

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Priscila Lopes de Abreu Santos

Patrimônio Geológico na área do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Vale do Ribeira, SP – Brasil: a capacidade de carga na definição de estratégias de gestão para o uso público de sítios geológicos

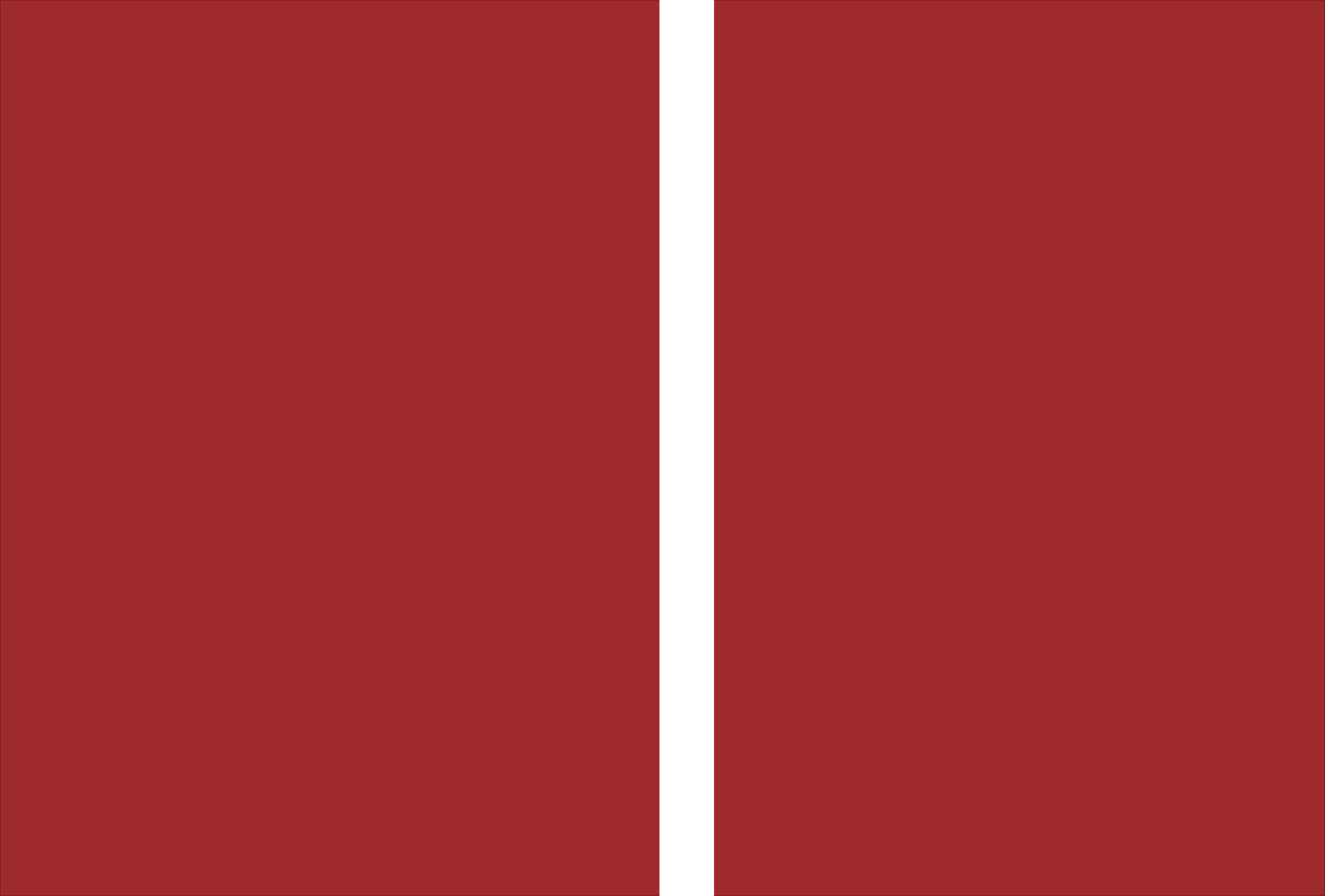
Patrimônio Geológico na área do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Vale do Ribeira, SP – Brasil: a capacidade de carga na definição de estratégias de gestão para o uso público de sítios geológicos

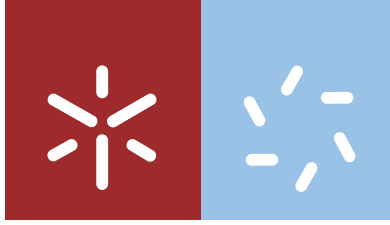
Priscila Lopes de Abreu Santos

UWinho | 2019



junho de 2019





Universidade do Minho
Escola de Ciências

Priscila Lopes de Abreu Santos

Patrimônio Geológico na área do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Vale do Ribeira, SP – Brasil: a capacidade de carga na definição de estratégias de gestão para o uso público de sítios geológicos

Tese de Doutorado
Doutorado em Ciências Geologia

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Bernardo Rodrigues Brilha

junho de 2019

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Manifesto os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares Manoel Santos e Verita Santos, Rodrigo Santos, Marcelo Santos, Alessandra Santos Tomaz e Marcos Paulo Tomaz que mesmo na distância sempre estiveram presentes durante esta longa jornada. Muito obrigada pela confiança, carinho, incentivo e compreensão.

Ao Prof. Dr. José Brilha. Pela orientação, feita com tanta dedicação e paciência ao longo destes anos. Obrigada pelo estímulo, que sem dúvida contribuiu para além do meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos amigos de longa data, Herlândia Barros, Beatriz Scigliano, Ana Regina Alves, Marcella Esteves, Luciana Costa, Marcelha Landim, Daniela Lelis, Eva Mori e Diego Machado. Os quais pude compartilhar com cumplicidade os desafios dos caminhos que me trouxeram até aqui.

Aos amigos do Norte Verdadeiro, pelo acolhimento e receptividade.

Aos amigos e colegas de trabalho José Eduardo Martinez, Thais Canesin, Laeticia Sánchez, Violeta Martins, Luciano Mata pelas trocas de experiências e conhecimento.

Aos novos amigos João Manuel Barbosa e Ivaneide Santos que a vida me proporcionou. Por todos os bons e maus momentos compartilhados, por todos os sorrisos e aprendizados. Especialmente pela ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Agnaldo dos Santos Aguiar, monitor ambiental do PETAR e morador da comunidade local entorno ao PETAR, pela parceria durante o trabalho de campo na região.

Finalmente, às instituições de fomento:

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq Brasil, Programa Ciências sem Fronteiras: Modalidade: Doutorado Pleno no Exterior - GDE, N° Processo: 233271/2014-7.

Este trabalho foi co-financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, enquadrado no COMPETE 2020 (Programa Operacional da Competitividade e Internacionalização) através do projeto ICT (UID/GEO/04683/2019) com a referência POCI-01-0145-FEDER-007690 e dos fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Dedicado aos meus sobrinhos Kaique Santos e Arthur Tomaz, com amor e saudade...

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Patrimônio Geológico na área do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Vale do Ribeira, SP – Brasil: a capacidade de carga na definição de estratégias de gestão para o uso público de sítios geológicos

RESUMO

O Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) localiza-se no Vale do Ribeira, estado de São Paulo, Brasil. O parque tem uma área de cerca de 36 mil hectares e integra a Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar e a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Inserido no sistema orogênico Mantiqueira, de idade neoproterozoica (800-500 Ma), a região do PETAR é constituída litologicamente por rochas metamórficas do Supergrupo Açungui, suítes e corpos graníticos pós-tectônicos, diques básicos jurássicos e depósitos sedimentares cenozoicos. As rochas carbonáticas enquadram os sistemas cársticos regionais na chamada Província Espeleológica do Açungui.

Esta tese teve como objetivo geral a definição de uma estratégia de geoconservação do PETAR, com a avaliação do uso potencial do patrimônio geológico, objetivando promover um uso público sustentável. A área de trabalho foi escolhida devido à sua importância geológica, com destaque para o patrimônio espeleológico, representado por uma concentração de cerca de 480 cavernas. O inventário de sítios geológicos no PETAR e seu entorno foi realizado considerando os principais aspectos relacionados à história geológica regional, tendo sido identificados 3 geossítios e 24 sítios de geodiversidade. A avaliação quantitativa dos sítios geológicos foi feita por meio do Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade (GEOSSIT) desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ao final deste processo foi estabelecida a seriação dos sítios geológicos quanto a prioridades de gestão.

A revisão bibliográfica sobre a capacidade de carga concentrou-se na compreensão da sua evolução e amplitude conceitual e metodológica ao longo do tempo. Neste sentido, foram analisados os métodos mais usados na gestão de sítios turísticos. A partir desta revisão formulou-se uma proposta para a avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos. Esta proposta baseia-se na determinação da capacidade de carga por meio de um conjunto de ações de gestão e/ou a limitação do número de usuários em um sítio geológico, a partir do estabelecimento de limites de mudanças aceitáveis para os indicadores identificados em cada sítio. De forma a aplicar a proposta na área de estudo, procedeu-se à análise dos procedimentos necessários em três exemplos: o geossítio Mármore Apiaí e os sítios de geodiversidade Paleoterraço do Rio Ribeira e caverna Santana. A direção do PETAR fica assim ao dispor de uma ferramenta de geoconservação que poderá aplicar na gestão e ordenamento do parque. De igual forma, o inventário realizado na região contribui para o banco de dados do inventário nacional do patrimônio geológico brasileiro e para refinar o inventário do estado de São Paulo.

Palavras-chave: Brasil; Capacidade de carga; Geoconservação; Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira; Patrimônio Geológico

Geological heritage OF THE Touristic State Park of Alto Ribeira (PETAR), São Paulo, Brazil: definition of management strategies to promote the public use of geological sites based on the Carrying capacity evaluation

ABSTRACT

The Touristic State Park of Alto Ribeira (PETAR, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira) is located at Ribeira Valley, São Paulo state, Brazil. The surface of the park is about 36 thousand hectares, and it encompasses the Environmental Protection Area of Serra do Mar and the UNESCO Biosphere Reserve of Mata Atlântica. PETAR is part of the Neoproterozoic orogenic system of Mantiqueira (800-500 Ma) and is composed of metamorphic rocks of the Subgroup Açungui, granitic post-tectonic suites and bodies, Mesozoic basic dikes, and Cenozoic sedimentary deposits. Carbonate rocks support the regional karst system known as Speleological Province of Açungui.

The main objective of this thesis is to define a strategy for the geoconservation of PETAR, including the evaluation of the potential sustainable use of its geological heritage. The selection of PETAR for this work was due to its national geological importance, namely of its speleological heritage, represented by around 480 caves. The inventory of geological sites in PETAR and its surroundings was done taking into consideration the main scientific aspects related to the regional geological history. Three geosites and 24 geodiversity sites were identified. The quantitative evaluation of these geological sites was done using the System for Registration and Quantification of Geosites and Geodiversity Sites (GEOSSIT), developed by the Geological Survey of Brazil (CPRM). Based on this quantification, the 3 geosites were sorted according with their management priorities.

The literature review concerning carrying capacity was focused on the understanding of its evolution throughout time, its concepts and methodologies. Therefore, the most common methods for managing touristic sites were analysed. From this review, a proposal for the evaluation of the carrying capacity of geological sites was formulated. This proposal is based on the determination of the carrying capacity by means of management actions and/or limitation of the number of users in a geological site, defined after establishing the acceptable limit of variation of the geoindicators identified for that site. In order to apply the proposal to the case study (PETAR), the necessary procedures were analysed for three examples: the geosite Apiaí Marble; the geodiversity site Paleoterraço do Rio Ribeira; and the Santana Cave. After this work, PETAR managers have a new geoconservation tool that can aid the management and the decision making in this park. Additionally, the sites inventory contributes to the database of the Brazilian geoheritage inventory and to expand the São Paulo state inventory.

Keywords: Brazil; Carrying Capacity; Geoconservation; Geological Heritage; Touristic State Park of Alto Ribeira

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE QUADROS	XVIII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação do tema	1
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Métodos.....	5
1.3.1. Levantamento bibliográfico	6
1.3.2. Trabalho de campo	6
1.3.3. Caracterização e avaliação dos sítios geológicos	6
1.3.4. Capacidade de carga turística.....	7
1.4. Estrutura da Tese	7
2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA SOBRE GEOCONSERVAÇÃO	8
2.1. Geodiversidade	8
2.2. Patrimônio Geológico e Geoconservação	12
2.3. Estratégias de Geoconservação	15
2.4. Panorama Mundial da Geoconservação	16
2.5. Geoturismo: conceitos e planejamento.....	20
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.1. Dados gerais e Localização geográfica	22
3.2. Geologia	24
3.2.1. Geologia Regional	24
3.2.2. Geologia local.....	28
3.2.2.1. Supergupo Açungui: Subgrupo Lajeado	28
3.2.2.2. Rochas Granitóides	31
3.2.2.3. Diques Básicos	32
3.2.2.4. Depósitos Sedimentares Cenozoicos	32

3.3. Geomorfologia	34
3.4. Clima	37
3.5. Recursos hídricos	37
3.6. Província Espeleológica do Vale do Ribeira	40
3.6.1. Cavernas Cársticas	41
3.7. Biodiversidade	43
3.8. Estrutura de visitação e uso público no PETAR	44
4. INVENTÁRIO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS NO PETAR	48
4.1. Sítios Geológicos.....	48
4.1.1. Diabásio Núcleo Santana.....	51
4.1.2. Mirante do Núcleo Santana.....	52
4.1.3. Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas.....	54
4.1.4. Caverna Santana	56
4.1.5. Caverna Água Suja	59
4.1.6. Cavernas Couto e Morro Preto	60
4.1.7. Caverna Cafezal	63
4.1.8. Mirante da Laje Branca	64
4.1.9. Caverna Laje Branca	65
4.1.10. Caverna Alambari de Baixo	67
4.1.11. Caverna Ouro Grosso.....	68
4.1.12. Caverna Casa de Pedra	70
4.1.13. Gruta do Chapéu	72
4.1.14. Caverna Mirim I e II.....	73
4.1.15. Caverna Aranhas	75
4.1.16. Caverna Temimina I e II.....	76
4.1.17. Grutas Areias I e II.....	78
4.1.18. Gruta Laboratório	79
4.1.19. Metacalcários Formação Bairro da Serra.....	81
4.1.20. Cachoeira Sem Fim	82
4.1.21. Mina e estrada do Lajeado.....	84
4.1.22. Mina de Furnas	86
4.1.23. Paleoterraço do Rio Ribeira	88
4.1.24. Mirante Boa vista.....	90
4.1.25. Gorotubito Dobrado	92

4.1.26.	Mármore Apiaí	93
4.1.27.	Morro do ouro	95
4.2.	Avaliação Quantitativa dos Sítios Geológicos	97
4.2.1.	GEOSSIT	98
4.2.2.	Resultados da Quantificação	101
4.2.3.	Discussão sobre a avaliação quantitativa	109
5.	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM SÍTIOS GEOLÓGICOS	115
5.1.	O conceito de capacidade de carga	115
5.1.1.	Capacidade de carga turística	116
5.1.2.	Categorias (ou tipos) de capacidade de carga	120
5.1.2.1.	Capacidade de carga ecológica e física	120
5.1.2.2.	Capacidade de carga material	121
5.1.2.3.	Capacidades de carga perceptiva/psicológica/social	121
5.1.2.4.	Capacidade de política/econômica	122
5.1.3.	Medidas da capacidade de carga	122
5.2.	Metodologias para Avaliação da Capacidade de Carga e suas aplicações.....	124
5.2.1.	Metodologias baseadas em padrões numéricos	129
5.2.1.1.	Metodologia de Miguel Cifuentes (1992) Cifuentes-Arias et al. (1999)	129
5.2.1.2.	Método de Boullón (2006)	135
5.2.1.3.	Densidades e padrões de uso turístico	138
5.2.2.	Metodologias para gestão do uso público em áreas protegidas	140
5.2.2.1.	Limites Aceitáveis de Alteração (Limits of Acceptable Change – LAC)	141
5.2.2.2.	Experiência do Visitante e Proteção do Recurso (Visitor Experience and Resource Protection – VERP)	144
5.2.2.3.	Modelo de Gestão da Otimização Turística (Tourism Optimization Management Model – TOMM)	145
5.2.2.4.	Aplicação das metodologias para gestão do uso público em áreas protegidas	145
5.2.2.5.	Metodologia de Coccossis e Mexa	148
5.2.3.	Metodologias para avaliação da capacidade de carga turística em sítios espeleológicos	151
5.2.3.1.	Zoneamento Ambiental Espeleológico (ZAE)	152
5.2.3.2.	Metodologia Projeção de Cenários	156
5.2.3.3.	Capacidade de carga turística baseada em parâmetros atmosféricos	159
5.2.3.4.	Aplicações metodologias para avaliação da capacidade de carga turística em sítios espeleológicos	162
5.3.	Proposta para avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos.....	164

6. ORIENTAÇÕES PARA A AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM SÍTIOS GEOLÓGICOS.....	181
6.1. Geossítio Mármore Apiaí.....	183
6.1.1. Análise do sistema	183
6.1.1.1. Análise do meio físico	183
6.1.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (potencial uso)	186
6.1.1.3. Análise de políticas de gestão (manejo)	187
6.1.2. Determinação da capacidade de carga.....	187
6.1.2.1. Zoneamento do sítio geológico	187
6.1.2.2. Identificação de geoindicadores.....	187
6.1.2.3. Monitoramento de geoindicadores.....	188
6.1.2.4. Cálculo final da capacidade de carga	189
6.2. Paleoterraço do Rio Ribeira	190
6.2.1. Análise do sistema	190
6.2.1.1. Análise do meio físico	190
6.2.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (potencial uso)	191
6.2.1.3. Análise de políticas de gestão (manejo)	191
6.2.2. Determinação da capacidade de carga.....	192
6.2.2.1. Zoneamento do sítio geológico	192
6.2.2.2. Identificação de fatores /geoindicadores	192
6.2.2.3. Monitoramento de geoindicadores.....	192
6.2.2.4. Cálculo final da capacidade de carga	193
6.3. Caverna Santana	193
6.3.1. Análise do sistema	193
6.3.1.1. Análise do meio físico	193
6.3.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (uso público).....	195
6.3.1.3. Análise de políticas de gestão	198
6.3.2. Determinação da capacidade de carga.....	199
6.3.2.1. Zoneamento do sítio geológico	199
6.3.2.2. Identificação de fatores /geoindicadores	200
6.3.2.3. Monitoramento de geoindicadores.....	201
6.3.2.4. Cálculo final da capacidade de carga	202
6.4. Discussão dos resultados.....	203
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	208

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	212
ANEXOS.....	229

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA – Área de Proteção Ambiental

CANIE – Castro Nacional de Informações Espeleológicas

C-CAP – Carring Capacity Assessment Process - Processo de Avaliação da Capacidade de Carga

CC – Capacidade de Carga

CCE – Capacidade de Carga Efetiva

CCF – Capacidade de Carga Física

CCR – Capacidade de Carga Real

CCT – Capacidade de Carga Turística

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CNC – Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

EC – Estação Ecológica

EUA – Estados Unidos da América

FF – Fundação Florestal

GEOSSIT – Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios de Geodiversidade

GGEO – Grupo de Espeleologia da Geologia USP

GGN – Global Geoparks Network - Rede Global de Geoparques

GPME – Grupo Pierre Martin de Espeleologia

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Interesse Científico

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ID – Interesse Didático

ID – Índice Global

IGCP – International Geoscience Programme

IGU – International Geographical Union

IT – Interesse Turístico

IUCN – União Internacional da Conservação da Natureza

IUGS – União Internacional de Ciências Geológicas

LAC – Limits of Acceptable Change - Limites Aceitáveis de Alteração – Limites de Alterações Aceitáveis

LIG – Lugar de Interesse Geológico

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ODM – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

ODS – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável

PEAR – Parque Estadual do Alto Ribeira

PME – Plano de Manejo Espeleológico

PETAR – Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira

PP – Prioridade de Proteção

PUE – Potencial Uso Educativo

PUT – Potencial Uso Turístico

RD – Risco de Degradação

REG – Rede Europeia de Geoparques

ROS – Recreation Opportunity Spectrum - Espectro de Oportunidades Recreativas

SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia

SIEFLOR – Sistema Estadual de Floresta

SMA – Secretaria do Meio Ambiente

TOMM – Tourism Optimization Management Model - Modelo de Gestão de Otimização Turística

UC – Unidade de Conservação

UCs – Unidades de Conservação

UNESCO – Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

VAMP – Visitor Activity Management Process - Processo de Gestão da Visitação

VC – Valor Científico

VERP – Visitor Experience and Resource Protection – Experiência do Visitante e Proteção do Recurso

VIM – Visitor Impact Management – Gestão do Impacto de Visitantes

ZAE – Zoneamento Ambiental Espeleológico

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. O papel da geodiversidade na geração de bens e serviços. Fonte: Gray, 2013 in Guerra e Jorge (2018 p.11).	11
Figura 2. Mapa de localização do PETAR.	23
Figura 3. Contínuo Ecológico de Paranapiacaba.	23
Figura 4. Províncias estruturais brasileiras (Bizzi et al., 2003).	25
Figura 5. a) Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozoicos (Heilbron et al., 2004). No detalhe, as províncias estruturais brasileiras e a Província da Mantiqueira. Bizzi et al. (2003), modificado de Almeida et al., (1977); b) Configuração do Supercontinente Gondwana e localização das faixas móveis (Hasui, 2010).	26
Figura 6. Contexto geológico regional em que está inserida a região do PETAR (destaque em vermelho). Blocos e fragmento cratônico: (LA) Luís Alves, (CF) Cabo Frio, (SF) São Francisco. Terrenos arqueanos e paleoproterozoico: (C) Curitiba, (SM) Serra do Mar, (JF) Juiz de Fora, (M) Mantiqueira. Faixas de dobramento meso a neoproterozóicas: (RG) Alto Rio Grande, (R) Ribeira, (SG) Nappe Socorro-Guaxupé. Sequências sedimentares e vulcano-sedimentares cambro-ordovicianas (CO). Zonas de cisalhamento: (1) Campos do Meio, (2) Jacutinga-Ouro Fino, (3) Jundiuvira-Boquira-Rio Preto; (4) Cubatão; (5) Lancinha; (6) Além Paraíba (Campanha e Sadowski 1999). Fonte: Campanha, 2002.	27
Figura 7. (1) Formação Bairro da Estiva (Abapã); (2) Formação Água Nova; (3) Formação Serra dos Macacos; (4) Formação Bairro dos Campos; (5) embasamento gnáissico-migmatítico; (6) quartzitos e xistos; (7) sequência calciossilicática; (8) sequência calcária; (9) sequência de meta-arenitos; (Formação Córrego dos Marques); (10) Formação Betari; (11) Formação Bairro da Serra; (12) Formação Água Suja; (13) Formação Mina de Furnas; (14) Formação Serra da Boa Vista; (15) Formação Passa-Vinte; (16) Formação Gorutuba; (16A) Gabro de Apiaí; (17) embasamento gnáissico-migmatítico; (18) Formação Perau, membro quartzítico; (19) Formação Perau, membro calciossilicático (mineralizado); (20) sequência Vulcano sedimentar (pelágico – turbidítica); (21) Formação Iporanga; (22) embasamento gnáissico – migmatítico; (23) sequência Morro Grande (= Turvo-Areado?); (24) Sequência Rio Branco; (25) sequência Juruqui. Adaptado de Campanha e Sadowski (1999)....	28
Figura 8. Coluna estratigráfica do subgrupo Lajeado após (Campanha et al., 1986; Campanha, 1991) adaptado de Campanha et al., (2016).	30
Figura 9. Mapa geológico do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP (2013), baseado em Campanha (2002).	33
Figura 10. Mapa de Unidades Geomorfológicas do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP, (2013) baseado em Ross (2002).	35

Figura 11. Mapa da UGRHI-11 – Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul, adaptado de CBH-RB (2013).	39
Figura 12. Mapa de rede hidrográfica do PETAR. Adaptado de Karmann e Ferrari (2002).	40
Figura 13. Distribuição das cavidades cársticas na faixa carbonática Lajeado na área do PETAR.	42
Figura 14. Mapa geológico com a localização dos sítios geológicos na região de estudo.	50
Figura 15. Sítio geológico Diabásio do Núcleo Santana. A) e B) Início da trilha do Betari, local de acesso às cavernas do Núcleo Santana. C) e D) Afloramento de diabásio sob forma de matacões, conhecido localmente como Gruta dos Magotes.	52
Figura 16. Sítio geológico Mirante do Núcleo Santana. A) Vista a partir do mirante Santana, onde se pode observar feições do relevo cárstico (morfologia em cone). B) Estrutura do mirante do Núcleo Santana. C) Vista aérea do mirante (Foto: Júnior Petar).	54
Figura 17. Sítio geológico Cachoeiras Andorinhas e Beija-flor. Aspeto geral das cachoeiras Andorinhas (A) e Beija-flor (B).	56
Figura 18. Sítio geológico Caverna Santana. A) Entrada principal da caverna Santana. B) a F – Diversidade de espeleotemas: estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, represa de travertino e flor de aragonita.	58
Figura 19. Sítio geológico Caverna Água Suja. A) Pórtico da entrada principal da caverna. B) Salão de entrada da caverna e início do percurso turístico, que é feito pelo leito do rio Água Suja. C) Conjunto de espeleotemas (estalactites, estalagmites e colunas). D) Depósito clástico de origem sedimentar e aspeto geral dos calcários.	60
Figura 20. Sítio geológico Cavernas Couto e Morro Preto. A) Vista do interior para o pórtico de entrada da caverna Morro Preto. B) Vista de fora para o pórtico de entrada da caverna Morro Preto. C) Pórtico de saída da caverna do Couto, junto ao sumidouro do rio Couto. D) Cachoeira do Couto, localizada ao final da trilha de regresso da caverna do Couto. E) e F) Sinalização junto à inscrição do naturalista Ricardo Krone na entrada da caverna Morro Preto.	62
Figura 21. Sítio geológico Caverna Cafezal. A) Vista geral para o interior da caverna Cafezal. B) Depósito de conchas no interior da caverna.	64
Figura 22. Sítio geológico Mirante da Laje. A) Vista a partir do mirante para o portal da Caverna Laje Branca. B) Vista (em detalhe) do mirante para o portal da Caverna Laje Branca.	65
Figura 23. Sítio geológico Caverna Laje Branca. Foto: Ricardo Siqueira/Argosfoto.	66
Figura 24. Sítio geológico Caverna Alambari de Baixo. Vista do salão de entrada para o exterior. Fonte: https://www.ecocavepetar.com.br/	68
Figura 25. Sítio geológico Caverna Ouro Grosso. A) e B) Vista para cachoeiras no interior da caverna (Fonte: http://www.pousadacasadepedra.com.br). C) Museu Tradicional Serra dos Motta.	69

Figura 26. Sítio geológico Caverna Casa de Pedra. A) e B) Vista aérea para o pórtico da caverna. (Fonte: A) Júnior Petar e B) http://iporanga.sp.gov.br/site/).	71
Figura 27. Sítio geológico Caverna do Chapéu. A) Vista do interior do salão principal da caverna. B e C) Lagos de travertino no interior do salão principal da caverna...	73
Figura 28. Sítio geológico Chapéu Mirim I e II. A) Vista do interior da Caverna Chapéu Mirim I. B) Vista do interior a partir da Caverna Chapéu Mirim II. (Fonte: http://www.pousadacasadepedra.com.br).	74
Figura 29. Sítio Caverna Aranhas. A) Vista do conduto principal da caverna. B) Pórtico de entrada da caverna. C) Opilião, espécie de aracnídeos comumente encontrado nesta caverna. (Fotos A e C: Ricardo Feres).	76
Figura 30. Sítio geológico cavernas Temimina I e Temimina II. A) Vista geral do interior da caverna Temimina I (Fonte: Projeto Luzes na Escuridão, por Philippe Crochet). B) Espeleotema de ocorrência rara na caverna Temimina II (“chuveiro”) (Foto: Adriano Gambarini). C) Represa de travertino no interior da caverna Temimina II. D) Espeleotema tipo pérolas no interior da caverna Temimina II (Fotos C e D por Ricardo Feres).	78
Figura 31. Sítio geológico Gruta Laboratório. Vista para entrada de acesso a galeria do Córrego Bombas.	81
Figura 32. Sítio geológico Metacalcários Formação Bairro da Serra. A) Aspeto geral do afloramento. B) Aspeto geral da rocha carbonática.	82
Figura 33. Sítio geológico Cachoeira Sem Fim. A) Entrada principal de acesso às cachoeiras. B), C) e D) Complexo de cachoeiras “Sem Fim”.	84
Figura 34. Pontos de interesse na Estrada do Lajeado. A) e B) Mármore calcítico da Formação Mina de Furnas na estrada do Lajeado. C) Vista para entrada de uma das galerias (túnel) do Lajeado. D) Vista do interior de uma galeria da do Lajeado.	86
Figura 35. Sítio geológico Mina de Furnas. A) Ruínas da antiga mina. B) Pátio da mina de Furnas. C) e D) Pontos de contaminação provocado por lixiviação de rejeitos de minério.	88
Figura 36. Sítio Paleoterraço do Rio Ribeira. A) Vista geral do afloramento. B) e C) detalhe da foto A.	90
Figura 37. Sítio geológico Mirante Boa Vista. A e B) Feições geomorfológicas gerais a partir do mirante.	91
Figura 38. Sítio geológico Gorotubito Dobrado. A) Vista geral do afloramento. B) Detalhe da foto (A).	93
Figura 39. Sítio geológico Mármore Apiaí. A) a C) Afloramento principal visto a partir da estrada de ferro de Apiaí. D) Afloramento observado a partir do ponto de acesso (propriedade privada). (Fonte imagem D) Theodorovicz, 2014).	95
Figura 40. Sítio geológico Morro do Ouro. A) e B) Túneis (galerias) da antiga mineração de ouro. C) Sede do Parque Natural do Morro do Ouro. D) Ruínas da indústria de beneficiamento de ouro.	97

