológicas, formações geológicas e fisiográficas, além de sítios naturais (UNESCO, 1972) que podem ser conservados ou destruídos, a depender da gestão desses elementos.



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rgcs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

O conceito proposto pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) traz claras referências geológicas, contudo, ainda que nosso planeta seja fisicamente diverso, “diversidade na natureza é geralmente entendida como biodiversidade ou diversidade da natureza viva” (Milton, 2002). A natureza não viva, abiótica ou geodiversidade raramente é apreciada pelo público, mas sem ela e os recursos a ela associados a vida moderna não poderia existir.

A geodiversidade representa a natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, fósseis, água, solos e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra (CPRM, 2006).

Componente do Patrimônio Natural, o Patrimônio Geológico representa os elementos da geodiversidade que são essenciais para a compreensão da história geológica da Terra, configurando-se como memória e recurso a ser protegido (preservado ou conservado) para a atual e futuras gerações (Moura, 2018). A proteção destes elementos excepcionais atrelados à conservação da natureza e ao desenvolvimento sustentável é a proposta da geoconservação enquanto ciência (Brilha et al., 2018; Brilha, 2005); Henriques et al., 2011; Carcavilla, 2012).

O patrimônio paleontológico, como categoria do patrimônio geológico e parte integrante da geodiversidade, compreende o conjunto de ocorrências fossilíferas de determinada área (patrimônio *in situ*), bem como os fósseis retirados de seus locais de origem, tombados em coleções museológicas ou de universidades (patrimônio *ex situ*), que possuem valores científico, educativo e cultural. Um depósito fossilífero é considerado um sítio paleontológico quando é um local reconhecido pela notável presença de fósseis que foram ou que estão sendo estudados, tornando-se passível de tombamento como monumento natural (Viana, 2018).

Na legislação do país, os fósseis brasileiros e os sítios paleontológicos em território nacional também são considerados como bem da União e como patrimônio cultural (Decreto-Lei 4.146 de 1942; Artigo 216 da Constituição Federal de 1988), devendo necessariamente serem protegidos. Dessa forma, os fósseis compreendem uma pluralidade patrimonial (mundial, geológico, natural e cultural) que os reveste de imensurável notoriedade na cidadania de uma nação, contribuindo para o seu enriquecimento.

A preservação dos elementos da geodiversidade e as maneiras de quantificá-los constituem estratégias de geoconservação e podem recorrer a índices relativamente subjetivos e qualitativos que, quando ponderados, traduzem o estado de conservação momentâneo dos elementos abióticos da natureza e seus usos potenciais (Uceda, 2000; Brilha, 2005; Worton, 2008; Mansur, 2010; Brilha, 2015). Alguns locais podem ser considerados geossítios, onde representam a unidade básica do patrimônio geológico (Henriques et al. 2011), em torno do qual toda estratégia de proteção é delineada (Prosser et



al, 2018). A visão do cuidado para com a geodiversidade relacionada aos sítios com valores patrimoniais é encontrada em Brilha (2005, 2016 e 2018) e Nascimento (2008).

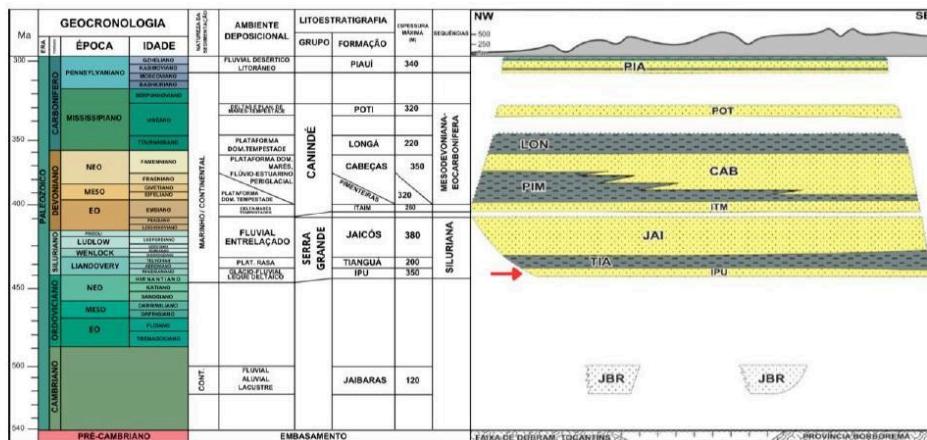
O Planalto da Ibiapaba, megaforma de relevo denominado de Serra da Ibiapaba no seu segmento setentrional e de Serra Grande no segmento meridional (Claudino-Sales, 2020), possui inúmeros sítios paleontológicos com fósseis do Paleozoico que testemunham sua história geológica. Nesta região, as pesquisas paleontológicas são relativamente recentes, começando, de maneira sistemática, a partir da instalação do Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (LABOPALEO/UVA) em 2003. Os trabalhos do LABOPALEO com fósseis da Serra da Ibiapaba começam em 2004 com a descoberta e estudo dos sítios paleontológicos na região do município de Pacujá-CE. O trabalho de Viana *et al.* (2010) e a tese de doutorado de Barroso (2016) são dois marcos científicos das pesquisas nesta região. Para a Formação Ipu, objeto deste estudo, estes e outros trabalhos publicados ou em estudos de dissertação e mestrado (Souza *et al.*, 2015; Rusinelli & Ricardi-Branco, 2019, 2020; Soares, 2017; Viana, 2018; Viana *et al.*, 2023) já demonstram o potencial paleontológico do território, a importância paleoambiental dos afloramentos, contudo também revelam um elevado grau de degradação por processos erosivos naturais e intervenções antrópicas, que podem resultar na perda parcial ou total das informações científicas.

Objetivou-se com a pesquisa identificar e analisar quantitativamente os sítios paleontológicos da Formação Ipu no Estado do Ceará, elaborando o primeiro inventário desses locais como estratégia de geoconservação. O objeto do estudo foram os Lugares de Interesse Geopaleontológico (LIGp) da Formação Ipu nos municípios de Pacujá, Cariré, Ipu e Santana do Acaraú.

GEOLOGIA DOS SÍTIOS PALEONTOLOGICOS EM ESTUDO

A área desta pesquisa assenta-se em terrenos do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, que é composto por três formações sedimentares dispostas em forma ascendente, Ipu, Tianguá e Jaicós (Figura 1). Essas unidades compõem a Sequência Tectônica Siluriana que corresponde a um ciclo transgressivo-regressivo completo, representando sistemas continentais e costeiros (Vaz *et al.*, 2007). As rochas do Grupo podem ser observadas em afloramentos na borda leste da bacia, dispostas em uma faixa de direção norte-sul e ainda em direção nordeste, na região de Santana do Acaraú, sobrepondo rochas do embasamento cristalino (Barrera, 2018).

Figura 1: Seção da Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba, evidenciando a Formação Ipu.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Vaz et al. (2007).

A unidade litoestratigráfica estudada neste trabalho é a Formação Ipu em sua porção cearense, aflorante em uma pequena faixa no limite mais oriental da Bacia do Parnaíba, sendo a porção basal da mesma e também do Grupo Serra Grande (Figura 01). A sedimentação da Formação Ipu representa sistemas deposicionais fluviais e deltaicos (Vaz et al., 2007; Góes & Feijó, 1994), sendo caracterizada pela ocorrência de conglomerados com matriz feldspática areno-argilosa com seixos de quartzo, ardósia, quartzito e arenitos grossos, de cor cinza, mal selecionados (CPRM, 2014). Suas rochas foram depositadas em ambiente glacial proximal, glacio-fluvial, leques ou frentes deltaicos (Caputo, 1984). Os afloramentos destes depósitos estão distribuídos principalmente numa estreita faixa de terra em sentido Norte-Sul que vai do município de Graça até Ipueiras, mas ocorrem também na região de Santana do Acaraú, seguindo o deslocamento sentido NE-SW através do o Lineamento Transbrasiliano (LTB), localmente denominada Lineamento Sobral-Pedro II.

Esta unidade possui conteúdo fossilífero constituído por moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis de invertebrados marinhos, depositados em ambientes costeiros e estuarinos, de alta energia e influência de ondas (Barroso, 2016; Viana et al., 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a seleção dos geossítios do inventário, este trabalho utilizou como base a metodologia de Brilha (2016) adaptada às particularidades do patrimônio paleontológico, as quais são descritas abaixo:



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rgcs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada em vista de caracterizar a área de estudo em termos geológicos, geomorfológicos e paleontológicos para identificar potenciais geossítios. Foram realizadas buscas sistemáticas em bases de dados como Periódicos CAPES, Scopus, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, ScienceDirect, CrossRef, Academia, Google Acadêmico. Para isso foram consideradas as seguintes expressões de busca: Formação Ipu, icnofósseis, Bacia do Parnaíba, sítios paleontológicos, geoconservação. Os critérios de seleção incluíam artigos, dissertações e/ou teses em língua inglesa, espanhola e portuguesa. A inclusão de dissertações e teses na revisão bibliográfica justifica-se na baixa produção de artigos específicos sobre os fósseis da Formação Ipu, estando a maior parte dos estudos conduzidos nesta área até o momento, em trabalhos finais de mestrado e doutorado.

Os registros identificados continham alguma das expressões citadas anteriormente nos campos da base de dados (título, resumo ou palavras-chave) e foram publicados entre 2000 e 2023. Após a análise, foram selecionados os trabalhos que atendiam os objetivos delimitados. De modo a sistematizar os resultados obtidos, também foram consultados livros e relatórios técnicos. A avaliação ocorreu de forma qualitativa, a partir da leitura dos materiais identificados, visando delinear a abordagem geral e os resultados obtidos.

CONSULTA A ESPECIALISTAS

Foram consultados seis pesquisadores, todos biólogos, que desenvolveram ou desenvolvem investigações nos municípios da área de estudo. Estes são ou foram membros do Herbário da UVA ou do Grupo de Pesquisas Paleontológicas no Noroeste Cearense.

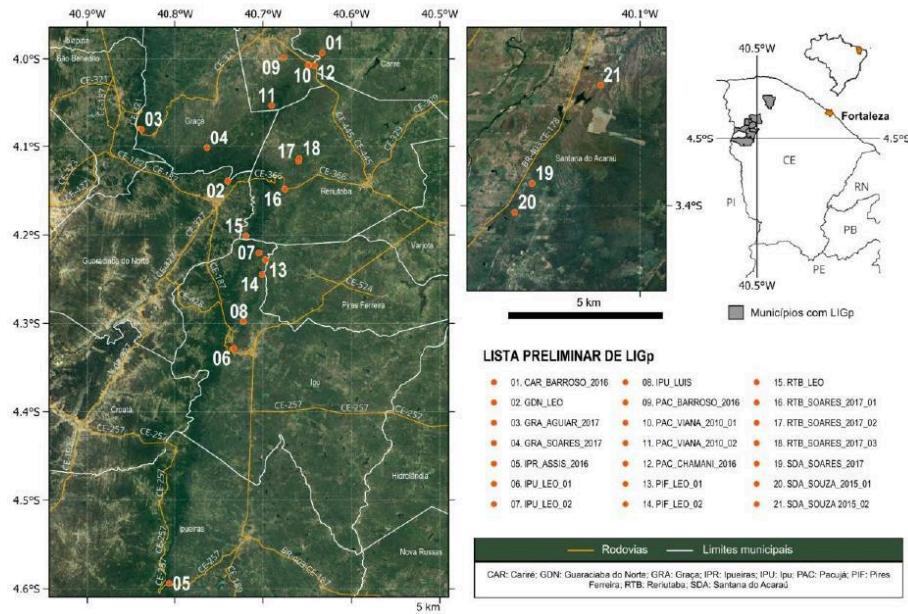
LISTA PRELIMINAR DE LOCAIS DE INTERESSE PALEONTOLOGICO

Com base na literatura e pesquisadores consultados foi elaborada uma lista preliminar de LIGp. Estes foram previamente reconhecidos por imagens de satélite através do Google Maps e plotados em mapas para localização (Figura 2). Para inserção no banco de dados do LABOPALEO, a identificação dos pontos seguiu o seguinte padrão: Sigla do município, sublinhado, nome do especialista consultado ou autor do trabalho, sublinhado, ano de publicação do trabalho (se aplicável), sublinhado, numeração do ponto (quando há mais de um ponto no município indicado pelo mesmo especialista ou trabalho); todos os caracteres são maiúsculos e não há espaçamento entre eles. Exemplo: SIGLA_AUTOR_ANO_NUMERO.



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rgcs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

Figura 2: Mapa das localidades da lista preliminar de LIGp.



Fonte: Elaborado pelo autor, modificado de Pinéo & Palheta (2021), IPECE (2023), OpenStreetMap e Google Earth. Sistema de Referências de Coordenadas EPSG: 4326.

TRABALHO DE CAMPO

Os trabalhos de campo para avaliação qualitativa, caracterização e identificação de novos sítios foram desenvolvidos em sete viagens durante o período de 2021 a 2023, visitando os pontos 01, 06, 08, 09, 10, 11, 19, 20 e suas adjacências, que revelou novos sítios não listados anteriormente. Os outros pontos da lista não foram visitados pois não havia viabilidade logística e econômica para realização dos deslocamentos, contudo continuam a integrar a lista preliminar de LIGp para continuação do inventário em trabalhos posteriores. Nos LIGp foram identificados os afloramentos, observadas sua integridade, fragilidade e vulnerabilidade (natural ou antrópica). Os sítios foram fotografados, descritos e observados os aspectos culturais, ambientais e o potencial turístico dos locais. Para georreferenciamento e medida de altitude dos afloramentos foi utilizado o aplicativo UTM Geo Map em um aparelho celular modelo Samsung A34 5G, sendo a média de precisão dos pontos plotados 3,3 metros. Na visita aos afloramentos, nove amostras que estavam desligadas dos afloramentos e corriam risco de destruição ou utilização para construção civil foram recolhidas e depositadas no acervo do Museu Diocesano Dom

José, em Sobral-CE, sob os tombos MDJ Cn 147 a 155 para estudos futuros de icnotaxonomia e paleoecologia. A autorização para extração desses fósseis está registrada no requerimento 052/2020 do Controle das Autorizações e Comunicações de Extração de Fósseis.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A avaliação quantitativa foi realizada utilizando a plataforma GEOSSIT da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) que é um sistema de uso público para o cadastro de sítios geológicos (lugares, "in situ") e elementos geológicos móveis (materiais, "ex situ") existentes no território nacional. O inventário do patrimônio geológico do Brasil, em progressiva construção na interface, inclui a quantificação do interesse geocientífico levando-se em consideração a representatividade, singularidade, raridade, expressão e integridade dos aspectos geológicos desses locais e elementos, além da clareza em retratar temas, fatos, processos, fenômenos ou eventos geológicos relevantes (SBG/CPRM, 2024). Neste estudo serviu-se de todos os critérios do programa sem exclusão, observando porém as particularidades do patrimônio paleontológico.

No GEOSSIT, cada critério de avaliação apresenta um número específico de parâmetros com pesos distintos. Para cada critério, seleciona-se o parâmetro mais próximo à realidade do local em avaliação, sendo valorados em 1, 2 e 4. Para os casos onde nenhum dos parâmetros mostra-se adequado, considera-se a opção "não se aplica" (NA), com pontuação zero.

A quantificação do valor científico (VC) no GEOSSIT integra sete critérios, cada um com um determinado peso relativo que reflete a importância para o cálculo final do valor científico: A1) Representatividade (30%); A2) Local-Tipo (20%); A3) Conhecimento Científico (5%); A4) Integridade (15%); A5) Diversidade geológica (5%); A6) Raridade (15%) e A7) Limitações de Uso (10%).

Para o cálculo do risco de degradação, o método utiliza cinco critérios: B1) Deterioração dos conteúdos geológicos (35%); B2. Proximidade a zonas degradadoras (20%); B3) Proteção Legal (20%); B4) Acessibilidade (15%) e B5) Densidade Demográfica (10%). A partir dos resultados obtidos, o método classifica o risco em três níveis: baixo (inferior ou igual a 200), moderado (entre 201 e 300) e alto (entre 301 e 400). Para a avaliação do potencial uso educativo e turístico (PUE e PUT), são usados 15 critérios (Tabela 1).

Tabela 1: Critérios e pesos para a avaliação do potencial uso educativo e turístico.

Potencial de Uso Educativo e Turístico		
Critério	Peso Educativo	Peso Turístico
C1. Vulnerabilidade	10%	10%
C2. Acessibilidade	10%	10%
C3. Limitações de Uso	5%	5%
C4. Segurança	10%	10%
C5. Logística	5%	5%
C6. Densidade demográfica	5%	5%
C7. Associação com outros valores	5%	5%
C8. Beleza cênica	5%	15%
C9. Singularidade	5%	10%
C10. Condições de observação	10%	5%
C11. Potencial didático	20%	-
C12. Diversidade geológica	10%	-
C13. Potencial para divulgação	-	10%
C14. Nível econômico	-	5%
C15. Proximidade a zonas recreativas	-	5%

Fonte: Plataforma GEOSSIT.

Ao final, os sítios podem ser classificados em três categorias de relevância: internacional ($VC \geq 300$); nacional ($VC \geq 200$ e $VC \leq 200$ com PUE ou PUT ≥ 200); e regional ($VC < 200$ e PUE ou



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rgcs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

PUT \leq 200). Ao final, os sítios podem ser classificados como geossítios (VC \geq 200) ou sítios da geodiversidade (VC $<$ 200), assim como em três categorias de relevância: internacional (VC \geq 300); nacional (VC $>$ 200 e VC \leq 200 com PUE ou PUT \geq 200); e regional (VC $<$ 200 e PUE ou PUT \leq 200). Pelas especificidades e importância do patrimônio paleontológico no país, apesar de Brilha (2016) considerar geossítios apenas os locais com alto valor científico, utilizou-se nesta pesquisa a nomenclatura de sítios paleontológicos tanto para geossítios como para sítios da geodiversidade cujo interesse geológico principal estivesse relacionado à paleontologia.

Para definir a prioridade de proteção dos sítios geológicos, o GEOSSIT utiliza um procedimento adaptado de Garcia-Cortés & Carcavilla (2009) que distingue as prioridades em função do valor científico, risco de degradação e uso educativo e turístico. Para cada um dos casos, a Prioridade de Proteção (PP) resulta da soma do valor científico ou do uso com o risco de degradação e pode ser classificada em quatro intervalos: i) Longo Prazo (PP \leq 300); ii) Médio Prazo (300 $<$ PP \leq 550); iii) Curto Prazo (550 $<$ PP \leq 750) e iv) Urgente (PP $>$ 750).

RESULTADOS

LISTA FINAL DE SÍTIOS PALEONTOLÓGICOS E AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Foram listados os sítios paleontológicos de nove localidades (Tabela 2) que foram visitadas, quantificadas, classificadas e descritas.

Tabela 2: Listagem de Sítios paleontológicos, localização, altitude e regimes de propriedade e proteção. APP: Área de Preservação Permanente (Brasil, 2012).

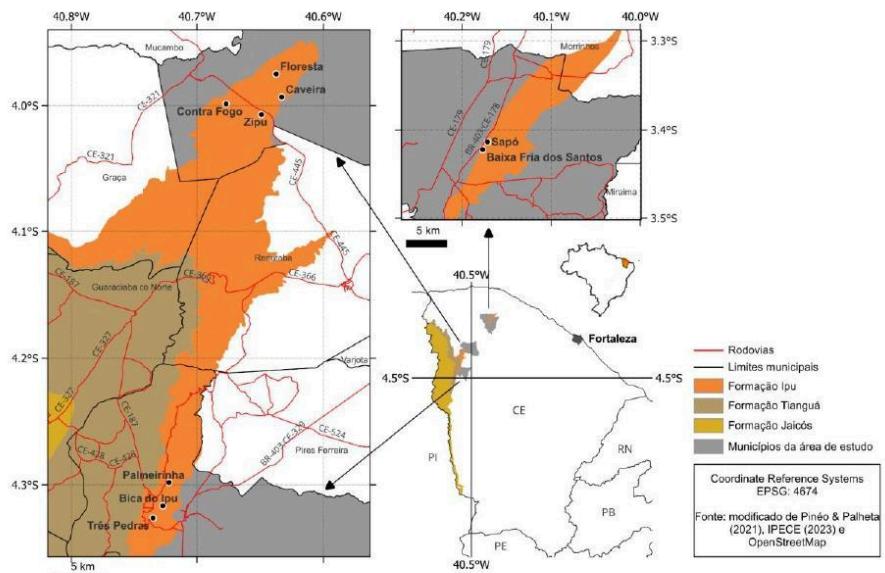
Sítio Paleontológico	Município	Coordenada geográfica	Altitude	Regime de propriedade	Regime de proteção
Baixa Fria dos Santos	Santana do Acaraú	3.422222° S 40.176944° W	54 m	Privado	Não se aplica
Sapó	Santana do Acaraú	3.413550° S 40.171564° W	80 m	Público	Não se aplica
Contra Fogo	Pacujá	3.998650° S 40.676868° W	181 m	Privado	Não se aplica
Zipu	Pacujá	4.007542° S 40.649206° W	240 m	Misto	Não se aplica
Caveira	Cariré	3.993250° S 40.633056° W	196 m	Público	Não se aplica

Sítio Paleontológico	Município	Coordenada geográfica	Altitude	Regime de propriedade	Regime de proteção
Floresta	Cariré	3.975028° S 40.637431° W	221 m	Público	Não se aplica
Bica do Ipu	Ipu	4.316667° S 40.726944° W	405 m	Público	APP Estadual
Três Pedras	Ipu	4.327297° S 40.733375° W	623 m	Público	APP Estadual
Palmeirinha	Ipu	4.298171° S 40.722165° W	640 m	Misto	APP Estadual

Fonte: elaborado pelo autor, modificado de Moura (2018). Sistema de coordenadas EPSG 4674

Os nove sítios paleontológicos da listagem final foram plotados em mapa contendo a indicação das unidades geológicas do Grupo Serra Grande para melhor visualização espacial da sua inserção nos terrenos da Formação Ipu (Figura 3).

Figura 3: Mapa dos sítios paleontológicos da Formação Ipu com as unidades geológicas do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba e principais rodovias de acesso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor científico (VC) obtido para os sítios paleontológicos (Tabela 3) variou entre 110 e 325 (para um máximo de 400 pontos). Quatro sítios, Contra Fogo, Bica do Ipu, Três Pedras e Palmeirinha, apresentaram VC acima de 200, sendo assim considerados geossítios, enquanto os demais foram considerados sítios da geodiversidade: Zipu, Caveira, Floresta, Sapó e Baixa Fria dos Santos. Apesar da sua classificação como sítios da geodiversidade, estes também foram considerados em todas as avaliações pelas particularidades de proteção ao Patrimônio Cultural da Nação (fósseis e sítios fossilíferos) determinados pela atual Constituição Brasileira.

Tabela 3: Avaliação quantitativa do valor científico (VC) e risco de degradação (RD) dos sítios paleontológicos por meio da plataforma GEOSSIT.

Sítio Paleontológico	Valor Científico (A)								Risco de Degradação (B)					
	1	2	3	4	5	6	7	VC	1	2	3	4	5	RD
Baixa Fria dos Santos	1	0	4	1	2	1	4	110	4	1	4	3	1	295
Sapó	1	0	4	1	2	1	0	130	4	1	4	3	1	295
Contra Fogo	4	4	4	4	2	1	2	325	4	4	3	1	1	305
Zipu	1	0	4	2	2	1	4	145	4	4	4	2	1	340
Caveira	1	0	2	1	1	1	4	115	4	1	4	2	1	280
Floresta	2	0	0	2	2	1	4	155	3	1	4	2	1	245
Bica do Ipu	2	4	4	2	4	1	4	265	2	0	2	3	1	165
Três Pedras	2	0	1	4	2	2	4	205	2	2	2	1	1	175
Palmeirinha	2	0	1	4	2	2	4	205	3	1	2	2	1	205

Fonte: elaborado pelo autor, modificado de Moura (2018).

Nota: Nomenclatura dos parâmetros utilizados. Valor Científico: A1) Representatividade; A2) Local-Tipo; A3) Conhecimento Científico; A4) Integridade; A5) Diversidade geológica; A6) Raridade; A7) Limitações de Uso. Risco de Degradação: B1) Deterioração dos conteúdos geológicos; B2) Proximidade a zonas degradadoras; B3) Proteção Legal; B4) Acessibilidade; B5) Densidade Demográfica.

Os critérios que receberam as maiores pontuações na avaliação do valor científico foram Conhecimento Científico, Diversidade Geológica e Limitações de Uso. Com base no valor deste conjunto de critérios, a classificação de relevância aponta para o predomínio de geossítios, um de relevância internacional (Contra Fogo), seguido de três geossítios de relevância nacional (Bica do Ipu, Três Pedras e Palmeirinha), quatro sítios da geodiversidade de relevância nacional (Zipu, Floresta, Caveira e Sapó) e um sítio da geodiversidade de relevância regional/local (Baixa Fria dos Santos).

O sítio paleontológico Contra Fogo atingiu altas pontuações no valor científico, apresentando os seguintes aspectos: 1. ambientação geológica diversa no sítio e áreas adjacentes, sendo possível observar a sequência estratigráfica de algumas unidades das bacias do Jaibaras e do Parnaíba, exibindo inclusive um perfil estratigráfico completo ao longo do Riacho Lameirão; 2. riqueza de detalhes dos processos tafonômicos de conservação dos espécimes de anêmonas-do-mar; 3. alta diversidade de icnogêneros; 4. estudos de detalhe (dissertação, tese e artigos científicos); 5. comprovada raridade de ocorrência de organismos de corpo mole e dos seus processos fossilíferos de conservação impressionantes em sedimentos grossos; 6. possibilidade de fácil acesso, no caso de visitação aberta a todos os públicos (terreno plano com percurso arborizado).

Por outro lado, o sítio paleontológico Bica do Ipu recebeu as maiores pontuações para Local-tipo por possuir as seguintes características: 1. presença de um estratotípico; 2. contato geológico marcante entre o embasamento cristalino e a bacia sedimentar do Parnaíba, apresentado em uma cachoeira; 3. exibição didática da definição do relevo de *glint*; 4. relevo em escarpa; 5. presença de fósseis de anêmona-do-mar. Todos esses atributos contribuem para elevar o seu VC.

O risco de degradação obtido variou entre 165 e 340 (para um valor máximo de 400 pontos). De acordo com os intervalos de risco, dois sítios geológicos foram classificados com alto risco de degradação e os outros sete sítios com risco moderado (Tabela 5).

O potencial uso educativo obtido para os sítios paleontológicos variou entre 195 a 265 pontos (para um valor máximo de 400 pontos) (Tabela 4). Os sítios que obtiveram melhores pontuações neste critério apresentaram ótimas características de: 1. condições de acesso e logística para grupos de visitantes; 2. fósseis descritos apenas para essa região com boas condições de observação, porém alta vulnerabilidade (Bica do Ipu, Contra Fogo, Zipu, Três Pedras e Palmeirinha); 3. serem sítios mais distantes de centros urbanos e de maior extensão. Os sítios que obtiveram valores inferiores a 200 pontos se caracterizam por serem vulneráveis, de difícil acesso e com baixo potencial didático, sendo eles Floresta, Caveira, Sapó e Baixa Fria dos Santos.

Tabela 4: Avaliação quantitativa do potencial uso educativo e turístico dos sítios paleontológicos da Formação Ipu por meio da plataforma GEOSSIT.

Sítio Paleontológico	Potencial de Uso Educativo e Turístico (C)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PE	13	14	15	PT
Baixa Fria dos Santos	1	1	1	1	3	1	2	0	4	4	2	3	195	3	1	0	160
Sapó	1	3	4	1	3	1	2	0	4	4	2	2	220	3	1	0	195
Contra Fogo	1	1	4	2	4	1	2	0	4	4	2	3	225	3	1	4	210
Zipu	2	2	4	2	4	1	2	0	4	4	2	3	245	3	1	1	215
Caveira	1	2	4	2	4	1	2	0	4	4	2	1	240	3	1	1	210
Floresta	1	2	4	2	4	1	3	0	4	4	2	3	225	3	1	3	220
Bica do Ipu	1	3	4	2	4	1	4	2	4	4	2	3	265	3	1	4	270
Três Pedras	4	1	4	2	4	1	4	0	4	4	4	3	305	4	1	4	260
Palmeirinha	3	2	4	2	4	1	4	0	4	4	4	4	315	2	1	4	260

Fonte: elaborado pelo autor, modificado de Moura (2018).

Nota: Nomenclatura dos parâmetros utilizados. C1) Vulnerabilidade. C2) Acessibilidade. C3) Limitações de Uso. C4) Segurança. C5) Logística. C6) Densidade Demográfica. C7) Associação com outros valores. C8) Beleza Cênica. C9) Singularidade. C10) Condições de Observação. C11) Potencial Didático. C12) Diversidade Geológica. C13) Potencial para Divulgação. C14) Nível Econômico. C15) Proximidade a Zonas Recreativas.

O potencial uso turístico obtido variou entre 190 e 270 pontos (para um valor máximo de 400 pontos) (Tabela 3). Os geossítios que apresentam características geomorfológicas que potencializam o uso turístico devido ao valor estético associado obtiveram a maior pontuação: Bica do Ipu, Zipu, Três Pedras e Palmeirinha. Os sítios da geodiversidade Baixa Fria dos Santos, Sapó, Floresta, Caveira e Contra Fogo obtiveram as menores pontuações para o uso turístico. Em comum, estes sítios são altamente vulneráveis, não possuem atrativos cênicos consideráveis, estão distantes de zonas recreativas e apresentaram baixo potencial para divulgação.

AVALIAÇÃO DAS PRIORIDADES DE PROTEÇÃO

A prioridade de proteção científica (PPC) obtida variou entre 350 e 735 pontos (para um valor máximo de 800 pontos): os sítios foram classificados com prioridade em curto e médio prazos.

Tabela 5: Avaliação das prioridades de proteção científica (PPC), educativa (PPE) e turística (PPT) dos sítios paleontológicos da Formação Ipu por meio da plataforma GEOSSIT. Pos.: Posição no ranque de avaliação.

Sítio Paleontológico	Prioridade de Proteção						
	PPC	POS.	PRAZO	PPE	PRAZO	PPT	PRAZO
Baixa Fria dos Santos	405	6	médio	490	médio	455	médio
Sapó	425	4	médio	515	médio	490	médio
Contra Fogo	630	1	curto	530	médio	515	médio
Zipu	400	7	médio	490	médio	460	médio
Caveira	395	8	médio	495	médio	485	médio
Floresta	485	2	médio	565	curto	560	curto
Bica do Ipu	430	3	médio	430	médio	435	médio
Três Pedras	380	9	médio	490	médio	435	médio
Palmeirinha	410	5	médio	510	médio	465	médio

Fonte: elaborado pelo autor, modificado de Moura (2018).

Os sítios paleontológicos Contra Fogo e Zipu, considerados com prioridade em curto prazo (Tabela 4), devem ser prioritários para o desenvolvimento de estratégias de geoconservação, pois a sua proximidade com áreas residenciais contribui para o aumento da degradação dos sítios por atividades antrópicas como plantações e criação de animais feitas ao redor ou diretamente sobre os afloramentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo acrescenta novos conhecimentos à paleontologia do estado do Ceará, revelando um novo patrimônio que pode ser utilizado na gestão ambiental, cultural e ordenamento territorial dos municípios. O levantamento dos locais de interesse paleontológico da Formação Ipu, sua classificação e análise quantitativa de seus valores, delineia um panorama geral acerca dos sítios



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rccgs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

paleontológicos desta porção do Grupo Serra Grande: a grande área de extensão dos terrenos dessa formação sugere a existência de novos sítios ainda não catalogados, mas, principalmente, a urgência de proteção dos locais estudados neste trabalho.

Os dados apresentados neste trabalho reforçam o contraste entre a importância das informações paleontológicas e a fragilidade dos sítios perante o avanço dos centros urbanos. Para que haja uma real proteção dos sítios investigados, é necessário que o conhecimento sobre a importância científica e os valores, reais e abstratos, que a sua existência traz seja difundido entre os gestores municipais e, principalmente, entre a população desses locais.

A criação de áreas de proteção para os sítios de maior valor científico e educativo (Pacujá e Ipu), a fixação de placas de sinalização nas rodovias e instalação de painéis interpretativos próximos aos afloramentos só será uma proposta válida se conjuntamente houver um trabalho de educação ambiental acerca do patrimônio paleontológico. Mais do que as leis propriamente ditas, são as pessoas (gestores, comunidades, cientistas e visitantes) que fazem a geoconservação acontecer através da sua relação com esses locais.

Sabendo-se que o conhecimento sobre o patrimônio paleontológico não se finda em inventários, sugere-se, a partir deste, trabalhos que continuem a construção do inventário dos sítios paleontológicos da região e que forneçam mais subsídios para a elaboração de estratégias de geoconservação que possam dar suporte às gestões governamentais. Além disso, algumas ações necessárias foram vislumbradas no decorrer da pesquisa e podem ser aplicadas: 1. ampla divulgação desse conhecimento, por meio das redes sociais e/ou outros meios de comunicação de impacto; 2. desenvolvimento, junto às secretarias municipais de educação e meio ambiente, de programas educativos que alcancem os moradores locais e as escolas do município; 3. criação de trilhas interpretativas e associações de condutores de turismo locais previamente formados sobre a biodiversidade e geoconservação dos sítios; 4. criação ou revitalização de museus e/ou coleções paleontológicas institucionais; 5. aproveitamento da rede de cultura e turismo locais para divulgação deste conhecimento; 6. fortalecimento desse patrimônio como identidade territorial, junto às associações de moradores.