Figura 41. Relação entre os diferentes níveis da capacidade de carga. Fonte: Lima, 2012 adaptado de Cifuentes (1992).....	130
Figura 42. Estrutura do método de avaliação da CCT em geoparques. Traduzido de Guo e Chung (2016).	148
Figura 43. Fluxo para avaliação da capacidade de carga (CC)em sítios Geológicos....	167
Figura 44. Fluxo de decisões para a análise da capacidade de carga em caso de melhoria das condições de manejo no sítio geológico. Adaptado de ICMBio (2011).	179
Figura 45. Fluxo de decisões para a análise da capacidade de carga em caso de piora das condições de manejo no sítio geológico. Adaptado de ICMBio (2011).	180
Figura 46. Mapa de localização do geossítio Mármore Apiaí.	184
Figura 47. Mapa de solos do Estado de São Paulo, escala 1:5000.000 de Oliveira et al. (1999).	185
Figura 48. Mapa de localização do sítio de geodiversidade Paleoterraço Rio Ribeira..	190
Figura 49. Mapa de localização do sítio de geodiversidade Caverna Santana	194
Figura 50. Trajeto com pontos interpretativos e intervenção na caverna Santana. Fonte: Plano de Manejo Espeleológico do PETAR (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).	200

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Valores e a ameaças a geodiversidade, baseado em Brilha (2005).....	9
Quadro 2. Etapas de uma estratégia de geoconservação, baseado em Brilha (2005, 2016, 2018 a).....	15
Quadro 3. Descrição do Subgrupo Lajeado.	31
Quadro 4. Províncias e Zonas e Unidades Geomorfológicas identificadas no PETAR e arredores, adaptado de CBH-SP, (2013) baseado em Ponçano et al. (1981) e Ross (2002).	36
Quadro 5. Metodologias/Métodos para avaliação da capacidade de carga turística: síntese de vantagens e desvantagens.....	125
Quadro 6. Etapas metodológicas propostas por Cifuentes (1992).....	129
Quadro 7. Capacidade de carga de paisagens naturais, baseada em Boullón (2006).	136
Quadro 8. Etapas da metodologia LAC, baseado em Takahashi (1998); Takahashi e Cegana (2005).	142
Quadro 9. Características para seleção de indicadores de impacto, baseado em Manning (2007)	143
Quadro 10. Diretrizes para monitoramento em áreas naturais protegidas e de recreio, baseado em Takahashi e Cegana (2005) apud Merigliano (1987).....	144
Quadro 11. Etapas do processo de VERP, baseado em Manning (2007).....	145
Quadro 12. Etapas metodológicas para avaliação da CCT, baseado em Coccossis e Mexa (2004b).....	150
Quadro 13. Zonas para o ZAE, adaptado de Lobo (2009b).....	153
Quadro 14. Escala de visitação no ZAE, adaptada de Lobo (2009b).....	155
Quadro 15. Metodologia de projeção de “cenários”, baseada em Lobo et al., 2010, 2013.	157
Quadro 16. Escala de visitação para a projeção de cenários de uso público, fonte: Lobo, et al., 2013)	157
Quadro 17. Exemplos de critérios para análise das fragilidades em cavernas devido a visitação. Fonte: Lobo et al., 2010; 2013.....	158
Quadro 18. Etapas metodológicas para determinação da capacidade de carga turística em cavernas, baseada em Lobo (2011, 2015).....	160
Quadro 19. Etapas para avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos	166
Quadro 20. Exemplos de indicadores de impactos de visitação: ambientais e da experiência de visitantes (adaptada de ICMBio, 2011)	172
Quadro 21. Exemplos de indicadores de impactos da visitação e forma de coleta de dados de campo (adaptada de Lobo e Simões, 2010).....	172
Quadro 22. Exemplos de ações de manejo de uso público em Unidades de Conservação (adaptado de ICMBio, 2011)	176

Quadro 23. Principais classes de solos identificadas no PETAR e seu entorno. Adaptado de Fundação Florestal, 2010 (p.180-183).	185
--	-----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Critérios e pesos atribuídos para a avaliação quantitativa do Valor Científico no aplicativo GEOSSIT (2017).....	99
Tabela 2. Critérios e pesos atribuídos para o cálculo do Risco de Degradação (RD) no aplicativo GEOSSIT (2017).....	99
Tabela 3. O RD de cada sítio geológico pode ser classificado em baixo, médio e alto. .	99
Tabela 4. Critérios e pesos atribuídos para a avaliação quantitativa de PUE e PUT no aplicativo GEOSSIT (2017).....	100
Tabela 5. Critérios para o cálculo da PP dos sítios geológicos no aplicativo GEOSSIT (2017), onde $Ig = (Ic + Id + It) / 3$	101
Tabela 6. Critérios para classificação da PP (GEOSSIT, 2017).....	101
Tabela 7. Valores atribuídos aos critérios A1 a A7 para cálculo do Valor Científico (VC) e resultados obtidos na plataforma GEOSSIT (2017).....	102
Tabela 8. Valores atribuídos aos critérios B1 a B5 para o cálculo do RD e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).....	102
Tabela 9. Valores atribuídos aos critérios C1 a C12 para o cálculo do VE e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).....	104
Tabela 10. Valores atribuídos aos critérios C1 a C15 para o cálculo do VT e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).....	105
Tabela 11. Classificação dos sítios geológicos de acordo com os resultados obtidos pelo aplicativo GEOSSIT (2017).....	106
Tabela 12. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades científicas.	106
Tabela 13. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades educativas.	107
Tabela 14. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades turísticas.	107
Tabela 15. Comparação entre os resultados obtidos para PP didática e turística dos sítios geológicos, com destaque para o maior valor obtido entre elas.....	108
Tabela 16. Seriação final face à Prioridade de Proteção Geral dos sítios geológicos inventariados no PETAR e arredores.	109
Tabela 17. Classificação de níveis de fragilidade, fonte: Lobo (2009b).	155
Tabela 18. Geoindicadores e graus de influência dos fatores naturais e antrópicos. Fonte: Hirai e Augusto Filho (2008), modificado de Simões (1997).	171
Tabela 19. Estratégias e ações de manejo para áreas naturais protegidas. Fonte: Lobo e Simões, 2010.	175
Tabela 20. Prioridade de proteção quanto ao uso (realização de atividades didáticas e turísticas) dos geossítios inventariados no PETAR e zona de amortecimento...	182

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fluxo de Visitação no PETAR entre 1999 e 2007; 2013 e 2016. Fonte dos dados Fundação Florestal (2017).....	45
Gráfico 2. Visitação nos núcleos administrativos do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).	46
Gráfico 3. Visitação dos atrativos no núcleo Santana do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).	46
Gráfico 4. Visitação dos atrativos no núcleo Ouro Grosso do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).	47
Gráfico 5. Visitação dos atrativos no núcleo Caboclos do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).	47
Gráfico 6. Fluxo de visitação na Caverna Santana entre os anos de 2013 e julho/2016. Fonte: Fundação Florestal (2017).....	197
Gráfico 7. Sítios geológicos mais visitados no PETAR entre 2013 e 2016. Fonte de dados: Fundação Florestal (2017).....	198
Gráfico 8. Perfil dos visitantes do PETAR. Fonte de dados: Fundação Florestal (2017).	198

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do tema

No século XX, a conservação da natureza ganhou um papel central na reflexão em torno das esferas sociais, políticas, econômicas e ambientais, assumindo um caráter diretivo no desenvolvimento da humanidade (Jacobi, 2005).

No ano de 1972 realizou-se a décima sétima Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), em Paris, França. Na ocasião foi aprovada a Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural. No mesmo ano, realizou-se a primeira Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente da Organização das Nações Unidas, em Estocolmo, Suécia. A conferência reuniu 113 países e cerca de 400 instituições governamentais e não governamentais. Nessa conferência foi apresentada a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida popularmente como Declaração de Estocolmo, que estabelece as bases para o “paradigma do desenvolvimento sustentável” (Jacobi, 2005; Ferreira, 2016). A realização destas conferências representa um marco histórico no debate internacional focado nas questões ambientais, especificamente sobre preservação do patrimônio histórico, cultural e natural; e na relação entre homem e o ambiente (Jacobi, op. cit.; Santos, 2014).

Seguida por diversas iniciativas durante a década de 1980, a problemática da crise ambiental atingiu o ápice no início da década de 1990. Em 1992 (vinte anos após a primeira conferência), realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Brasil (Rio-92). Durante a Rio-92, foi estabelecida a Agenda 21 Global, que constituiu um programa de planejamento, em escala global, adotando um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI, o desenvolvimento sustentável. Na ocasião publicou-se ainda a Declaração do Rio Sobre o Ambiente e Desenvolvimento, com as bases e diretrizes para promover um desenvolvimento sustentável (MMA, 2018).

Mais recentemente, no ano de 2015, as Nações Unidas estabeleceram 17 objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), baseados nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável é um plano de ação que prevê o alcance do desenvolvimento sustentável nas esferas, social, econômica e ambiental, além da erradicação da pobreza, reconhecida como um dos grandes desafios globais para atingir o desenvolvimento sustentável (Brilha et al., 2018; ONU Brasil, 2018).

Apesar do “paradigma do desenvolvimento sustentável” propor restrições quanto ao uso dos recursos naturais, historicamente, a abordagem conservacionista de cientistas e instituições públicas, que visam conciliar o desenvolvimento com o uso sustentável dos recursos naturais, priorizou a conservação da biodiversidade comparada com a conservação da geodiversidade (Santos, 2014; Ferreira, 2016).

Em reflexo à priorização da conservação da biodiversidade, houve um aumento do número de áreas naturais protegidas em todo mundo e um aumento da preocupação sobre como efetivar o planejamento e gestão dessas áreas, decorrentes do aumento das atividades nelas desenvolvidas, como atividades econômicas e de recreio e turismo, etc. No Brasil, por exemplo, durante a década de 1980, foram criadas 33 Unidades de Conservação (UCs) (focadas na conservação da biodiversidade) e duas novas categorias de UCs (Estação Ecológica – EC e Área de Proteção Ambiental – APA). Atualmente, existem 998 UCs no território Brasileiro, distribuídas por diferentes categorias (MMA, 2018), entre elas o Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, foco principal desta tese. Desde então, com o objetivo de proteger e manter as áreas naturais existentes, o poder público vem adotando medidas legais para garantir a integridade destes espaços, além de ordenar as atividades econômicas e disciplinar a implantação de projetos e obras que possam causar impactos significativos nestas áreas (Santos, 2014 p.30).

Em consonância com a tendência mundial de enfrentamento da crise ambiental por meio do desenvolvimento sustentável, na década de 1990 foi introduzido o termo geodiversidade. A geodiversidade é definida por Gray (2013 p.12) como “a variedade natural (diversidade) de aspectos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (relevo, topografia, processos físicos), solos e características hidrológicas. Inclui associações destes elementos, estruturas e sistemas, dando origem a paisagens”. Muitos autores (Serrano e Ruiz-Flaño, 2007; Manosso, 2009; Gray, 2008; Ferreira, 2016; Brilha et al., 2018) sugerem que a aplicação do termo surgiu contrapondo o conceito de biodiversidade. Ao longo de três décadas, o termo geodiversidade passou a ser utilizado e aceito internacionalmente (Brilha et al. op cit. p.19), bem como as ações relacionadas à geoconservação. A geoconservação tem como objetivo geral a conservação e gestão de sítios geológicos (Brilha, 2016).

Nesse sentido, nos últimos anos foram estabelecidas algumas iniciativas internacionais para as questões dedicadas à geoconservação. No ano de 2014, a Comissão Mundial de Áreas Protegidas da União Internacional da Conservação da Natureza (WCPA - IUCN) criou o grupo de especialidade para aconselhamento sobre questões relacionadas com a geodiversidade (incluindo o carste e cavernas) e áreas protegidas. Em 2015 foi criado pela UNESCO o Programa Internacional Geociência e Geoparques,

que define os Geoparques Mundiais da UNESCO (Henriques e Brilha, 2017). Em 2016, foi criada a Comissão Internacional de Património Geológico da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS).

Em meados do século XX, com o aumento da visitação a áreas protegidas nos Estados Unidos da América, o manejo dessas áreas ganhou foco pelos gestores (Soller e Borghetti, 2013). Nesse sentido, o conceito de capacidade de carga, advindo das ciências biológicas (ecologia), que foi aplicado, inicialmente, para o manejo da vida selvagem, agricultura e pecuária, converteu-se como uma importante ferramenta de gestão em espaços de recreação e lazer. A capacidade de carga passou a ser aplicada, principalmente, para identificação e cálculo (expressão) de impactos da atividade humana em áreas naturais protegidas (Takahashi, 1998; Shaofeng, 2004; Pires, 2005; Manning, 2007; Delgado, 2007; Coutinho, 2010; Soller e Borghetti, 2013; Zelenka e Kacetl, 2014; Sharma, 2016; Kennell, 2016). Posteriormente, sob influência do paradigma do desenvolvimento sustentável, o conceito de capacidade de carga ganhou relevância global, reforçando a preocupação com questões socioculturais e econômicas em relação às populações residentes em áreas turísticas (Pires, 2005; Kostopoulou e Kyritsis, 2006; Coutinho, 2010).

A partir da década de 1990 foram desenvolvidos diferentes estudos metodológicos (Cifuentes, 1992; Cifuentes-Arias et al., 1999; Coccossis e Mexa, 2004; Boullón, 2006) para a avaliação da capacidade de carga turística (CCT) em áreas naturais protegidas. Esses e outros modelos metodológicos propõem a avaliação da capacidade de carga turística de forma quantitativa (com a identificação do número máximo de visitantes que um local pode suportar) e de forma qualitativa (com a identificação das condições aceitáveis para um determinado local). Nos últimos anos, as diferentes abordagens metodológicas que compreendem diferentes tipos de capacidade de carga turística têm sido aplicadas como ferramenta de planejamento em gestão em áreas protegidas em diferentes partes do mundo, como na Costa Rica (PROARCA, 2006), no Rio Grande do Sul, Brasil (Soller e Borghetti, 2013); ilha de Java (Aryasa et al., 2017), Paraná, Brasil (Pontes e de Paula, 2017).

Entretanto, estudos e aplicações metodológicas da CCT como ferramenta de planejamento e gestão de sítios geológicos são bastante escassos. Os mais recorrentes e bem consolidados são os estudos de CCT para o manejo de cavernas, como os estudos de Boggiani et al. (2007), Lobo (2009b) Lobo (2011), Lobo et al. (2013) e Lobo (2015). Estudos de CCT em sítios geológicos foram realizados por Coutinho (2010) no geossítio de Penha Garcia, Portugal; por Lima (2012) e Lima et al. (2017) no geossítio Ponta da Ferraria e Pico das Camarinhas, no Geoparque Açores, Portugal, e por Guo e Chung (2017) como ferramenta de gestão em geoparques em Hong Kong.

Partindo deste contexto, este trabalho buscou desenvolvimento e aprofundamento de uma estratégia de geoconservação aplicada ao Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, Vale do Ribeira, estado de São Paulo – Brasil, com a avaliação do uso potencial dos sítios geológicos, objetivando promover um uso turístico sustentável.

O PETAR integra uma das mais importantes “redes” de áreas protegidas (unidades de conservação – UC na terminologia brasileira) do estado de São Paulo, o Contínuo Ecológico de Paranapiacaba. Este contínuo representa uma das áreas mais bem preservadas da Mata Atlântica na região sudeste do Brasil e é considerada pela UNESCO como Reserva da Biosfera (Ferreira, 2014). A região do Alto Ribeira, dentre as regiões cársticas do país, é reconhecida internacionalmente pelo seu patrimônio espeleológico. As cavernas, associadas a outros elementos da geodiversidade (como a morfologia cárstica, características hidrológicas, etc.), e a riqueza da biodiversidade suportam os principais destinos turísticos da região do Alto Ribeira. Muitos autores, como Lobo (2008), Ferreira (2014) e Ferreira et al. (2018) destacam que nas últimas décadas, o ecoturismo, particularmente, o espeleoturismo, tem sido a principal fonte de renda das comunidades locais nos municípios de Apiaí e Iporanga. Neste sentido, considerando a importância geológica e o seu potencial para o desenvolvimento do geoturismo, a região tem sido alvo de diferentes pesquisas (Karmann e Ferrari, 2002; Theodorovicz, 2014; Ferreira, 2014; Garcia et al., 2017) para o conhecimento, sistematização e divulgação do patrimônio geológico.

Além disso, cabe ressaltar a importância do patrimônio espeleológico no Brasil. Este patrimônio é constituído atualmente por 7.867 cavidades naturais registradas no Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC, 2019). As cavidades naturais em território brasileiro segundo a Constituição Federal de 1988, Decreto nº 6.640, de 07 de novembro de 2008, são bens da União e dispõe de instrumentos legais para a sua proteção, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo (Brasil, 2008). De acordo com Ferreira (2016) a partir da classificação das cavidades naturais na Constituição Federal e a atuação direta da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) surgiram diferentes instrumentos legais para implementar a proteção direta patrimônio espeleológico no país. Estes instrumentos, de modo geral, dispõem sobre a realização de diagnóstico da situação do patrimônio espeleológico nacional (Portaria IBAMA nº887/1990 de 15 de junho) (Brasil, IBAMA, 1990); a proteção do patrimônio espeleológico por meio da criação do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) (Resolução CONAMA nº347/2004 de 10 de setembro) (Brasil, CONAMA, 2004); a classificação de relevância do patrimônio espeleológico (Instrução Normativa MMA nº02/2009, de 20 de agosto) (Brasil, MMA, 2009a); a criação

de medidas para o levantamento de dados científicos por meio dos Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) (Portaria IMCBio nº078/2009, de 03 de setembro) (Brasil, ICMBio, 2009) e o estabelecimento de diretrizes para o conhecimento, proteção e divulgação (Portaria MMA nº358/2009, de 30 de setembro) (Brasil, MMA, 2009b).

Deste modo, o PETAR foi selecionado como área de estudo desta tese uma vez que já se dispunha de conhecimento prévio a respeito de suas características fisiográficas, estudos metodológicos sobre a capacidade de carga em áreas protegidas, assim como no âmbito legal e da geoconservação.

1.2. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento e aprofundamento de uma estratégia de geoconservação aplicada ao Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, Vale do Ribeira, incluindo a avaliação do uso potencial dos sítios geológicos, objetivando promover um uso turístico sustentável destes sítios. Para atingir esse objetivo geral foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) Refinamento do inventário de sítios geológicos do PETAR e área limítrofe;
- b) Avaliação quantitativa do risco de degradação e usos potenciais destes sítios;
- c) Identificação e caracterização do público alvo e da oferta turística da região;
- d) Proposta de método para a avaliação da capacidade de carga como ferramenta de gestão aplicada aos sítios geológicos;

Pretende-se que esta proposta para a avaliação da capacidade de carga turística de sítios geológicos contribua como ferramenta de gestão para o planejamento turístico na área de estudo. Além disso, espera-se que a introdução da prática do geoturismo por meio da interpretação geológica destes locais possa contribuir para a preservação dos sítios geológicos, como indutor econômico e disseminador de cultura e conhecimento geocientífico, por meio da educação ambiental. Espera-se, igualmente, que o inventário realizado na região possa contribuir para o banco de dados do inventário nacional do patrimônio geológico brasileiro e para refinar o inventário do estado de São Paulo.

1.3. Métodos

Os métodos usados neste trabalho foram diversificados e aplicados em diferentes etapas, descritas a seguir.

1.3.1. Levantamento bibliográfico

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a geologia (regional e local) e sobre geoconservação da região de estudo. Esta etapa incluiu ainda um levantamento de referências com vista a realizar uma revisão dos conceitos de geodiversidade, sítios da geodiversidade, patrimônio geológico e geossítios. Realizou-se também uma recolha bibliográfica para suportar uma revisão sobre áreas protegidas no Brasil e seu enquadramento na região de estudo. Finalmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica detalhada sobre os diferentes conceitos e metodologias para a avaliação da capacidade de carga turística, especificamente, em áreas naturais protegidas.

1.3.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo no PETAR foi realizado entre os meses de abril e maio de 2017. Durante esse período foram descritos e caracterizados os sítios geológicos que integraram um inventário preliminar da tese, produzido, principalmente, a partir de inventários anteriores, apesar de terem sido realizados com objetivos diferentes dos do presente trabalho. O acesso aos sítios geológicos foi realizado ao longo de trilhas ecoturísticas do parque, com o acompanhamento de um monitor ambiental.

Em cada sítio, foi feita a referenciação geográfica com o auxílio de um receptor de GPS (Global Positioning System) e uma descrição usando uma ficha de caracterização, elaborada previamente a partir de Brilha (2016) e GEOSSIT (2017) (Anexo 1). Foram descritos e caracterizados 45 potenciais sítios geológicos, dos quais 27 integram o inventário final desta tese.

1.3.3. Caracterização e avaliação dos sítios geológicos

Os sítios geológicos foram caracterizados com base nas observações de campo e revisão bibliográfica. Optou-se pela elaboração de uma ficha em que as informações foram sistematizadas (complementando as descrições realizadas durante a etapa de campo) da seguinte maneira: dados de localização geográfica, bairro e sede municipal e acesso, tipo de local (ponto, área, seção ou mirante), acessibilidade, dimensão, regime de propriedade e proteção, elementos (geológicos) principais de interesse, contexto geológico, uso potencial e limitações ao uso e outras informações.

A avaliação quantitativa do risco de degradação e potencial uso dos sítios geológicos foi feita pelo sistema de cadastramento e avaliação de sítios geológicos – GEOSSIT (2017) – a partir dos dados introduzidos de acordo com a caracterização de cada sítio. Este sistema foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), adaptado das metodologias de Brilha (2016) e Garcia-Cortés et al. (2009),

sendo atualmente considerado o repositório da informação sobre patrimônio geológico brasileiro (GEOSSIT, 2017).

1.3.4. Capacidade de carga turística

Foi efetuada uma análise detalhada de métodos de avaliação da capacidade de carga turística, com discussão das vantagens e desvantagens de cada um deles. Com base nesta análise, foi desenvolvida uma proposta de método com possibilidade de aplicação a sítios geológicos.

A partir da análise dos resultados obtidos relativos ao uso potencial e risco de degradação dos sítios geológicos do PETAR, foi feita uma seriação dos sítios geológicos, considerando prioritariamente os geossítios, seguidos dos sítios de geodiversidade. Esta lista seriada, em conjugação com a proposta metodológica desenvolvida para cálculo da CCT, constitui uma ferramenta de planejamento e gestão para aplicação ao PETAR pela respectiva administração.

1.4. Estrutura da Tese

O presente trabalho foi estruturado em sete capítulos. A presente introdução (capítulo 1) que se refere à apresentação do tema, aos objetivos e justificativas, seguidos da metodologia de trabalho.

No capítulo 2 apresentam-se a contextualização e a revisão de conceitos sobre geodiversidade, patrimônio geológico e estratégias de geoconservação. Em seguida, apresenta-se a caracterização geral do PETAR e seu enquadramento regional (capítulo 3). Neste capítulo são abordados a contextualização geográfica e geológica regional, baseadas na compilação bibliográfica.

O inventário e avaliação quantitativa dos sítios geológicos são apresentados no capítulo 4, assim como a discussão dos resultados obtidos.

Segue-se, no capítulo 5, a apresentação dos fundamentos teóricos e metodologias (mais recorrentes na literatura) para avaliação da capacidade de carga turística (CCT), com foco em áreas naturais protegidas, assim como diferentes estudos que exemplificam a aplicação destes métodos para avaliação da CCT. Ao final, baseada nas metodologias analisadas, apresenta-se uma proposta para avaliação da capacidade de carga de sítios geológicos.

O capítulo 6 reúne a discussão final dos resultados e a encerrar a tese, o capítulo 7 com as conclusões obtidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA SOBRE GEOCONSERVAÇÃO

2.1. Geodiversidade

O termo “geodiversidade”, de acordo com Gray (2008, 2018), surgiu por ocasião da Conferência de Malvern sobre a Conservação Geológica e Paisagística, realizada em 1993 no Reino Unido. Muitos autores (Serrano e Ruiz-Flaño, 2007; Gray, 2008; Manosso, 2009; Ferreira, 2016; Gray, 2018; Brilha et al., 2018) sugerem que a aplicação do termo surgiu contrapondo o conceito de biodiversidade, que ganhou atenção da comunidade científica após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Brasil (Rio-92). O conceito de geodiversidade passou a ser utilizado de forma independente por alguns geocientistas e é atualmente aceito pela comunidade geocientífica (Gray, 2018; Brilha et al. 2018 p.19).

Segundo Sharples (2002) a geodiversidade é definida como: gama (ou diversidade) de arranjos, processos e sistemas geológicos (substrato), geomorfológicos (formas da paisagem) e pedológicos, dotados de valores intrínsecos, ecológicos e antropocêntricos. Num sentido mais amplo, integrando os elementos da biodiversidade e geodiversidade está a definição de Nieto (2001 p.7)

A Geodiversidade consiste no número e variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e petrológicas) e de materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos), que constituem o substrato físico e natural de uma região, sobre o qual se assenta a atividade orgânica, incluindo-se a antrópica.

Para Kozłowski (2004) a geodiversidade consiste na variedade natural da superfície terrestre, envolvendo os seus aspetos geológicos e geomorfológicos, solos, águas superficiais, bem como todos os demais sistemas resultantes de processos naturais (endógenos e exógenos) e antrópicos.

No Brasil, o termo foi introduzido e fomentado principalmente pelo crescimento da temática do geoturismo, por iniciativas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, que em 2006 lançou o “Mapa Geodiversidade do Brasil”, escala: 1:2.500.000, onde define a geodiversidade como:

Natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, solos, águas, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico.

Pereira (2010 p.17) define a geodiversidade como:

Conjunto de elementos abióticos do planeta Terra, incluindo os processos físico-químicos associados, materializados na forma de relevos (conjunto de geoformas), rochas, minerais, fósseis e solos, formados a partir das interações entre os processos das dinâmicas interna e externa do planeta e que são dotados de valor intrínseco, científico, turístico e de uso/ gestão.

A geodiversidade é definida por Gray (2013 p.12) como “a extensão natural (diversidade) geológica (rochas, minerais, fósseis), geomorfológica (relevo, topografia, processos físicos), solo e características hidrológicas. Inclui assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para paisagens”.

Considerando que a geodiversidade é constituída pelos elementos abióticos, a variedade de ambientes geológicos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos, sendo resultado da lenta evolução da Terra desde o surgimento do planeta, os conceitos aqui explicitados evidenciam a importância dos elementos da geodiversidade enquanto suporte à vida, conferindo-lhe importância equivalente a biodiversidade (Santos, 2014 p .13). Contudo, historicamente, ações para a proteção e conservação da biodiversidade sempre foram prioritárias em detrimento à geodiversidade, como aponta Ferreira (2016). A mesma autora, salienta que os elementos bióticos e abióticos da natureza se encontram inter-relacionados e devem, de igual modo, ser protegidos. Hjort et (2015) argumentam que a geodiversidade, incluindo elementos com aspetos particulares da geodiversidade (patrimônio geológico) devem ser preservados não só por representar o suporte a vida, mas também pelos valores que são reconhecidos. Nesse sentido, Brilha (2005), baseado em Gray (2004), afirma que a geodiversidade possui um conjunto de valores que fundamentam e justificam a sua proteção.

Quadro 1. Valores e a ameaças a geodiversidade, baseado em Brilha (2005).

Valores da Geodiversidade	Ameaças à Geodiversidade
➤ Intrínseco	➤ Exploração de recursos
➤ Cultural	➤ Obras de infraestrutura
➤ Estético	➤ Gestão de bacias hidrográficas
➤ Funcional	➤ Agricultura
➤ Econômico	➤ Iliteracia cultural
➤ Científico	➤ Atividades turísticas
➤ Educacional	➤ Atividades militares
	➤ Colheita de amostras

Mais recentemente, autores como Gordon et al. (2012), Gray et al. (2013), Hjort et al. (2015) avaliam a geodiversidade na perspectiva ecossistêmica. Os “serviços ecossistêmicos são os benefícios (bens e serviços) que a sociedade obtém da natureza e que precisam ser gerenciados de forma

sustentável” (Gray, 2018 p.16). A geodiversidade – natureza não viva, disponibiliza “serviços ecossistêmicos abióticos” (Gray op cit.), ou “serviços geossistêmicos” (Gray, 2011). De acordo com Brilha et.al. (2018) os serviços ecossistêmicos da geodiversidade justificam-se pelo conjunto de valores. Serviços ecossistêmicos abióticos foram descritos por Gordon e Barron (2013) e Gray (2012, 2013) e são apresentados na Figura 1.

Do mesmo modo que são atribuídos diversos valores à geodiversidade, são também reconhecidos riscos que a ameçam (Quadro 1). A maior parte dessas ameaças são resultantes, direta ou indiretamente, da atividade humana. As ameaças à geodiversidade referem-se principalmente às atividades de exploração dos recursos minerais, ao desenvolvimento de estruturas obras como rodovias e ferrovias, à gestão de bacias hidrográficas, reflorestamento e agricultura, atividades militares, atividades recreativas e turísticas, a coleta de amostras para fins não científicos e o não conhecimento das Ciências da Terra pelos governos, técnicos, e público em geral (Brilha, 2005; Gray 2013).

Zwolinski et al. (2018) discutem a importância do desenvolvimento de estudos metodológicos para a avaliação da geodiversidade. “O estabelecimento de uma classificação abrangente de métodos para avaliar a geodiversidade pode ser particularmente relevante para aumentar a conscientização sobre a importância da geodiversidade para estudos ecológicos, territoriais e paisagísticos, e para entender sua relevância para o desenvolvimento humano” (Lucchesi e Giardino, 2012 citado por Zwolinski et al., 2018 p. 27). Os métodos de avaliação da geodiversidade podem contribuir para a promoção de uma abordagem holística e integradas dos serviços ecossistêmicos e geossistêmicos (Gordon e Barron, 2013; Gordon et al., 2012; Gray, 2008, 2011; Gray et al., 2013; Hjort et al., 2015; Gray, 2018) para apoiar a gestão sustentável de sistemas naturais (Zwolinski et al., 2018). Além disso, são importantes para o planejamento do turismo (por exemplo, Zwolinski, 2010; Zwolinski e Stachowiak, 2012; Thomas, 2012; Gordon, 2012; Koh et al., 2014; El Hadi et al., 2015) e gestão de áreas protegidas (como, Sharples, 2002; Brocx e Semeniuk, 2007; Pellitero et al., 2010, 2014; Asrat et al., 2012; Melelli, 2014), afirmam Zwolinski et al., 2018 em citação a outros autores.



Figura 1. O papel da geodiversidade na geração de bens e serviços. Fonte: Gray, 2013 in Guerra e Jorge (2018 p.11).

Neste sentido, o processo de avaliação da geodiversidade deverá considerar a variedade de estudos metodológicos sobre a temática, bem como o seu mapeamento e documentação. Estes poderão ser complementados com outros métodos de estudos (como métodos de datação, estudo do solo, sedimentologia, etc.) com o objetivo de obter conhecimento sobre as características geográficas e geológicas (Zwolinski et al., 2018 p 28). Os mesmos autores, discutem que a representação dos resultados da avaliação da geodiversidade poderá ser feita de forma descritiva ou gráfica. A avaliação descritiva, está associada a métodos de avaliação qualitativos, os quais baseiam-se na experiência de um ou mais especialistas. A representação gráfica consiste na elaboração de mapas de geodiversidade, que em geral, está associada a métodos quantitativos e quantitativos qualitativos. Os métodos quantitativos, envolvem a análise de dados de numéricos de medições de campo, cálculos numéricos ou análises de dados brutos de sistemas de informações geográficas. Neste sentido, o procedimento de avaliação da geodiversidade mais recorrente na literatura é o uso de índices de geodiversidade, que baseiam-se originalmente no conceito de Serrano e Ruiz-Flaño (2007, 2009) e desenvolvidos posteriormente por outros autores (como, Hjort e Luoto, 2010; Pellitero et al., 2010; Comanescu e Nedelea, 2012; Martinez-Grana et al., 2015; Pereira et al., 2013; Silva et al., 2013, 2015; Manosso e Nóbrega, 2016; Balestro et al., 2016), segundo Zwolinski et al., op. cit.

2.2. Patrimônio Geológico e Geoconservação

Conforme explicitado, o termo geodiversidade surgiu em consonância com a tendência mundial de enfrentamento à problemática ambiental, acentuada principalmente na década de 1990. Assim como a biodiversidade, a geodiversidade está sujeita a um conjunto de ameaças, que na maioria das vezes decorrem da atividade antrópica. Portanto, os elementos mais relevantes da geodiversidade devem ser alvo de políticas e ações conservacionistas – geoconservação.

De acordo com Brilha (2005), alguns elementos da geodiversidade apresentam valor singular, como científico, pedagógico, turístico, cultural, dentre outros. Estes locais, de ocorrência de um ou mais elementos da geodiversidade (aflorantes, quer como resultado da ação de processos naturais quer devido à ação humana), bem delimitados geograficamente, que apresente valor singular, são definidos como geossítios. Um geossítio também pode ser chamado de geótopo, Local de Interesse Geológico (LIG) ou geomonumento. O conjunto de geossítios inventariados e caracterizados de uma dada área ou região constitui o patrimônio geológico (Brilha, 2005).

Dentre outras definições de patrimônio geológico usadas na literatura estão a de Sharples (2002) que define como “conjunto de recursos naturais não renováveis, de valor científico, cultural ou educativo

que permitem conhecer, estudar e interpretar a história e evolução geológica da Terra, e os processos associados”. Para Carcavilla et al. (2008) o patrimônio geológico define-se como o conjunto de elementos geológicos que se destacam por seu valor científico, cultural ou educativo. Posteriormente, o mesmo autor, em revisão ao conceito inicial, ressalta que o patrimônio geológico é formado por elementos geológicos que apresentam um valor especial em função da singularidade e pelo interesse científico ou didático (Carcavilla, 2014).

Ruchkys (2007) define patrimônio geológico como um recurso documental de caráter científico, de conteúdo importante para o conhecimento e estudo da evolução dos processos geológicos e que constitui o registro da totalidade da evolução do planeta. De acordo com Liccardo et al. (2008) citado por Santos (2014 p 16.) o patrimônio geológico é constituído por geossítios e é um recurso natural em constante processo de transformação pelos processos geológicos, que deve ser preservado. No entanto, a ideia de preservação é, historicamente, atrelada e bastante difundida no que diz respeito à preservação da biodiversidade, e menos difundida em relação à preservação da geodiversidade, que constitui o suporte a vida.

Brilha (2016) apresentou uma nova proposta para a definição dos termos geossítio, patrimônio geológico e introduziu a definição de sítio de geodiversidade. Segundo o autor, o patrimônio geológico se refere a elementos excepcionais da geodiversidade, *in situ* (geossítios) ou *ex situ*, com valor científico internacional ou nacional. Acrescido ao valor científico, o patrimônio geológico pode ter outros tipos de valores. As ocorrências de elementos da geodiversidade que, embora não apresentem valor científico excepcional, são importantes para o uso turístico, educativo ou pela identidade cultural, são denominados sítios de geodiversidade. Estes locais podem ter relevância local, nacional ou internacional.

Do mesmo modo que o conceito de geodiversidade (discutido anteriormente em 2.1) nos últimos trinta anos ganhou espaço nas discussões sobre a conservação da natureza, as questões relacionadas à preservação do patrimônio geológico vêm ganhando visibilidade. Neste sentido, muitos autores (como Kozłowski, 2004; Brilha, 2005; Serrano e Ruiz Flaño, 2007; Brilha, 2016) desenvolveram trabalhos a fim de sistematizar, discutir e propor medidas para proteção e gestão sustentável do patrimônio geológico – geoconservação.

Segundo Sharples (2002 p.2) a geoconservação é definida como a conservação da diversidade de feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas, mantendo a evolução natural desses e processos, em função dos seus valores intrínsecos e patrimoniais. Este autor complementa que os objetivos da geoconservação são: conservar e assegurar a manutenção da geodiversidade, proteger e manter a integridade de locais cuja geodiversidade seja relevante, minimizar os impactos adversos sobre locais

onde a geodiversidade possua relevância acima da média, interpretar a geodiversidade para os visitantes de áreas protegidas, e contribuir para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos.

Brilha (2005) ressalta a necessidade de se estabelecerem estratégias de geoconservação de modo a garantir a preservação e gestão sustentável dos elementos da geodiversidade. Contudo, como não é possível proteger toda a geodiversidade, a geoconservação deve ser concretizada após a definição de sítios geológicos, sua caracterização, avaliação quantitativa do risco de degradação e potencial uso. O principal escopo da geoconservação é o gerenciamento desses locais por meio de procedimentos específicos, que incluem: o inventário, avaliação, classificação, conservação, valorização e divulgação e o monitoramento (Brilha, 2016; Brilha 2018a).

Segundo Worton (2008) a geoconservação integra as intenções e atividades desenvolvidas para conservar e proteger as feições e processos geológicos para benefício das gerações futuras. Na perspectiva de Gordon et al. (2017) a geoconservação deve abordar um conjunto de princípios fundamentais para a implementação de uma abordagem holística na prática e na integração da geoconservação na conservação da natureza e no planejamento e gestão de sítios geológicos. O primeiro princípio é o reconhecimento dos múltiplos valores (culturais, estéticos e ecológicos, ciência, educação e turismo) atribuídos a geodiversidade e ao patrimônio geológico. Os demais princípios requerem: uma abordagem sistemática de todos os aspectos de identificação e gestão de sítios geológicos; o reconhecimento a sensibilidades e as mudanças naturais do ambiente; o gerenciamento dos processos naturais de forma integrada, ou seja, reconhecendo a interdependência da geodiversidade e da biodiversidade, e dentro dos limites capacidade do ambiente absorver mudanças (Gordon et al.,2017). Além disso, devem ser tomadas providências para o gerenciamento de visitantes em locais sensíveis e a promoção da educação e interpretação de todo o patrimônio natural.

De acordo com Prosser (2013) a geoconservação é definida como “uma ação tomada com o intuito de conservar e melhorar características, processos, sítios e espécimes geológicos, geomorfológicos e do solo, incluindo as atividades de promoção e de sensibilização associadas, bem como o registro de dados ou espécimes de recursos e sítios ameaçados de perda ou dano”. Segundo Prosser et al. (2013) a geoconservação é uma forma mais concisa de se referir à conservação geológica, geomorfológica e do solo e relaciona-se com atividades destinadas a conservar a geodiversidade para as gerações futuras. Os mesmos autores ressaltam que a geoconservação desempenha um papel fundamental do ponto de vista científico e social. A conservação de sítios geológicos, do ponto de vista científico, permite conhecer e entender a história da Terra, as mudanças ambientais do passado, a evolução da vida, os processos que moldam ambiente e a natureza (incluindo as interações entre a

geodiversidade e a biodiversidade), e a localização de recursos naturais (Prosser et al., 2013). A geoconservação, na perspectiva social, contribui por meio de diferentes iniciativas (como ações educativas interdisciplinares) à compreensão e gerenciamento de bens e serviços ecossistêmicos, e na melhoria da qualidade de vida para as comunidades através da melhoria do seu ambiente local (Prosser et al., 2013).

2.3. Estratégias de Geoconservação

As estratégias de geoconservação consistem em uma metodologia a fim de sistematizar os trabalhos no âmbito da conservação do patrimônio geológico e de outros elementos de geodiversidade notáveis de uma determinada região (país, estado, cidades, área, ...) (Brilha, 2005, 2016). Esta metodologia é agrupada em diversas etapas sequenciais: inventariação, quantificação, classificação, conservação e valorização, divulgação e monitorização, apresentadas sucintamente no Quadro 2.

Quadro 2. Etapas de uma estratégia de geoconservação, baseado em Brilha (2005, 2016, 2018 a).

Inventário ➤ definição da área de estudo e objetivos do inventário, ➤ revisão da literatura sobre a geodiversidade e eventuais sítios geológicos na área de trabalho, ➤ seleção de potenciais sítios geológicos, ➤ identificação e caracterização dos sítios geológicos inventariados.
Avaliação quantitativa ➤ consiste na valoração dos sítios geológicos para permitir estabelecer prioridades de gestão, ➤ geossítios: avaliação quantitativa do valor científico e risco de degradação. Se aplicável, valoração do potencial uso turístico e educativo. ➤ sítios de geodiversidade: avaliação do risco de degradação e potencial uso turístico e educativo.
Classificação ➤ identificação dos sítios geológicos que necessitam ser protegidos legalmente, ➤ classificação dos sítios geológicos de acordo com o enquadramento legal existente (diretamente ou indiretamente) no âmbito nacional, regional ou municipal.
Conservação ➤ estabelecimento de ações e medidas para salvaguardar os sítios geológicos e garantir o uso sustentável.
Valorização e Divulgação ➤ estabelecimentos de ações e medidas para interpretação dos principais aspetos de elementos da geodiversidade (como elaborações de roteiros e painéis), se aplicável ➤ divulgação dos sítios geológicos que apresentam baixo risco de degradação.
Monitoramento ➤ verificação periódica e avaliação da evolução do estado de conservação dos sítios geológicos, ➤ estabelecimento de novas ações para o planeamento e gestão, mediante a evolução do estado de conservação do sítio geológico.

2.4. Panorama Mundial da Geoconservação

Ao longo dos anos, a geoconservação estabeleceu-se como um novo ramo das geociências (Henriques et al., 2011). Em reconhecimento à importância da geodiversidade e à conservação dos seus elementos excepcionais, nos últimos anos foram estabelecidas importantes iniciativas internacionais relacionadas com a geoconservação (Brilha et al., 2018b; Brilha e Reynard, 2018).

As primeiras ações internacionais que marcam a preocupação com os temas ligados à geoconservação, se iniciam na década de 1970 com a Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural da UNESCO, aprovada em Paris 1972 (UNESCO, 1972). O artigo nº 2 considera como patrimônio natural:

“Os monumentos naturais constituídos por formações físicas e biológicas ou por grupos de tais formações com valor universal excecional do ponto de vista estético ou científico; as formações geológicas e fisiográficas e as zonas estritamente delimitadas que constituem habitat de espécies animais e vegetais ameaçados, com valor universal excecional do ponto de vista da ciência ou da conservação; os locais de interesse naturais ou zonas naturais estritamente delimitadas, com valor universal excecional do ponto de vista a ciência, conservação ou beleza natural”.

Na ocasião foi criado o Comitê do Patrimônio Mundial, responsável pela gestão da Convenção do Patrimônio Mundial. Cada Estado membro tornou-se responsável por apresentar um inventário do patrimônio cultural e natural situado no seu território, que poderão ser incluídos na Lista do Patrimônio Mundial da UNESCO.

Em 1996, a União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) lançou o Projeto *Global Geosites* a fim de realizar um inventário do patrimônio geológico internacional e integrar sítios geológicos a lista do Patrimônio Mundial da UNESCO. Este projeto realizou-se na Europa através da ProGEO, Associação Europeia para a Conservação do Patrimônio Geológico, que foi criada em 1992 com o principal objetivo de promover ações em todo o território europeu para a proteção do patrimônio geológico, por meio das estratégias de geoconservação (Medina, 2012; Santos 2014, Ferreira, 2016; Brilha, 2018b). O projeto Global Geosites foi encerrado em 2003 e, posteriormente, foram criados outros grupos de trabalho na IUGS para tratar das questões ligadas ao patrimônio geológico (Brilha e Reynard, 2018).

No ano 2000, foi criada a Rede Europeia de Geoparques (REG). Os países fundadores – Alemanha, França, Grécia e Espanha – destacaram como principal objetivo de cooperação entre si, as ações de geoconservação e desenvolvimento sustentável e contribuir em estudos e desenvolvimento de informações técnicas (Brilha et al., 2018b).

Em 2004, reunidos em Paris, um grupo de pesquisadores da comunidade científica junto às instituições: International Geoscience Programme (IGCP), International Geographical Union (IGU) e a International Union of Geological Sciences (IUGS) discutiram a criação da Rede Global de Geoparques da UNESCO e as suas diretrizes operativas. Durante a reunião decidiu-se integrar os geoparques existentes na REG e os geoparques chineses na Rede Global de Geoparques (Medina, 2012; Santos 2014; Ferreira, 2016; Brilha 2018b). Em junho de 2004, realizou-se em Pequim, China a “Primeira Conferência Internacional sobre Geoparques” com o intuito de promover o estabelecimento de uma rede mundial de Geoparques nacionais, com o apoio da comunidade governamental e não governamental internacional (Brilha, 2018b; GGN, 2019). Em outubro do mesmo ano, durante a “5ª Reunião Europeia de Geoparques”, realizada no Geoparque Madonie, Petralia Sottana, foi assinado um acordo entre a Divisão de Ciências da Terra da UNESCO e a Rede Europeia de Geoparques (Declaração de Madonie) em que estabeleceu a REG como organização de integração de novos geoparques na Rede Global (Brilha op. cit., GGN, 2019).

No ano de 2014, a Comissão Mundial de Áreas Protegidas (WCPA - IUCN) criou o Geoheritage Specialist Group (GSG), grupo de especialistas para o aconselhamento sobre as questões relacionadas a geodiversidade (incluindo o carste e cavernas) relacionadas a áreas protegidas e a sua gestão. Atualmente, a geodiversidade e geoconservação integram as prioridades nas políticas estratégicas (como: mudança climática, gestão de ecossistemas, direito ambiental, áreas protegidas, ciência e conhecimento água e Patrimônio Mundial), definidas pelo Programa IUCN 2017- 2020 (IUCN, 2018).

Em novembro de 2015, em reconhecimento global da importância do patrimônio geológico, foi criado do Programa Internacional Geociência e Geoparques, pela UNESCO que estabelece a designação “Geoparque Mundial da UNESCO” (Brilha e Reynard, 2018). Por definição, um Geoparque Mundial da UNESCO, constitui-se em uma área geográfica especificamente delimitada e legitimada pelo governo local, onde existe patrimônio geológico de relevância internacional, que deve ser gerenciado com um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2015). Ao mesmo tempo as áreas que abrangem o patrimônio geológico devem envolver ações para a conservação combinadas ao desenvolvimento sustentável, e em simultâneo envolver as comunidades locais, a fim de promover a geodiversidade da região, podendo incluir os significados, ecológicos, arqueológicos históricos e culturais. Atualmente, existem 147 Geoparques Mundiais da UNESCO em 41 países. Esses geoparques, aliado a outras estratégias, representam uma importante ferramenta, para conservação e promoção do patrimônio geológico.

Na América Latina, as iniciativas de geoconservação são mais recentes, comparadas com a Europa. Porém, verifica-se um aumento considerável, em países como Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, Equador, México, Peru e Uruguai, nas discussões sobre geoconservação, realização de conferências, publicações de trabalhos científicos e submissão de propostas de novos geoparques no âmbito da UNESCO. Palacio et al. (2016) publicaram um panorama da temática da geoconservação na América Latina e Caribe. A publicação copila importantes iniciativas realizadas nesses países até o ano de 2015. Dentre os eventos realizados na América Latina, os autores destacam o II Congresso Latinoamericano de Geoparques, realizado no Rio de Janeiro, Brasil, em 2011 e o I Simpósio Argentino de Patrimônio Geológico, Geoparques e Geoturismo, realizados em San Martín de Los Andes, Argentina, em 2013. Durante este último evento se consolidou o interesse na criação da Rede Latino-americana de Geoparques e o Fórum Latinoamericano de Geoparques. Finalmente, em maio de 2017 foi fundada a Rede Mundial de Geoparques da UNESCO para América Latina e Caribe (Geo-LAC). A Geo-LAC atualmente é formada por sete geoparques: Araripe (Brasil), Grutas del Palacio (Uruguai), Comarca Mineira e Mixteca Alta (México), Kütralkura (Chile), Imbabura (Equador) e Colca y Volcanes de Andagua (Peru).

No Brasil, as iniciativas mais consistentes relacionadas à geoconservação se iniciaram no final da década de 1990. No ano de 1997, foi criada a Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos – SIGEP com o objetivo de promover a identificação de sítios geológicos e a indicação dos mesmos ao programa Global Geosites; o gerenciamento do banco de dados nacional dos sítios de interesse geológico e a promoção de ações de conservação para os locais que apresentam maior vulnerabilidade (Lima, 2008, Palacio et al., 2016, Guimarães et al., 2018). Durante o projeto foram selecionados por especialistas 116 geossítios que foram publicados em três livros técnicos com o título “Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil” (Guimarães et al., 2018).

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desenvolveu o Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios de Geodiversidade – GEOSIT, que consiste em um aplicativo destinado ao inventário e avaliação qualitativa e quantitativa de sítios geológicos do Brasil. O aplicativo baseia-se metodologia de Brilha (2005, 2016) e Garcia-Cortés et al. (2009) (descrito no capítulo 4.2.1) (CPRM, 2017). Além disso, a CPRM promove o conhecimento do patrimônio geológico do país por meio do Programa “Geoparques do Brasil”. Trata-se de estudos em áreas pré-definidas que, apenas do ponto de vista do patrimônio geológico, poderiam suportar futuros projetos de geoparques. Atualmente, existem 27 propostas concluídas, das quais 19 integram o primeiro volume do livro “Geoparques do Brasil: Propostas” (CPRM, 2018).

Em relação a sistematização e integração do inventário nacional, São Paulo é o único estado do Brasil cujo inventário do patrimônio geológico encontra-se concluído. Este inventário foi realizado entre os anos de 2013 e 2015 sob a coordenação geral da Universidade de São Paulo (USP) e Universidade do Minho, Portugal (UMinho). Atualmente, o inventário é composto por 142 geossítios integrados em 11 categorias temáticas geológicas (*frameworks*), os quais foram caracterizados e avaliados de forma quantitativa de acordo com seu valor científico e risco de degradação, com o intuito de estabelecer prioridades de gestão futura (Garcia et al., 2017). Entre outras iniciativas de projetos acadêmicos de inventários o estado do Rio Grande do Norte, que têm o seu inventário estadual em fase de desenvolvimento (Nascimento e Sousa, 2013). Segundo Romão e Garcia (2017) até o ano de 2017 haviam sido publicadas 61 iniciativas de inventário sistemáticos do patrimônio geológico brasileiro, em todas as regiões do país, o que reflete um aumento significativo dos avanços das pesquisas para a constituição de um inventário nacional brasileiro.

Ao que se refere a iniciativas pela comunidade geocientífica brasileira, além da coordenação de projetos inventários estaduais, a temática da geoconservação vem se destacando por meio dos trabalhos científicos e pela criação de linhas de pesquisa em Programas de Pós-Graduação. Como exemplos a criação da linha de pesquisa Patrimônio Geológico Natural e Construído e Geoconservação integrada ao programa de Pós-graduação em Geociências (Mineralogia e Petrologia) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP desde 2012. No ano de 2014 foi inserida a linha de pesquisa Geoconservação e Patrimônio Geológico, no programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Na Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN trabalhos sobre a temática vêm sendo desenvolvidos junto ao Programa de Pós-graduação em Turismo (Santos, 2014). Atualmente, existem núcleos de pesquisas em diferentes universidades do país, por exemplo, Universidade Federal de Goiás, Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia; Universidade Federal de Pernambuco e o Núcleo de Apoio à Pesquisa em o Patrimônio Geológico e Geoturismo - GeoHereditas, fundado em 2011 por incentivo da Pró-Reitoria de Pesquisa da USP (Palacio et al., 2016; Santos, 2014). Em relação a produção acadêmica, segundo Ruchkys et al. (2017) entre os anos de 2013 e 2016 haviam sido concluídas 80 trabalhos de pós-graduação sobre a temática da geoconservação, sendo 15 teses de doutorados e 65 dissertações de mestrados.

O Brasil possui apenas um Geoparque Mundial da UNESCO. O Geoparque Araripe foi fundado em 21 de setembro de 2006, está localizado no estado do Ceará na região do Cariri. Sua extensão é de 3441 km² abrangendo os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Batalha, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri (Araripe, 2018). Embora o destaque do geoparque seja, logicamente, para o patrimônio

geológico, representado por nove geossítios, outros aspetos na região também ganharam destaque, como a biodiversidade, a história e cultura, e arqueologia (Santos, 2014).

2.5. Geoturismo: conceitos e planeamento

O geoturismo é um novo seguimento do turismo, que tem sido praticado em diferentes partes do mundo. Esse novo seguimento do turismo visa a promoção da geoconservação e a compreensão do património geológico (Newsome e Dowling, 2018). A primeira definição de geoturismo foi apresentada por Hose (1995). De acordo com este autor, o geoturismo propõe facilitar o entendimento e fornecer facilidades de serviços para que turistas adquiram conhecimentos da geologia e geomorfologia de um lugar, indo além de meros espectadores de uma beleza estética. O mesmo autor, em revisão ao conceito inicial, considera o geoturismo como “a disponibilização de serviços e meios interpretativos que promovem o valor e os benefícios sociais de lugares com atractivos geológicos e geomorfológicos, assegurando sua conservação, para o uso de estudantes, turistas e outras pessoas com interesses recreativos e de lazer” (Hose, 2000 p. 136). Em 2012, em revisão aos conceitos anteriores, Hose conceitua o geoturismo como “a provisão de instalações e serviços interpretativos para sítios geológicos (e geomorfológicos) e a topografia do entorno (incluindo artefactos *in situ* e *ex situ* associados), visando a sua conservação e gerando apreciação, aprendizagem e pesquisa para as gerações futuras” (Hose, 2012 citado por Guerra e Jorge, 2018 p.26).

Para Ruchkys (2007) o geoturismo é uma atividade turística que tem o património geológico como seu principal atractivo e busca sua proteção por meio da sensibilização do turista, utilizando a interpretação desse património de modo acessível para o público leigo e popularizando o conhecimento geocientífico.

Em reconhecimento à necessidade de clarificar o conceito de geoturismo, durante o Congresso Internacional de Geoturismo, realizado no Geoparque Arouca, Portugal, elaborou-se a Declaração de Arouca, onde se refere que: “... geoturismo é o turismo que sustenta e incrementa a identidade de um território, considerando a sua geologia, ambiente, cultura, valores estéticos, património e o bem-estar dos seus residentes” (Arouca, 2011).

Mais recentemente, Newsome e Dowling (2018 p. 306) definem geoturismo como “o turismo que se centra na geologia e na paisagem de uma área como base para fomentar o desenvolvimento sustentável do turismo”. Esses autores discutem que o desenvolvimento do geoturismo gera benefícios para as comunidades e economia.

A partir dos conceitos explicitados, pode-se concluir que o geoturismo constitui uma importante ferramenta no âmbito da geoconservação, especialmente no contexto de geoparques, como ressaltam Newsome e Dowling (2018). Entretanto, assim como os demais seguimentos do turismo, deve ser detalhadamente planejado para que os objetivos de conservação sejam alcançados. De acordo com Lima (2012) o planejamento para a proteção e gestão de sítios geológicos pode ser feito por meio da elaboração de planos de gestão. Especificamente, em áreas protegidas, Moreira (2008, 2011) sugere que o geoturismo deve ser planejado em diferentes etapas: inventário de pontos de interesse geológico; definição dos objetivos e metas; desenvolvimento de ações, como a interpretação ambiental, elaboração de roteiros didáticos e a realização de cursos voltados aos monitores ambientais das unidades de conservação; e o gerenciamento, avaliação e monitoramento a fim de verificar a eficiência das ações desenvolvidas.

Finalmente, em relação ao espeleoturismo (correlato ao geoturismo) Lobo (2006) define-o como:

“um segmento turístico que busca atingir de forma equilibrada a conservação das cavernas, a conscientização e satisfação das pessoas envolvidas e o desenvolvimento econômico local. Para tanto, deve fazer uso das diversas dimensões presentes no patrimônio espeleológico, aproveitando suas particularidades por meio de propostas de diferenciação mercadológica (Lobo, 2006a, p. 62).

O espeleoturismo sustentável deve ser planejado de modo semelhante ao geoturismo, entretanto, deve-se considerar, prioritariamente, as particularidades desses ambientes. Considerando que muitos sítios espeleológicos estão inseridos em áreas protegidas, além das etapas sugeridas por Moreira (2008, 2011) deve-se considerar os princípios básicos, reconhecidos internacionalmente, para o desenvolvimento do turismo em cavernas: “identificação e avaliação das variáveis ambientais e sua relação com a variação com a presença humana (como variáveis atmosféricas) e os parâmetros aceitáveis de alteração no ambiente cavernícola” (Lobo, 2011 p73).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Dados gerais e Localização geográfica

O Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) está localizado no sudoeste do estado de São Paulo, na região político-administrativa Vale do Ribeira (Figura 2). Com uma área de 35.772,5 ha, o parque abrange parte dos municípios de Apiaí (10.048,26 ha) e Iporanga (25.829,02 ha), e confronta com os municípios de Guapiara (a norte e noroeste) e Itaóca (a sudeste).

O PETAR é uma Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral, classificada na categoria de manejo Parque Nacional, segundo o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC) do Brasil. O parque foi criado em 1958 através do Decreto Estadual nº 32.283, de 19 de maio de 1958, em que foi estabelecida a entidade jurídica do Parque Estadual do Alto Ribeira (PEAR), com área de 35.712 ha. Posteriormente, com a Lei Estadual nº 5.973, de 23 de novembro de 1960 houve a alteração do nome da UC para Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR). Em 1963, com o Decreto nº 41.626, o Serviço Florestal do Estado de São Paulo (Atual Instituto Florestal do Estado de São Paulo) passou a ser responsável pela gestão do parque (Fundação Florestal, 2010; Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

A implantação efetiva do PETAR ocorreu a partir de 1985. Neste ano foram realizados levantamentos fundiários sistemáticos das terras que integram o parque, trabalhos coordenados por técnicos do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COMSEMA) do Estado de São Paulo. A partir destes trabalhos foram implantados quatro núcleos administrativos (descritos no subcapítulo 3.8) e as bases de fiscalização no parque (Fundação Florestal, 2010). Em 1991, foi constituída a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, o Projeto de Preservação da Mata Atlântica (com recursos do Banco Alemão KfW Bankengruppe), e o Projeto de Desenvolvimento do Ecoturismo na Mata Atlântica. A proteção da biodiversidade e do patrimônio espeleológico no PETAR, e demais UCs que integram o contínuo ecológico Paranapiacaba, são asseguradas legalmente por estes programas (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

Em 2007, após a instituição do Sistema Estadual de Florestas (SIEFLOR) pelo Decreto de Lei nº 51.453, de 29 de dezembro de 2006, o PETAR passou a ser administrado pela Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo - Fundação Florestal (FF), vinculado à Secretaria do Meio Ambiente (SMA).