Os sítios paleontológicos representam uma grande riqueza em meio a um discurso de adversidades e pobreza do semiárido nordestino, estes valores subjetivos e objetivos destes locais podem contribuir para o resgate da dignidade das comunidades. O envolvimento dos moradores das localidades em torno de um sítio paleontológico em ações sustentáveis, principalmente através do empreendimento com geoprodutos e geoturismo fomenta a cidadania, o desenvolvimento regional e o pertencimento ao território.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Governo Municipal de Pacujá pelo apoio às pesquisas no município, à Universidade Estadual Vale do Acaraú pelo apoio logístico, aos órgãos de fomento financiadores dos projetos e bolsas de pesquisa: CAPES 88887.714312/2022-00 e FUNCAP BP4-0172-00199.01.00/20. Agradecemos ao grupo de pesquisadores do projeto “*Valores que o tempo guardou: quantificação de sítios paleontológicos do noroeste cearense*” pelo empenho nas pesquisas sobre os diversos valores do patrimônio paleontológico; ao pesquisadores botânicos Leonardo de Sousa Rodrigues e Luís Henrique Ximenes Portela que nos ajudaram no levantamento de informações sobre os sítios paleontológicos da região de Ipu; ao pesquisador botânico João Batista Silva Nascimento e à sua família pela acolhida, apoio logístico e ajuda nos trabalhos de campo; ao pesquisador paleontólogo João Victor de Paula Moreira pelo auxílio na identificação dos icnogêneros presentes nos afloramentos; ao auxiliar de campo Antonio Maranguape Pereira pela companhia nas viagens, auxílio nos trabalhos de campo, identificação dos icnogêneros e formatação do texto; a Caroline Brito de Oliveira pela ajuda na organização e formatação do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRERA, I. A. R.; NOGUEIRA, A. C. R.; SILVA, J. B. C.; NEITA, U. S. G.; NOGUEIRA, A. A. E. A primeira ocorrência do icnogênero *Arthrophycus* em depósitos silurianos da Bacia do Parnaíba, Região de Ipueiras, Ceará. *Boletim do Museu de Geociências da Amazônia*, Pará, v. 5, p. 1-7, 2018.
- BARROSO, F. R. G. et al. Uma biota fóssil na Formação IPU (Eossiluriano da Bacia do Parnaíba) e sua importância estratigráfica regional no noroeste do Ceará. In: *Libro de resumenes*. Lima: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/34bbe17d-0870-4f1e-9590-14d99f4d2c08/2840941.pdf>. Acesso em: 03 maio 2024.
- BARROSO, F. R. G. *Invertebrados fósseis da formação IPU (Siluriano), Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba*. 2016. 107 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/23733>. Acesso em: 02 ago. 2023.
- BRASIL. 1942. Decreto-Lei 4.146, de 4 de março de 1942. Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos.
- BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*: promulgada em 5 de outubro de 1988, atualizada até a Emenda Constitucional nº 39, de 19 de dezembro de 2002. 31. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.
- BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 03 Meio 2024.
- BRILHA, J. B. R. *Patrimônio geológico, geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga, Portugal: Palimage, 190p, 2005.



BRILHA, J. et al. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, v. 86, p. 19-28, 2018.

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage, Review Article*, Berlin: Springer, v.8, issue 2, p.119-134. 2016. DOI: 10.1007/s12371-014-0139-3. Disponível em:< <http://www.researchgate.net/publication/270876577>. Acesso em: 05, maio, 2024>.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 583 f. Tese (Doutorado) - Universidade da Califórnia, College of Letters and Science, Santa Barbara, 1984. Programa de Doutorado em Geologia. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8961>. Acesso em: 02 ago. 2023.

CARCAVILLA URQUI, L. **Geoconservation**. Madrid: Los Libros de la Catarata, 2012.

CLAUDINO-SALES, V. ; LIMA, E.C. ; DINIZ, S. F. ; CUNHA, F. S. E. S. Megageomorfologia do Planalto da Ibiapaba: uma introdução. *William Morris Davis* , v. 1, n.1, p. 186-209, 2020.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 1:500.000, 2014.

CPRM–Companhia de Pesquisa De Recursos. Minerais–Serviço Geológico Do Brasil. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala, v. 1, p. 750000, 2006.

GARCÍA-CORTÉS, Á.; CARCAVILLA, L. U. et al. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. 2. ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2009.

GÓES, A. M. O. & Feijó, F. J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, 8 (1): 57-67. 1994.

HENRIQUES, M. H. et al. **Geoconservation as an emerging geoscience**. *Geoheritage*, Berlin, v. 3, n. 2, p. 117-128, 2011.

MANSUR, K. L. **Diretrizes para Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio**. 2010. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MILTON, K. **Loving nature: Towards an ecology of emotion**. London: Routledge, 2002.

MOURA, P. ; GARCIA, M. G. M. ; BRILHA, J. B. Evaluation of Geological Sites for Priority Management: Proposals for Geoconservation in the Ceará Central Domain, North-eastern Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*. Rio de Janeiro, v. 41, p. 252-267, 2018.

NASCIMENTO, M.A.L; RUCKKYS, Ú.A.; MANTESO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo: trinômio importante para a preservação do patrimônio geológico**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

PINÉO, T. R. G; PALHETA, E. S. M. **Projeto mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará**. CPRM. Escala 1:500.000, 2021.

PROSSER, C. D.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; LARWOOD, J. G. H. Conservation of geosites: principles and practice. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 11, p. 193-212.

RUSINELLI, B. B. et al. Fossildiagenesis of icnofossils in eopaleozoic sandstones, Ipu formation, Paranaíba Basin. In: **Proceedings of the 50. Brazilian congress on geology. Geology and society: building bridges for a sustainable planet**. vol. 1. Brasília - DF. 2021. p.209.

RUSINELLI, Bruno B. et al. Taphonomy of ichnofossils in eopaleozoic sandstones, Pacujá, CE, Brazil. In: **30th edition of the Annual Users Meeting**, 2020, Campinas-SP. Abstract book. 2020. p. 138.



SOUZA, A. C. B. et al. Significado Paleoambiental de Icnofósseis em Arenitos Silurianos da Região de Santana do Acaraú-Ceará. *Estudos Geológicos*, v. 25, n. 2, p. 39-52, 2015.

UCEDA, A.C. Patrimonio geológico; diagnóstico, clasificación y valoración. In: SUÁREZ-VALGRANDE, J.P. (Coord.), *Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible*. Soria: Série Monografias, Ministério de Meio Ambiente, 2000. p. 23-37.

UNESCO. A Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, Paris de 17 de Outubro a 21 de Novembro de 1972, 17^a sessão, Disponível em: <https://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.

VAZ, P. T. et al. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 15(2), p. 253-263. 2007.

VIANA, M. S. S. *Atlas de Paleontologia: Fósseis da Região Norte do Ceará*. 1. ed. Sobral-CE: Edições UVA, v. 1. 92p, 2018.

VIANA, M.S.S. et al. Ocorrências Icnofossilíferas do Grupo Serra Grande (Siluriano da Bacia do Parnaíba), Noroeste do Estado do Ceará. *Revista de Geologia*. Fortaleza, v. 23, n° 1, p. 77-89, 2010.

WORTON, G. J. A historical perspective on local communities and geological conservation. In: BUREK, C.V.; PROSSER, C.D. (Ed.). *The history of geoconservation*. N. 300. London: The Geological Society of London, 2008. P. 137-146.

ANEXO I

DESCRÍÇÃO DOS SÍTIOS PALEONTOLOGICOS

Sítio Paleontológico Contra Fogo

O geossítio consiste em uma série de blocos de rocha localizados em terreno particular e distribuídos em uma área de cerca de 4 hectares, próximo ao leito do Riacho Lameirão. Possui acesso por dentro da propriedade rural homônima. Os afloramentos distam cerca de 1,5 km da rodovia CE 445 e de 500 m da última casa do imóvel. Na área adjacente ao sítio paleontológico, é possível observar a sequência estratigráfica de algumas unidades, como as formações Aprazível e Pacujá da Bacia do Jaibaras. O sistema deposicional é relacionado a um ambiente marinho raso. O destaque paleontológico deste sítio são os fósseis de moldes de anêmonas-do-mar excepcionalmente preservados. O risco de degradação é alto pois os blocos de rocha estão sem proteção alguma, estando expostos ao intemperismo natural e antrópico, e sem placa indicativa de que ali há um local que precisa ser preservado. (Figura 4)

Possui **relevância científica internacional**, dado o estado excepcional de preservação de molde de organismos sem esqueleto em arenito grosso ainda contendo suas diversas fases tafonômicas e ontogenéticas (Barroso *et al.* 2023).

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840; *Bergaueria* Prantl, 1945)



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 2, p. 79-106, 2024,
<http://uvanet.br/rccgs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.
 Todos os direitos reservados.

Figura 3: Icnofósseis e afloramentos na localidade Fz. Contra Fogo no município de Pacujá-CE.



A. Pistas do icnogênero *Palaeophycus* Hall, 1847. **B.** Vários estágios ontogenéticos de anêmonas-do-mar reunidos em um único bloco de rocha que pode ser visto completo em C. **C.** Alunos durante uma aula de campo da disciplina de Geologia e Paleontologia da UVA analisando um bloco de rocha com moldes. **D e E.** Espécimes de anêmonas-do-mar evidenciando a preservação em três dimensões dos moldes. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Zipu

O sítio da geodiversidade consiste em um grande afloramento em área continua com extensão de aproximadamente 0,6 hectares. Parte do afloramento está em área particular e cercado, mas a maior parte está em terreno público, sem barreiras ou limitações. Possui acesso direto por estrada carroável na localidade de Zipu, distante 500m da rodovia CE-445. Ocorrem fósseis de anêmonas com variados padrões tafonômicos, além de rastros de invertebrados marinhos do período Siluriano em toda a sua extensão. O local é regularmente utilizado para aulas de campo de geologia e paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), pois é de fácil acesso e relativamente próximo à sede do município de Pacujá. Os fósseis correm risco de degradação, pois estão sem proteção e sem placa

indicativa, sujeitos a intemperismo, erosão e ação antrópica (Figura 5). Existe um Plano de Recuperação de Área Degrada (PRAD) para o local que poderá modificar um pouco a realidade (cercas, placas interpretativas, etc.), com benefícios à proteção do patrimônio.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840.)

Figura 4: Icnofósseis e afloramento na localidade de Zipu no município de Pacujá-CE.



A. Parte da equipe desta pesquisa em visita aos afloramentos. **B.** Blocos de rocha com diversos tipos de icnofósseis na margem da estrada carroçável que dá acesso ao afloramento principal. **C.** Pistas do icnogênero *Palaeophycus* Hall, 1847. **D.** Grupo de estudantes de Ciências Biológicas em visita ao sítio paleontológico por ocasião de uma aula de campo da disciplina de Geologia e Paleontologia da UVA. **E.** Moldes de anêmonas-do-mar presentes no afloramento. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Caveira

O sítio da geodiversidade consiste em um pequeno afloramento de 3 m² em terreno público. Está localizado à margem da estrada carroçável que dá acesso à localidade de mesmo nome a cerca de

100

2 km da CE-445. O acesso é feito de forma livre, sem perigos para os visitantes. Há poucos fósseis no local, mas a localidade é importante para demonstrar a continuidade dos afloramentos da Formação Ipu na região que se estendem por mais 5 km ao longo do LTB.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar.

Figura 5: Sítio paleontológico da localidade de Caveira, Cariré-CE.



A. Veículo como escala para o afloramento ao lado dele. **B.** Molde de anêmona. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Floresta

O sítio da geodiversidade consiste em uma grande área de 2,5 km² de afloramentos apresentando várias camadas aflorantes de sedimentos da Formação Ipu com muitos moldes de anêmonas-do-mar e rastros de invertebrados marinhos distribuídos em toda a área. Os afloramentos são intercalados por faixas de vegetação promovendo, junto com os desníveis e fraturas do terreno, um ótimo abrigo para a fauna, sendo um local excepcional de inter-relação entre a bio e a geodiversidade. Possui acesso direto por estrada carroçável distando 4,5 km da CE-445.

É possível localizar os afloramentos logo à margem da estrada. Este sítio é um ótimo representante do deslocamento dos terrenos do Grupo Serra Grande através do LTB. Por estar em uma altitude mais elevada que os terrenos circunvizinhos, é um ótimo ponto de observação dos aspectos geológicos locais. A paisagem sobre os afloramentos ainda está sem interferência antrópica e mostra, ao fundo, um morrote encimado com a Capela da Sagrada Família, o povoado de Floresta e o Açude Público Paulo Sarasate. A grande extensão desses afloramentos e a distância de sedes municipais faz este sítio paleontológico estar melhor preservado que os outros na mesma área desta pesquisa. Apesar

de preservados, os fósseis correm risco de degradação por estarem sem cobertura ou sinalização, estando expostos ao intemperismo natural e antrópico.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840.)

Figura 6. Sítio paleontológico da localidade de Floresta, Cariré-CE.



A. Vegetação sobre os afloramentos. **B e C.** Icnofósseis de invertebrados e moldes de anêmona-do-mar presentes nos afloramentos. **D.** Panorâmica do afloramento da localidade de Floresta (ao fundo o morrote encimado com a capela da Sagrada Família e, logo depois, o Açude Público Paulo Sarasate e as geomorfologias visíveis). **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Baixa Fria dos Santos

O sítio da geodiversidade consiste em vários blocos de arenito conglomerático espalhados por uma área de 100 m². A localidade já foi uma pedreira e atualmente não possui acesso de forma direta. A entrada para o local foi fechada junto com o encerramento do empreendimento foi completamente tomada pela vegetação, dificultando o acesso aos afloramentos. O sítio encontra-se a

350 m da BR-403. Ocorrem fósseis de anêmonas com variados padrões tafonômicos em associação com rastros de invertebrados marinhos.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840.)

Figura 7: Icnofósseis e afloramento na localidade de Baixa Fria dos Santos, em Santana do Acaraú-CE.



A. Icnogênero *Arenicolites* Salter, 1987. B. *Palaeophycus* Hall, 1947. C, D e E. Moldes de anêmonas-do-mar. F.

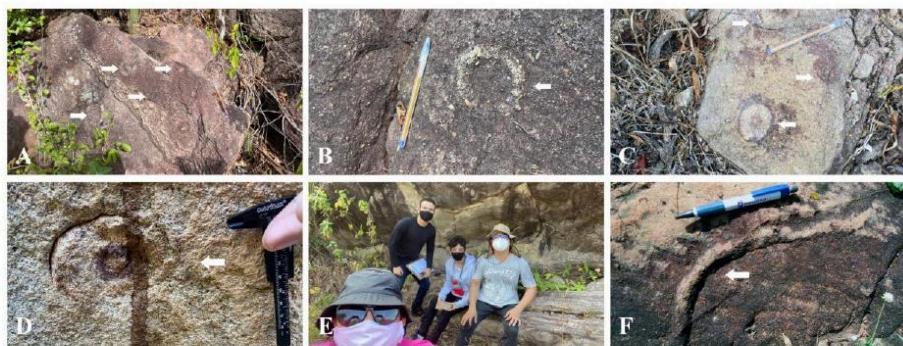
Pesquisadores em visita ao afloramento. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Sapó

O sítio da geodiversidade consiste em uma sequência de blocos de arenitos alinhados à direita e à esquerda de modo a formar uma trilha de aproximadamente 300 m que passa entre eles. O acesso é feito pela BR-403 no trecho entre Santana do Acaraú e o distrito de Sapó (Figura 10). A trilha, de dificuldade baixa, está a 200 m da BR e é acessível até certo ponto por veículos pequenos. Os moldes e rastros de invertebrados estão ainda preservados em arenitos grossos de cor bege ou acinzentados com camadas marcadas por seixos de quartzo. Estes fósseis correm risco de degradação por estarem sem nenhuma cobertura ou placa indicativa (Figura 9). Além da erosão por intemperismo, a proximidade a uma pedreira, ainda que abandonada, sugere que há a possibilidade destes afloramentos serem destruídos, seja para alargamento da estrada ou para utilização da rocha na construção civil.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840.)

Figura 8: Icnofósseis e afloramentos na localidade de Sapó, em Santana do Acaraú.



A, B, C e D. Blocos de rocha com moldes de anêmonas. **E.** Equipe de pesquisadores em visita aos afloramentos. **F.** Icnogênero *Palaeophycus* Hall, 1947. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Bica do Ipu

Este geossítio consiste em uma sequência de blocos rolados do paredão do *glint* pela queda d'água que caracteriza o local. Está localizado dentro do Parque Municipal da Bica do Ipu e o acesso é feito por meio de uma via asfaltada e de mão dupla que parte da sede do município de Ipu, até o restaurante do parque; após o restaurante há uma trilha, de dificuldade média, de 100 m até as rochas. Os moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis estão visíveis no sopé da queda d'água, espalhados por blocos de rochas aflorantes e outros que se desprenderam do paredão do *glint* (Figura 11). A beleza cênica, o silêncio, o microclima agradável e a diversidade de elementos da geodiversidade neste local (fósseis, queda d'água, contato da Formação Ipu com o embasamento cristalino), juntamente com a proteção legal do Parque Municipal e da Área de Proteção Ambiental Estadual da Bica do Ipu, contribuem para que este seja um bom local para uso educativo e turístico. Apesar da proteção legal, os fósseis estão sujeitos ao intemperismo e erosão naturais, pois estão no leito do rio e sem uma barreira de segurança que restrinja o acesso. Além disso, não há placa indicativa ou interpretativa em nenhum dos aspectos geológicos presentes neste sítio.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Arenicolites* Salter, 1857; *Palaeophycus* Hall, 1847; *Planolites* Nicholson, 1873; *Skolithos* Haldemann, 1840.)

Figura 9: Blocos de rocha contendo moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis de invertebrados na Bica do Ipu.