O PETAR integra uma das mais importantes “redes” de unidades de conservação do estado de São Paulo, o Contínuo Ecológico de Paranapiacaba. Este contínuo tem cerca de 120.000 ha de florestas, e é composto pelos parques estaduais Carlos Botelho, Intervalos, Turístico do Alto Ribeira e Estação

Ecológica de Xitué (Figura 3). As UCs que integram o contínuo ecológico constituem-se zonas núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (Fundação Florestal, 2010).

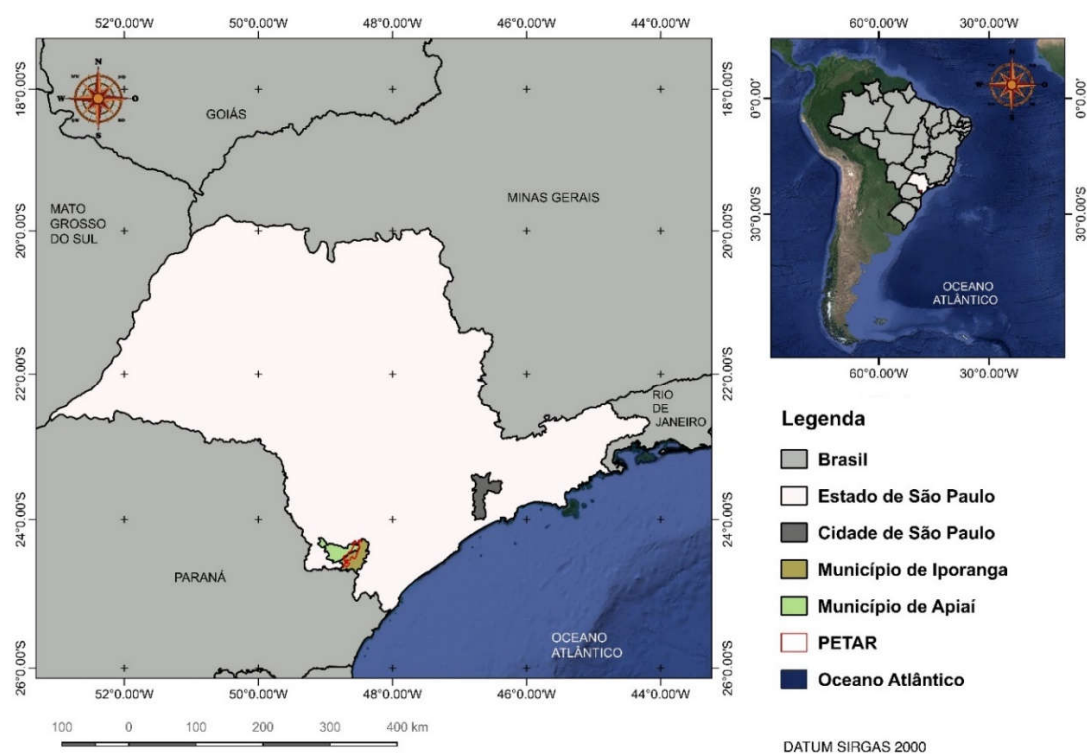


Figura 2. Mapa de localização do PETAR.

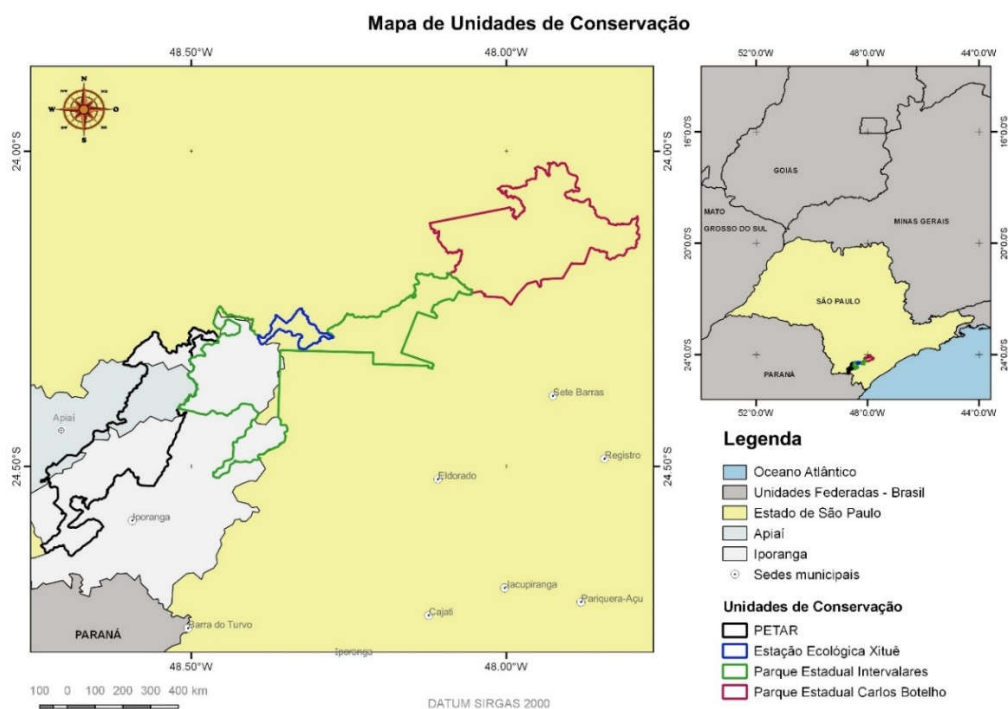


Figura 3. Contínuo Ecológico de Paranapiacaba.

3.2. Geologia

A geologia do PETAR é complexa e a sua interpretação é ainda motivo de controvérsia científica por parte da comunidade brasileira. Não sendo objetivo deste trabalho detalhar a geologia da área de estudo nem a sua interpretação, tomou-se como base os trabalhos realizados por Campanha (1991), Campanha e Sadowski (1999), Campanha (2002) e Campanha (2016). De acordo com estes trabalhos, a história geológica da região pode ser sintetizada em diferentes estágios:

- (i) Episódios de magmatismo, metamorfismo e deformação durante o ciclo orogênico Brasileiro-Pan-Africano, em que se formou o Orógeno Ribeira, de idade neoproterozoica (650-510 Ma);
- (ii) Período de resfriamento do cinturão orogênico Ribeira e aglutinação de terrenos formados durante o primeiro estágio, tendo resultado na amalgamação do supercontinente Gondwana;
- (iii) Reativação tectônica mesozoica após um longo período de estabilidade (Almeida, 1967, 1969), tendo originado a abertura do Oceano Atlântico Sul e a consequente fragmentação do supercontinente durante o Jurássico Superior/Cretáceo Inferior (Hasui, 2010). Este processo de abertura do Atlântico foi acompanhado por eventos magmáticos representados atualmente por diques básicos e intermediários, controlados pelas estruturas neoproterozoicas (Garda e Schorscher, 1996; Coutinho, 2008).

A seguir, apresenta-se o contexto geológico da área de estudo, partindo de uma escala regional para uma escala local.

3.2.1. Geologia Regional

Almeida et al. (1977, 1981) aplicaram para o Brasil o conceito de províncias estruturais, tendo identificado 10 províncias principais. As rochas que formam o estado de São Paulo fazem parte da Província Mantiqueira (Almeida et al., 1977, 1981) (Figura 4). Esta província estrutural estende-se por cerca de 3000 km, com orientação NNE-SSW, ao longo da costa atlântica desde Montevideu (Uruguai) até ao sul do estado da Bahia (Brasil). Esta província registra a evolução geológica durante o Neoproterozoico (900–520 Ma) sendo que as suas rochas representam os vestígios de unidades tectônicas arqueanas, paleoproterozoicas e mesoproterozoicas (Bizzi et al., 2003).

A Província Mantiqueira é caracterizada por um sistema orogênico que inclui, de norte para o sul, os orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e a porção sul do orógeno Brasília (Figura

5). Esta província integra ainda uma zona de interferência entre a porção sul dos orógenos Brasília e Ribeira. Desta zona de interferência para sul, até à borda norte do maciço cratônico Luis Alves, estende-se um conjunto de unidades cujas relações geotectônicas com o Orógeno Ribeira são ainda dúbias e que, em parte, poderia pertencer à extremidade sul do Orógeno Brasília. Em função disto, estas unidades estão agrupadas nos terrenos Apiaí-Guaxupé e Embú (Bizzi et al., 2003; Heilbron et al., 2004).

A evolução geotectônica da Província Mantiqueira resulta de uma sucessão de cinturões de “empurrão e dobramento” controlados por distintos sistemas de cavalgamento em direção às margens cratônicas. A maioria destes cinturões corresponde a orógenos colisionais formados durante o Neoproterozoico/Cambriano. Além da extensiva granitogenese, estes orógenos são reconhecidos por suas sequências tectono-estratigráficas mistas, típicas de extensas bacias de margens continentais rifteadas e discreto registro de depósitos de assoalhos oceânicos, de arcos e retroarcos. Constituem, assim, um mosaico de terrenos neoproterozoicos agregados há aproximadamente 560 Ma quando deram origem ao Supercontinente Gondwana Ocidental (Bizzi et al., 2003; Heilbron et al., 2004; Hasui, 2010).

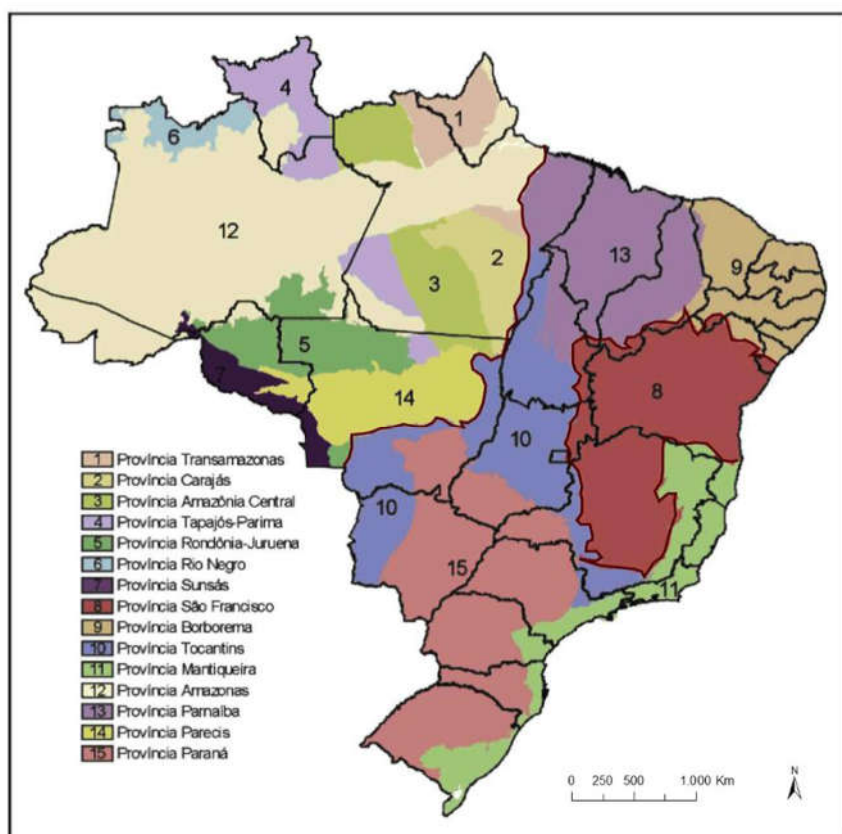


Figura 4. Províncias estruturais brasileiras (Bizzi et al., 2003).

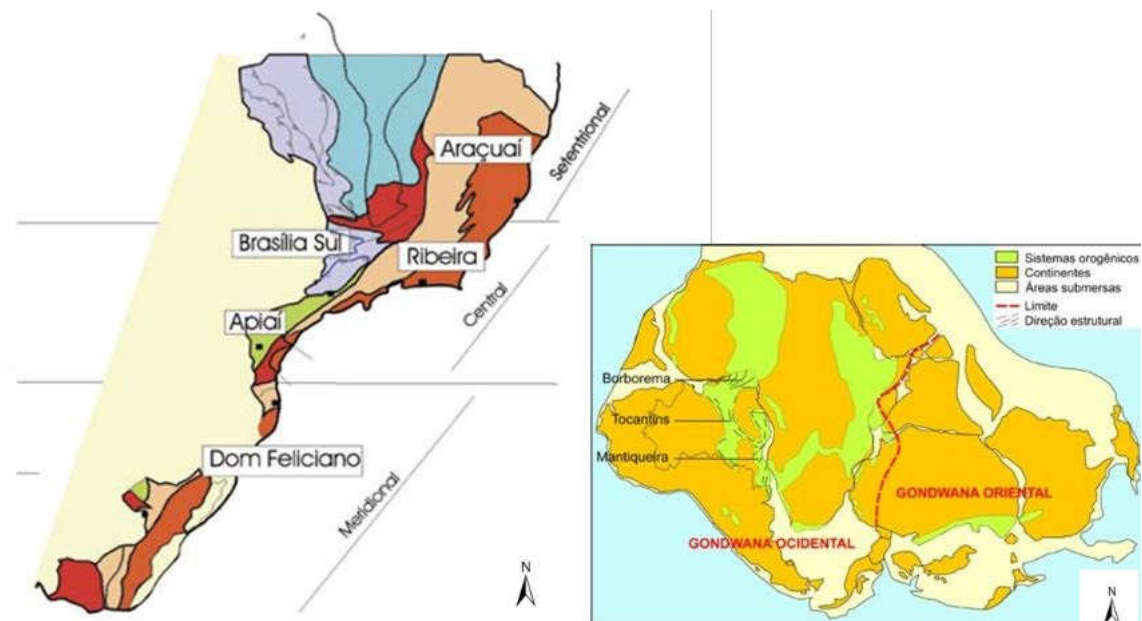


Figura 5. a) Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozoicos (Heilbron et al., 2004). No detalhe, as províncias estruturais brasileiras e a Província da Mantiqueira. Bizzi et al. (2003), modificado de Almeida et al., (1977); b) Configuração do Supercontinente Gondwana e localização das faixas móveis (Hasui, 2010).

O Orógeno Ribeira (Heilbron et al., 2004) ou Faixa de Dobramentos Ribeira como também é designado por Hasui et al., (1975), no qual se insere a área de estudo, é um cinturão de cisalhamento transcorrente, que se estende desde a Bahia ao Uruguai (Campos Neto, 2000) (Figura 6). Este orógeno formou-se a partir da colisão entre as extremidades SSW da Placa do Congo Ocidental e o cráton São Francisco, além da amalgamação de microplacas e outros terrenos situados a sudeste deste cráton, que teve lugar entre 650-510 Ma (Trompette et al., 1993; Schmitt et al., 2004; Heilbron et al., 2008, Tupinambá et al., 2012) no decorrer do Ciclo Orogênico Brasileiro-Pan-Africano. Os últimos eventos de colisão sobrepuseram-se à geometria inicial desses terrenos, cujos limites foram organizados como zonas de escala regional NE-SW, principalmente distrais de cisalhamento que, desde então, funcionaram como zonas de fraqueza, reativadas em níveis crustais mais rasos durante os eventos extensionais posteriores. A transição para condições de plataforma estável ocorreu no Siluriano-Devoniano (Brito Neves, 1999).

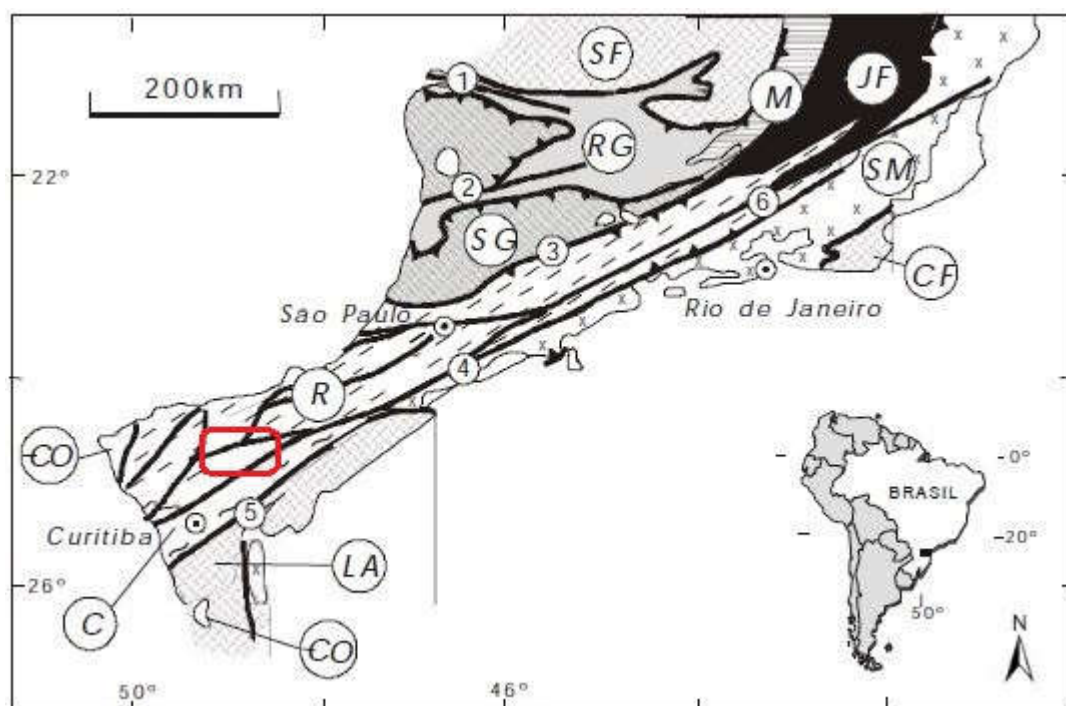


Figura 6. Contexto geológico regional em que está inserida a região do PETAR (destaque em vermelho). Blocos e fragmento cratônico: (LA) Luís Alves, (CF) Cabo Frio, (SF) São Francisco. Terrenos arqueanos e paleoproterozoico: (C) Curitiba, (SM) Serra do Mar, (JF) Juiz de Fora, (M) Mantiqueira. Faixas de dobramento meso a neoproterozóicas: (RG) Alto Rio Grande, (R) Ribeira, (SG) Nappe Socorro-Guaxupé. Sequências sedimentares e vulcano-sedimentares cambro-ordovicianas (CO). Zonas de cisalhamento: (1) Campos do Meio, (2) Jacutinga-Ouro Fino, (3) Jundiuvira-Boquira-Rio Preto; (4) Cubatão; (5) Lancinha; (6) Além Paraíba (Campanha e Sadowski 1999). Fonte: Campanha, 2002.

A região do PETAR se inclui no Terreno (ou Domínio) Apiaí, da Faixa Ribeira. De acordo com Faleiros et al. (2011), o Terreno Apiaí é limitado a sul pela falha da Lacinha e a norte é recoberto pelas rochas fanerozoicas da bacia do Paraná. Este terreno é formado por rochas metassedimentares de grau metamórfico entre baixo a médio, formando o chamado Supergrupo Açungui (Campanha, 1991; Campanha e Sadowski, 1999) que tem como embasamento rochas gnáissico - migmatíticas com intercalações variadas de metassedimentos e núcleos charnockíticos. Essas rochas são intrudidas por diversos corpos granitóides de características variadas (Campanha, 2002).

O Supergrupo Açungui é composto pelas unidades: Grupo Itaiacoca, Formação Água Clara, Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado e Subgrupo Ribeira) e Formação Capiu e Grupo Setuva (Figura 7). Estas unidades estão dispostas lateralmente em faixas longilíneas com orientação NE (Campanha, 1991; Campanha e Sadowski, 1999). Os contatos, em geral, são tectônicos, evidenciados por zonas de cisalhamento transcorrentes. Em cada unidade são reconhecidas subdivisões com empilhamento estratigráfico distinto, porém, é possível identificar uma correlação lateral entre as unidades maiores (Campanha, 2002).

Mais especificamente, as rochas que ocorrem no PETAR fazem parte do Subgrupo Lajeado do Grupo Votuverava. Trata-se de metassedimentos com baixo grau metamorfismo, depositados em uma plataforma carbonática, constituindo formações siliciclásticas (pelíticas, psamíticas) e carbonáticas alternadamente sobrepostas, intrudida em sua porção superior pelo Gabro de Apiaí (Campanha, op. cit.). É ainda possível distinguir no Subgrupo Lajeado as seguintes formações: Formação Betari, Formação Bairro da Serra, Formação Água Suja, Formação Minas de FURNAS, Formação Serra da Boa Vista, Formação Passa Vinte e Formação Gorutuba (Campanha, 1991), descritas seguidamente.

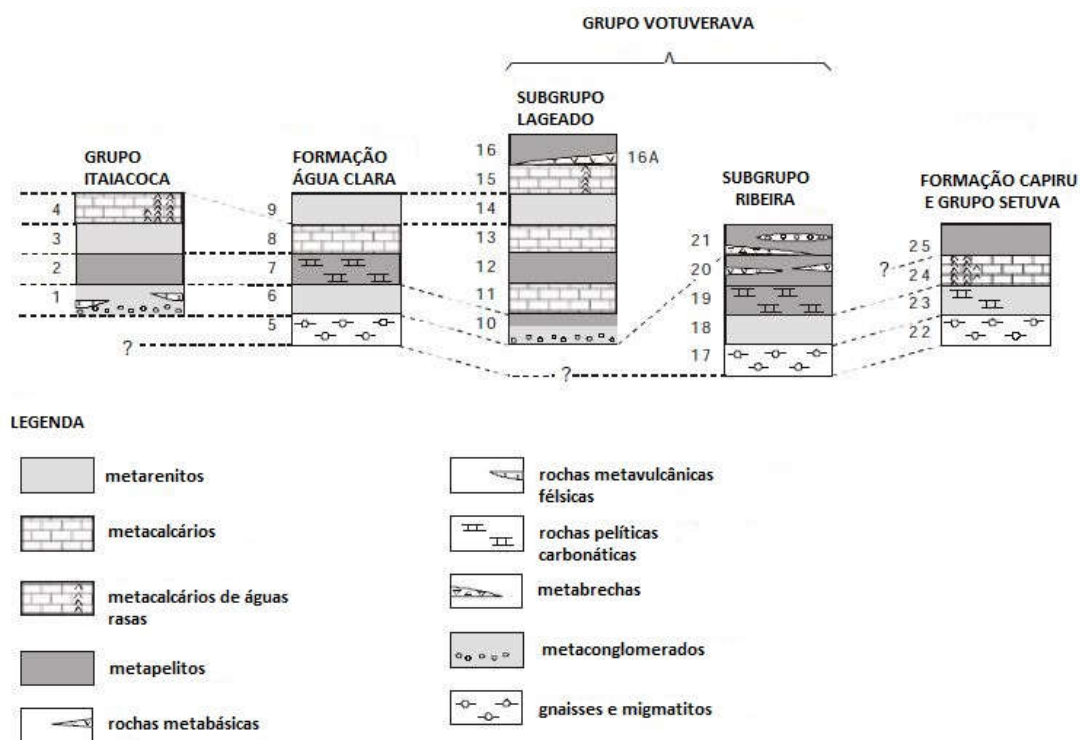


Figura 7. (1) Formação Bairro da Estiva (Abapã); (2) Formação Água Nova; (3) Formação Serra dos Macacos; (4) Formação Bairro dos Campos; (5) embasamento gnáissico-migmatítico; (6) quartzitos e xistos; (7) sequência calciossilicática; (8) sequência calcária; (9) sequência de meta-arenitos; (Formação Córrego dos Marques); (10) Formação Betari; (11) Formação Bairro da Serra; (12) Formação Água Suja; (13) Formação Mina de FURNAS; (14) Formação Serra da Boa Vista; (15) Formação Passa-Vinte; (16) Formação Gorutuba; (16A) Gabro de Apiaí; (17) embasamento gnáissico-migmatítico; (18) Formação Perau, membro quartzítico; (19) Formação Perau, membro calciossilicático (mineralizado); (20) sequência Vulcano sedimentar (pelágico – turbidítica); (21) Formação Iporanga; (22) embasamento gnáissico – migmatítico; (23) sequência Morro Grande (= Turvo-Areado?); (24) Sequência Rio Branco; (25) sequência Juruqui. Adaptado de Campanha e Sadowski (1999).

3.2.2. Geologia local

3.2.2.1. Supergupo Açungui: Subgrupo Lajeado

Como referido, o Subgrupo Lajeado é constituído por formações siliciclásticas e carbonáticas alternadamente sobrepostas, depositadas entre 1400 e 880 Ma, em ambiente de plataforma de margem

passiva, intrudidas no topo pelo gabro de Apiaí. As rochas deste subgrupo contatam a sul com a Formação Iporanga e com o Subgrupo Ribeira através da zona de cisalhamento (lineamento) da Figueira (Campanha, 2002). O mesmo autor, baseado em trabalhos anteriores (Campanha et al., 1986; Campanha, 1991) apresenta a sequência estratigráfica do Subgrupo Lajeado, representada na Figura 8 e Quadro 3.

Segundo Campanha et al. (2016), a Formação Betari, na base do subgrupo, é iniciada por metarenitos e metaconglomerados oligomícticos. Seguem-se metarritmitos, interpretados como níveis turbidíticos, sugerindo uma sequência transgressiva. Sobre esta formação ocorrem as formações Bairro da Serra, Água Suja e Mina de Furnas, que correspondem às rochas carbonáticas (calcário calcítico cinza escuro), interestratificadas com camadas de filitos finos, sendo a mais espessa a Formação Água Suja. A Formação Mina de Furnas é sobreposta pelos arenitos da Formação Serra da Boa Vista, cujo ambiente deposicional é interpretado como sendo um leque submarino de águas rasas. Seguem-se as rochas calcárias da Formação Passa Vinte que apresentam feições típicas de uma deposição em águas muito rasas, exibindo em alguns locais vestígios de tapetes de algas. Finalmente, a Formação Gortuba, no topo do subgrupo, corresponde a uma sequência de metarritmitos laminados intercalados por metamargas e calcários, interpretados por Pires (1988) como turbiditos distais de leque submarino.

O modelo deposicional para os metassedimentos do Subgrupo Lajeado foi proposto por Pires (1991). Devido ao caráter rítmico, recorrência litológica e presença de estruturas primárias (como estratificação gradacional) o autor interpretou este subgrupo como sendo resultante de sistemas turbidíticos (com leques marinhos), depositados em uma plataforma rasa, entre a borda de talude e uma plataforma carbonática.

As rochas carbonáticas das Formações Bairro da Serra, Mina de Furnas e Passa Vinte, de acordo com Sallun Filho (2009), apresentam composições distintas de CaO e MgO e variações na composição siliciclástica, o que origina diversos sistemas cársticos regionais. A região de ocorrência das rochas carbonáticas ou não carbonáticas, passíveis de carstificação, com formação de cavernas, foi classificada por Karmann e Sánchez (1979) como Província Espeleológica do Vale do Ribeira (descrita em 3.5).

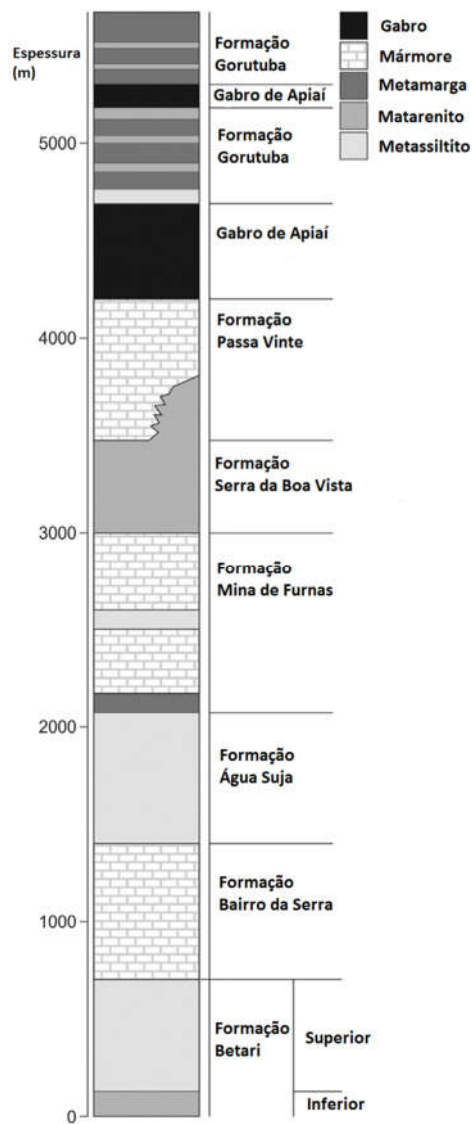


Figura 8. Coluna estratigráfica do subgrupo Lajeado após (Campanha et al., 1986; Campanha, 1991) adaptado de Campanha et al., (2016).

Quadro 3. Descrição do Subgrupo Lajeado.