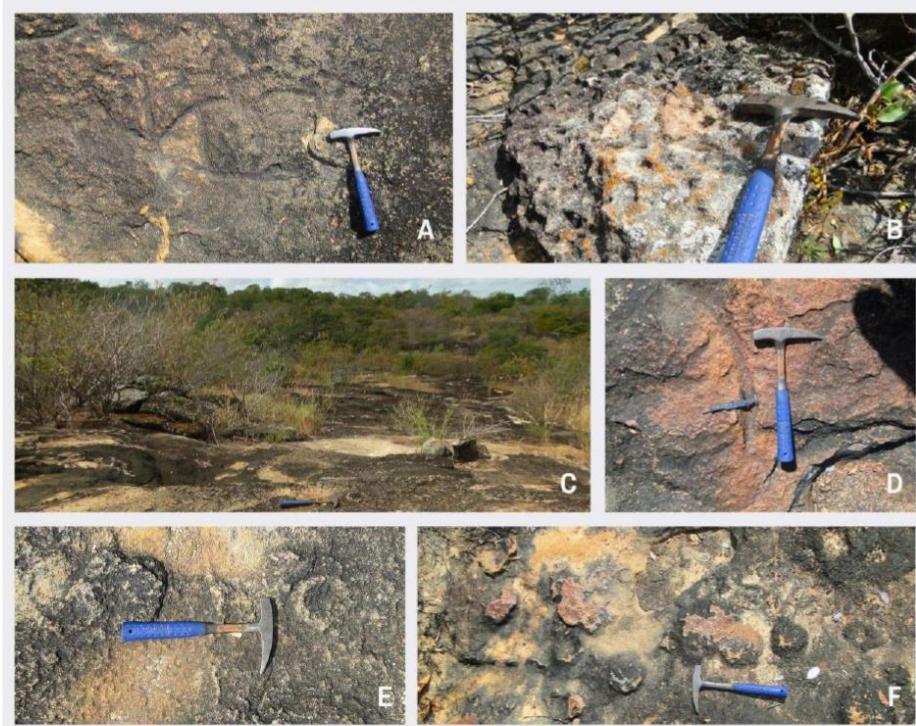
A, B, C e D. Moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis. **E.** Vista do sítio com seus inúmeros blocos de rocha.
Fonte: Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Três Pedras

O geossítio consiste em uma sequência de afloramentos em uma área de 45 hectares em terreno público ao longo do percurso da Trilha das Três Pedras, atrativo turístico existente no município de Ipu. O local está dentro da APA da Bica do Ipu. Apesar do solo raso, há muita vegetação no local formando ilhas de afloramento ao longo da trilha. Os afloramentos estão na localidade de Várzea do Giló, acessível pela CE-187 que liga Ipu a Guaraciaba do Norte-CE. Para chegar à trilha onde estão os fósseis, toma-se uma estrada carroável que parte do final da R. Antonia Ferreira dos Santos até chegar no estádio de futebol da localidade. A trilha começa 50 m após o fim do estádio. A trilha é de dificuldade média, mas recompensa o turista pela beleza cênica do local que forma um mirante de onde podem ser vistas, à frente, toda a paisagem da Depressão Sertaneja e, ao fundo, a segunda cornija da Serra da Ibiapaba com os terrenos da Formação Tianguá. A facilidade de acesso, os atrativos turísticos, a diversidade geológica, grande número de icnogêneros e a beleza cênica, fazem deste local o melhor para atividades turísticas e educativas em toda a região. Apesar da proteção legal, os fósseis estão sujeitos ao intemperismo e erosão naturais, bem como interferências antrópicas por ser um local comumente utilizado para lazer e não haver barreiras de segurança que controlem o acesso e as atividades dos visitantes. Além disso, não há placa indicativa ou interpretativa em nenhum dos aspectos geológicos presentes neste sítio.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Diplocraterion* Torell, 1870; *Skolithos* Haldemann, 1840; *Arenicolites* Salter, 1857; *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944; *Palaeophycus* Hall, 1847.)

Figura 10: Afloramentos e icnogêneros na trilha das Três Pedras na localidade de Várzea do Giló, Ipu-CE.



A. *Palaeophycus* Hall, 1847. **B.** *Skolithos* Haldemann, 1840. **C.** Moldes de anêmonas-do-mar em associação com *Skolithos*. **D.** Moldes de anêmonas-do-mar em associação com icnofósseis. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

Sítio Paleontológico Palmeirinha

O geossítio consiste em um afloramento de 200 m de extensão, metade em terreno público e outra parte cercada em terreno particular, na localidade de Palmeirinha. Quase não há vegetação ou solo sobre os afloramentos, proporcionando uma vista completa de toda a área, incluindo uma área com a exposição das camadas sedimentares. O acesso é feito por meio da Estrada das Quebradas, uma via carroável que parte do final da Av. Cel. Jiló no distrito de Várzea do Giló. Após 2 km de estrada, na bifurcação, toma-se o caminho da direita por mais 300 m até chegar ao local do afloramento. A altitude mais elevada entre todas as localidades neste estudo e a presença do contato com a formação Tinguá releva este afloramento como o topo da Formação Ipu. A diversidade de icnogêneros, a beleza do local, a distância relativamente próxima de áreas urbanas, os aspectos geológicos e sedimentares presentes,

bem como a extensão considerável do afloramento torna este local o melhor sítio paleontológico para aulas de campo a nível do ensino superior.

Fósseis encontrados: moldes de anêmonas-do-mar e icnofósseis (*Diplocraterion* Torell, 1870; *Skolithos* Haldemann, 1840; *Arenicolites* Salter, 1857; *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944; *Palaeophycus* Hall, 1847; e *Gyrochorte* (?) Heer, 1865.)

Figura 11: Afloramentos e icnogêneros na localidade de Palmeirinha, Ipu-CE.



A. Exposição de sedimentação com estratificação cruzada acanalada, *swaley* e *hummocky*. **B.** Diversos estágios ontogenéticos de anêmonas-do-mar em associação com icnofósseis. **C.** Contato entre as formações Ipu e Tianguá Haldemann, 1840. **D.** Icnogênero *Gyrochorte* (?) Heer, 1865. **E.** *Skolithos* laterizados em menor tamanho sobre os afloramentos. **F.** Icnogênero *Gyrochorte* (?) Heer, 1865. Escala (tamanho do paquímetro): 10 cm. **Fonte:** Arquivo LABOPALEO.

5 PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (PRAD): COMUNIDADE ZIPU, PACUJÁ-CE

Este capítulo apresenta o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) desenvolvido para a Comunidade Zipu, localizada em Pacujá, Ceará. O PRAD tem como objetivo a recomposição de áreas impactadas por atividades antrópicas, com foco especial na proteção do sítio paleontológico local. As ações descritas no plano incluem delimitação de áreas degradadas, retirada de atividades antrópicas, instalação de gradis, cercas, e implantação de um projeto paisagístico sustentável. O PRAD também destaca a importância da educação ambiental como ferramenta de conscientização da população sobre a relevância do patrimônio paleontológico e da geoconservação.

Palavras-chave: Geoconservação, Patrimônio Paleontológico, Recuperação Ambiental, PRAD, Sítio Fossilífero.

A seguir, o documento é apresentado na íntegra.



ÍNDICE

1. ASPECTOS LEGAIS	3
1.1. IDENTIFICAÇÃO DO INTERESSADO	3
1.2. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO	3
2. INTRODUÇÃO	4
3. ORIGEM DA DEGRADAÇÃO	5
3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA	5
3.2. CAUSA DA DEGRADAÇÃO	5
3.3. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE CAUSADORA DO IMPACTO	7
3.4. EFEITOS CAUSADOS AO AMBIENTE	8
4. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL	8
4.1. CLIMA	8
4.1.1. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	9
4.1.2. TEMPERATURA, INSOLAÇÃO E VENTOS	9
4.2. DOMÍNIO MORFOCLIMÁTICO	9
4.3. BACIA HIDROGRÁFICA	9
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	10
5.1. RELEVO	10
5.2. SOLO	10
5.3. HIDROGRAFIA	10
5.4. COBERTURA VEGETAL	10
6. OBJETIVOS	12
6.1. OBJETIVO GERAL	12

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
7. METODOLOGIA DA IMPLANTAÇÃO	12
7.1. INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO	13
7.2. LICENCIAMENTO AMBIENTAL	13
7.3. REMOÇÃO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS	13
7.4. INSTALAÇÃO DOS GRADIS, CERCAS E SINALIZAÇÃO	13
7.5. PROJETO PAISAGÍSTICO	14
7.5.1. SELEÇÃO DE MUDAS PARA O PLANTIO	14
7.5.2. PRODUÇÃO DAS MUDAS	14
8. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MANUTENÇÃO	14
9. CRONOGRAMA FÍSICO E FINANCEIRO	15
9.1. CRONOGRAMA FÍSICO	15
9.2. CRONOGRAMA FINANCEIRO	16
10. MEMORIAL DE CÁLCULO	16
10.1. LIMPEZA DA ÁREA DO SÍTIO PALEONTOLÓGICO	16
10.2. PROJETO PAISAGÍSTICO E PRODUÇÃO DE MUDAS	17
10.3. AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DOS GRADIS E CERCAS	17
10.4. ACOMPANHAMENTO TÉCNICO PROFISSIONAL, PALEONTÓLOGO	18
10.5. MANUTENÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	18
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
12. RESPONSABILIDADE TÉCNICA	19

1. ASPECTOS LEGAIS

Interessado: Prefeitura Municipal de Pacujá

Responsável Técnico: Raimundo Gonçalves Ferreira

Processo N° 0000296-40.2007.4.05.8103, cumprimento da sentença dos autores:

MPF, IBAMA,IPHAN, UNIÃO, DNPM

Local da degradação: Comunidade Zipu, coordenadas (UTM): 316945/9556973

Endereço: Zona rural de Pacujá, S/N

Município/UF/CEP: Pacujá – Ceará/62180-000

Mapa ou croqui de acesso: Anexo IV.

Área total do PRAD (ha): 0,7

1.1. IDENTIFICAÇÃO DO INTERESSADO

Razão Social: Prefeitura Municipal de Pacujá

CNPJ: 07.734.148/0001-07

Endereço: Rua 22 de setembro, N° 325, Centro, Pacujá-CE, 62180-000

Endereço eletrônico: gabinete@pacuja.ce.gov.br

Telefone/Fax: 88992837653

1.2. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA ELABORAÇÃO DO PRAD

Thiago de Albuquerque Lima

Formação do Responsável Técnico: Biólogo

CPF: 032.597.103-02, **RG/Emissor:** 2006031051618 SSP-PB

Registro Conselho Regional / UF: CRBio 125.790/05-D

Número de Registro no CTF/AIDA: 5131576

Número da ART: 5-51360/23 (em anexo)

Endereço: R. Cel. Sabino Guimarães, 897, Centro, Sobral-CE, 62010-050

2. INTRODUÇÃO

Este PRAD será elaborado observando a Instrução Normativa do IBAMA N° 04/2011, considerando que não foi emitido termo de referência específico para a área em questão pelos órgãos ambientais. Sua elaboração visa atender as exigências do Processo no. 0000296-40.2007.4.05.8103 (cumprimento da sentença dos autores: MPF, IBAMA, IPHAN, UNIÃO, DNPM – Município de Pacujá).

Após análises das informações contidas no referido processo, constatou-se que a degradação ambiental foi provocada por obras em uma estrada carroçável com presença de afloramentos rochosos com ICNOFÓSSEIS. O objetivo do PRAD visa, portanto, a proteção e valorização do que restou dos afloramentos do qual a área degradada fazia parte. Para isso deverá ser realizada a delimitação e proteção da área, bem como um projeto paisagístico no local.

Um icnofóssil é o resultado da atividade de um organismo preservado em um sedimento, rocha ou corpo fóssil. São vestígios resultantes das atividades de vegetais e animais nos sedimentos e rochas sedimentares, estando incluídos aqueles que refletem qualquer tipo de comportamento (Carvalho e Fernandes, 2007). Segundo Anelli *et al.*, 2014, o estudo de icnofósseis acrescenta ao estudo de fósseis corpóreos informações importantes sobre a diversidade e relações ecológicas de organismos no passado e auxilia na interpretação de ambientes de sedimentação. Sendo assim, do ponto de vista científico e educativo, a área em questão é de grande importância local para compreensão da história geológica e espaço privilegiado de ensino para estudantes de todos os níveis educativos, tornando prioritário a proteção deste local.

O projeto paisagístico deverá priorizar a escolha por espécies nativas. A vegetação manterá uniforme a paisagem natural para que não se não diferencie da paisagem ao redor. Estas espécies vegetais deverão ser colocadas de maneira planejada para impedir ou reduzir os impactos no sítio paleontológico e seu entorno.

Os limites dos afloramentos com fósseis serão cercados com gradis e cercas sinalizadas evitando que sejam utilizados veículos de transporte que possam danificar os sítios paleontológicos.

Todo o trabalho de execução do PRAD terá acompanhamento técnico de profissionais habilitados (paleontólogo, engenheiro civil e botânico/paisagista).

3. ORIGEM DA DEGRADAÇÃO

3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

A área localiza-se na comunidade de Zipu, região rural do município de Pacujá, no Ceará, próximo às divisa do município com Cariré e Reriutaba (Fig. 01). A degradação ocorreu em parte de um grupo de afloramentos rochosos de arenitos da Formação Ipu que contém icnofósseis de invertebrados marinhos datados do período Siluriano (430 milhões de anos). O local onde estavam localizados os afloramentos destruídos encontra-se recoberto por uma camada de material argiloso/piçarra. Segundo relatório técnico (IPHAN/IBAMA), vistorias e trabalhos científicos já realizados na área, o local constitui um sítio paleontológico de alto valor científico e educativo.

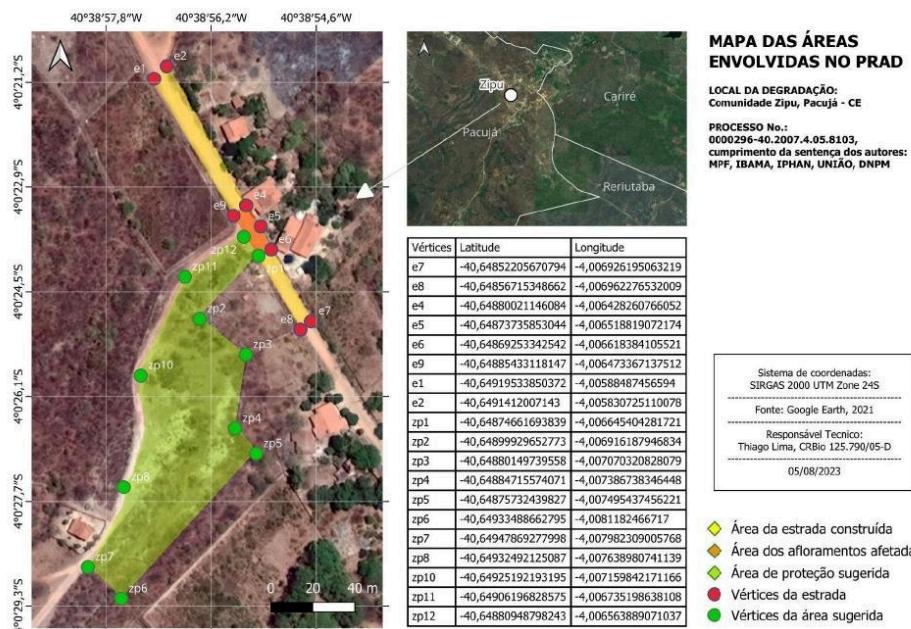


Figura 01: Mapa das áreas envolvidas no PRAD na comunidade de Zipu em Pacujá-CE.

3.2. CAUSA DA DEGRADAÇÃO

Os afloramentos acima descritos foram parcialmente destruídos pelas obras de alargamento e terraplanagem de uma estrada carroçável que liga a rodovia CE 445 às localidades de Zipu e Bananeira. A extensão da área degradada mede

aproximadamente 25 m de comprimento por 6 m de largura. A área atual dos afloramentos fossilíferos mede cerca de 0,6 ha, com um perímetro de 432 m (Fig. 01).



Fig. 02. Afloramentos de arenito na comunidade de Zipu contendo icnofósseis. **A.** alguns dos afloramentos que restaram logo à margem da estrada alargada. **B.** os afloramentos de A vistos de cima, as setas apontam alguns dos icnofósseis presentes. **C.** fósseis presentes nos afloramentos. Escala: 5 cm. Fonte das imagens: do autor.

Segundo informações colhidas junto à administração municipal de Pacujá, a obra foi realizada pelo município objetivando a conservação e melhoria da estrada já existente e que já era passagem para as comunidades de Zipu e Bananeira. Quando comparado com o percurso atual, houve um alargamento e aplainamento do percurso da antiga estrada (Fig. 03).



Figura 03: Imagens da área antes e depois das obras na estrada. **A.** afloramento existente antes da obra. Seta indicando a estrada antes do aplainamento. **B.** icnofósseis do afloramento evidenciados. **C e D.** Estrada aplainada após as obras. Destacado nas fotos está a mesma caixa d'água. Fonte das imagens: Relatório IBAMA, processo no. 02007.000783/2012-39, destaque do autor.

3.3. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE CAUSADORA DO IMPACTO

A atividade causadora do impacto ambiental sobre a área objeto foi a escavação do afloramento para aplainamento da estrada, destruindo parte do sítio paleontológico, e posterior deposição de camadas de argila/piçarra. Informações coletadas no local afirmam que a obra foi realizada com uso de máquina, tipo enchedeira/pá carregadeira.

Registros fotográficos realizados pelo IBAMA (Relatório IBAMA, processo no. 02007.000783/2012-39) e relatórios do IPHAN demonstram a presença de fósseis na área antes das obras da estrada (fig. 03).

Como as obras no trecho da estrada, houve perda significativa do afloramento fossilífero e destruição de icnofósseis. O impacto ocorreu de forma irreversível, pois não há como recuperar-se fósseis.

3.4. EFEITOS CAUSADOS AO AMBIENTE

Os efeitos sobre o ambiente, acarretados pela realização da obra da estrada, foram: destruição de parte do patrimônio paleontológico existente, bem como a alteração da paisagem local pelo aplainamento da estrada. A área ainda apresenta processos erosivos antrópicos como a utilização do solo sobre os afloramentos para atividades agrícolas ou de criação de animais.

Quanto aos impactos causados à comunidade, ressalta-se que a estrada cumpre seu objetivo de facilitar o acesso da população local. A alternativa proposta de desvio da estrada, conforme percurso antes da construção, sugerida no PRAD anterior é inviável, pois, não havendo possibilidade de recuperação da parte destruída, não há razão para um desvio no percurso da estrada.

4. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL

Entre os principais fatores que influenciam direta e indiretamente a proteção do que restou da área degradada, estão os fatores edafoclimáticos, o comportamento da comunidade em relação ao uso dos recursos naturais, bem como a implementação de estratégias para a geoconservação pelo município de Pacujá.

Os dados meteorológicos abaixo descritos foram obtidos do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), relativos ao município de Pacujá. Quando não foram encontrados dados específicos sobre o município, os dados foram coletados da macrorregião do Sertão de Sobral. Tais dados contemplam os seguintes parâmetros: clima, temperatura, pressão atmosférica, insolação e ventos.

Os registros pluviométricos extraídos do banco de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME - consistem de uma série de 22 anos, cujos totais mensais formam a base da descrição, sendo, portanto, valores bem representativos.

4.1. CLIMA

Segundo IPECE (2021) no Perfil Municipal Básico do município os climas de Pacujá são Tropical Quente Semiárido Brando, Tropical Quente Subúmido e Tropical Quente Semiárido.

4.1.1.PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E EVAPORAÇÃO

A precipitação média do município de Pacujá, para o período compreendido entre os anos de 2000 a 2021, é de 948 mm. O período chuvoso corresponde aos meses de janeiro a maio, sendo março e abril os meses de maior concentração de chuvas na região.

4.1.2.TEMPERATURA, INSOLAÇÃO E VENTOS

Os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o município de Pacujá mostram uma temperatura anual média de 38 °C. A insolação média anual, para os mesmos anos, fica em torno de 2.900 horas de sol, com uma média mensal de 240 horas.

Os ventos têm velocidade mínima em domínio das precipitações ao longo do primeiro semestre do ano, notadamente entre janeiro e maio, quando atingem valores mínimos próximos a 2,0 m/s, evoluindo daí até setembro, outubro e novembro, quando em ausência da pluviometria, e também da nebulosidade. Atingem seus valores máximos próximos a 4,0 m/s, tendo, portanto, comportamentos discrepantes, mas a variabilidade média anual gira em torno de 2,84 m/s.

4.2. DOMÍNIO MORFOCLIMÁTICO

O município de Pacujá encontra-se dentro do Domínio Morfoclimático das Caatingas. Este é caracterizado por algumas particularidades, tais como, escassez de precipitação, altas temperaturas, variabilidade na sazonalidade climática com forte intercalação de anos de secas e de inundações (Ab'Saber, 1974).

A vegetação local é de Caatinga Arbustiva Aberta, constituída especialmente de cactáceas e bromeliáceas, mas há também a representatividade de arbustos e árvores de pequeno porte.

4.3. BACIA HIDROGRÁFICA

O município de Pacujá está inserido na sub-bacia hidrográfica do Rio Jaibaras, pertencente à região hidrográfica da Bacia do Acaraú. Os principais cursos d'água que abastecem a região tem como áreas de nascentes o planalto da Ibiapaba.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

5.1. RELEVO

O relevo do município de Pacujá é geralmente caracterizado como Depressão Sertaneja apesar de possuir a leste uma área elevada localmente conhecida como Serrote da Bananeira ou Serrinha, esta é uma cuesta da Serra da Ibiapaba com declividade em direção nordeste.

5.2. SOLO

Segundo o IPECE (2021), os tipos de solo da região são os solos litólico e o podzólico vermelho-amarelo. O litólico compreende as áreas próximas aos afloramentos de arenitos, e o solo podzólico é mais profundo, avermelhado, utilizado para plantios e cultivos. Na área do PRAD predominam os litossolos.

5.3. HIDROGRAFIA

A área não apresenta recursos hídricos que necessitem de áreas preservação permanente no local. As águas pluviais que drenam no local cortam a área da estrada através de um bueiro, sem contudo formar um recurso hídrico.

5.4. COBERTURA VEGETAL

Em visita *in loco* observou-se que a vegetação da área é formada por Caatinga Arbustiva Aberta, constituída especialmente de cactáceas e bromeliáceas. Há também a representatividade de arbustos e árvores de pequeno porte. Na tabela abaixo estão descritas as espécies que puderam ser observadas em visitas de campo e que compõem a vegetação local:

FAMÍLIA	ESPÉCIES	NP	HÁBITO	ORIGEM
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M. Allemão) Engl.	Aroeira	Árvore	Nativa
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	Feijão-bravo	Árvore	Nativa
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	Arbusto	Nativa

Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Marmeiro	Árvore	Caatinga
Euphorbiaceae	<i>Manihot</i> sp.	Mandioca brava	Subarbusto	Nativa
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico	Árvore	Nativa
Fabaceae	<i>Cenostigma nordestinum</i> Gagnon & G.P.Lewis	Catingueira	Arbusto	Caatinga
Fabaceae	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Pau-ferro/Jucá	Árvore	Nativa
Fabaceae	<i>Mimosa caesalpiniifolia</i> Benth.	Sabiá	Arbusto	Caatinga
Fabaceae	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	Arbusto	Nativa
Fabaceae	<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	Jurema-branca	Árvore	Nativa

Tabela 01: Composição florística da vegetação na área do PRAD. As espécies destacadas são endêmicas da caatinga. Elaborada por: Portela, L. H. X. (<https://orcid.org/0000-0003-1385-1210>)

Apesar da degradação e ação antrópica na área, puderam ser identificadas espécies nativas na área de entorno da estrada (Tabela 01 e Fig. 04). Ressalta-se que a vegetação arbórea e arbustiva lenhosa pode ser utilizada desde que distante dos afloramentos para evitar prejuízo às rochas e fósseis.



Figura 04. Aspectos vegetacionais observados na área do PRAD. **A e B.** Vegetação no entorno da estrada onde ocorreu a obra. **C e D.** Vegetação sobre e próximo aos afloramentos do sítio paleontológico. Em **D** é possível ver uma turma de alunos do curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual Vale do Acaraú em uma aula de campo da disciplina de Paleontologia visitando o sítio paleontológico de Zipu. Fonte das imagens: do autor.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do PRAD é apresentar alternativas viáveis e eficientes para recomposição da área degradada, de forma a conservar e valorizar a área do sítio paleontológico que não foi afetada pela obra da estrada, utilizando-se de gradis e paisagismo não invasivo que evite novas destruições.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Delimitar a área objeto da degradação ambiental provocada pela construção da estrada vicinal sobre o afloramento com fósseis;
2. Delimitar uma área de proteção para o sítio paleontológico;
3. Retirar, do local a ser preservado, ações antrópicas de agricultura, criação de animais e outras que possam existir;
4. Cercar a área a ser preservada com gradis para ordenar o acesso;
5. Definir e implantar um projeto paisagístico para a área utilizando espécies nativas de cactos, bromélias e arbustos, adaptadas às condições locais e de fácil manutenção.

7. METODOLOGIA DA IMPLANTAÇÃO

Os trabalhos descritos a seguir deverão ser realizados por profissionais habilitados (Paleontólogo, Engenheiro, Botânico e/ou Paisagista) ou por equipes supervisionadas por eles. Quando possível os trabalhos para a implantação do PRAD devem ser realizados por trabalhadores das comunidades locais orientados e supervisionados tecnicamente. Todos os prestadores de serviço deve ser contratados pela Prefeitura municipal de Pacujá (PMP) ou por empresa ganhadora da licitação para realização dos serviços do PRAD, conforme discriminados a seguir:

7.1 INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

O primeiro passo para realização dos trabalhos de proteção e qualificação da área degradada deverá ser o levantamento de todos os pontos com fósseis no afloramento, suas descrições e medidas, bem como a delimitação de áreas de proteção para que os fósseis não sejam mais pisoteados. Deverá ser realizada a limpeza vegetal necessária, suprimindo a vegetação onde esta impede o acesso, a observação dos fósseis e/ou favorece a degradação dos afloramentos. Após a delimitação das áreas é que poderão ser iniciadas as atividades de instalação dos gradis e do projeto paisagístico, com orientações técnicas do profissional habilitado.

7.2. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Antes da execução das ações propostas neste documento, a PMP deverá solicitar à SEMACE autorização para delimitação da área, via licenciamento ambiental, bem como a solicitação do desembargo da obra junto ao IBAMA, conforme embargo no. 353317/C – IBAMA, processo no. 02007.000783/2012-39.

7.3. REMOÇÃO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Para as ações de proteção e qualificação da área do sítio paleontológico serão retiradas qualquer ação antrópica sobre e próximo aos afloramentos, tais como plantações e criação de animais. Toda a cobertura vegetal não-lenhosa que dificulte a observação dos fósseis deverá ser retirada dos afloramentos. Os trabalhos deverão ser realizados com o aval da PMP, que observará o regime de propriedade dos terrenos, para depois proceder com a limpeza do local.

7.4. INSTALAÇÃO DOS GRADIS, CERCAS E SINALIZAÇÃO

Para a instalação dos gradis serão seguidas as instruções do fabricante. Estes serão instalados, quando possível, sobre a própria rocha dos afloramentos evitando intervenções sobre as rochas. O perímetro da área protegida mede 430m; os 200 m que fazem fronteira com a estrada serão cercados por gradis para a proteção e visualização dos afloramentos e, os outros 230 m restantes, que limitam com as propriedades adjacentes, deverão ser delimitados por cercas de arame com estacas de

de madeira sinalizadas com tinta da mesma cor dos gradis. A área protegida também deverá ser sinalizada com placas informativas

7.5. PROJETO PAISAGÍSTICO

Será realizada a implantação de um Projeto Paisagístico (PP) previamente definido por profissional biólogo botânico e/ou paisagista. Será necessário a contratação de um jardineiro que, sob supervisão técnica, seja responsável pela produção, plantio, manejo e replantio, quando necessário, das espécies vegetais. A vegetação do entorno da área, será priorizada na produção de mudas e propágulos. Toda essa ação paisagística deve ser ecológica, sustentável e contribuir para a proteção do sítio paleontológico sem, contudo, impedir sua observação. O trabalho do profissional técnico para esta ação durará em média de 03 meses, 01 para construção do projeto paisagístico e produção de mudas e 02 meses para implantação do projeto e orientações de manutenção, manejo e replantio.

7.5.1 SELEÇÃO DAS MUDAS PARA PLANTIO

As espécies vegetais utilizadas no projeto paisagístico deverão contemplar prioritariamente as descritas na tabela florística (Tab. 01), podendo ainda serem utilizadas outras espécies, desde que, nativas da caatinga e que não alterem a uniformidade paisagística do local com o seu entorno.

7.5.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS

As mudas selecionadas para implantação do projeto paisagístico serão produzidas na região através de coleta de propágulos diretamente no campo, acondicionadas em viveiros temporários, até atingir o ponto de serem plantadas em definitivo.

8. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MANUTENÇÃO

Para o sucesso do projeto de recuperação e manutenção do sítio paleontológico e da intervenção paisagística é fundamental que haja um projeto de educação ambiental voltada para o patrimônio paleontológico e a geoconservação.

Recomenda-se, para esta ação, o convênio da PMP com a Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA para a concessão de 02 bolsas de estudo/estágio para estudantes do Curso de Ciências Biológicas. Estes deverão trabalhar com educação ambiental, construir e aplicar um projeto educacional de conscientização da população. Orientados tecnicamente pelos profissionais já contratados e por professores da UVA, os estudantes desenvolverão um projeto pedagógico voltado prioritariamente para população de Zipu e comunidades circunvizinhas, escolas do município e servidores municipais. Quando possível, recomenda-se ações educativas que envolvam também a população em geral. Este projeto pedagógico de educação ambiental será construído objetivando a conscientização da população sobre a importância do sítio paleontológico e sua conservação, seus valores geoambientais e científicos, bem como a importância da manutenção da biodiversidade em harmonia com a geodiversidade da área do PRAD.

9. CRONOGRAMA FÍSICO E FINANCEIRO

9.1. CRONOGRAMA FÍSICO								
DESCRÍÇÃO DAS ATIVIDADES	1o. ano/trimestre				2o ano/trimestre			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Inventário do patrimônio								
Licenciamento ambiental								
Limpeza da área								
Construção do PP								
Produção de mudas								
Implantação do PP								
Instalação dos gradis								
Educação ambiental/Manutenção								
Avaliação do PRAD								

9.2. Cronograma financeiro								
Item	Atividade	Unidade	Custo Unitário (R\$)	1º ano		2º ano		Custo Total
				Quant.	Custo	Quant.	Custo	
1	Servente 1	Dia	124,40	25	3.110,00			3.110,00
2	Jardineiro	Mês	1312,00	13	17.056,00			17.056,00
3	Produção de mudas	Unid.	15,00	100	1.500,00			1.500,00
4	Engenheiro	Mês	7.920,00	1	7.920,00			7.920,00
5	Aquisição: gradis	Metro	150,73	200	30.146,00			30.146,00
6	Aquisição: cercas de madeira	Metro	18,00	230	4.140,00			3.600,00
7	Servente 2	Dia	124,40	15	1.866,00			1.866,00
8	Paleontólogo	Mês	4.650,00	3	13.950,00	1	4.650,00	18.600,00
9	Botânico paisagista	Mês	4.650,00	3	13.950,00			13.950,00
10	Bolsista	Mês	700,00	24	16.800,00	24	16.800,00	33.600,00
Custo Total (R\$)					103.238,00		13.890,00	131.888,00

10. MEMORIAL DE CÁLCULO

Considerando que será feito o inventário do patrimônio paleontológico do local, a limpeza da área dos afloramentos, instalação de gradis e cercas de proteção com aluguel de equipamentos, bem como implantado os projetos paisagístico e de educação ambiental, seguem discriminados os custos com aquisição dos insumos, acompanhamento técnico das ações e contratação de bolsistas de apoio técnico e de mão-de-obra:

10.1 LIMPEZA DA ÁREA DO SÍTIO PALEONTOLOGICO

A limpeza, remoção de espécimes vegetais, plantações ou criação de animais que possam existir sobre os afloramentos na área delimitada, serão realizadas de forma manual para não danificar os afloramentos.

Considera-se:

1. Que a área que um servente é capaz de limpar seja de 250 m²/dia, a área do PRAD tem 6.000 m², estima-se que para esta ação seja necessária mão de obra de aproximadamente 05 homens/dia, durante o período de 05 dias.
2. Ao custo diário de R\$124,40, incluindo os impostos e encargos sociais, esta ação custará R\$622 por dia, totalizando R\$3.110.

10.2. PROJETO PAISAGÍSTICO E PRODUÇÃO DE MUDAS

Para produção, instalação e manejo das espécimes vegetais que comporão o PP, considera-se os valores:

1. O piso salarial de um biólogo no valor de R\$ 4.650,00, para 6h/dia de trabalho (Projeto de Lei 4441/21); pelo período médio de 03 meses, como pessoa física e sem vínculo empregatício totaliza R\$ 13.950.
2. Contratação de 01 jardineiro temporário celetista para produção, implantação e manejo e manutenção do projeto paisagístico pelo período de 01 ano; o valor atual do salário mínimo em R\$ 1.320, incluindo os impostos e encargos sociais, totalizando R\$ 17.160.
3. Produção de espécies vegetais especificadas, bem como os recipientes, água e substrato, estima-se o custo médio equivalente a R\$ 15,00 por muda; serão necessárias pelo menos 100 mudas, totalizando R\$ 1.500,00.

10.3. AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DOS GRADIS E CERCAS

Para a instalação dos gradis que delimitarão e cercarão parte da área de proteção do sítio paleontológico será necessário a aquisição dos insumos necessários, à contratação, por 01 mês, de um engenheiro para projetar e supervisionar a instalação, bem como a contratação, por 05 dias, de uma equipe de 03 serventes para a instalação.

Considera-se os seguintes valores:

1. Da Tabela de Custos e Insumos 027 da Secretaria de Infraestrutura do Ceará (SEINFRA):
 - a. o custo para a aquisição de um gradil de ferro por metragem é de R\$ 150,73, incluso fornecimento e instalação; o perímetro da área de

- proteção onde serão necessário os gradis é em torno de 200 m, valor total da aquisição dos gradis, R\$ 30.146;
- b. o custo para a aquisição de cercas de madeira roliça com 04 linhas de arame farpado, incluso insumos para instalação, por metragem é de R\$ 18,00; para um perímetro de 230 m onde será necessário o cercamento, o valor total é de R\$ 4.140,00.
 - c. o valor da diária de um servente de R\$ 124,40, a contratação de 03 serventes por 05 dias totalizará, R\$ 1.866,00
2. O piso salarial de um Engenheiro Civil Júnior no valor de R\$ 7.920,00, para seis horas de trabalho (Lei no. 4.950-A/1966);

10.4. ACOMPANHAMENTO TÉCNICO PROFISSIONAL, PALEONTÓLOGO

Para os trabalhos técnicos de inventário do patrimônio paleontológico, acompanhamento das obras e avaliação final das ações de implantação PRAD considera-se os valores:

1. O piso salarial de um biólogo no valor de R\$ 4.650,00, para 6h/dia de trabalho (Projeto de Lei 4441/21); pelo período médio de 04 meses, como pessoa física e sem vínculo empregatício totaliza R\$ 18.600.