Formação	Principais litotipos	Paleoambiente
Formação Gorutuba	metamargas metarenitos metassiltitos	Feição composicional interpretada como de turbiditos distais de leque submarino.
Formação Passa Vinte	mármore metarenitos	Feições de deposição plataforma de águas bastante rasas
Formação Serra da Boa Vista	metarenitos	Ambiente deposicional é interpretado como sendo um leque submarino de águas rasas
Formação Mina de Furnas	mármore metassiltitos metamargas	Feições de sedimentação compatível com a de correntes turbidíticas de baixa concentração
Formação Água Suja	metamargas	Sedimentação em ambientes de baixa energia com fluxos turbidíticos de baixa densidade
Formação Bairro da Serra	mármore	Feições indicativas de sedimentação de correntes turbidíticas de baixa concentração, ou depósitos pelágicos-hemipelágicos.
Formação Betari	metassiltitos metarenitos	Feições indicativas de sedimentação turbidítica de correntes variando de alta a baixa

3.2.2.2. Rochas Granitóides

Na Faixa Ribeira ocorrem intrusões, na direção principal das estruturas geológicas regionais, de corpos graníticos na forma de diques, batólitos e stocks alongados de idade neoproterozoica a cambriana. Na região do PETAR estas rochas são agrupadas em Complexo Três Córregos e Complexo Agudos Grandes (Fundação Florestal, 2010; Theodorovicz, 2014).

O Complexo Três Córregos é constituído, predominantemente, por hornblenda-biotita granitóides porfiróides, granitos leucocráticos e granitóides orientados, de idade entre 630 a 600 Ma (Gimenez Filho et al., 1996; Janasi et al., 2001 citados por Fundação Florestal, 2010).

O Complexo Agudos Grandes corresponde a um batólito originado por sucessivos eventos magmáticos, sin a tardi orogênicos, intruindo as rochas metassedimentares do Subgrupo Lajeado.

O magmatismo básico Proterozóico é localmente representado pelo gabro de Apiaí na forma uma intrusão pós-tectônica nas unidades superiores do Subgrupo Lajeado. Ocorre com maior expressividade na Formação Gorutuba, aflorando em uma área com 32 km². Datação em zircões pelo método U-Pb SHRIMP obteve a idade de 870 Ma, interpretada como sendo a idade de cristalização. As intrusões do gabro de Apiaí e de outras rochas básicas no supergrupo Açungui representam episódios de magmatismo toleítico, possivelmente relacionados com a fragmentação do Supercontinente Rodinia e com a formação

de oceanos durante o Ciclo Brasileiro (Campanha, 1991; Campanha e Sadowski, 1999; Campanha et al., 2016).

3.2.2.3. Diques Básicos

Durante o Mesozoico sobreveio a reativação da Plataforma Brasileira (Almeida, 1969), caracterizada por processos extensionais relacionados com a fragmentação do Pangea, do Gondwana e abertura do Oceano Atlântico no Jurássico Superior/Cretáceo Inferior (Hasui, 2010). O processo de abertura do Atlântico foi acompanhado por eventos magmáticos representados por diques básicos e intermediários, cuja colocação foi controlada pelas estruturas neoproterozoicas (Garda e Schorscher, 1996, Coutinho, 2008).

No PETAR, o magmatismo Jurássico-Cretáceo é representado por diques de diabásio, diabásio porfirítico e lamprófiros, verticais a subverticais, que ocorrem sob a forma de corpos tabulares com espessura que varia desde poucos centímetros a dezenas de metros. Os diques básicos que ocorrem na região sudeste do Brasil têm idades entre 161-195 Ma (Guedes et al., 2005) até 125-120 Ma (Renne et al., 1992). Localmente, destaca-se o dique de diabásio do vale do Betari, que controla o vale do Rio Betari (Campanha, 1991).

3.2.2.4. Depósitos Sedimentares Cenozoicos

Depósitos sedimentares cenozoicos, compreendem diversas unidades geológicas de idade cenozoica não diferenciadas, mas essencialmente quaternária, e ocorrem dispersos na região do PETAR e arredores, em geral, associados às calhas de drenagem atual. São compostos por sedimentos de composição arenosa a argilosa de origem coluvial e fluvial (aluviões). Segundo Fundação Florestal (2010), os depósitos coluviais correspondem a material depositado sob forma de tálus (com matacões), fluxo de detritos e rampa de acumulação. Os depósitos fluviais encontram-se, principalmente, ao longo das principais drenagens da região de estudos, como o Rio Ribeira de Iguape, sob a forma de antigos terraços aluvionares. Na Figura 9 (e Anexo 2) abaixo são apresentadas as unidades geológicas predominantes na área do parque.

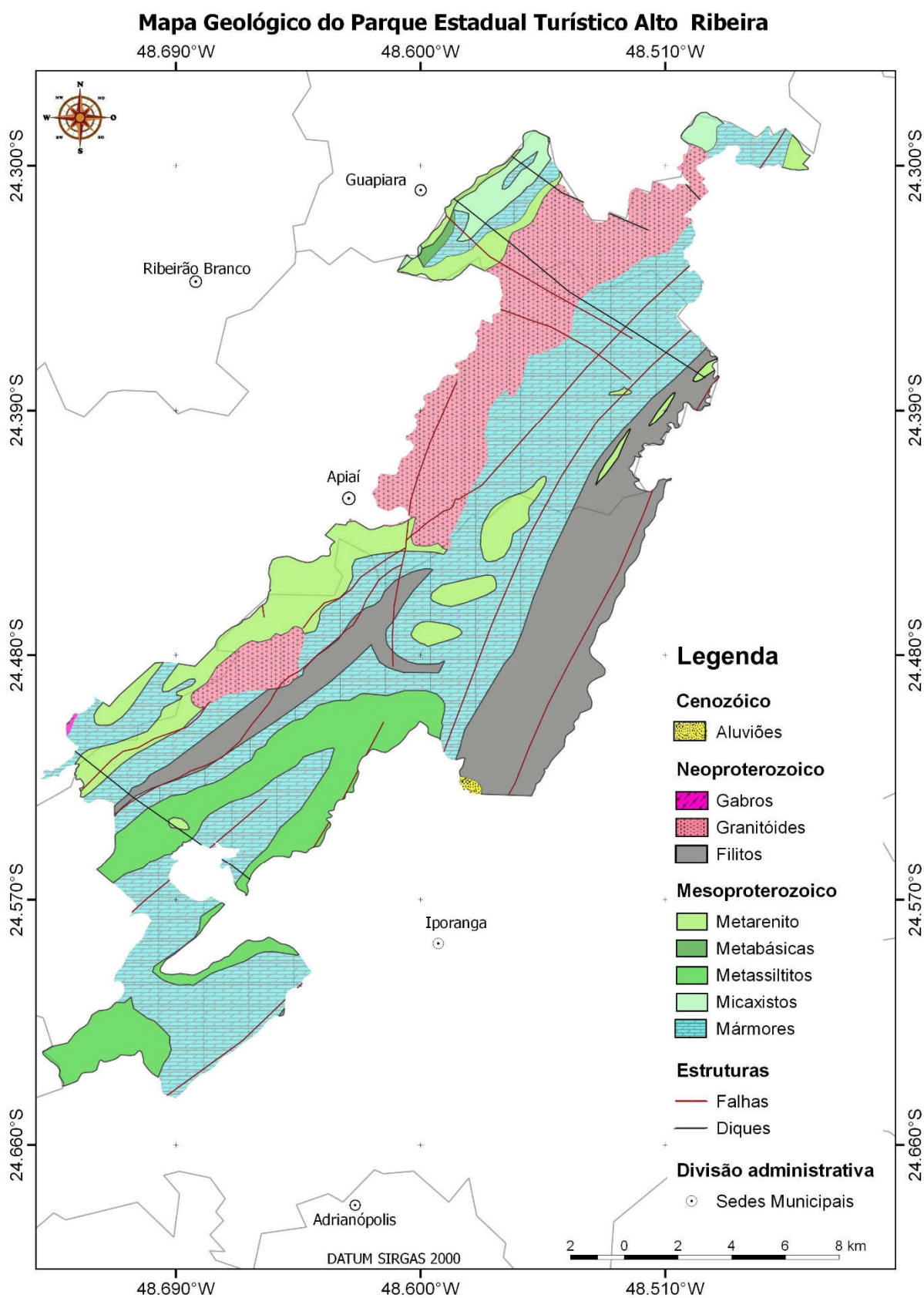


Figura 9. Mapa geológico do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP (2013), baseado em Campanha (2002).

3.3. Geomorfologia

As principais unidades geomorfológicas identificadas na região do PETAR são apresentados na Quadro 4 e no mapa de Unidades Geomorfológicas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, com escala 1: 125.000 adaptado de CBH-SP (2013) baseado em Ross (2002) (Figura 10) (Anexo 3).

A região do PETAR está inserida no Domínio Morfoclimático das Regiões Serranas, tropicais úmidas, ou dos “mares de morros” extensivamente florestados (Ab'Saber, 1970; 1973). O parque encontra-se sobre o flanco sudoeste da serra de Paranapiacaba, com relevo montanhoso e amplitudes topográficas até 700m (Karmann e Ferrari, 2002).

Segundo Almeida (1967) e Ponçano et al. (1981) a área do parque e entorno estão inseridas no Planalto de Guapiara – uma das zonas do Planalto Atlântico – e na Província Costeira, na zona Serrania Costeira (Subzonas Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores).

O Planalto de Guapiara é o remanescente de uma antiga superfície de aplainamento deformada e dissecada, e é constituído pela unidade geomorfológica denominada Morrotes, com altitude de 900 a 1000 metros. Esses relevos são sustentados pelas rochas do Subgrupo Lajeado, por gabros, diabásios e granitóides, e ocorrem em pequenos trechos da porção norte do parque, na localidade de Temimina (Figura 9) (Ferreira, 2014; Fundação Florestal, 2010).

A zona Serrania Costeira é compartimentada e representada na região pelas Subzonas Serrania do Ribeira e a Subzona Planaltos Interiores (Planalto do Lajeado e Planalto Sumidouro do Ribeirão Temimina). A Serrania do Ribeira é constituída pelas unidades geomorfológicas: Encostas de Transição, Relevo Montanhoso, Relevo de Morros e Relevo de Transição. Essas unidades apresentam amplitudes altimétricas de 300 a 700 metros, com base no Rio Ribeira de Iguape e Morraria Costeira (Ponçano et al., 1981; Fundação Florestal op. cit.).

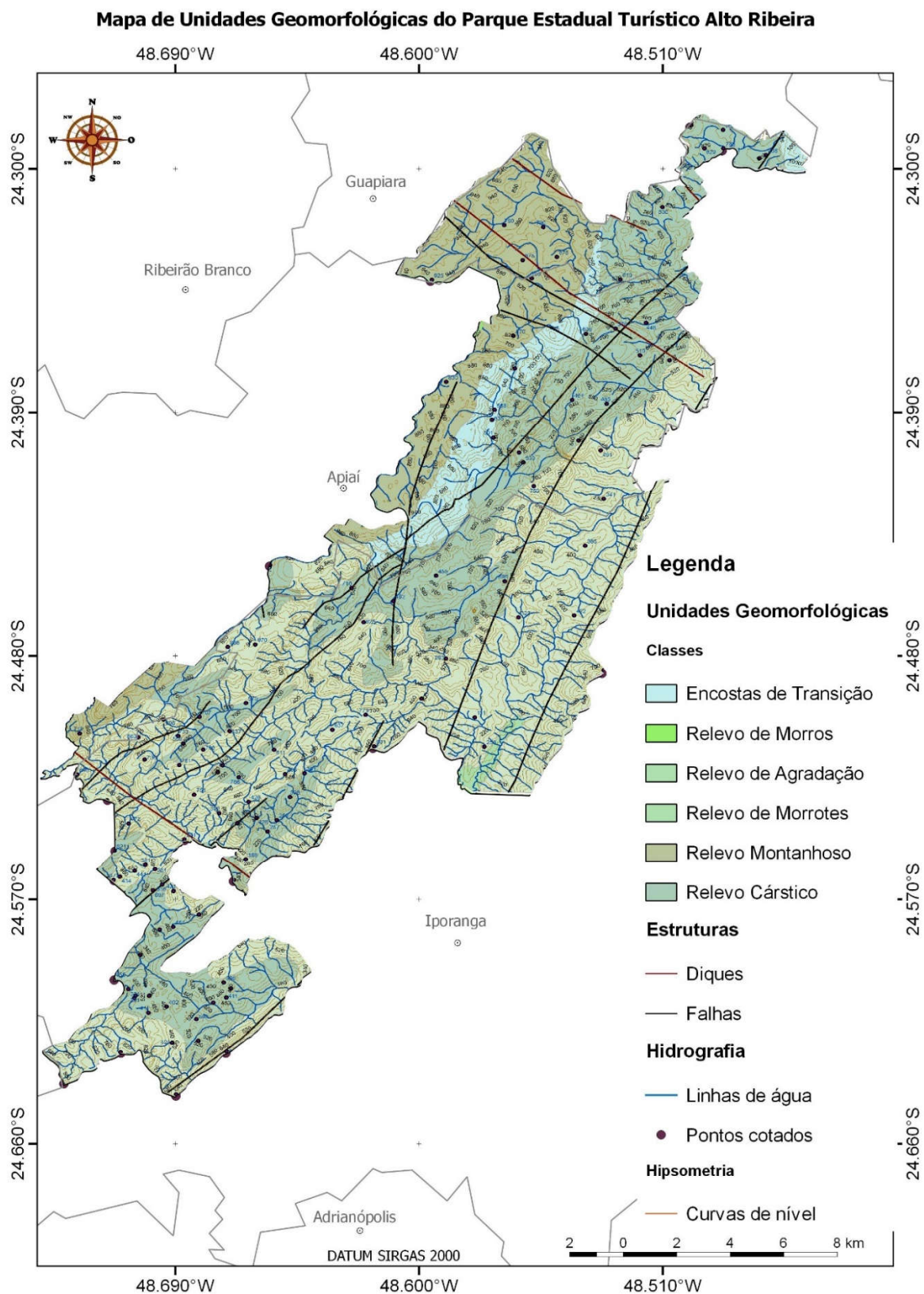


Figura 10. Mapa de Unidades Geomorfológicas do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP, (2013) baseado em Ross (2002).

Quadro 4. Províncias e Zonas e Unidades Geomorfológicas identificadas no PETAR e arredores, adaptado de CBH-SP, (2013) baseado em Ponçano et al. (1981) e Ross (2002).

Províncias e Zonas e Subzonas Geomorfológicas			Unidades Geomorfológicas	Descrição das Unidades Geomorfológicas
Unidade Fisiográfica	Zonas	Subzonas		
Província Costeira	Serrania Costeira	Serrania Ribeira	Encostas de Transição	Escarpas desfeitas em anfiteatros separadas por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, vales fechados.
			Relevo Montanhoso	Topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptos. Drenagem de alta densidade, vales fechados.
			Relevo de Morros	Topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptos, presença de serras restritas. Drenagem de alta densidade, planícies aluvionares interiores restritas.
			Relevo de Agradação	Terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios. Terraços Fluviais - terrenos horizontais ou levemente inclinados, junto às margens dos rios alçados de poucos metros em relação às margens.
		Planaltos Interiores ou Planalto Cárstico do Vale do Ribeira	Relevo Cárstico	Topos arredondados a angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de média densidade, vales fechados. Presença de sumidouros, cavernas e dolinas.
Planalto Atlântico	Planalto da Guapiara		Relevo de Morrotes	Relevo ondulado, onde predominam amplitudes locais menores que 50m. Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, vales fechados a abertos, planícies aluviais interiores restritas.

Os Planaltos Interiores (residuais) ou Planalto Cárstico do Vale do Ribeira, formado pelo Planalto do Lajeado e Planalto Sumidouro do Ribeirão Temimina, representa a unidade de relevo cárstico da região, caracterizada por relevos de morros em área de sumidouros e morrotes, interpretados como uma antiga superfície de aplainamento. Nessa unidade ocorrem amplitudes altimétricas entre 500 e 800 metros (Fundação Florestal op. cit.). Os morros e morrotes cársticos tem seu desenvolvimento associado a rochas metacalcárias das formações Bairro da Serra e Mina de Furnas. Comumente, estão associados a feições cársticas, como dolinas, cavernas, *poljes* e *lapiés*. Os relevos cársticos encontram-se isolados devido a processos de soerguimento e dissecação fluvial, que ocorreram durante o Terciário e Quaternário (Fundação Florestal p.138; Theodorovicz, 2014).

3.4. Clima

De acordo com Monteiro (1973) a região do PETAR está situada na zona climática subtropical permanente úmida, controlada por massas tropicais e polares marítimas. Nessa zona climática, a Massa Polar Atlântica atua por mais tempo (60%), comparada com a Massa Tropical Atlântica (40%). O período mais chuvoso e mais quente ocorre entre os meses de outubro a abril, enquanto o período mais seco é entre os meses de maio a setembro.

A pluviosidade média anual na região do parque é de 1500 mm. As temperaturas médias anuais variam de acordo com as unidades climáticas regionais. No município de Apiaí, inserido no Planalto da Guapiara, a temperatura média anual é de 18°C. No Bairro da Serra, Serrania Ribeira, a temperatura média anual é de 20°C. A região do baixo vale do Ribeira (zona da Baixada Costeira ou alto da Serra do Mar) tem temperatura média de 24°C (Karmann, 1994; Ferreira, 2014).

3.5. Recursos hídricos

O PETAR está inserido na bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e do Litoral Sul (UGRHI 11). Esta unidade de gerenciamento localiza-se ao sul do estado de São Paulo. Limita-se com a bacia hidrográfica do Ribeira no estado do Paraná (a sudoeste) e as bacias do Alto Paranapanema, Tietê/Sorocaba (ao norte), Alto Tietê, Baixada Santista (a nordeste) e ao Oceano Atlântico (a leste), no estado de São Paulo. Possui uma área total (incluindo a porção no estado do Paraná) de 25.681 km². A bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, no estado de São Paulo, é dividida de acordo com a área de drenagem em sub-bacias. São elas: Alto Juquiá, Baixo Ribeira, Itariri, Ribeira de Iguape, Vertente Marítima

Norte e Vertente Marítima Sul. Os municípios de Iporanga e Apiaí, que compõem o parque, localizam-se na sub-bacia do Baixo Ribeira (Figura 11) (CBH-RB, 2013).

A área do parque localiza-se na margem esquerda do médio a alto curso do rio Ribeira e é drenada pelas bacias dos rios Betari, Iporanga e Pilões (Figura 12), os quais tem nascente na borda do Planalto da Guapiara (Planalto Atlântico), nas cotas entre 900 e 1000 metros, atingindo o rio Ribeira entre 70 e 80 metros, próximo à cidade de Iporanga. Essas bacias drenam a Serraria do Ribeira, deste modo, os rios apresentam vales encaixados e perfis longitudinais de alto a médio gradiente, localmente encachoeirados (Karmann, 1994; Karmann e Ferrari, 2002 p.402).

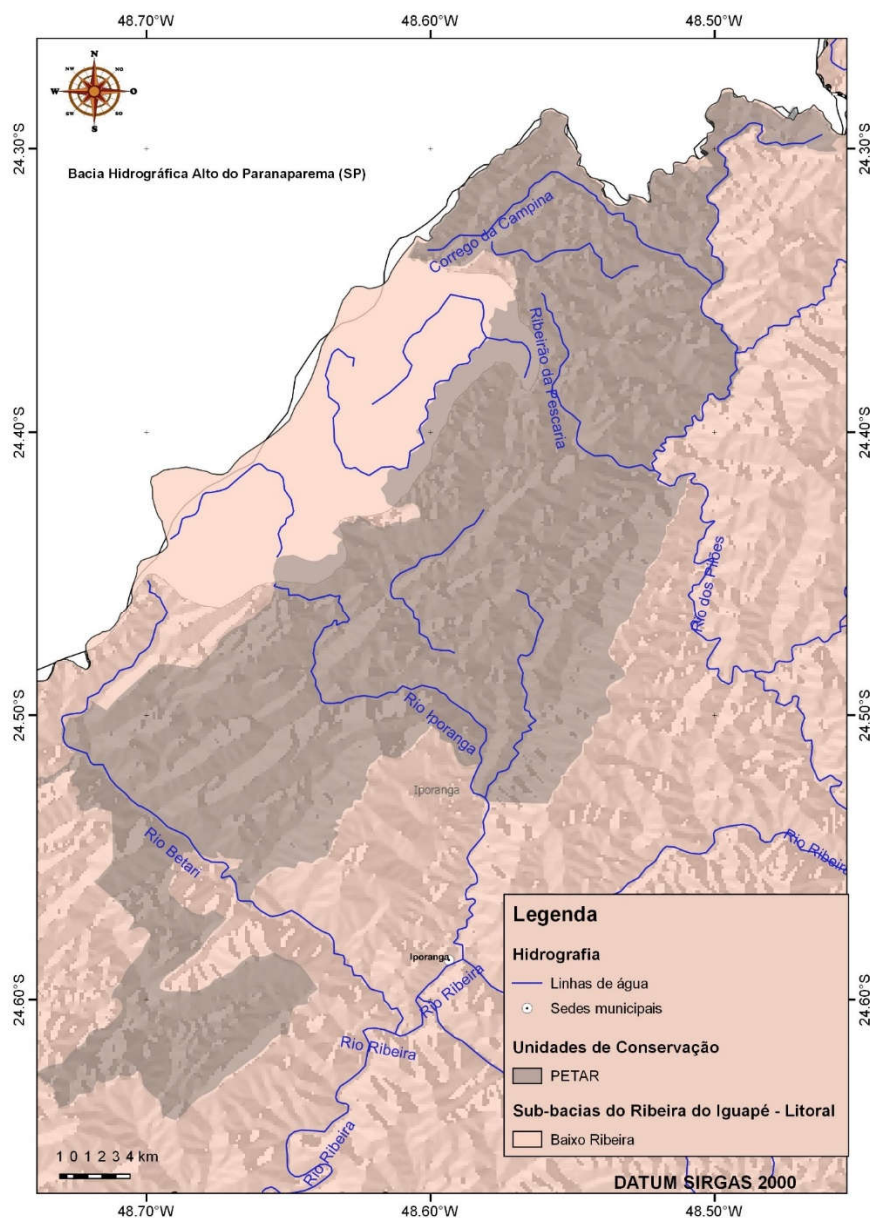


Figura 12. Mapa de rede hidrográfica do PETAR. Adaptado de Karmann e Ferrari (2002).

3.6. Província Espeleológica do Vale do Ribeira

A Província Espeleológica do Alto Ribeira, definida por Karmann e Sánchez (1979) (subcapítulo 3.2.2.1), localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo. A província é composta por três faixas de rochas carbonáticas: Itaiacoca (noroeste), Lajeado (central) e André Lopes (sudeste), inseridas no Terreno Apiaí da Faixa Ribeira (Karmann, 1994). A região de estudo encontra-se na faixa Lajeado.

Segundo Karmann (op cit.) a faixa carbonática Lajeado, está limitada, a noroeste, pelo Lineamento Quarenta Oitavas e, a sul, pelo Lineamento da Figueira. Abrange os municípios de Apiaí,

Iporanga, Itaoca, Eldorado, Guapiara e Capão Bonito. Em termos litológicos, essa faixa é composta por metacalcários dolomíticos, metacalcários magnesianos e metacalcários.

Os terrenos cársticos que integram a faixa carbonática Lajeado, de acordo com Karmann e Ferrari (2002) tem gradientes hidráulicos muito altos. A superfície cárstica encontra-se rebaixada em relação às rochas pelíticas, psamíticas e graníticas. Esta característica condiciona sistemas cársticos de recarga mista, com importante recarga alóctone em relação à recarga autóctone.

As principais feições de relevo cárstico na faixa Lajeado foram descritas por Karmann (1994) como carste poligonal, cones e cânions cársticos, vales fluviais profundos, sistemas de drenagem subterrânea integrada a “sistemas” de cavernas e grande variedade morfológica espeleotemas.

3.6.1. Cavidades Cársticas

Na região do PETAR as principais feições cársticas são as cavidades (cavernas), tendo sido identificadas 483 cavidades na área do parque e arredores (CNC/SBE, 2017). Tal motivo se deve à existência de condições favoráveis para a formação de relevo cárstico: (i) rochas carbonáticas da faixa Lajeado, que abrange as Formações Bairro da Serra, Mina de Furnas e Passa Vinte, e com composições distintas de CaO e MgO e variações nas composições siliciclástica (Sallun Filho; 2009); (ii) fluxo de água subterrânea, em geral, concentrado em zonas de fraturas e planos estratificados; (iii) desníveis de relevo, com pontos de insurgência e ressurgência da água subterrânea; (iv) clima favorável, com índices pluviométricos suficientes para recargas das linhas de água subterrânea (Fundação Florestal, 2010).

A sistematização do número e localização das cavernas do PETAR e seu entorno foram feitas durante a elaboração do plano de manejo do parque. Estão registradas 483 cavidades, das quais 77 cadastradas com *datum* no cadastro do Cadastro Nacional de Cavernas CNC-SBE (Sociedade Brasileira de Espeleologia); 217 cadastradas sem *datum* no CNC-SBE; 89 cavidades sem coordenadas geográficas; 62 cavidades identificadas durante os trabalhos de campo do Plano de Manejo do parque; 38 cavidades identificadas pelo grupo espeleológico Bambuí, mas, não cadastradas no CNC-SBE (Fundação Florestal, 2010).

De acordo com o mapeamento de cavernas compilado pelo comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Ribeira e Litoral Sul (ano 2013), em escala 1: 1.000.000, 219 cavidades estão inseridas na faixa carbonática Lajeado. Essas cavidades estão distribuídas na zona dos mármore e contato geológico de acordo com a Figura 13.

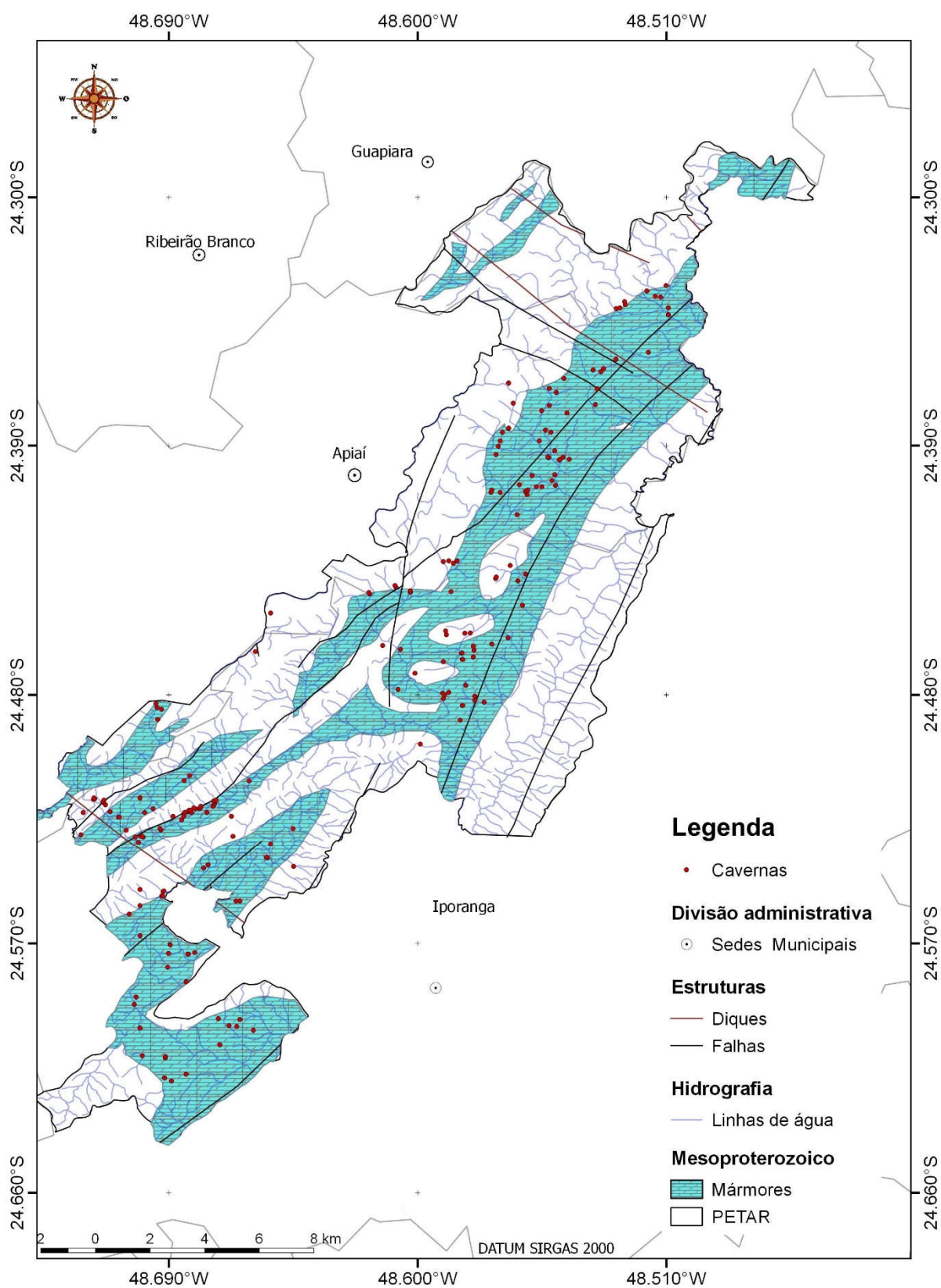


Figura 13. Distribuição das cavidades cársticas na faixa carbonática Lajeado na área do PETAR.

3.7. Biodiversidade

O PETAR está inserido no Continuo Ecológico de Paranapiacaba. Este continuo tem cerca de 120.000 ha de florestas e é composto por diferentes áreas protegidas que se constituem zonas núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (declarada pela UNESCO no ano de 1995) e também incluída em 2000 na Lista de Patrimônio Mundial da UNESCO (Fundação Florestal, 2010).

A Mata Atlântica é cientificamente denominada de Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica de Encostas, caracterizada por: elevada diversidade florística, endemismo de espécies, árvores com até 30 metros de altura, corpo florestal denso com copas contínuas, ambiente interno sombreado e abafado (Santos, 2004). Segundo Ivanauskas et al. (2012) apenas no sudoeste do estado de São Paulo e noroeste do estado do Paraná ocorre o desenvolvimento da Mata Atlântica em regiões cársticas. Os solos originados nessas regiões são rasos, ricos em cálcio e magnésio, tornando-os mais férteis. Somados às condições do clima regional, com altas umidade e temperatura, é favorecido o desenvolvimento da floresta.

A Mata Atlântica encontra-se mais bem preservada em regiões de escarpas. Nessas áreas concentram-se a maior quantidade e diversidade de espécies. No ano de 2009, haviam sido compilados por Stehmann et al. (2009) cerca de 15.800 espécies de plantas vasculares na Mata Atlântica *lato sensu*. Os resultados obtidos pelos autores, representavam cerca 5% da flora mundial reconhecida (300.000 espécies). Em estudos específicos de fitofisionomia existentes no PETAR, Ivanauskas et al. (2012) registraram 680 espécies de plantas nativas pertencentes a 357 gêneros e 120 famílias, das quais 40 espécies foram consideradas com risco de extinção. Registraram-se 44 espécies de plantas exóticas. Esses autores ressaltam que a identificação de espécies em extinção em uma área protegida representa um indicador da importância dessas áreas para a manutenção da biodiversidade desse ecossistema brasileiro.

A quantidade e diversidade de tipos de vegetação propiciam o desenvolvimento de diferentes grupos de animais como, aves, peixes, répteis e mamíferos de médio e grande porte. Durante a elaboração do plano de manejo foram inventariados os diferentes tipos de fauna presentes no PETAR e região. Foram registradas 67 espécies de peixes, dentre as quais destaca-se o “bagre-cego”, que ocorre em uma área muito restrita no parque, no sistema de cavernas Grutas Areias I e II (sítio da geodiversidade 4.1.17). Foram registrados 60 espécies de anfíbios e 31 répteis, decorrentes da diversidade de habitats. Registrou-se cerca de 300 espécies de aves e 115 espécies de mamíferos na região do parque (Fundação Florestal, 2010).

A biodiversidade da Mata Atlântica, que ocorre no PETAR e região, inclui muitas espécies (conhecidas popularmente) como o Bugio-marrom, Bugio-ruivo, Mico-leão-dourado, Onça-pintada e a Jacutinga, que estão listadas no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Segundo a publicação do Instituto Chico Mendes de Conservação de Biodiversidade (ICMBio) no ano de 2016 são listadas 598 espécies, das quais 428 são endêmicas no Bioma Mata Atlântica. Dentre os principais fatores na redução da riqueza da biodiversidade encontra-se a redução de habitats e a expansão urbana nas áreas desse Bioma.

3.8. Estrutura de visitação e uso público no PETAR

Desde 2007 que a gestão do PETAR está sob responsabilidade da Fundação Florestal do Estado de São Paulo, sendo a sede administrativa do parque no município de Apiaí. O parque é dividido em quatro núcleos administrativos: Santana, Ouro Grosso, Caboclos e Casa de Pedra. Em cada núcleo, exceto Casa de Pedra, existem estruturas de visitação (como banheiros, pontos de controle de entrada/saída de cavernas, etc.). Para além dos núcleos, no interior do parque existem bases destinadas à fiscalização e apoio das atividades de pesquisa e uso público. Atualmente, existem quatro bases no parque: Temimina, Areado, Capinzal e Bulha d'Água (Fundação Florestal, 2010).

O núcleo Santana localiza-se a 24 km de Apiaí e a 17 km de Iporanga. Este núcleo recebe o maior número de visitantes do parque e é o que se encontra mais bem estruturado com centro de interpretação ambiental, estrutura de acesso aos mirantes e ponto de controle de acesso aos atrativos do núcleo. Neste núcleo localizam-se os sítios geológicos caverna Santana, Morro Preto e Couto, Cafezal, Água Suja e as cachoeiras Andorinhas e Beija-flor (Fundação Florestal, 2010).

O núcleo Ouro Grosso localiza-se a 28 km de Apiaí e a 13 km de Iporanga. Este núcleo é o único do parque que tem estrutura de alojamento para grupos de visitantes com mais de 50 pessoas. Além disso, centraliza os eventos que ocorrem no parque e as reuniões administrativas do conselho consultivo. Os sítios geológicos caverna Ouro Grosso, Alambari de Baixo e a trilha da Figueira são os principais atrativos do núcleo (Fundação Florestal, 2010).

O núcleo Caboclos, localizado a 45 km de Apiaí e a 87 km de Iporanga, foi o primeiro a ser implantado no PETAR e a ser administrado pelo Instituto Geológico de São Paulo, mesmo antes do decreto de criação do parque. Este núcleo é o único local do parque com área de camping (Fundação Florestal, 2010). Neste núcleo, dentre outros atrativos, estão os sítios geológicos cavernas Temimina I e

II, Gruta do Chapéu, grutas Mirim I e II, gruta Aranhas e um dos acessos para a visita à caverna Casa de Pedra.

Finalmente, o núcleo Casa de Pedra está localizado a 10 km de Iporanga e a 52 km de Apiaí. Neste núcleo não há estrutura de visitação, mas antes uma base de fiscalização do parque (Temimina). O geossítio caverna Casa de Pedra localiza-se neste núcleo do parque.

Em relação ao uso público, as atividades de visitação no PETAR tiveram início no final da década de 1950 no núcleo Caboclos e na década de 1970 teve início a visitação na caverna Santana. Na década de 1980, após a criação dos núcleos Santana e Ouro Grosso e a realização de obras de infraestrutura, a caverna Santana passou a ser regularmente visitada. Durante a década de 1990 houve um aumento significativo da visitação no parque. O Gráfico 1 apresenta o número de visitantes no parque entre os anos de 1999 e 2007 e no período entre 2013 e julho de 2016 (dados mais recentes). Cabe ressaltar que, por determinação do Ministério Público, o PETAR teve suas atividades encerradas entre os anos de 2008 e 2009 por falta do plano de manejo do parque e do plano de manejo espeleológico para as cavernas abertas à visitação (Lobo, 2011).

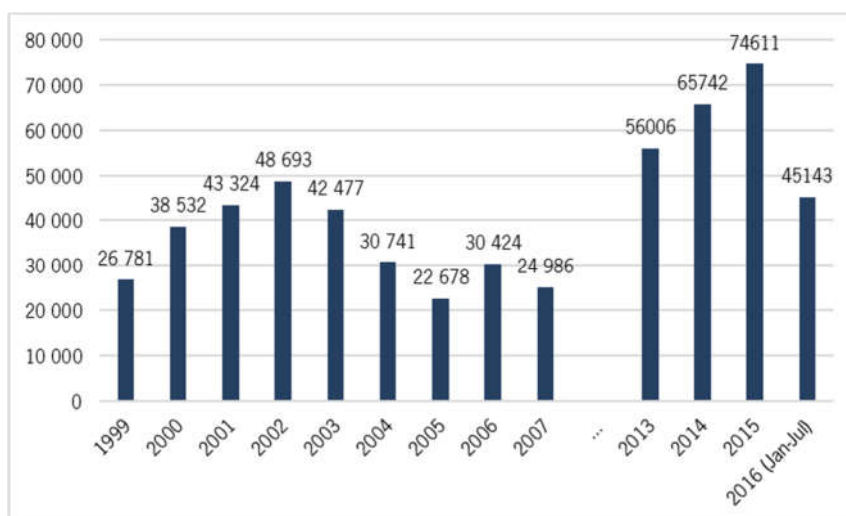


Gráfico 1. Fluxo de Visitação no PETAR entre 1999 e 2007; 2013 e 2016. Fonte dos dados Fundação Florestal (2017).

O controle do uso público no PETAR concentra-se, majoritariamente, nos núcleos Santana e Ouro Grosso. Ambos os núcleos dispõem de melhores acessos e infraestrutura de visitação. Atualmente são estes os núcleos mais visitados no parque. Entre os anos de 2013 e julho/2016 o núcleo Santana recebeu 184452 visitantes, o que representa 78% de toda a visitação no PETAR. O núcleo Ouro Grosso contou com 47071 visitantes, ou seja, 20% do total de visitantes no parque, conforme apresentado no Gráfico 2.

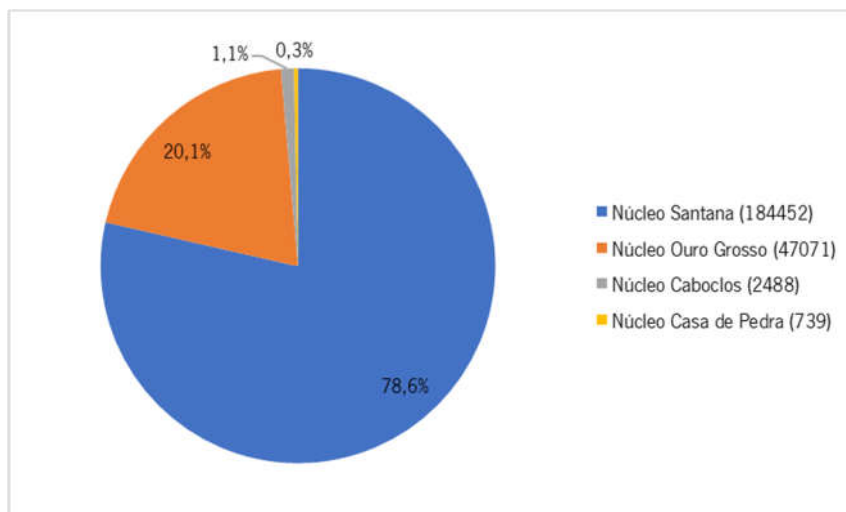


Gráfico 2. Visitação nos núcleos administrativos do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).

No ano de 2008, a partir das atividades para a elaboração do plano de manejo espeleológico para as cavernas da região do Vale do Ribeira, o parque passou a ter o controle diário de visitantes (Lobo, 2011; Lobo et al., 2015). Os gráficos 3 a 5 apresentam os dados de visitação entre o período de 2013 a julho de 2016, para os núcleos Santana, Ouro Grosso e Caboclos. Durante este período, os atrativos mais visitados nos respectivos núcleos são: Caverna Santana, Ouro Grosso e Caverna Temimina (ou Temimina I e II). No núcleo Casa de Pedra a visitação ao pórtico da caverna Casa de Pedra (a partir do núcleo Casa de Pedra) totalizou 885 visitantes entre 2013 e 2016.

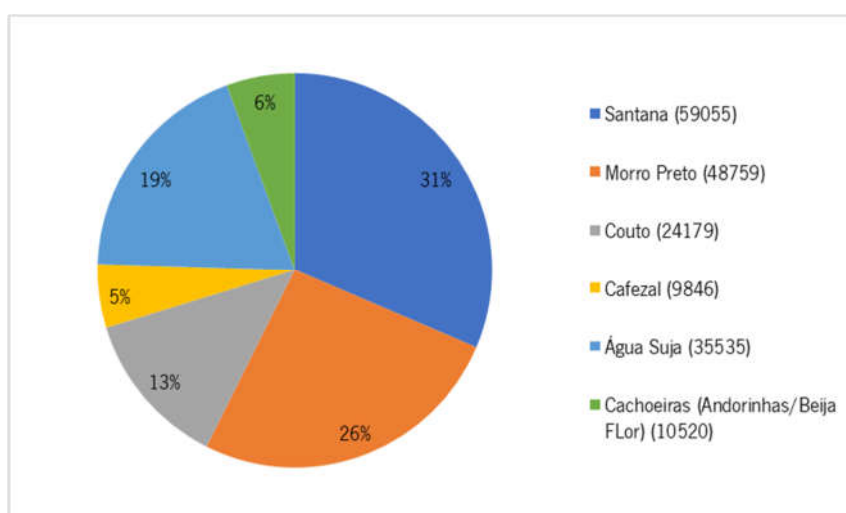


Gráfico 3. Visitação dos atrativos no núcleo Santana do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).

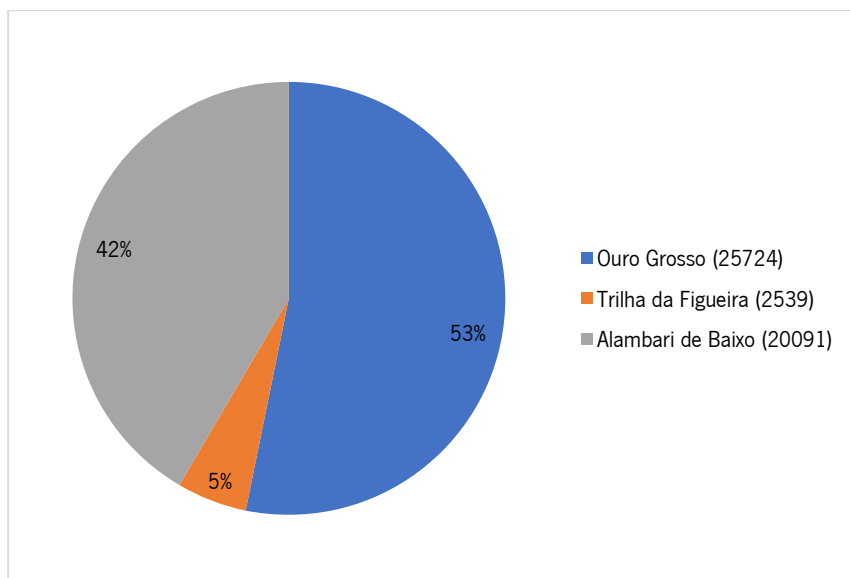


Gráfico 4. Visitação dos atrativos no núcleo Ouro Grosso do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).

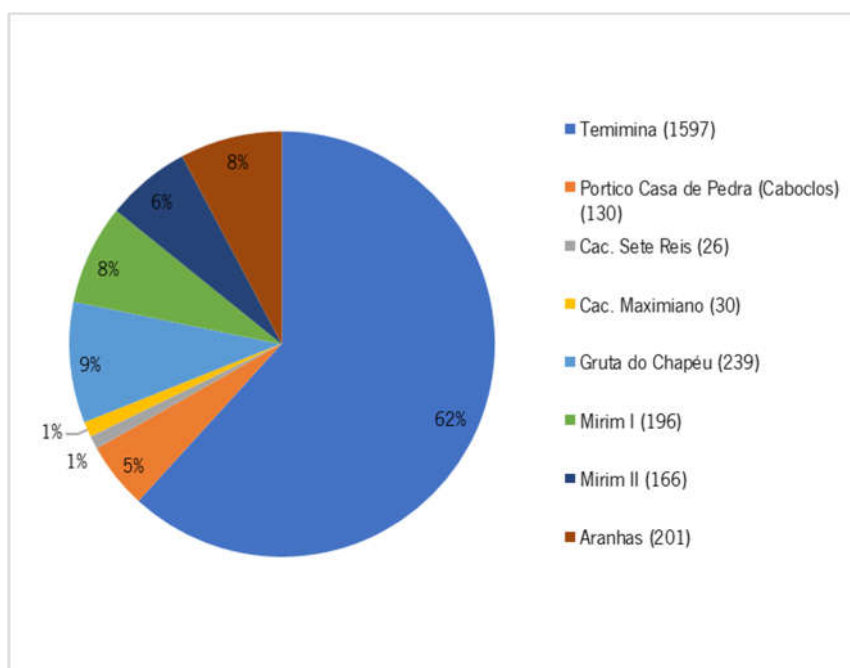


Gráfico 5. Visitação dos atrativos no núcleo Caboclos do PETAR entre 2013 e 2016. Fonte dos dados: Fundação Florestal (2017).

4. INVENTÁRIO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS NO PETAR

O inventário e a avaliação quantitativa de sítios geológicos correspondem às etapas iniciais de uma estratégia de geoconservação. O inventário de sítios geológicos corresponde à identificação, seleção e caracterização sistemática dos elementos da geodiversidade que se pretende proteger. A avaliação quantitativa permite uma diminuição na subjetividade inerente ao processo de avaliação e o estabelecimento da prioridade de gestão do conjunto de sítios avaliados (Brilha, 2005, 2016).

O inventário de sítios geológicos no PETAR e arredores foi realizado considerando os principais aspetos relacionados à história geológica regional (apresentada no capítulo 3). A avaliação quantitativa destes sítios (apresentada em 4.2) foi feita por meio do Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade (GEOSSIT), que consiste em um aplicativo destinado para o inventário, avaliação qualitativa e quantitativa de sítios geológicos, do Brasil. O aplicativo foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM baseado originalmente na metodologia de Brilha (2005) e Garcia-Cortés et al. (2009). Posteriormente, o aplicativo foi atualizado passando a adotar a metodologia de Brilha (2016) com adaptações de critérios necessárias para o cenário brasileiro (GEOSSIT, 2017).

Os métodos usados para a realização do inventário envolveram o levantamento bibliográfico, realização de trabalho de campo, caracterização e avaliação dos sítios geológicos (descritos anteriormente no subcapítulo 1.3). A partir da análise dos resultados obtidos na avaliação quantitativa foi estabelecida uma ordenação global dos sítios geológicos do PETAR e arredores. O levantamento bibliográfico permitiu selecionar 45 sítios potenciais. Posteriormente, o trabalho de campo levou a que 18 destes sítios fossem descartados por razões diversas como: a dificuldade de acesso, por se tratar de locais fechados a visitação e pela distância em que se encontram do limite proposto para área de trabalho. No final, o inventário consta de 27 sítios geológicos, descritos sucintamente em 4.1.

4.1. Sítios Geológicos

A localização dos sítios geológicos inventariados no PETAR e arredores é apresentada na Figura 14 (Anexo 4). A caracterização destes sítios foi organizada em fichas preparadas para o efeito, integrando os seguintes tópicos: (i) nome do sítio: identificação atribuída a cada sítio geológico; (ii) nome geográfico local: corresponde ao nome pelo qual o sítio geológico é conhecido popularmente; (iii) localização: identificação da região ou bairro; localização geográfica: coordenadas geográficas (cabe ressaltar que corresponde ao ponto de entrada em cavernas, quando for o caso); (iv) acessibilidade; (v) tipo: área/ponto/seção/percurso/mirante; (vi) dimensão; (vii) regime da propriedade: pública ou privada; (viii)

regime de proteção: inserido ou não em uma área protegida (UC); (ix) elementos (geológicos) principais de interesse; (x) contexto geológico; (xi) uso potencial: científico, educativo e/ou turístico), (xii) limitações ao uso e (xiii) outras informações. Finalmente, para cada sítio geológico é apresentado o registro fotográfico.

Mapa de Sítios Geológicos Inventariados

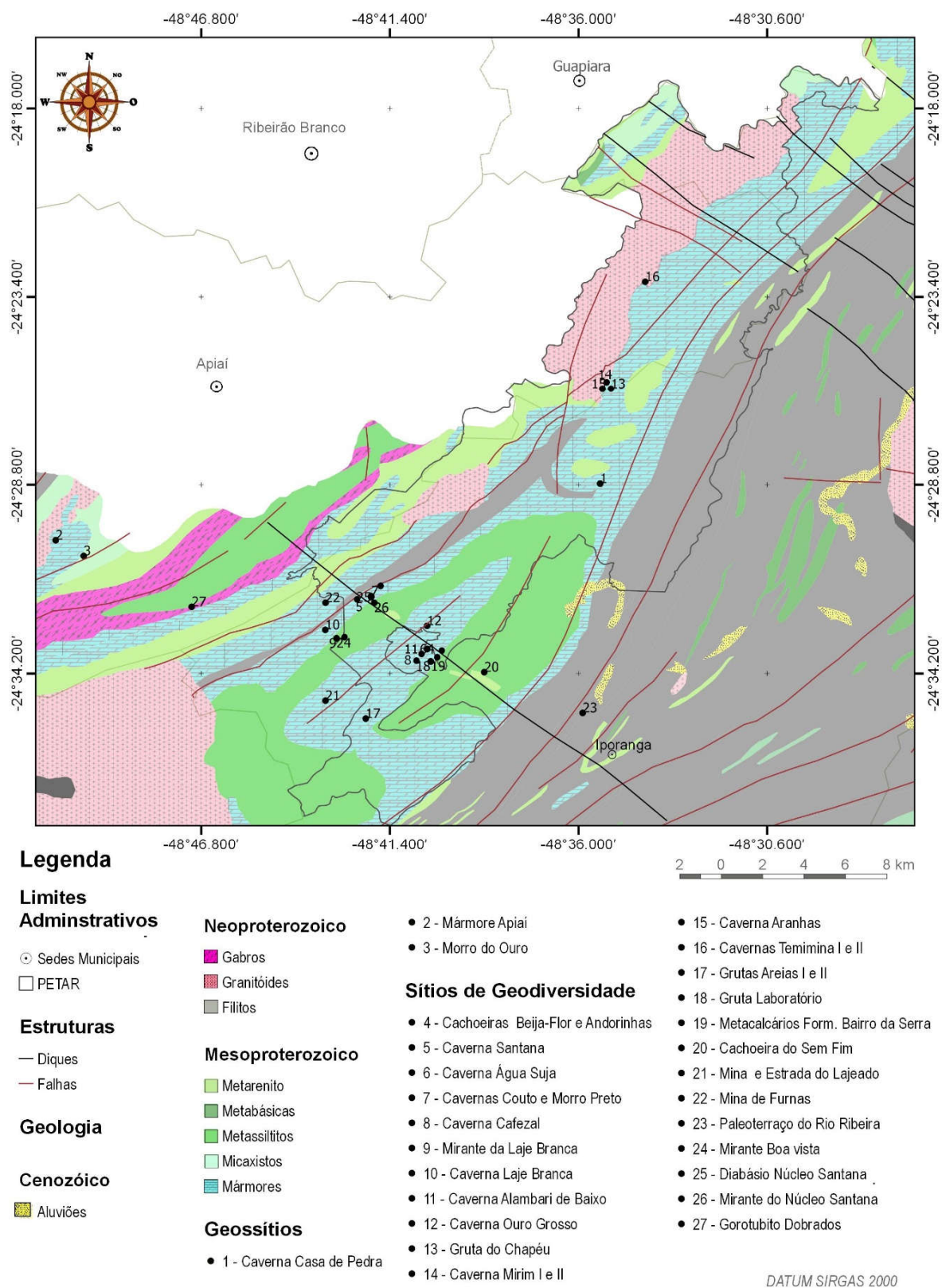


Figura 14. Mapa geológico com a localização dos sítios geológicos na região de estudo.

4.1.1. Diabásio Núcleo Santana

Nome do sítio: Diabásio do Núcleo Santana	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Gruta do Magote	Latitude: 24° 32' 00.7" S
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Longitude: 48° 41' 56.3" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 251 m
Acessibilidade: A partir do quiosque de visitantes do Núcleo Santana são percorridos cerca de 30 m até ao início da trilha do Betari que dá acesso a este sítio e às cavernas do Núcleo Santana (Figura 15 A e B).	
Tipo: Ponto	
Dimensão: O afloramento tem cerca de 2 m².	
Regime de Propriedade: Pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Diabásio sob forma de matacões de grandes dimensões (Figura 15 C e D).	
Contexto geológico: O diabásio do Núcleo Santana é uma rocha formada durante o magmatismo fissural relacionado à fragmentação do Supercontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico durante o Jurássico Superior/Cretáceo Inferior (Hasui, 2010; Theodorovicz, 2014) (capítulo 3.1.2.3).	
Uso potencial: Educativo e turístico.	
Limitações ao uso: Necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: Durante a visita guiada com grupos escolares o local é usado na prática de “introdução à visita de cavernas”. Durante as atividades os participantes são incentivados a entrar entre dois grandes matacões (que lembram a entrada de uma caverna) e são passadas orientações básicas sobre os procedimentos de segurança em cavernas, e uso de equipamentos obrigatórios (capacete e lanternas). O local possui infraestrutura (quiosque, que serve como abrigo e banheiros) e uma placa com uma breve descrição da trilha do Betari (Figura 15 A e B).	

A**B****C****D**

Figura 15. Sítio geológico Diabásio do Núcleo Santana. A) e B) Início da trilha do Betari, local de acesso às cavernas do Núcleo Santana. C) e D) Afloramento de diabásio sob forma de matacões, conhecido localmente como Gruta dos Magotes.

4.1.2. Mirante do Núcleo Santana

Nome do sítio: Mirante do Núcleo Santana

Localização geográfica:

Nome geográfico local: Mirante da Santana

Latitude: 24° 32' 10.6" S

Localização: Núcleo Santana - PETAR

Longitude: 48° 41' 50.8" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 390 m

Acessibilidade: 700 m do centro de visitantes do Núcleo Santana do PETAR.

Tipo: Mirante

Dimensão: O mirante tem uma área com cerca de 3m² (Figura 16 B e C).

Regime de Propriedade: Pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Morfologia cárstica (relevo cárstico em cone) e alinhamento do Vale do Betari.

Contexto geológico: A configuração geológica e geomorfológica regional estão associadas à tectônica colisional durante o Ciclo Brasileiro (capítulo 3.1.1) e à tectônica fanerozoica (capítulo 3.1.2.3), responsável pela formação (quase) retilínea do vale do Betari. As rochas carbonáticas da região sofrem intensa ação erosiva do rio Betari. O entalhamento fluvial captou os carbonatos e os condutos subterrâneos, que são orientados na direção NW-SE, culminando na formação de nascentes cársticas alinhadas, que constituem os principais afluentes do rio Betari (Karmann, 1994). O Vale do Betari está condicionado a uma fratura, com direção NW-SE, aberta nos primeiros estágios de fragmentação do Supercontinente Gondwana (Theodorovicz, 2014). Durante o processo de entalhamento vertical foram produzidas escarpas escalonadas e encostas de alto ângulo, com desníveis de até 80 m (Karmann, 1994) (Figura 16 A).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: Necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.

Outras informações: O local possui boa infraestrutura (escadas de alvenaria) e local para estacionar veículos (Figura 16 B e C).

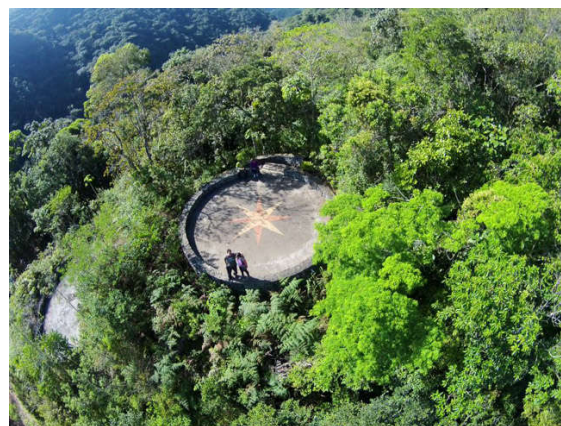
A**B****C**

Figura 16. Sítio geológico Mirante do Núcleo Santana. A) Vista a partir do mirante Santana, onde se pode observar feições do relevo cárstico (morfologia em cone). B) Estrutura do mirante do Núcleo Santana. C) Vista aérea do mirante (Foto: Júnior Petar).

4.1.3. Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas

Nome do sítio: Cachoeiras Beija-flor e

Andorinhas

Nome geográfico local: Cachoeiras

Betarizinho e Andorinhas

Localização: Núcleo Santana - PETAR

Município: Iporanga - SP

Localização geográfica:

Latitude: 24° 33' 29.9" S

Longitude: 48° 40' 20.1" W

Elevação: 318 m

Acessibilidade: As cachoeiras localizam-se no Núcleo Santana do PETAR com acesso pela trilha do Betari, 3,7 km desde o centro de visitantes do parque.

Tipo: Área

Dimensão: 700 m²

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: A cachoeira das Andorinhas tem uma queda de aproximadamente 30 m de desnível e a cachoeira do Beija-flor tem aproximadamente 50 m de desnível (Figura 17 A e B). Ambas foram entalhadas em metacalcários da Formação Bairro da Serra. Segundo Ferreira (2014), as duas cachoeiras tiveram origem associada a um conjunto de fraturas subverticais, contudo, não foi possível confirmar a existência destas fraturas.

Contexto geológico: no sítio geológico estão expostas rochas da Formação Bairro da Serra, uma das unidades carbonáticas do Subgrupo Lajeado. Essa formação é composta principalmente por mármore e minoritariamente por metacalcários, metacalcilutitos e metarritmitos. Essas rochas apresentam feições indicativas de sedimentação de correntes turbidíticas de baixa concentração, ou depósitos pelágicos-hemipelágicos (apresentado no subcapítulo 3.2.2.1).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso. Durante o percurso da trilha são necessárias 4 travessias no rio Betari.

Outras informações: Nada a registrar.



Figura 17. Sítio geológico Cachoeiras Andorinhas e Beija-flor. Aspecto geral das cachoeiras Andorinhas (A) e Beija-flor (B).