10.5. MANUTENÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Para desenvolvimento e implantação de projetos de educação ambiental envolvendo a área e a temática do PRAD, considera-se

1. O valor da bolsa de iniciação científica no valor de R\$ 700,00 mensal, a contratação de 02 bolsistas, com carga horária de 20h semanais, durante o período de 24 meses, totalizando R\$ 33.600,00.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras.** Geomorfologia, n. 43, p. 1-39, 1974.
- ANELLI, L. E.; LEME, J. M.; OLIVEIRA, P. E.; FAIRCHILD, T. R. 2020. **Paleontologia. Guia de aulas práticas, uma introdução ao estudo dos fósseis.** Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 8a ed., 104p.

CARVALHO, I. S. (Org.); FERNANDES, A. C. S. (Org.) . **Ichnologia**. 1. ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007. v. 1. 178p .

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), **Perfil Básico do Município de Pacujá**, (2021).

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 4441, de 14 de dezembro de 2021**. Altera a Lei nº 6.684, de 3 de setembro de 1979, para dispor sobre o piso salarial dos profissionais biólogos. Brasília: Câmara dos Deputados, 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=576699>. Acesso em: 31 jul. 2023.

CEARÁ. Secretaria de Infraestrutura. **Tabela de custos 027.1**. Disponível em <https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/desonerada/html/tabela-seinfra.html>. Acesso em : 31 jul. 2023.

Relatório IBAMA, processo N° 02007.000783/2012-39, Prefeitura de Pacujá, dados não publicados, 2014.

12. RESPONSABILIDADE TÉCNICA PELO PROJETO



Thiago de Albuquerque Lima

6 DIRETRIZES PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO DE ZIPU E CONTRA-FOGO, PACUJÁ, CEARÁ

A conservação dos elementos naturais, com destaque para o patrimônio paleontológico, desempenha um papel estratégico no ordenamento territorial e na promoção de práticas sustentáveis. Tais ações buscam promover práticas educativas e de desenvolvimento sustentável que beneficiem as comunidades locais, conforme destacam Brilha (2005) e Carcavilla (2012). Para alcançar esses objetivos, é fundamental diagnosticar os sítios geológicos, avaliando sua vulnerabilidade, fragilidade e os aspectos culturais associados ao território.

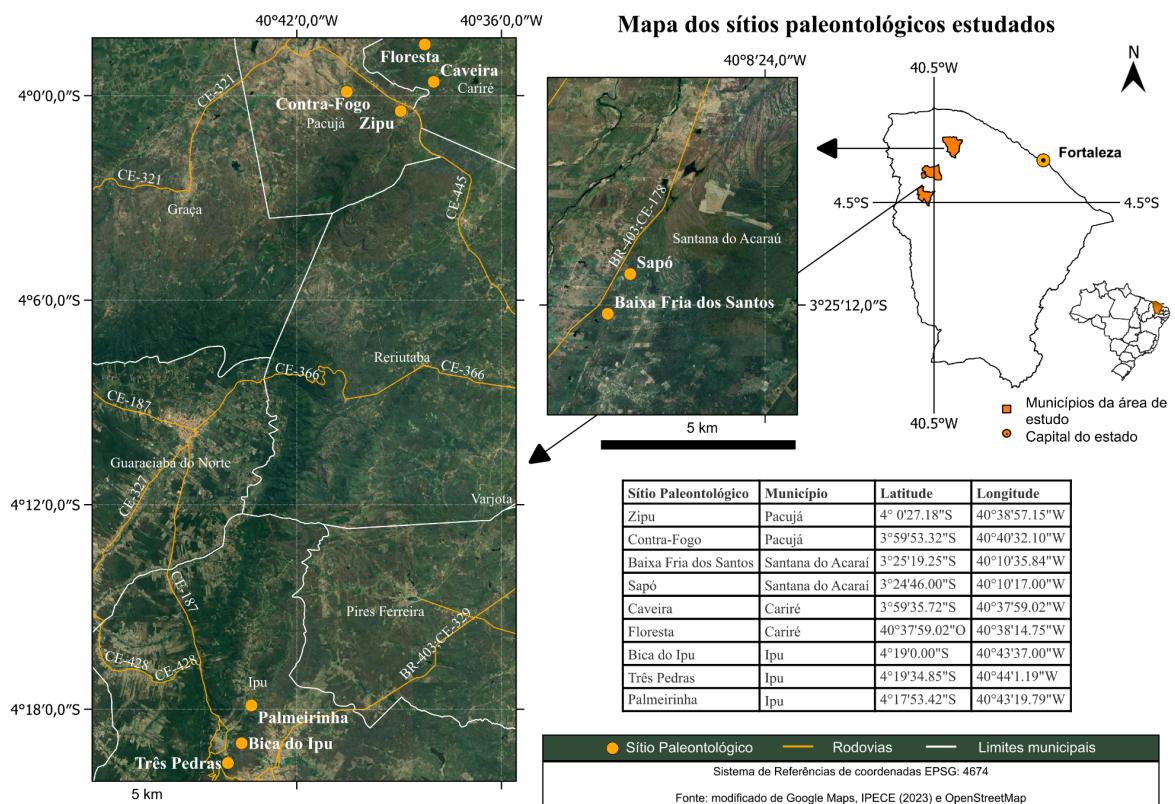
Esta dissertação abrange os municípios de Santana do Acaraú, Pacujá, Ipu e Cariré, localizados no noroeste do Ceará (Fig. 01). Juntos, esses municípios possuem uma extensão territorial de 2.442,574 km² e abrigam uma população total de 95.516 habitantes, segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE). Desses, 55% residem em áreas urbanas (52.522 habitantes) e 45% em áreas rurais (42.994 habitantes). Apesar de sua riqueza paleontológica, apenas o município de Ipu apresenta uma vocação turística mais consolidada, enquanto os demais ainda carecem de inventários turísticos detalhados e de atrativos amplamente reconhecidos.

Os sítios paleontológicos de Contra-Fogo e Zipu, localizados no município de Pacujá-CE, destacam-se pela sua relevância científica, evidenciada em trabalhos acadêmicos que exploram a Formação Ipu e seus fósseis. Estudos como o de Lima *et al.* (2024), Barroso (2016) e Barroso *et al.* (2025) demonstraram a singularidade desses sítios para a reconstrução do paleoambiente local durante o Siluriano, período marcado por transformações significativas na configuração da Terra e no desenvolvimento de paleoecossistemas costeiros e estuarinos. Assim, esses afloramentos fossilíferos representam um patrimônio de grande valor não apenas para a paleontologia, mas também como catalisadores do desenvolvimento sustentável da região.

O município de Pacujá foi escolhido como referência para a formulação das diretrizes devido à presença dos sítios de Zipu e Contra-Fogo, que já eram reconhecidos anteriormente por suas características fossilíferas. Além disso, instrumentos legais como o Plano Diretor Participativo do município e a criação do Museu de Pacujá oferecem uma base sólida para a implementação das ações propostas. Essas iniciativas estão respaldadas em uma ampla legislação federal, que inclui a Constituição Federal de 1988, que define o patrimônio cultural e natural como bens de valor histórico e natural (Art. 216), o Decreto-Lei nº 4.146/1942, que

protege o patrimônio paleontológico como bem da União, e a Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

Figura 01. Mapa dos sítios paleontológicos da Formação Ipu. Localização geográfica dos principais sítios paleontológicos abordados na dissertação, incluindo os municípios da área de estudo (Pacujá, Santana do Acaraú, Cariré e Ipu) e a relação com a capital Fortaleza. Os sítios estão marcados com círculos amarelos, enquanto os limites municipais e rodovias são representados por linhas claras para orientação. A tabela associada apresenta os dados geográficos detalhados, incluindo coordenadas de latitude e longitude.



Outras normativas, como a Instrução Normativa IBAMA nº 01/1993, que regulamenta as diretrizes para proteção de bens paleontológicos, e a Lei nº 9.605/1998, que trata dos crimes ambientais, reforçam o compromisso com a proteção do patrimônio paleontológico e sua integração aos sistemas socioecológicos. A recente Instrução Normativa IBAMA nº 14/2024 amplia a conceituação de atributos ambientais, incluindo componentes bióticos e abióticos, o que fortalece ainda mais o argumento para a geoconservação como elemento essencial do ordenamento territorial.

Enquanto os demais municípios abordados nesta dissertação — Santana do Acaraú, Cariré e Ipu — estão em estágios iniciais de reconhecimento de seus patrimônios

paleontológicos, Pacujá já demonstra avanços importantes. Mesmo em Ipu, que possui um elemento geológico amplamente conhecido e turístico, o grande paredão sedimentar da Formação Ipu, a percepção e proteção voltam-se mais para elementos bióticos, de maior visibilidade e compreensão pública, apesar dos elementos abióticos também estarem inferidos no Decreto nº 25.354, de 26 de janeiro de 1999, que cria a APA da Bica do Ipu. Essa diferenciação reforça a relevância de Pacujá como modelo para as diretrizes propostas.

A integração da geoconservação ao ordenamento territorial é essencial para alinhar a proteção ambiental aos interesses sociais e econômicos. Essa abordagem busca aproveitar o potencial científico, educativo e turístico dos sítios paleontológicos, beneficiando as comunidades locais e promovendo a conscientização pública. Nesse sentido, os sítios de Zipu e Contra-Fogo representam um exemplo paradigmático dos desafios e oportunidades de conservação no contexto municipal.

As diretrizes apresentadas neste capítulo têm como foco integrar a geoconservação ao ordenamento territorial de Pacujá e, teoricamente, expandi-las para os demais municípios estudados, destacando a necessidade de proteção e valorização do patrimônio paleontológico. Por meio da aplicação dessas diretrizes, espera-se não apenas preservar os sítios paleontológicos, mas também fomentar uma maior integração entre a gestão territorial, a educação ambiental e a conscientização da população local, promovendo um desenvolvimento sustentável que respeite a história natural da região.

6.1 Estratégias de geoconservação

A elaboração de estratégias para a geoconservação dos sítios paleontológicos da Comunidade Zipu e Contra-Fogo deve ser orientada por objetivos que promovam a conservação efetiva do patrimônio, aliada ao uso sustentável e à valorização dos recursos naturais e culturais. Nesse contexto, são estabelecidas três metas principais:

- 1. Conservação:** Proteger os afloramentos fossilíferos contra ações antrópicas e degradação natural, garantindo a integridade dos registros geológicos e paleontológicos.
- 2. Valorização:** Promover o reconhecimento do valor científico, educativo e turístico dos sítios, incentivando sua inclusão em programas locais e regionais de educação para o patrimônio.

3. **Uso Sustentável:** Estimular práticas de uso e manejo que harmonizem a proteção do patrimônio paleontológico com os interesses sociais e econômicos da comunidade local.

Como etapa preliminar, o diagnóstico ambiental e cultural deve avaliar detalhadamente a vulnerabilidade, fragilidade e relevância científica, educativa e turística dos sítios paleontológicos. Dados quantitativos obtidos pela plataforma GEOSSIT, conforme descrito por Lima *et al.* (2024), são ferramentas fundamentais para embasar as ações de conservação e manejo.

6.2 Diagnóstico dos sítios paleontológicos

Compreender os aspectos únicos e as vulnerabilidades dos sítios paleontológicos é o primeiro passo para o desenvolvimento de estratégias de conservação. A seguir, apresenta-se o diagnóstico detalhado dos sítios de Zipu e Contra-Fogo, com base em critérios científicos, educativos e turísticos.

O diagnóstico dos sítios paleontológicos de Zipu e Contra-Fogo, no município de Pacujá-CE, é essencial para a formulação de estratégias de geoconservação eficazes. Esta etapa consiste em avaliar as características científicas, educativas e turísticas dos afloramentos fossilíferos, bem como identificar os riscos de degradação que ameaçam sua integridade.

A conservação do patrimônio geológico baseia-se na análise do uso potencial dos sítios, considerando suas características naturais, recursos disponíveis e vulnerabilidades frente a ameaças naturais e antrópicas (Prosser *et al.* 2018). Um plano adequado de conservação depende de inventários sistemáticos de geossítios e de uma avaliação quantitativa de seus valores, riscos e potencialidades. Nesse contexto, o estudo de Lima *et al.* (2024) analisou os sítios de Pacujá, identificando os valores científicos, os potenciais de uso educativo e turístico, e os riscos de degradação associados.

6.2.1 Sítio paleontológico de Zipu

O afloramento fossilífero de Zipu destaca-se pela sua importância científica, devido à presença de icnofósseis de invertebrados marinhos do período Siluriano, com aproximadamente 430 milhões de anos. Esses registros paleontológicos fornecem dados

cruciais para a compreensão do paleoambiente costeiro da Formação Ipu, conforme destacado por Lima *et al.* (2024).

Apesar de sua relevância, o sítio enfrenta desafios significativos, como a degradação ambiental resultante de obras viárias que destruíram parte dos afloramentos e a ausência de proteção física adequada. A falta de percepção da comunidade local sobre a importância do sítio contribui para o uso inadequado da área, que é frequentemente utilizada como local para descarte de lixo e criação de animais.

De acordo com o PRAD (2023), medidas como a instalação de gradis e cercas, além da implementação de sinalização educativa, são urgentes para prevenir danos adicionais. Essas estruturas têm como objetivo regular o acesso ao sítio de forma equilibrada, limitando construções sobre os afloramentos, prevenindo destruições futuras e controlando o acesso de animais de criação que, ao pastarem no local, podem agravar os danos aos fósseis e ao solo circundante. Além disso, o potencial educativo e turístico de Zipu permanece amplamente subutilizado, apesar de sua relevância acadêmica.

6.2.2 Sítio paleontológico da Fazenda Contra-Fogo

Localizado nas proximidades de Zipu, o sítio Contra-Fogo apresenta características geológicas e paleontológicas singulares que complementam o entendimento da Formação Ipu. Embora sua integridade ainda não tenha sido totalmente comprometida, a crescente pressão antrópica representa uma ameaça real à sua preservação.

Nas últimas décadas, a urbanização ao redor da área do sítio tem se intensificado, com a construção de uma estrada de acesso a um novo empreendimento imobiliário passando nas proximidades da área fossilífera. Esse avanço da ocupação urbana aproxima cada vez mais o sítio de interferências humanas diretas, aumentando o risco de degradação por destruição acidental dos afloramentos, deposição irregular de resíduos e até mesmo vandalismo. A figura 02 ilustra o avanço da urbanização e a proximidade crescente da nova estrada em relação ao sítio.

Além da pressão causada pelo crescimento urbano, o sítio Contra-Fogo encontra-se dentro de uma propriedade privada, o que torna sua gestão dependente exclusivamente da decisão do proprietário. Sem o devido conhecimento sobre a relevância paleontológica do local, há um risco significativo de que práticas inadequadas de manejo da terra, como a ampliação de atividades agrícolas ou obras de infraestrutura, possam comprometer a conservação dos fósseis expostos nos afloramentos.

Figura 02: Impacto da expansão urbana e infraestrutura viária no geossítio Contra-Fogo. As imagens de satélite do Geossítio Contra-Fogo e arredores, comparando os anos de 2022 (acima) e 2024 (abaixo). O polígono branco destaca a área onde a nova estrada foi construída, passando adjacente ao sítio paleontológico, destacado em amarelo. Em vermelho, está demarcada a região do Loteamento Novo Pacujá, evidenciando o avanço da urbanização na direção do geossítio.



Fonte: Imagens de satélite do Google Earth (2022 e 2024), com edição e destaque elaborados pelo autor.

O desmatamento associado à expansão agrícola na região já provoca um efeito de borda, fragilizando a vegetação remanescente e aumentando os processos erosivos naturais. Esses fatores tornam o sítio altamente vulnerável, reforçando a necessidade de medidas de geoconservação que garantam sua preservação e integração sustentável ao contexto regional.

Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de estratégias que mitiguem essas pressões, promovam a valorização do sítio e incentivem sua proteção tanto por meio de políticas públicas quanto por meio da conscientização da comunidade local e dos gestores da propriedade. A sinalização da área, aliada à divulgação de seu potencial científico e educativo, pode representar um passo fundamental na sua conservação.