4.1.4. Caverna Santana

Nome do sítio: Caverna Santana	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Caverna Santana	Latitude: 24° 32' 00.7" S
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Longitude: 48° 41' 56.3" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 275 m
Acessibilidade: O acesso é feito por um percurso de 100 m a partir do quiosque de visitantes do Núcleo Santana.	
Tipo: Área	
Dimensão: A caverna Santana tem 8540 m de extensão (SBE, 2014), porém, apenas 486 m são abertos à visitação.	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Diversidade de espeleotemas como estalactites, estalagmites, cortinas, colunas e represas de travertino (Figura 18 B a F).	

Contexto geológico: A caverna Santana é formada em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3). De acordo com Karmann (1994) a caverna representa a ressurgência do rio Roncador, principal afluente do sistema cárstico Pérolas-Santana. O sistema cárstico Pérolas-Santana é caracterizado por uma faixa de rochas metassedimentares, com direção NE-SW, e uma área de 27,5 km². Esta caverna possui grande variedade de espeleotemas em função da quantidade e variedade minerais, tais como: aragonita, calcita, celestita, gipsita, dentre outros (Lobo, 2011). Destaca-se o salão das Flores como um dos mais ornamentos da caverna, com a presença de “flores” de aragonita (Figura 18 F).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.

Outras informações: Nada a registrar.

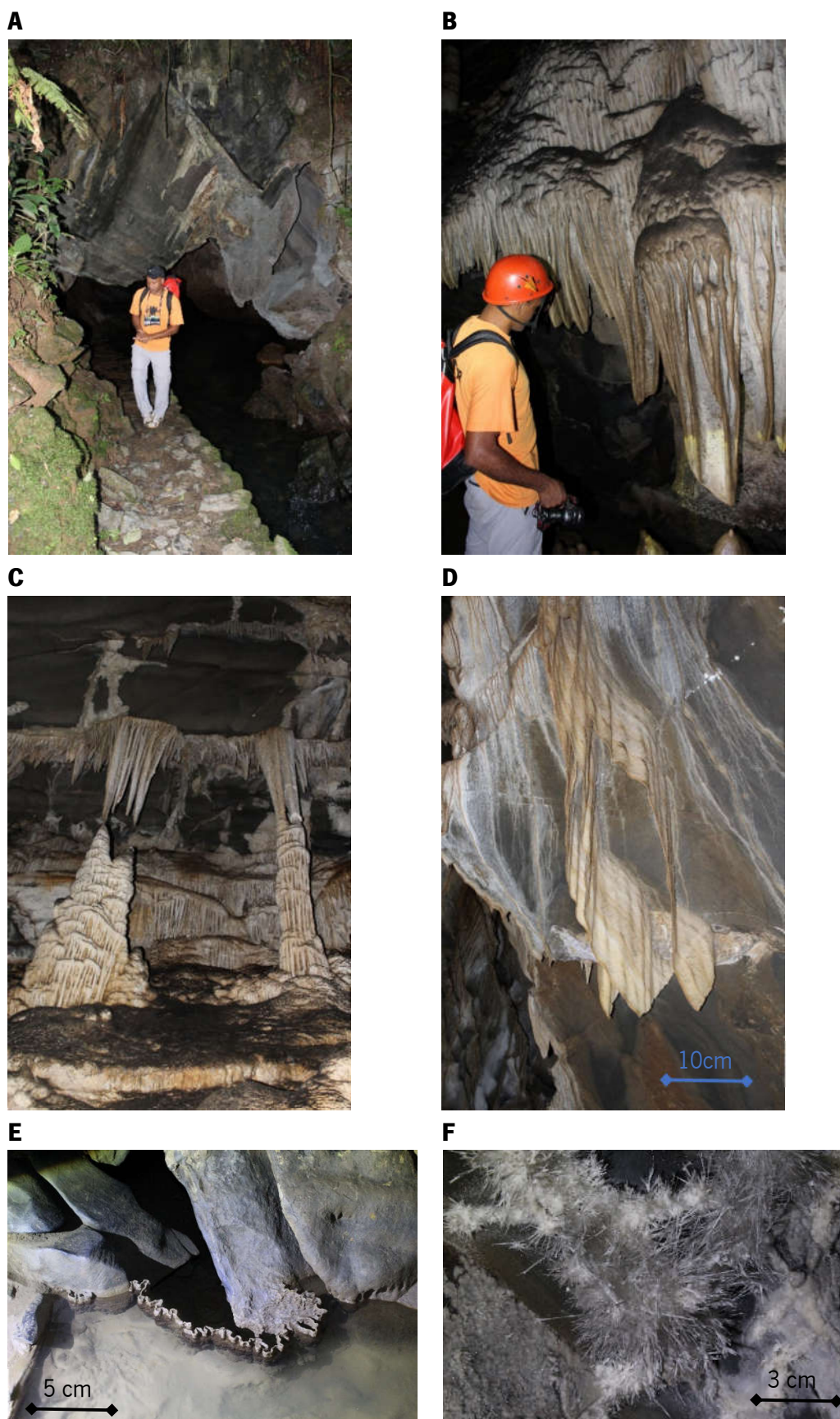


Figura 18. Sítio geológico Caverna Santana. A) Entrada principal da caverna Santana. B) a F – Diversidade de espeleotemas: estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, represa de travertino e flor de aragonita.

4.1.5. Caverna Água Suja

Nome do sítio: Gruta da Água Suja	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Caverna Água Suja	Latitude: 24° 33' 29.9" S
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Longitude: 48° 40' 20.1" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 272 m
Acessibilidade: O acesso à caverna é feito pela trilha do Betari, 1,3 km desde o quiosque de visitantes do Núcleo Santana. Durante o percurso é necessária a travessia do rio Betari.	
Tipo: Área	
Dimensão: A caverna tem 2985 metros de extensão. O percurso turístico é feito apenas em 800 m a partir da entrada.	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: O percurso na caverna acompanha o rio (córrego) Água Suja (Figura 19 A e B). Ao longo do percurso, observa-se um conjunto de estalactites no trecho de ligação entre as galerias do rio e a galeria de cima, denominada “Água suja de Cima” (Figura 19 C). Além disso, ao que se refere a aspectos geomorfológicos, observam-se cânions, aos aspectos estruturais observa-se bandamento composicional do calcário, e aos aspectos tectônicos dobras, falhas. Observam-se ainda depósitos sedimentares, em geral, conglomeráticos com diferentes níveis de maturidade e seleção (Figura 19 D). No final do percurso observa-se uma cachoeira subterrânea, com cerca de 30 m de altura.	
Contexto geológico: A caverna Água Suja está inserida na Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3).	
Uso potencial: Educativo e turístico.	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: No acesso (trilha do Betari) existe sinalização sobre a distância, grau de dificuldade e tempo necessário para fazer o percurso.	

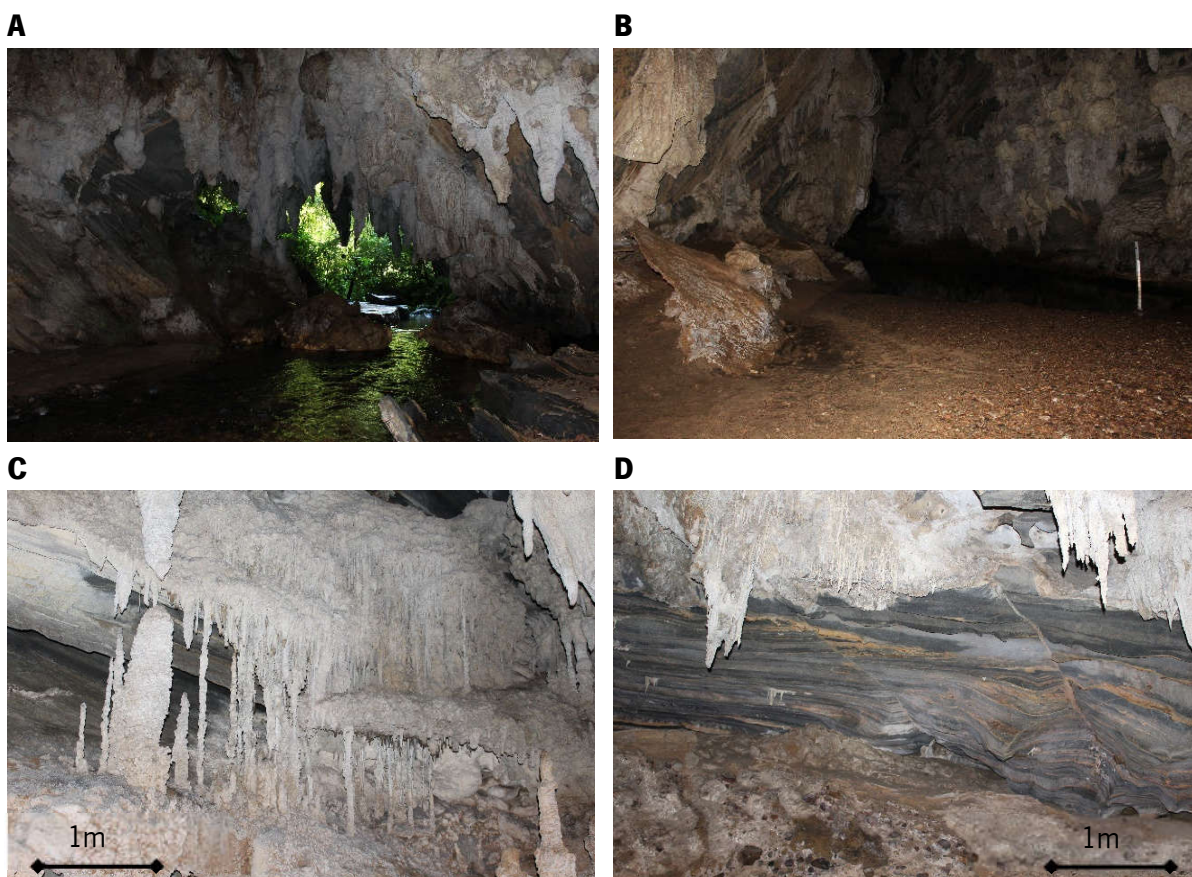


Figura 19. Sítio geológico Caverna Água Suja. A) Pórtico da entrada principal da caverna. B) Salão de entrada da caverna e início do percurso turístico, que é feito pelo leito do rio Água Suja. C) Conjunto de espeleotemas (estalactites, estalagmites e colunas). D) Depósito clástico de origem sedimentar e aspecto geral dos calcários.

4.1.6. Cavernas Couto e Morro Preto

Nome do sítio: Cavernas Couto e Morro Preto	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Gruta do Morro Preto e Caverna do Couto	Caverna do Couto
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Latitude: 24° 31' 59.1" S
Município: Iporanga - SP	Longitude: 48° 41' 56.2" W
	Elevação: 285 m
	Cachoeira do Couto
	Latitude: 24° 31' 59.1" S
	Longitude: 48° 41' 56.1" W
	Elevação: 288 m
	Caverna Morro Preto
	Latitude: 24° 32' 00.7" S

Longitude: 48° 41' 56.3" W

Elevação: 287 m

Acessibilidade: Trilha com 400 m de extensão, a partir do quiosque de visitantes do Núcleo Santana do PETAR. O acesso principal à caverna do Couto localiza-se junto à ressurgência do rio Couto, na cachoeira do Couto. Após a travessia da caverna é necessário regressar ao Núcleo Santana, por uma trilha de 600 m.

Tipo: Área

Dimensão: A Caverna do Morro Preto tem 832 m de extensão, dos quais 200 m são abertos à visitação. A Caverna do Couto tem 471 m de extensão (linear), dos quais 420 m estão abertos à visitação.

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: O sítio geológico é composto por três áreas: as cavernas Morro Preto, Couto e cachoeira do Couto, representando um dos sistemas de cavernas da região. A Caverna Morro Preto tem um pórtico com 15 m de altura, que pode ser mais bem observado de dentro para fora da caverna (Figura 20 A). O pórtico de estrada é ornamentado com um conjunto de espeleotemas, com cores esverdeadas, resultante do processo de colonização biológica (musgos) (Figura 20 B). A caverna do Couto tem um pequeno pórtico de entrada. Durante o percurso pela galeria do rio Couto observam-se alguns depósitos clásticos e poucos espeleotemas. O percurso termina no sumidouro do rio. Na saída da Couto, observa-se um grande pórtico (Figura 20 C) formado pelo desprendimento de blocos, condicionados a planos de falhas e fraturas.

Contexto geológico: As cavernas Morro Preto e Couto ocorrem em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3). Segundo Karmann (1994) as cavernas Morro Preto e Couto “representam fases distintas de uma mesma cavidade, sendo a Morro Preto a parte mais antiga, e a Couto a porção mais recente, ainda ativa”. Ambas, integram o sistema Onça Parda – Morro – Couto, cuja ressurgência atual é a cachoeira do Couto (Figura 20 D). O pórtico de entrada da caverna Morro Preto, representa a paleoressurgência do sistema Onça Parda – Morro Preto – Couto. De acordo com o mesmo autor, as cavernas Morro Preto e Couto tiveram origem há cerca de 2 milhões de anos. Inicialmente, o fluxo de água subterrânea penetrou em fraturas, passando para níveis freáticos em condutos. Posteriormente, evoluiu para fase de ampliação dos condutos (entalhamento vadoso).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso o local e pagamento de ingresso.

Outras informações: Na caverna Morro Preto foram encontrados indícios da ocupação humana por povos primitivos (sambaquis fluviais). Os vestígios encontrados na caverna foram atribuídos as pesquisas realizadas pelo naturalista Ricardo Krone no século XX (Figura 20 E e F).

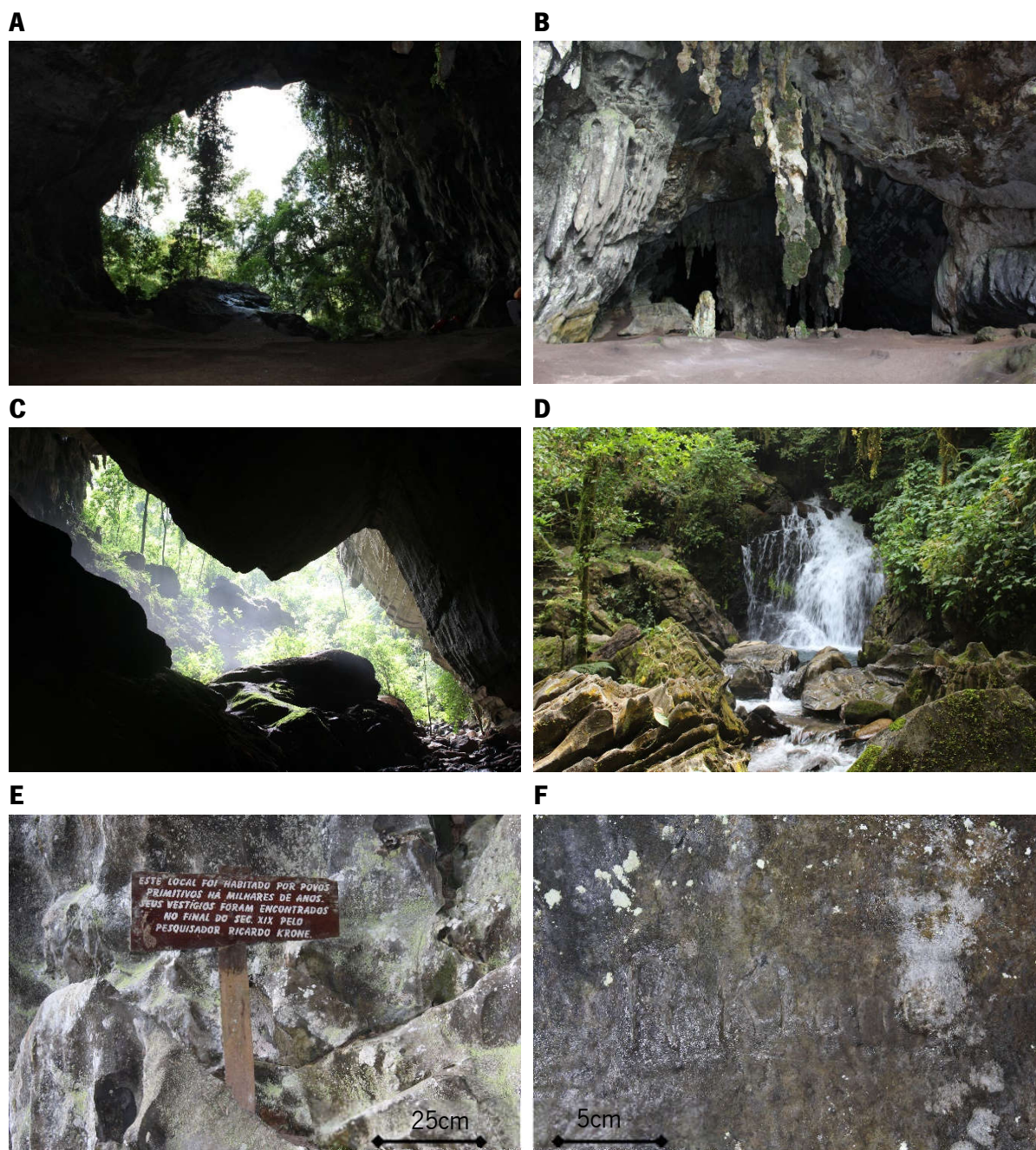


Figura 20. Sítio geológico Cavernas Couto e Morro Preto. A) Vista do interior para o pórtico de entrada da caverna Morro Preto. B) Vista de fora para o pórtico de entrada da caverna Morro Preto. C) Pórtico de saída da caverna do Couto, junto ao sumidouro do rio Couto. D) Cachoeira do Couto, localizada ao final da trilha de regresso da caverna do Couto. E) e F) Sinalização junto à inscrição do naturalista Ricardo Krone na entrada da caverna Morro Preto.

4.1.7. Caverna Cafezal

Nome do sítio: Caverna Cafezal	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Gruta do Cafezal	Latitude: 24° 33' 29.9" S
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Longitude: 48° 40' 20.1" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 300 m
Acessibilidade: O acesso à caverna Cafezal é pela trilha do Betari, 2 km a partir do centro de visitantes do Núcleo Santana do PETAR.	
Tipo: Área	
Dimensão: 216 m de extensão	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Espeleotemas: “flores” de aragonita e helictites.	
Contexto geológico: A caverna é composta por quatro salões desenvolvidos em famílias de fraturas no calcário (principal litotipo) (Figura 21 A). A distribuição dos espeleotemas (estalactites e estalagmites) no interior da caverna ocorrem de forma dispersa. Além disso, ocorrem agrupamentos em flores de aragonita e helictites (principais elementos geológicos, no contexto deste trabalho). De acordo com Fundação Florestal (2010), a macro avaliação mineralógica dos depósitos secundários indica a presença de calcita, aragonita e hidromagnesita (cotonetes).	
Uso potencial: Educativo e turístico	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso o local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: Nada a registrar.	

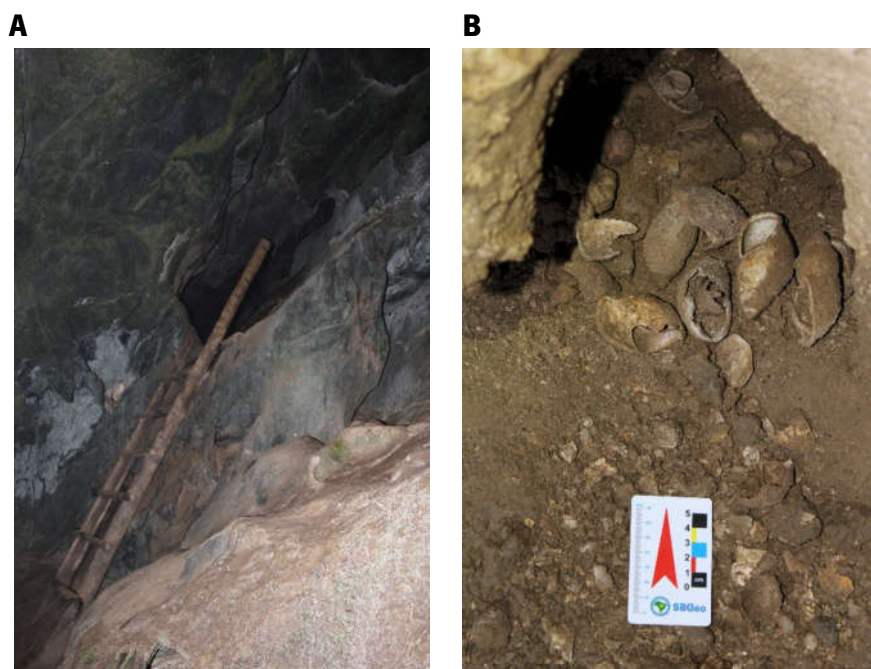


Figura 21. Sítio geológico Caverna Cafezal. A) Vista geral para o interior da caverna Cafezal. B) Depósito de conchas no interior da caverna.

4.1.8. Mirante da Laje Branca

Nome do sítio: Mirante da Laje Branca	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Mirante da Laje Branca	Latitude: 24°33' 11.7" S
	Longitude: 48° 42' 55.7" W
Localização: Núcleo Santana - PETAR	Elevação: 669 m
Município: Iporanga - SP	
Acessibilidade: O mirante localiza-se no km 3,6 da estrada do Lajeado.	
Tipo: ponto	
Dimensão: o ponto de observação tem cerca de 3 m ²	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Pórtico da Caverna Laje Branca, com cerca de 130 m de altura, desenvolvido em metacalcários da Formação Bairro da Serra (Figura 22).	
Contexto geológico: Descrito no sítio geológico 4.1.9, a seguir.	
Uso potencial: Educativo e turístico	

Limitações ao uso: As condições de observação podem ser difíceis em função da grande quantidade de vegetação no local e arredores.

Outras informações: Não há qualquer tipo de infraestrutura e manutenção no ponto de observação.

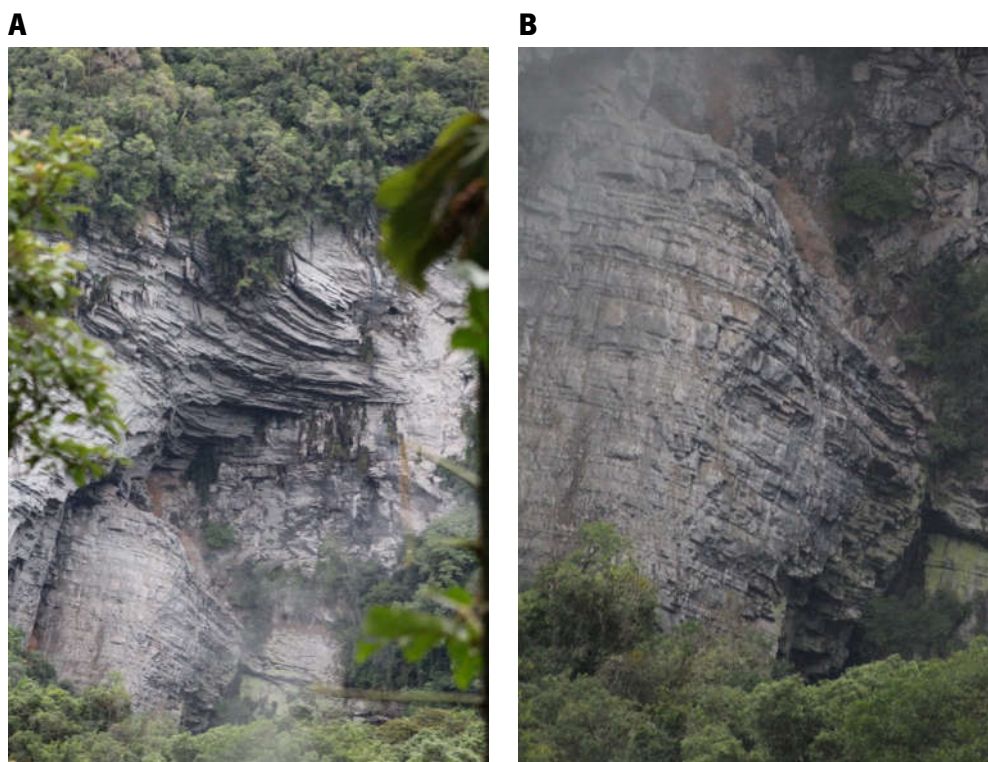


Figura 22. Sítio geológico Mirante da Laje. A) Vista a partir do mirante para o portal da Caverna Laje Branca. B) Vista (em detalhe) do mirante para o portal da Caverna Laje Branca.

4.1.9. Caverna Laje Branca

Nome do sítio: Caverna Laje Branca

Localização geográfica:

Nome geográfico local: Laje Branca

Latitude: 24°32' 57" S

Localização: Núcleo Santana - PETAR

Longitude: 48°43' 15" W

Município: Iporanga - SP

Elevação:

Acessibilidade: Trilha de 950 m com início no km 3,5 da estrada do Lajeado.

Tipo: Área

Dimensão: 1,2 km dos quais 600 m podem ser visitados.

Regime de Propriedade: privada

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Pórtico com cerca de 130 m de altura em metacalcários. A partir da entrada da caverna com cerca de 30 m de largura e 50 m de altura, a parte superior projeta-se cerca de 25 m para o exterior. No interior ocorrem dunas de argilas, conhecidas localmente por “São das Dunas” (Figura 23).

Contexto geológico: A caverna Laje Branca, assim como a de Santana (sítio geológico 4.1.4) desenvolveu-se na área carbonática denominada Pérola-Santana. O sistema cárstico Pérolas-Santana é caracterizado por uma faixa de rochas metassedimentares, pertencentes à Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3), que ocorrem na direção NE-SW e com 27,5 km² de área Karmann (1994). Segundo o mesmo autor, a caverna Laje Branca, não acompanha a direção do acamamento, e desenvolveu-se paralelamente a uma falha inversa com orientação geral NE-SE, sub-vertical (ao contrário das demais cavernas pertencentes a este sistema cárstico). A caverna exibe um padrão retilíneo e baixa sinuosidade, devido ao condicionamento estrutural do fluxo de água subterrânea e pela intersecção de uma zona de cisalhamento (com 1 m de espessura) com o acamamento.

Uso potencial: Educativo e turístico

Limitações ao uso: o sítio geológico encontra-se em uma propriedade privada e só pode ser acessado com autorização do proprietário e do parque. É permitido a prática de rapel até 135 m, mediante a autorização do parque.

Outras informações: Durante o trabalho de campo não foi autorizado a captação de imagens no interior da caverna. É prevista a abertura da caverna à visita após a conclusão do plano de manejo.

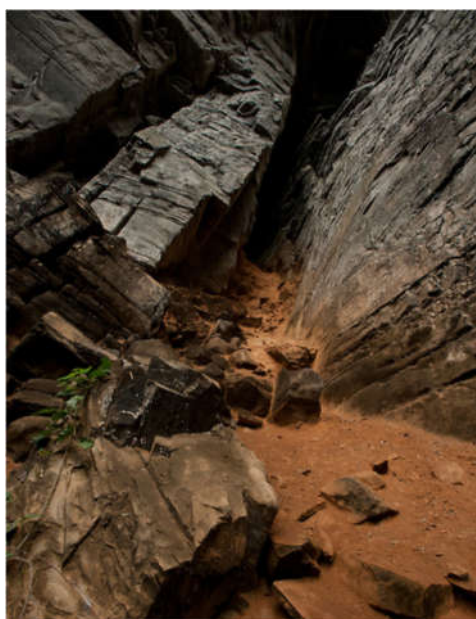


Figura 23. Sítio geológico Caverna Laje Branca. Foto: Ricardo Siqueira/Argosfoto.

4.1.10. Caverna Alambari de Baixo

Nome do sítio: Caverna Alambari de Baixo	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Caverna Alambari de Baixo	Latitude: 24° 33' 29.9" S Longitude: 48° 40' 20.1" W
Localização: Núcleo Ouro Grosso - PETAR	Elevação: 178 m
Município: Iporanga – SP	
Acessibilidade: A caverna localiza-se a 5 km do centro de visitantes do Núcleo Ouro Grosso. Acesso por estrada não pavimentada e por trilha, que tem início ao final da estrada. Após a travessia da caverna, é necessário percorrer uma pequena trilha e estrada secundária até ao Bairro da Serra, km 12 da Rodovia SP165.	
Tipo: Área	
Dimensão: 755 m	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Depósitos conglomeráticos e conjunto de espeleotemas (estalactites, colunas e escorrimentos). No teto da entrada principal da caverna há conglomerados cimentados e blocos e abatimento no interior do salão principal. Ao longo da galeria do rio existe um conjunto de estalactites de grandes dimensões.	
Contexto geológico: A Caverna ocorre na Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3). Desenvolveu-se em dois níveis de condutos: um superior (seco) (Figura 24), e um inferior, onde passa o rio Alambari. Os depósitos sedimentares no interior da caverna são contemporâneos ao entulhamento do Vale do Betari. De acordo com Karmann (1994) e Fundação Florestal (2010), o motivo desse entulhamento deve-se às variações do gradiente hidráulico associadas com o rebaixamento do nível do mar em 130 m durante o último período glacial (10 a 20 mil anos atrás).	
Uso potencial: Educativo e turístico	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: Nada a registrar.	