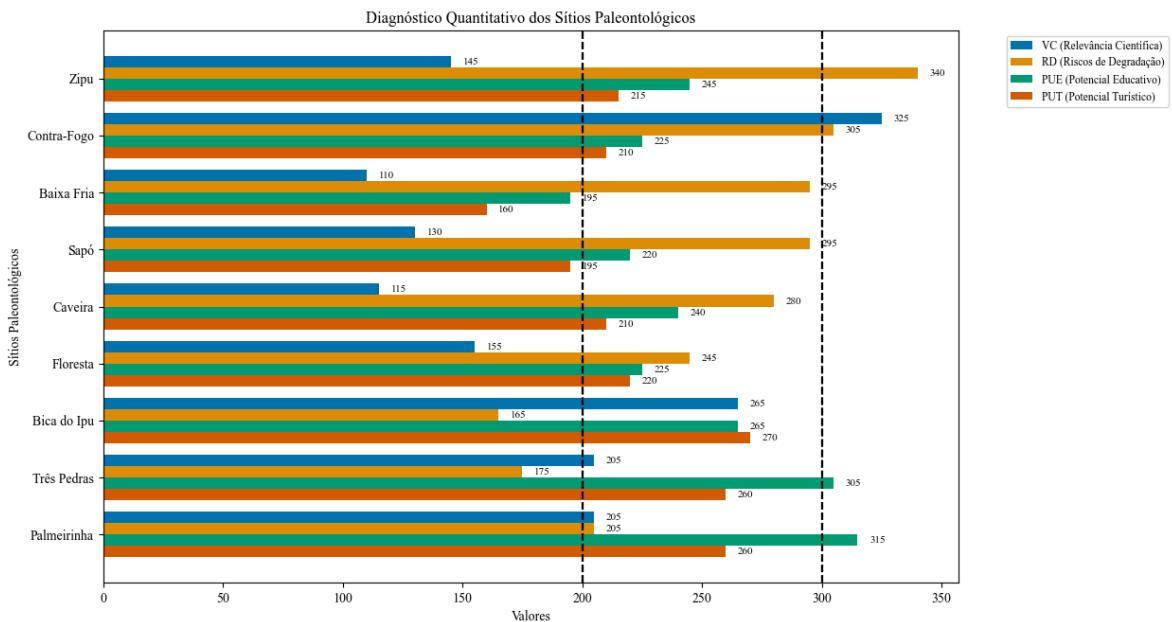
A tabela a seguir (Tabela 1) apresenta o valor científico (VC), o potencial de uso educativo (PUE), o potencial de uso turístico (PUT) e risco de degradação (RD) dos sítios paleontológicos de Zipu e Contra-Fogo. Para fins de comparação, também são apresentados os valores de outros sítios paleontológicos na região estudada. Os valores foram extraídos do trabalho de Lima *et al.* (2024) e calculados com base no sistema GEOSSIT, esta plataforma classifica os geossítios em três categorias de relevância: internacional ($VC \geq 300$), nacional ($VC \geq 200$ e $VC \leq 300$ com PUE ou PUT ≥ 200), e regional ($VC < 200$ e PUE ou PUT ≤ 200). Para os Riscos de Degradação (RD), os níveis são classificados como: baixo risco ($RD < 200$), risco moderado ($RD \geq 200$ e ≤ 300), e alto risco ($RD > 300$) (Figura 2).

Tabela 1. Valores atribuídos aos sítios paleontológicos da Formação Ipu analisados nesta dissertação, incluindo: valor científico (VC), potencial de uso educativo (PUE), potencial de uso turístico (PUT) e risco de degradação (RD). Destaque para os sítios de Pacujá abordados neste capítulo, Zipu e Contra-Fogo (CF). Outros sítios apresentados: BFS = Baixa Fria dos Santos; BDI = Bica do Ipu; 3P = Três Pedras; Palm = Palmeirinha.

Parâmetro	Zipu	CF	BFS	Sapó	Caveira	Floresta	BDI	3P	Palm
VC	145	325	110	130	115	155	265	205	205
RD	340	305	295	295	280	245	165	175	205
PUE	245	225	195	220	240	225	265	305	315
PUT	215	210	160	195	210	220	270	260	260

Figura 2. O gráfico apresenta os valores atribuídos a quatro dimensões avaliativas dos sítios paleontológicos estudados na Formação Ipu, Ceará: Relevância Científica (VC), Riscos de

Degradação (RD), Potencial Educativo (PUE) e Potencial Turístico (PUT). A linha tracejada indica os valores de referência médios para análise comparativa.



Os desafios identificados no diagnóstico evidenciam a necessidade de ações direcionadas que garantam a conservação e valorização dos sítios. Nesse contexto, apresentam-se as estratégias de geoconservação, orientadas por objetivos de proteção, valorização e uso sustentável.

6.3 Propostas gerais de proteção e valorização

Com base nas estratégias delineadas, elaboraram-se propostas gerais para aplicação prática, destacando ações concretas que assegurem a preservação dos sítios e seu aproveitamento como recursos científicos, educativos e turísticos.

A conservação dos sítios paleontológicos de Zipu e Contra-Fogo exige a implementação de medidas práticas que assegurem sua proteção física e promovam seu reconhecimento enquanto patrimônio de relevância científica, educativa e turística. As ações propostas abrangem categorias que envolvem desde a proteção física até o fomento ao geoturismo e à valorização científica, sempre alinhadas aos interesses socioeconômicos da comunidade local. Ao final, a tabela 02 apresenta uma síntese dessas diretrizes gerais, destacando seus objetivos, públicos-alvo e exemplos de implementação prática.

6.3.1 Cercamento e monitoramento

- Instalação de cercas ao redor dos afloramentos fossilíferos para limitar o acesso inadequado e proteger contra ações antrópicas, como atividades agrícolas e construções.
- Implementação de um plano de monitoramento periódico, envolvendo especialistas e a comunidade local, para avaliar o estado de conservação dos sítios e adotar ações corretivas quando necessário.

6.3.2 Parcerias e formação

- Fomentar parcerias entre órgãos públicos com instituições acadêmicas e iniciativa privada para integrar estudantes e jovens pesquisadores em atividades de monitoramento e conservação, incentivando a formação de mão de obra qualificada e engajada.

6.3.3 Sinalização e educação ambiental

- Instalação de placas informativas nos sítios destacando a relevância científica, os fósseis encontrados e a importância da conservação, promovendo a sensibilização da comunidade local e de visitantes.

6.3.4 Valorização científica

- Utilizar o Museu de Pacujá como polo estratégico para a divulgação e preservação do patrimônio paleontológico, oferecendo suporte à pesquisa científica e eventos educativos.
- Estimular parcerias com instituições de ensino para organizar estudos complementares e eventos acadêmicos que reforcem a visibilidade dos sítios de Zipu e Contra-Fogo.

6.3.5 Divulgação turística:

- Desenvolver materiais informativos e trilhas interpretativas guiadas para promover o geoturismo e destacar os sítios como destinos educativos e científicos.

6.3.6 Programas educativos e geoturismo

- Estabelecimento de trilhas interpretativas nos sítios, guiadas por especialistas, para promover o aprendizado prático sobre geologia e paleontologia. Essas atividades podem ser realizadas em parceria universidades, entidades turísticas e principalmente com as escolas municipais não só de Pacujá, mas também dos municípios próximos.
- Promoção dos sítios como destinos de turismo educativo e científico, destacando sua singularidade dentro da geologia regional. Essa estratégia pode incluir a criação de materiais de divulgação, como folhetos, vídeos e guias turísticos, além da formação de uma associação de condutores de turismo local.

6.4 Exemplo aplicado: Zipu e Contra-Fogo

Para demonstrar a aplicação prática das propostas, destacam-se os casos dos sítios Zipu e Contra-Fogo. Esses exemplos ilustram como as diretrizes podem ser adaptadas a diferentes contextos para promover a conservação eficaz do patrimônio paleontológico.

6.4.1 Caracterização dos sítios

- a) **Zipu:** O sítio paleontológico de Zipu, localizado no município de Pacujá-CE, apresenta relevância científica e histórica significativa devido à presença de icnofósseis atribuídos ao período Siluriano. Este sítio tem sido alvo de estudos acadêmicos que destacam seu valor para a compreensão de paleoambientes costeiros, conforme descrito por Lima *et al.* (2024). No entanto, o sítio enfrenta diversos desafios, incluindo o impacto de obras viárias que comprometeram parte dos afloramentos fossilíferos e a ausência de proteção física adequada. Medidas como cercamento, sinalização educativa e regulação do acesso são recomendadas para mitigar esses riscos, conforme proposto pelo PRAD (2023). Além disso, sua localização em área pública e privada destaca a necessidade de envolver a comunidade local e os proprietários nas ações de conservação.
- b) **Contra-Fogo:** É um sítio de relevância científica internacional, reconhecido pela excepcional preservação de anêmonas-do-mar e icnofósseis associados à Formação Ipu. Sua singularidade contribui significativamente para o entendimento de processos paleoecológicos e sedimentares do período Siluriano. Apesar de sua importância, o sítio está localizado em propriedade privada, o que representa um desafio adicional

para a implantação de medidas de conservação. Pressões antrópicas indiretas, como o desmatamento e o efeito de borda, têm fragilizado o entorno do sítio, aumentando o risco de degradação. Como destacado por Mansur (2010), é fundamental envolver os proprietários por meio de campanhas educativas e sensibilização sobre o valor científico do sítio, além de implementar medidas como cercamento e controle de acesso para garantir a proteção do patrimônio.

A integração das diretrizes propostas no PRAD para o sítio de Zipu também pode ser adaptada ao contexto de Contra-Fogo, respeitando suas particularidades. No caso de Zipu, o PRAD propõe a instalação de sinalização educativa e cercas, bem como a criação de um programa de monitoramento periódico para avaliar os avanços na conservação. Essas ações podem ser replicadas em Contra-Fogo, com adaptações para sua localização em propriedade privada e os riscos específicos que enfrenta. A padronização de ações entre sítios semelhantes é uma estratégia eficaz para otimizar recursos e garantir resultados consistentes em iniciativas de geoconservação.

6.4.2 Propostas de ação

- a. **Ações diretas:** cercamento, sinalização e controle de acesso imediato para mitigar riscos de degradação; desenvolver parcerias com os proprietários para implementar cercamento e educação patrimonial.
- b. **Educação e divulgação:** Realizar campanhas de educação ambiental voltadas aos proprietários e comunidades locais, destacando o valor científico e turístico dos sítios. Divulgar os sítios em materiais educativos e turísticos regionais, fortalecendo seu reconhecimento e proteção institucional.

Tabela 02. Diretrizes gerais para a geoconservação dos sítios paleontológicos de Pacujá. Categorias, objetivos, públicos-alvo e exemplos de implementação das ações voltadas para a proteção, valorização e desenvolvimento sustentável da região.

Categoria de ação	Objetivo	Público-alvo	Exemplos de implementação
Proteção Física	Garantir a integridade dos afloramentos fossilíferos	Comunidade local, gestores	<ul style="list-style-type: none"> - Instalação de cercas e gradis - Monitoramento periódico para avaliar conservação - Controle de acesso a áreas sensíveis
Educação e divulgação	Sensibilizar a população sobre o valor do patrimônio paleontológico	População local, visitantes	<ul style="list-style-type: none"> - Colocação de placas informativas - Realização de campanhas de conscientização - Parcerias com escolas municipais
Geoturismo	Promover o turismo sustentável e educativo	Turistas, condutores locais	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de trilhas interpretativas guiadas - Formação de associação de condutores - Divulgação de materiais turísticos
Valorização científica	Destacar o valor acadêmico dos sítios e incentivar pesquisas	Pesquisadores, estudantes	<ul style="list-style-type: none"> - Apoio do Museu de Pacujá para pesquisas - Realização de fóruns e eventos acadêmicos - Parcerias com universidades
Políticas públicas	Integrar a geoconservação ao planejamento territorial e às políticas municipais	Gestores municipais, ICMBio, Associação Caatinga	<ul style="list-style-type: none"> - Inclusão dos sítios em inventários oficiais - Criação de Unidades de Conservação ou inclusão em projetos já existentes - Adequação ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)
Desenvolvimento sustentável	Fomentar a economia local por meio de práticas alinhadas à preservação e educação ambiental	População local, órgãos municipais	<ul style="list-style-type: none"> - Estímulo a pequenos negócios vinculados ao turismo - Capacitação de moradores para atividades turísticas sustentáveis

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Diretrizes gerais para o ordenamento territorial

Os aprendizados obtidos com as ações propostas para os sítios de Zipu e estendidos para Contra-Fogo podem ser replicados nos outros sítios paleontológicos da Formação Ipu, reforçando uma abordagem integrada de geoconservação no ordenamento territorial municipal e regional. A padronização de medidas, como cercamento, sinalização educativa e programas de monitoramento, contribui para a otimização de recursos e para a criação de um modelo eficiente de gestão.

A integração desses sítios em redes regionais de geoparques e inventários de patrimônio paleontológico também se destaca como uma estratégia essencial para aumentar sua visibilidade e proteção. Conforme sugerido por Pereira *et al.* (2016), a criação de circuitos turísticos intermunicipais pode ampliar o impacto socioeconômico das ações de geoconservação, fortalecendo a conexão entre comunidades locais e seu patrimônio.

Os sítios paleontológicos de Santana do Acaraú, Cariré e Ipu, também discutidos nesta dissertação, devem ser considerados dentro desse contexto ampliado, possibilitando a formação de um corredor geoturístico que fomente o desenvolvimento regional sustentável.

6.5.1 Integração com políticas públicas

A integração da geoconservação com as políticas públicas é essencial para assegurar a implementação das diretrizes e garantir sua sustentabilidade a longo prazo. O Plano Diretor Participativo de Pacujá (2020) já reconhece os "atributos paleontológicos" do município como elementos que compõem o seu patrimônio natural e reforça a necessidade de preservá-los. Esse reconhecimento, embora ainda não detalhado, oferece uma base legal e conceitual para a inclusão da geodiversidade no planejamento ambiental e urbano do município.

A Seção I - Da Política de Meio Ambiente, estabelece diretrizes gerais como a preservação da paisagem natural, o uso sustentável dos recursos e a valorização de atributos arqueológicos e paleontológicos, que podem ser diretamente aplicadas aos sítios paleontológicos de Zipu e Contra-Fogo. Entre as diretrizes destacam-se:

- a) **Definição de áreas de preservação:** A aplicação dessas diretrizes é essencial para delimitar os sítios fossilíferos como espaços prioritários no ordenamento territorial e criar Unidades de Conservação para protegê-los.

- b) **Incentivo à participação comunitária:** Envolver a população local no planejamento, acompanhamento e gestão das políticas ambientais é crucial para garantir a sustentabilidade das ações de geoconservação. A criação de conselhos participativos, especialmente para gerir unidades de conservação e promover educação ambiental, pode ampliar o impacto das iniciativas.
- c) **Diretrizes estáveis e democráticas:** O estabelecimento de normas que conciliem o uso sustentável e a conservação ambiental reforça a importância de integrar o patrimônio paleontológico nas estratégias de desenvolvimento territorial, assegurando equilíbrio entre preservação e utilização responsável.
- d) **Preservação e valorização dos atributos paleontológicos:** As ações voltadas à preservação dos fósseis, acompanhadas do estímulo a atividades como ecoturismo e pesquisa científica, destacam o potencial educacional e econômico do patrimônio paleontológico.
- e) **Compatibilidade com o SNUC:** A definição de áreas de proteção e a criação de Unidades de Conservação para os sítios paleontológicos podem seguir os preceitos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei nº 9.985/2000).

Além disso, o Plano Diretor também incentiva a regulação do uso e ocupação do solo com vistas à preservação ambiental. Isso inclui:

- a) **Recuperação de áreas degradadas:** Medidas que podem ser adaptadas para mitigar os danos já existentes nos sítios fossilíferos, como a proteção contra erosão e a implementação de barreiras físicas.
- b) **Criação de parques lineares:** A iniciativa, prevista para áreas hídricas, também pode ser ampliada para integrar os sítios paleontológicos em uma rede de espaços verdes que alie conservação e lazer.

A Lei nº 677/2024 do município de Pacujá, que cria o Museu de Pacujá, complementa essas iniciativas ao estabelecer um espaço institucional para a guarda, conservação, estudo e divulgação do patrimônio paleontológico. O museu pode atuar como um centro de educação ambiental e sensibilização, ampliando as ações de pesquisa e valorizando o papel da população local na proteção desses bens.

Por fim, a articulação entre as diretrizes do Plano Diretor, o SNUC e outros instrumentos legais deve ser fortalecida para consolidar a geoconservação como uma estratégia integrada de desenvolvimento sustentável em Pacujá. Conforme enfatizado por

Mansur (2010), a proteção do meio ambiente abiótico não é apenas uma questão ecológica, mas também cultural e socioeconômica, com potencial para transformar regiões inteiras por meio de iniciativas de educação, turismo e pesquisa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diretrizes apresentadas reafirmam a importância de integrar a geoconservação ao ordenamento territorial, promovendo não apenas a proteção ambiental, mas também a valorização das dimensões sociais, culturais e econômicas do patrimônio paleontológico. Os sítios de Zipu e Contra-Fogo, no município de Pacujá (Ceará), representam um importante ativo científico e uma oportunidade de desenvolvimento sustentável, conectando conservação ambiental, educação e geoturismo.

No entanto, é fundamental reconhecer que são as pessoas que fazem a geoconservação. Mais do que dispositivos legais ou cercamentos, é a identificação da população com o patrimônio que garantirá a efetiva preservação. Quando a comunidade se percebe como parte intrínseca e integrante da dinâmica de proteção dos afloramentos, a conservação deixa de ser apenas uma imposição externa e se torna um compromisso coletivo. Por isso, a gestão compartilhada, envolvendo especialistas e representantes das comunidades locais, emerge como um elemento central para fortalecer esse senso de pertencimento e a valorização da identidade cultural associada ao patrimônio natural. A qualificação da população, por meio de parcerias com instituições de ensino e turismo, deve ser priorizada, garantindo tanto a conservação técnica quanto o engajamento comunitário.

O fortalecimento do geoturismo, como estratégia ímpar de geoconservação, pode ser impulsionado pela criação de uma associação de condutores locais, composta por moradores capacitados em geologia, paleontologia e práticas sustentáveis. Além disso, há uma expectativa para o futuro de que o Museu de Pacujá desempenhe um papel estratégico ao ir além da preservação do acervo paleontológico, consolidando-se como um potencial centro de pesquisa, educação ambiental e articulação comunitária. Embora ainda não tenha sido implementado até a conclusão deste trabalho, o desejo é que suas atividades possam integrar exposições temáticas, eventos acadêmicos e iniciativas educativas que promovam o diálogo entre ciência e sociedade. Nesse contexto, recomenda-se a realização de trabalhos futuros que promovam a integração entre os municípios da região, bem como a continuação do inventário de novos sítios paleontológicos, ampliando o reconhecimento de outros locais relevantes. Além disso, um inventário da oferta turística da região seria essencial para integrar os

atrativos já reconhecidos, como os de Ipu, a um produto turístico original e regional, onde os sítios paleontológicos sejam o foco, mas conectados às demais riquezas turísticas locais.

As diretrizes aqui apresentadas podem servir de modelo para outros municípios do noroeste cearense, ampliando os impactos positivos da preservação paleontológica e da valorização da geodiversidade em escala regional. A replicação das boas práticas em redes intermunicipais e regionais pode promover o fortalecimento da economia local, além de ampliar a conscientização sobre a importância do patrimônio natural.

Por fim, ao integrar o patrimônio paleontológico ao planejamento territorial, reafirma-se seu potencial transformador para o desenvolvimento sustentável de Pacujá e de toda a região. A valorização da geodiversidade como componente essencial do meio ambiente reforça o compromisso com as gerações futuras, garantindo a preservação da história natural da região e o legado para as próximas décadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. A. M. *et al.* **Carta geológica**: folha Ipu (SB.24-V-A-III). Escala 1:100.000. [Fortaleza]: CPRM: UFPA, 2015. 1 mapa, color. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/1776>. Acesso em: 4 dez. 2024.
- ARAÚJO, A. M.; PEREIRA, D. I. A. New methodological contribution for the geodiversity assessment: applicability to Ceará State (Brazil). **Geoheritage**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1-15, 2017.
- BARRERA, I. A. R.; NOGUEIRA, A. C. R.; BANDEIRA, J. The Silurian glaciation in the eastern Parnaíba Basin, Brazil: paleoenvironment, sequence stratigraphy, and insights for the evolution and paleogeography of West Gondwana. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 406, p. 105714, 2020.
- BARROSO, F. R. G. *et al.* Insights of lifestyles and preservation of Arenactinia ipuensis n. gen. et n. sp. (Anthozoa, Actiniaria) from the early Silurian (Ipu Formation, Parnaíba Basin, Brazil). **Earth History and Biodiversity**, [s. l.], v. 1, p. 100017, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hisbio.2025.100017>.
- BARROSO, F. R. G. **Invertebrados fósseis da Formação Ipu (Siluriano), Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba**. 2016. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2016.
- BATISTA, Z. V. **Caracterização Faciológica, Petrográfica e Diagenética das Sequências Basais das Bacias do Parnaíba, Araripe, São José do Belmonte e Lavras da Mangabeira: Contribuição às Possíveis Correlações dos Arenitos Basais e suas Implicações Geotectônicas**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15648>. Acesso em: 4 dez. 2024
- BATISTA, Z. V. *et al.* Petrografia e Diagênese dos Arenitos Fossilíferos e Conglomerados Basais da Formação Ipu, no Noroeste do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 33, p. 7-27, 2020. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/geologia/article/view/42063/165509>. Acesso em: 4 dez. 2024
- BENITO-CALVO, A. *et al.* Assessing Regional Geodiversity: The Iberian Peninsula. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.] v. 34, n. 10, p. 1433–1445, 2009.
- BORBA, A. W. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 3–13, 2011. DOI: 10.22456/1807-9806.23832.
- BRADBURY, J. **A Preliminary Geoheritage Inventory of the Eastern Tasmania Terrane**. Hobart: Parks and Wildlife Service, 1993.
- BRASIL, **Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940**. Código Penal. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, RJ, 31 dez. 1940.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. Decreto n. 72.312, de 31 de maio de 1973. Promulga a Convenção sobre as medidas a serem adotadas para proibir e impedir a importação, exportação e transferência de propriedades ilícitas de bens culturais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 maio 1973.

BRASIL. Decreto-Lei n. 4.146, de 4 de março de 1942. Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, RJ, 7 mar. 1942.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria n. 155, de 12 de maio de 2016. Estabelece procedimentos para extração de fósseis [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa n. 1, de 6 de janeiro de 1993. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jan. 1993.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa n. 14, de 1º de março de 2024. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 mar. 2024.

BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Diretrizes para a preservação de bens culturais no Brasil**. Brasília, DF: IPHAN, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/iphan/pt-br>. Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225 [...] e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portaria MCT nº 55, de 14 de março de 1990**. Regulamenta a coleta de material científico por estrangeiros, conforme Decreto nº 98.830, de 15 de janeiro de 1990. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 mar. 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa IBAMA n. 2, de 20 de agosto de 2009. Define diretrizes para proteção de cavidades naturais subterrâneas e sítios arqueológicos e paleontológicos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 ago. 2009.

BRASIL. **Portaria DNPM nº 155, de 12 de maio de 2016**. Estabelece procedimentos para extração de fósseis, conforme o Decreto-Lei nº 4.146, de 4 de março de 1942. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 maio de 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria n. 55, de 14 de março de 1990. Regulamenta a coleta de material científico por estrangeiros. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 mar. 1990.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Receita Federal do Brasil. **SISCOMEX – NCM 9705.00.00**: regulamenta a exportação de fósseis. Disponível em: <https://siscomex.gov.br>. Acesso em: 5 nov. 2024.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. **Geossit**: sistema de avaliação de geossítios e sítios de biodiversidade. [Brasília, DF]: SGB/CPRM, [20--?]. Disponível em: <https://sgb.gov.br/geossit/>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRILHA, J. Geoheritage: Inventories and Evaluation. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. (org.). **Geoheritage**: Assessment, Protection, and Management. Amsterdam: Elsevier, 2018.

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.

BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage Editores, 2005.

BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environ Sci Policy**, v. 86, p. 19-28, 2018.

BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. The history of geoconservation. **Geological Society, London, Special Publications**, Londres, v. 300, n. 1, p. 1-5, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP300.1>.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology, and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. 1984. Tese (Doutorado) – Universidade da Califórnia, Santa Barbara, 1984. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8961>. Acesso em: 2 ago. 2023.

CAPUTO, M. V.; LIMA, E. C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais** [...] Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 740-753.

CARCAVILLA, L. U. **Geoconservación**. Catarata, Madrid, 2012.

CARCAVILLA, L. U.; DURÁN, J. J.; MARTÍNEZ, J. L. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. In: CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 7., 2008, Las Palmas de Gran Canaria. **Anais** [...] Las Palmas de Gran Canaria: Geo-Temas, 2008. v. 10, p. 1299-1303.

CARCAVILLA, L. U.; MARTÍNEZ, J. L.; DURÁN, J. J. **Patrimonio geológico y geodiversidad**: investigación, conservación y relación con los espacios naturales protegidos. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2007.

CARVALHO, I. S.; LEONARDI, G. The Invisibles of Science and the Paleontological Heritage: the Brazilian Study Case. **Geoheritage**, [s. l.] v. 14, p. 107, 2022.

CEARÁ. Decreto nº 25.354, de 26 de janeiro de 1999. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA da Bica do Ipu. **Diário Oficial do Estado do Ceará**, Fortaleza, 27 jan. 1999. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=276887>. Acesso em: 20 dez. 2024.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2022**. Fortaleza: IPECE, 2022. Disponível em: <https://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 4 dez. 2024.

CLAUDINO-SALES, V. *et al.* Megageomorfologia do Planalto da Ibiapaba: Uma Introdução. **William Morris Davis**, Sobral, v. 1, n. 1, p. 186–209, 2020.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.

DESTRO, N.; SZATMERI, P.; LADEIRA, E. A. Reativação Transpressional Pós-Devoniana de Zonas de Cisalhamento no Ceará. **Journal of Structural Geology**, [s. l.] v. 16, p. 35–45, 1994.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendários das Chuvas no Estado do Ceará**. Fortaleza: FUNCEME, 2020.

GARCIA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L. U. Documento Metodológico para a Elaboração do Inventário Espanhol de Lugares de Interesse Geológico (IELIG). **Instituto Geológico y Minero de España**, Madrid. 2009.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 57–67, 1994.

GONGGRIJP, G. P. Planning and Management for Geoconservation. In: BARRENTINO, D.; WIMBLEDON, W.; GALLEGOS, E. (org.). **Geological Heritage: Its Conservation and Management**. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, cap. 2, p. 29–45. 2000.

GORAYEB, P. S. de S. *et al.* **Carta geológica**: folha Sobral - SA.24-Y-D-IV. Fortaleza: CPRM, 2014. 1 mapa. Escala 1:100.000.

GRAY, M. Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? **The George Wright Forum**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 4–12, 2005. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/43597951>. Acesso em: 4 dez. 2024

GRAY, M. Geodiversity: The Ecosystem Approach. **Ecosystem Services**, [s. l.] v. 34, p. 106–112, 2018.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2. ed. Londres: John Wiley & Sons, 2013.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Londres: John Wiley & Sons, 2004.

HAESBAERT, R. ORDENAMENTO TERRITORIAL. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 26, n. 1, p. 117–124, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/3572>. Acesso em: 16 out. 2024.

HENRIQUES, M. H. *et al.* Geoconservation as an Emerging Geoscience. **Geoheritage**, [s. l.] v. 3, n. 2, p. 117–128, 2011.

HENRIQUES, M. H. P.; CARVALHO, I. S. Culturally Diferentiated Paths Towards the Conservation of the Paleontological Heritage at Araripe (NE Brazil) and Arouca (N Portugal) UNESCO Global Geoparks. **Geoheritage**, [s. l.] v. 14, p. 68, 2022.

HORODYSKI, R.; JÚNIOR, H. I. A. Introduction to the Special Issue on “Brazilian Fossiliferous Sites with Paleobiological Importance”. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [s. l.] v. 7, n. SI2, p. 1–3, 2024. DOI: 10.29396/jgsb.2024.v7.SI2.8.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas de manejo das coleções botânicas e procedimentos para mapeamento. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IUCN. **History and principles**. Gland, Suíça: IUCN, 1948. Disponível em: <https://www.iucn.org>. Acesso em: 4 dez. 2024.

KUHN, C. E. S. *et al.* Brazilian fossils are not necessarily cultural heritage. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 1063–1064, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02396-x>.

LIMA, T. A.; VIANA, M. S. S.; OLIVEIRA, P. V. Avaliação Quantitativa dos Sítios Paleontológicos da Formação Ipu, Siluriano da Bacia do Parnaíba, Noroeste do Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 26, n. 2, p. 79–106, 2024. DOI: 10.35701/rcgs.v26.993. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/993>. Acesso em: 04 dez. 2024.

MANSUR, K. L. Ordenamento territorial e geoconservação: análise das normas legais aplicáveis no Brasil e um caso de estudo no estado do Rio de Janeiro. **Geosciences = Geociências**, [s. l.] v. 29, n. 2, p. 237–249, 2010.

MANSUR, K. L. Reflexões e breve histórico sobre estudos e ações sobre Geodiversidade e Conservação da Memória da Terra no Brasil. **Museologia e Patrimônio**: revista eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio - Unirio | MAST, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 13–53, 2022. DOI: <https://doi.org/10.52192/1984-3917.2022v15n1p13-53>.

MEDEIROS, W. D. A. Ecogeoturismo e Geoconservação no Semiárido do Rio Grande do Norte. **Mercator**, 2011. Disponível em: <https://mercator.org.br>. Acesso em: 5 nov. 2024

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 3, p. 717–743, 2015.

MOURA, P. **Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil: Métodos para Seleção, Proteção e Uso dos Sítios Geológicos.** 2018. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, 2018.

MOURA-FÉ, M. M. Geodiversidade da Ibiapaba: Região Norte do Estado do Ceará. **Okara: Geografia em Debate**, João Pessoa, v. 11, n. 2, 2017.

NASCIMENTO, M.; GARCIA, M. G.; MANSUR, K. Introduction to the Special Issue on "Geoconservation" of the Journal of the Geological Survey of Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [s. l.] v. 4, n. SI1, p. 11, 2021. DOI: 10.29396/jgsb.2020.v4.SI1.11. Disponível em: <https://jgsb.sgb.gov.br/index.php/journal/article/view/150>. Acesso em: 5 nov. 2024

NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Boletín Geológico y Minero**, Madri, v. 112, n. 2, p. 3-11, 2001

PACUJÁ. Lei n. 677, de 2 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a criação do Museu de Pacujá e dá outras providências. **Diário Oficial dos Municípios do Estado do Ceará**, Pacujá, 2 jan. 2024. Disponível em: https://www.pacuja.ce.gov.br/arquivos/1001/LEI%20MUNICIPAL_677_2024_0000001.pdf. Acesso em: 5 nov. 2024.

PACUJÁ. Lei n. 608, de 23 de novembro de 2020. Aprova o Plano Diretor Participativo para o Município de Pacujá - CE, e outras providências relacionadas. **Diário Oficial dos Municípios do Estado do Ceará**, Pacujá, 23 nov. 2020. Disponível em: https://www.pacuja.ce.gov.br/arquivos/518/LEIS_608_2020_0000001.pdf. Acesso em: 6 ago. 2024.3.

PEREIRA, D. I. *et al.* Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, [s. l.] v. 52, n. 3, p. 541–552, 2013.

PEREIRA, J. M. V.; VICTORIA, S. M. D. M. S.; OLIVEIRA, V. P. V.; ZANELLA, M. E.; ROCHA, H. S. Importância da geoconservação na gestão ambiental e ordenamento territorial. **Ambiente & Educação**, Rio Grande, v. 21, n. 2, p. 15-30, 2016. Edição Especial V CBEAGT.

PINÉO, T. R. G. LIMA, A. F.; MARTINS, M. D.; BESSA, M. D. M. R. Projeto ARIM Noroeste do Ceará: Mapa Geológico-Geofísico. **CPRM**, Fortaleza, 2018. Escala 1:100.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18665>. Acesso em: 4 dez. 2024.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M. **Projeto geologia e recursos minerais do Estado do Ceará: mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2021. Escala 1:500.000.

PROSSER, C. D.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; LARWOOD, J. G. H. Conservation of geosites: principles and practice. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. (org.). **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 11, p. 193-212.

RABELO, F. *et al.* Ceará: Uma Análise Regional. Fortaleza: Secretaria do Desenvolvimento Econômico, **CEDE**. 2016. (Texto para Discussão). Disponível em:

<http://www.cede.ce.gov.br/biblioteca/Ceara-Uma%20Analise%20Regional.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2024

RUSINELLI, B. B. *et al.* Fossildiagênese de Icnofósseis em Arenitos Eopaleozóicos, Formação Ipu, Bacia do Parnaíba. **Anais do 50º Congresso Brasileiro de Geologia**. Brasília, 2021. v. 1, p. 209–209.

RUSINELLI, B. B. *et al.* Taphonomy of ichnofossils in eopaleozoic sandstones, Pacuja, CE, Brazil. In: ANNUAL USERS' MEETING (RAU), 30., 2020, Campinas. **Abstract Book** [...]. Campinas: LNLS - CNPEM, 2020. p. 138.

RUSINELLI, B. B.; BRANCO, F. S. R. T.; ZABINI, C. Petrography, microscopy, and spectroscopy of ichnofossils in sandstones of the Pacujá Formation (Jaibaras Basin, CE). In: REUNIÃO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, 2018, Campinas. **Paleo SP**: abstracts. Campinas: SBP, 2018. p. 41.

SCHOBENHAUS, C. *et al.* (org.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil: guia ilustrado. Brasília, DF: DNPM/CPRM - SIGEP, 2002. 554 p.

WINGE, M. et al. (org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2009. v. 2. 515 p. ISBN 857499077-4.

SÁ, T. D. A. O que é ordenamento territorial? In: MELLO, N. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. (coord.). **Oficina sobre a Política Nacional de Ordenamento Territorial**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2005. p. 70.

SHARPLES, C. **A methodology for identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes**. Tasmania: The Forestry Commission, 1993.

SHARPLES, C. Geoconservation in forest management: principles and procedures. **Tasforests**, [s. l.], v. 7, p. 37-50, 1995.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Tasmania: Tasmanian Parks & Wildlife, 2002.

SILVA JUNIOR, O. G. *et al.* **Frecheirinha, folha SA.24-Y-C-VI**: carta geológica. Escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2014. 1 mapa, color.

SILVA, C. R. (ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SOARES, F. R. F. **Estudo comparativo entre os arenitos da Formação Ipú e Serrote Santana, noroeste do Ceará, baseado em dados sedimentares e isotópicos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

UCEDA, A. C. Patrimonio geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. In: SUÁREZ-VALGRANDE, J. P. (coord.). **Jornadas sobre patrimonio geológico y desarrollo sostenible**: perspectivas para el siglo XXI. Madri: Ministerio de Medio Ambiente, 2000. p. 23-37.

VAZ, P. T. *et al.* Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

VIANA, M. S. S. (org.). **Atlas de paleontologia**: fósseis da região Norte do Ceará. Sobral: Edições UVA, 2018. 104 p.

VIANA, M. S. S. *et al.* **Tesouros patrimoniais**: sítios paleontológicos do noroeste cearense. [s. l.]: SertãoCult, 2023. DOI: <https://doi.org/10.35260/54210553-2023>.

VIANA, M. S. S.; CARVALHO, I. S. **Patrimônio paleontológico**. Rio de Janeiro: Interciênciia, 2019.

VIANA, M. S. S. *et al.* Ocorrências icnofossilíferas do Grupo Serra Grande (Siluriano da Bacia do Parnaíba), noroeste do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 23, n. 1, p. 77-89, 2010.

WINGE, M. *et al.* (org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**: um guia ilustrado. Brasília, DF: CPRM, 2013. v. 3. 515 p. ISBN 978-85-7499-198-6.

YELLOWSTONE NATIONAL PARK FOUNDATION. **Yellowstone**: the world's first national park - March 1, 1872. [s. l.]: Independently published, 2022. 86 p. ISBN 979-8366493925.