Figura 24. Sítio geológico Caverna Alambari de Baixo. Vista do salão de entrada para o exterior. Fonte: <https://www.ecocavepetar.com.br/>

4.1.11. Caverna Ouro Grosso

Nome do sítio: Caverna Ouro Grosso	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Caverna Ouro Grosso	Latitude: 24° 32' 50" S
Localização: Núcleo Ouro Grosso - PETAR	Longitude: 48° 40' 50" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 251 m
Acessibilidade: Trilha da Figueira, com cerca de 150 m de extensão, a partir da sede do núcleo Ouro Grosso do PETAR.	
Tipo: Área	
Dimensão: 150 m (a caverna tem 1100 m de extensão, sendo apenas 150 m abertos à visitação)	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Feições geomorfológicas conhecidas localmente como “garrafões”.	
Contexto geológico: A caverna está formada em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3). O desenvolvimento principal dos condutos coincide com o padrão litológico e bandamento regional (direção NE-SW). A caverna é composta por dois trechos: o primeiro, com forte condicionamento estrutural e presença de cânions vadoso. O segundo trecho é caracterizado por poços coletores de drenagem, que são estruturas morfológicas em cavernas de áreas carstificadas,	

conhecidos localmente por “garrafões” (Fundação Florstal, 2010). O percurso de visitação termina na primeira das três cachoeiras presente na caverna (Figura 25 A e B).

Uso potencial: Educativo e turístico

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.

Outras informações: A trilha da Figueira possui boa infraestrutura, como escadas (  ngremes em alguns trechos) e corrimão. Durante a trilha pode visitar-se o Museu da Cultura Tradicional Serra dos Motta. O local é conhecido popularmente como “Casa de Farinha” e representa uma antiga moradia de famílias tradicionais (Figura 25 C).



Figura 25. Sítio geológico Caverna Ouro Grosso. A) e B) Vista para cachoeiras no interior da caverna (Fonte: <http://www.pousadacasadepedra.com.br>). C) Museu Tradicional Serra dos Motta.

4.1.12. Caverna Casa de Pedra

Nome do sítio: Caverna Casa de Pedra	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Casa de Pedra	Latitude: 24° 28' 46" S
Localização: Núcleo Casa de Pedra - PETAR	Longitude: 48° 35' 23" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 261 m
Acessibilidade: A caverna pode ser acessada pelo Núcleo Casa de Pedra ou pelo Núcleo Caboclos do PETAR. A partir do Núcleo Casa de Pedra, distante 6 km da cidade de Iporanga, é necessário percorrer uma trilha com cerca de 30 km (ida e volta) a partir da base de fiscalização. A partir do Núcleo Caboclos é necessário fazer 6 km de trilha, com grau de dificuldade alto.	
Tipo: Área	
Dimensão: A caverna tem 5547 m de extensão, com pórtico de 215 m de altura.	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Pórtico de entrada (sumidouro) com 215 m de altura (considerado o maior do mundo) (Fundação Florestal, 2010) (Figura 26 A).	
Contexto geológico: A caverna está em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (4.1.3). Localiza-se ao final da sub-bacia do córrego Maximiano, que adentra na caverna pelo sumidouro e tem a ressurgência no pórtico, onde está o salão Santo Antônio. Nesse salão são encontradas feições no calcário encaixante como bandamento composicional e dobras. “A caverna desenvolveu-se, preferencialmente, no alinhamento N/S e apresenta inflexões NE-SW e NW-SE, paralelas ao bandamento composicional dos calcários ou segundo sistemas de fraturas” (Fundação Florestal, 2010: p. 475). Na região do sumidouro do córrego Maximiano há um paredão de calcários com mais de 220m de altura, que foi desenvolvido em um plano de falha atravessa o flanco de uma dobra (Figura 26 B).	
Uso potencial: Educativo e turístico	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso. O acesso ao portal da caverna é feito por meio de trilha muito extensa com 20 km e grau de dificuldade alto.	
Outras informações: Considerada o maior pórtico de caverna do mundo, segundo “Guinness Book”.	

A



B



Figura 26. Sítio geológico Caverna Casa de Pedra. A) e B) Vista aérea para o pórtico da caverna.
(Fonte: A) Júnior Petar e B) <http://iporanga.sp.gov.br/site/>).

4.1.13. Gruta do Chapéu

Nome do sítio: Gruta do Chapéu	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Gruta do Chapéu	Latitude: 24° 26' 02.5" S
Localização: Núcleo Caboclos - PETAR	Longitude: 48° 35' 04.3" W
Município: Apiaí - SP	Elevação: 617 m
Acessibilidade: A partir da cidade de Apiaí o acesso ao Núcleo Caboclos do PETAR é feito por uma estrada secundária, a partir do km 294 da rodovia SP- 250. A partir do centro de visitantes do núcleo, o acesso a Gruta do Chapéu é feito pela trilha “Circuito do Chapéu”, que também dá acesso as cavernas Chapéu Mirim I e II e à caverna Aranhas.	
Tipo: Área	
Dimensão: 300 m de extensão	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Diversidade de espeleotemas, em especial, travertinos.	
Contexto geológico: A caverna desenvolveu-se em metacalcários da Formação Bairro da Serra (descrita no capítulo 4.3.1) e em granitos da serra da Sem Dúvida. A formação principal dos condutos, em ambas as rochas, segue a direção NE-SE, paralelo ao bandamento dos calcários. O conduto principal, na parte inicial da caverna é formado em calcários. Neste conduto encontram-se espeleotemas, em diferentes estágios de desenvolvimento, como estalactites e “lagos de travertino” (Figura 27). O trecho final da caverna é formado em calcários sob a forma de matacões sobrepostos. No contato entre as duas rochas há auréolas de metamorfismo de contato (calcários metamorfizados sob forma de mármore) (Fundação Florestal, 2010).	
Uso potencial: Educativo e turístico.	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: Nada a registrar.	

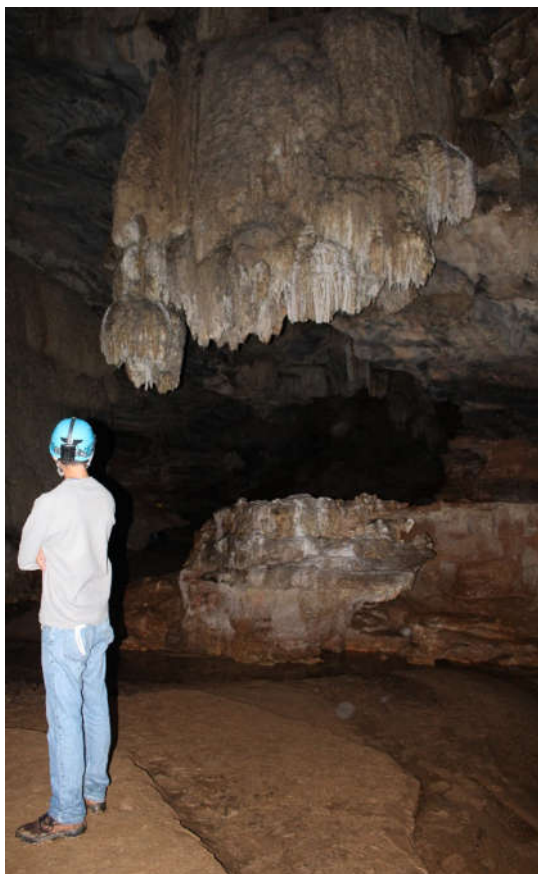
A**B****C**

Figura 27. Sítio geológico Caverna do Chapéu. A) Vista do interior do salão principal da caverna. B e C) Lagos de travertino no interior do salão principal da caverna.

4.1.14. Caverna Mirim I e II

Nome do sítio: Gruta do Chapéu Mirim I e Gruta do Chapéu Mirim II

Localização geográfica:

Latitude: 24° 26' 02.9" S

Nome geográfico local: Caverna Mirim I e II

Longitude: 48° 35' 20.1" W

Localização: Núcleo Caboclos - PETAR

Elevação: 601 m

Município: Apiaí - SP

Acessibilidade: Acesso às cavernas Chapéu Mirim I e II pela trilha Circuito do Chapéu. As cavernas estão a 100 m da sede do Núcleo Caboclos.

Tipo: Área

Dimensão: A caverna Chapéu Mirim I tem 169 m de extensão e a caverna Chapéu Mirim II 69 m de extensão.

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Sistema de cavernas Chapéu Mirim I e Chapéu Mirim II.

Contexto geológico: As cavernas Chapéu Mirim I e II integram um mesmo sistema de cavernas (Figura 28). Esse sistema é formado por um único conduto linear e morfologia vadosa. Desenvolveu-se nas direções NE-SW, de acordo com o bandamento padrão litológico. As cavernas estão em rochas carbonáticas da Formação Bairro da Serra, Subgrupo Lajeado (4.3.1). “A origem dessas cavernas, provavelmente, se deu a partir do fluxo laminar de água subterrânea através de um conjunto de fraturas, com gradiente hidráulico alinhado em direção ao Córrego do Chapéu” (Fundação Florestal, 2010).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.

Outras informações: Nada a registrar.



Figura 28. Sítio geológico Chapéu Mirim I e II. A) Vista do interior da Caverna Chapéu Mirim I. B) Vista do interior a partir da Caverna Chapéu Mirim II. (Fonte: <http://www.pousadacasadepedra.com.br>).

4.1.15. Caverna Aranhas

Nome do sítio: Gruta das Aranhas	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Caverna Aranhas	Latitude: 24° 26' 02.4" S
Localização: Núcleo Caboclos - PETAR	Longitude: 48° 35' 19" W
Município: Apiaí - SP	Elevação: 602 m
Acessibilidade: O acesso é feito por 400 m da trilha Circuito do Chapéu, com início na sede do Núcleo Caboclos.	
Tipo: Área	
Dimensão: 210 m de extensão	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Trata-se de um exemplo de caverna não inteiramente relacionada com processos cársticos uma vez que a parte final da caverna se desenvolve nos espaços vazios entre blocos graníticos sobrepostos.	
Contexto geológico: A caverna desenvolveu-se em metacalcários da Formação Bairro da Serra (descrita no capítulo 4.3.1) e em granitos da serra da Sem Dúvida. A parte inicial da caverna desenvolveu-se nas rochas calcárias e exibe um padrão morfológico vadoso irregular. O conduto desenvolvido em granitos corresponde à parte final da caverna sob forma de blocos sobrepostos. No contato entre as duas rochas há auréolas de metamorfismo de contato (calcários metamorfizados sob forma de mármore) (mesma ocorrência apresentada no sítio Caverna do Chapéu em 4.1.13) (Fundação Florestal, 2010) (Figura 29 A e B).	
Uso potencial: Educativo e turístico.	
Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.	
Outras informações: O nome da caverna foi dado pela quantidade de opiliões que vivem no seu interior (Figura 29 C).	

A**B****C**

Figura 29. Sítio Caverna Aranhas. A) Vista do conduto principal da caverna. B) Pórtico de entrada da caverna. C) Opilião, espécie de aracnídeos comumente encontrada nesta caverna. (Fotos A e C: Ricardo Feres).

4.1.16. Caverna Temimina I e II

Nome do sítio: Gruta do Temimina I e Gruta do Temimina II

Localização geográfica:

Latitude: 24° 22' 58" S

Nome geográfico local: Caverna Temimina I e Caverna Temimina II

Longitude: 48° 34' 06" W

Elevação: 235 m

Localização: Núcleo Caboclos - PETAR

Município: Apiaí - SP

Acessibilidade: A partir da sede do Núcleo Caboclos o sítio fica a 9,5 km, dos quais 5 km em trilha.

Tipo: Área

Dimensão: A caverna Temimina I tem 52 m de extensão e a caverna Temimina II tem 1969 m.

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: diversidade de espeleotemas (estalactites, travertino), alguns considerados raros, como pérolas e o “chuveiro”.

Contexto geológico: As cavernas Temimina I (Figura 30 A) e Temimina II desenvolveram-se nas rochas carbonáticas da Formação Bairro da Serra (capítulo 3.1.2.1) (A origem dessas cavernas está associada à captura de um sistema fluvial por um sistema de drenagem subterrânea, que se desenvolveu pelo entalhamento vadoso até atingir os níveis atuais das cavernas (Fundação Florestal, 2010). De acordo com os mesmos autores, o processo de formação dessas cavernas iniciou-se na caverna Temimina II (região das atuais claraboias). Os primeiros condutos formaram-se de acordo com a orientação NE-SW, paralela à foliação e inflexões das rochas calcárias, orientadas segundo aos sistemas de fraturas. Posteriormente, o entalhamento vadoso se deu pelo fluxo de água injetado pelo Rio Temimina, condicionado aos planos estruturais. No interior podem ser observadas intrusões graníticas e um dique de diabásio, permitindo estabelecer as relações entre diferentes eventos geológicos regionais: a formação das cavernas dessa região, foram estimadas por Karmann (1994) em 1,7 milhões de anos. As intrusões graníticas estão associadas a eventos sin e pós tectônicas que ocorreram durante o Proterozoico Superior (entre 570 a 1000 Ma). A intrusão de diques está associada a eventos ocorridos durante o Mesozoico (65 a 230 Ma). Assim, as rochas graníticas e o dique foram intrudidos em calcários, durante o período Pré-Cambriano (idade superior a 1 bilhão de anos) (Fundação Florestal, 2010). Em relação aos espeleotemas em Temimina II, destacam-se as represas de travertino com cor ocre, pérolas e o “chuveiro” (de rara ocorrência) (Figura 30 B, C e D). A formação do “chuveiro” ocorre devido a deposição de carbonatos e cálcio nas bordas de um fluxo subterrâneo. A deposição mineral é condicionada a variações de pressão no fluxo subterrâneo. As variações de pressão permitem que o gás carbônico seja liberado, precipitando o carbonato de cálcio nas bordas do conduto, que é formado de maneira contínua (Fundação Florestal, op.cit.).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização para o acesso ao local e pagamento de ingresso.

Outras informações: A trilha para as cavernas Temimina I e II é de difícil acesso. Embora a distância oficial seja de 9,5 km, o percurso “real” para chegada as cavernas é de cerca de 12 km a partir da sede do núcleo.

A**C****B****D**

Figura 30. Sítio geológico cavernas Temimina I e Temimina II. A) Vista geral do interior da caverna Temimina I (Fonte: Projeto Luzes na Escuridão, por Philippe Crochet). B) Espeleotema de ocorrência rara na caverna Temimina II (“chuveiro”) (Foto: Adriano Gambarini). C) Represa de travertino no interior da caverna Temimina II. D) Espeleotema tipo pérolas no interior da caverna Temimina II (Fotos C e D por Ricardo Feres).

4.1.17. Grutas Areias I e II

Nome do sítio: Gruta Areias I e Gruta Areias II

Localização geográfica:

Nome geográfico local: Gruta Areias I e Gruta Areias II

Latitude: 24° 35' 29.2" S

Longitude: 48° 42' 05.5" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 247 m

Acessibilidade: O acesso é feito pelo percurso de trilha com 2 km de extensão, a partir de uma estrada secundária, que se tem acesso no km 7 da estrada do Lajeado.

Tipo: Área

Dimensão: Gruta Areias I 5565 m de extensão, Gruta Areias II 1818 m de extensão.

Regime de Propriedade: privada

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Sistema de Cavernas Areias, Depósitos sedimentares.

Contexto geológico: o sistema Areias está inserido na área carbonática Lajeado Bombas. Esta região tem cerca de 47 km² de área, e composta principalmente por metacalcários cinza escuro, de granulação média a grossa, com estratos maciços. Em relação à morfologia da superfície cárstica, esta é caracterizada por morros arredondados e encostas inclinadas, desenvolvidas nas direções NE-NW, paralelas às juntas ou traços de acamamento, formando cristas. Localmente, as cavernas Areias I e II são separadas por uma dolina. Desenvolveram-se na intersecção do acamamento, e conjunto de falhas e juntas (Karmann, 1994). Os condutos, dessas cavernas são amplos, com presença de rio subterrâneo, caracterizados por entalhamento vadoso (fluxo turbulento com abrasão mecânica) (cânion subterrâneo) e grandes áreas de captação alogênica (Karmann, 2016).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de pedido de autorização do parque e do proprietário do local.

Outras informações: Ocorrência de fauna rara: (*Pimelodella kronei*) primeiro peixe troglóbio descrito no Brasil, cujas populações foram encontradas no Sistema Areias (Gruta Areia de Cima - localidade tipo) (Trajano, 1987; Guil, 2011).

Não foi possível fotografar o interior das grutas. Ressalta-se que a visitação está proibida nas cavernas do sistema Areais, conforme a resolução CONAMA de 5/8/97.

4.1.18. Gruta Laboratório

Nome do sítio: Gruta Laboratório

Localização geográfica:

Nome geográfico local: Gruta do Laboratório

Latitude: 24° 33' 51.2" S

Localização: Bairro da Serra

Longitude: 48° 40' 14.1" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 253 m

Acessibilidade: o acesso é por uma trilha com 200 m de extensão, a partir do km 12 da rodovia SP-165 (Bairro da Serra).

Tipo: Área

Dimensão: a gruta tem 920 m, cerca de 200 m abertos à visitação (mediante autorização).

Regime de Propriedade: privada

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual (Zona de amortecimento)

Elementos (geológicos) principais de interesse: Sistema de cavernas Areias, diversidade de espeleotemas.

Contexto Geológico: A Gruta Laboratório (Figura 31) corresponde a uma das ressurgências do Sistema Espeleológico Areias, especificamente a Gruta Areias II (cerca de 3,5 m de distância em linha reta) (sítio geológico 4.1.17). Esta gruta ocorre em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado, que corresponde a uma das unidades de rochas carbonáticas da região de estudo, composta por mármore, metacalcarenitos finos e metacalcilutitos (capítulo 3.1.2.1). A gruta Laboratório, também chamada de Laboratório II (parte turística), tem 920 m de comprimento e 72 m de desnível. Caracteriza-se por salões de abatimento com grande dimensão e galerias ornamentadas com diversos tipos de espeleotemas (estalactites, estalagmites, travertinos e colunas) (Lima e Marinho, 2001).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização do proprietário para o acesso à gruta.

Outras informações: De acordo com Lima e Marinho (2001) foram encontrados bagres-cegos (*Pimelodella kronei*), espécies troglóbias, no interior do salão “Pata-do-Dino”, o que implica medidas especiais para visitação da gruta. A parte turística da gruta (Laboratório II) foi incluída na área proposta para criação de um Parque Municipal. É prevista a abertura para visitação após a conclusão do plano de manejo, em fase de elaboração (informação obtida por comunicação oral com os monitores ambientais do PETAR).



Figura 31. Sítio geológico Gruta Laboratório. Vista para entrada de acesso a galeria do Córrego Bombas

4.1.19. Metacalcários Formação Bairro da Serra

Nome do sítio: Metacalcários Formação Bairro da Serra

Localização geográfica:

da Serra

Latitude: 24° 33' 51.3" S

Nome geográfico local:

Longitude: 48° 40' 13.7" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 176 m

Acessibilidade: Este sítio localiza-se no km 12 da rodovia SP-165, que liga as cidades de Iporanga e Apiaí.

Tipo: Ponto

Dimensão: O afloramento estende-se a longo da estrada por cerca de 50 m e com 12 m de altura (Figura 32 A e B).

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual (Zona de amortecimento)

Elementos (geológicos) principais de interesse: Metacalcário e metacalcarenito da Formação Bairro da Serra com feições deposicionais.

Contexto geológico: A Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado corresponde a uma das unidades de rochas carbonáticas da região de estudo, constituída por mármore, metacalcarenitos finos e metacalcilutitos (subcapítulo 3.2.2.1). Essas rochas preservam feições indicativas de

sedimentação de correntes turbidíticas de baixa concentração, ou depósitos pelágicos-hemipelágicos (Pires, 1998; 1991).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: Nada a registrar.

Outras informações: Nada a registrar.

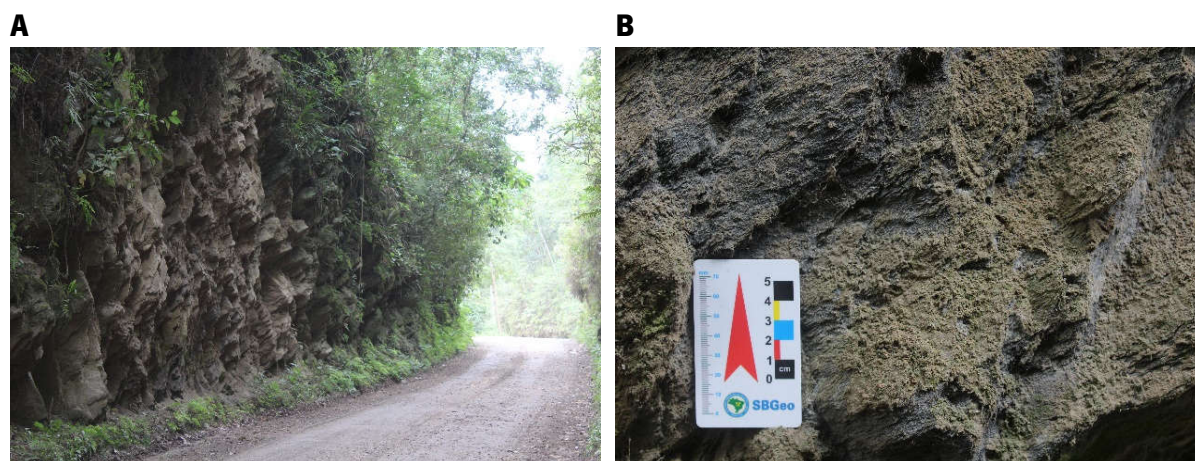


Figura 32. Sítio geológico Metacalcários Formação Bairro da Serra. A) Aspecto geral do afloramento. B) Aspecto geral da rocha carbonática.

4.1.20. Cachoeira Sem Fim

Nome do sítio: Cachoeira Sem Fim

Localização geográfica:

Nome geográfico local: Cachoeira do Sem Fim

Latitude: 24° 34' 09.5" S

Localização: Bairro da Serra

Longitude: 48° 39' 42" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 215 m

Acessibilidade: Trilha a partir do portão de acesso à propriedade (Figura 33 A), localizada no km 11 da Rodovia SP- 165, que liga os municípios de Iporanga – Apiaí.

Tipo: Seção

Dimensão: percurso de 700 m e 3 pontos de parada

Regime de Propriedade: Particular

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual (Zona de amortecimento)

Elementos (geológicos) principais de interesse: Complexo formado por três cachoeiras, com quedas de 4, 10 e 11 metros de altura.

Contexto geológico: O complexo de cachoeiras expõe as rochas da Formação Bairro da Serra. Essa formação corresponde a uma das unidades carbonáticas do Subgrupo Lajeado, composta, principalmente, por mármore, metacalcarenitos, metacalcilutitos e metarritmitos. As rochas dessa formação exibem feições indicativas de sedimentação de correntes turbidíticas de baixa concentração, ou depósitos pelágicos-hemipelágicos (Pires, 1998; 1991) (capítulo 3.1.2.1). O complexo de cachoeiras Sem Fim desenvolveu-se em metacalcarenitos, aparentemente, tiveram origem num conjunto de fraturas subverticais.

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização e pagamento de ingresso.

Outras informações: O nome “sem fim” foi atribuído ao local por não ser possível “encontrar” a nascente quando se descobriu o complexo.

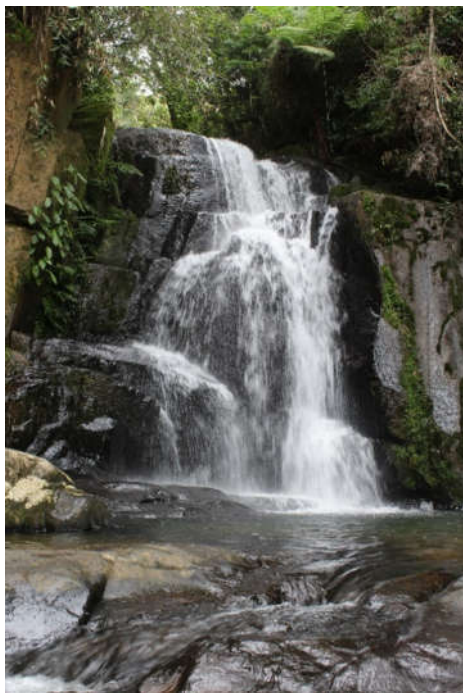
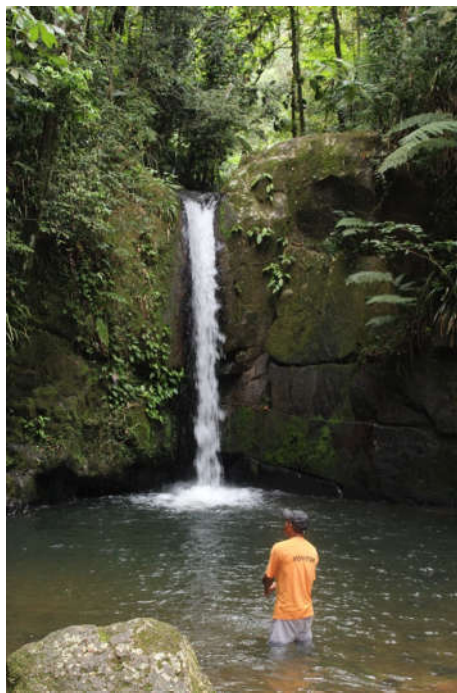
A**B****C****D**

Figura 33. Sítio geológico Cachoeira Sem Fim. A) Entrada principal de acesso às cachoeiras. B), C) e D) Complexo de cachoeiras “Sem Fim”.

4.1.21. Mina e estrada do Lajeado

Nome do sítio: Mina do Lajeado e Estrada do Lajeado

Nome geográfico local: Mina do Lajeado e Estrada do Lajeado

Localização: Região do Lajeado

Município: Iporanga - SP

Localização geográfica:

Latitude: 24° 34' 58.4" S

Longitude: 48° 42' 27.8" W

Elevação: 354 m

Acessibilidade: A Mina do Lajeado localiza-se na região do Lajeado a 30 km do centro do município de Apiaí. Acesso a partir da Rodovia SP-165, que liga os municípios de Iporanga e Apiaí. A partir deste local, a entrada principal da mina fica a 9 km.

Tipo: Seção

Dimensão: 6 km de extensão e 3 pontos de parada.

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual (Zona de amortecimento)

Elementos (geológicos) principais de interesse: Rochas da Formação Mina de Furnas do Subgrupo Lajeado, com estruturas sedimentares bem preservadas. Adicionalmente observam-se as galerias da Mina do Lajeado.

Contexto geológico: A Formação Mina de Furnas do Subgrupo Lajeado é composta, principalmente, por mármore, metassiltitos e metamargas (capítulo 3.1.2.3). Nestas rochas ocorrem mineralizações sulfetadas polimetálicas de Pb-Zn-Ag e estruturas sedimentares bem preservadas visíveis em taludes ao longo da estrada do Lajeado (Figura 34 A e B). De acordo com Faleiros et al., (2012) nessas rochas são encontradas feições de sedimentação compatível com as de correntes turbidíticas de baixa concentração. A estrada termina na antiga Mina do Lajeado, onde se pode entrar numa antiga galeria (D. Delfina, Figura 34 C e D). Nesta mina foram lavrados minérios de chumbo associados a prata.

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: Nada a registrar.

Outras informações: Nada a registrar.



Figura 34. Pontos de interesse na Estrada do Lajeado. A) e B) Mármore calcítico da Formação Mina de Furnas na estrada do Lajeado. C) Vista para entrada de uma das galerias (túnel) do Lajeado. D) Vista do interior de uma galeria da do Lajeado.

4.1.22. Mina de Furnas

Nome do sítio: Mina de Furnas	Localização geográfica:
Nome geográfico local:	Latitude: 24° 32' 10.4" S
Localização: Região de Furnas	Longitude: 48° 43' 14.6" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 499 m
Acessibilidade: Trilha com cerca de 300 m a partir do km 16,5 da Rodovia SP-165 que liga os municípios de Iporanga e Apiaí.	

Tipo: Área

Dimensão: a definir

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual (Zona de amortecimento)

Elementos (geológicos) principais de interesse: mineralizações associadas às jazidas de minério de chumbo – prata do tipo Panelas.

Contexto Geológico: A descoberta do minério de chumbo-prata na região foi em 1918, pelo proprietário do local, Manuel Ribeiro Neto (Silva, 2002). Um ano depois iniciou-se a exploração econômica na jazida de Furnas que perdurou até 1992. “O minério primário de Furnas é composto, predominantemente, por galena, pirita e esfalerita, com participação de arsenopirita, calcopirita e estibinita” (Cotta et. al., 2006). Na mina de Furnas a mineralização está associada às jazidas de minério de chumbo – prata do tipo Panelas, segundo Daitx (1996). A origem da mineralização, segundo o mesmo autor, é devida a fluidos hidrotermais de média temperatura. A idade estimada para a mineralização do tipo Panelas é de 1200 a 100 Ma (Daitx op cit).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: Nada a registrar.

Outras informações: A mineração de chumbo foi interrompida na região em 1992 (Figura 35 A e B). Contudo, no local ainda há pontos de contaminação por lixiviação de rejeitos de chumbo, zinco e cobre (Figura 35 C e D). A avaliação de metais em sedimentos nos cursos de água no PETAR, especificamente no Rio Betari foi realizada no ano de 2006 por Cotta et al., (2006).

A**B****C****D**

Figura 35. Sítio geológico Mina de Furnas. A) Ruínas da antiga mina. B) Pátio da mina de Furnas. C) e D) Pontos de contaminação provocado por lixiviação de rejeitos de minério.

4.1.23. Paleoterraço do Rio Ribeira

Nome do sítio: Paleoterraço do Rio Ribeira

Localização geográfica:

Nome geográfico local:

Latitude: 24° 35' 19.5" S

Localização: Iporanga

Longitude: 48° 35' 53" W

Município: Iporanga - SP

Elevação: 100 m

Acessibilidade: O local pode ser acessado de carro e está 2 km do centro da cidade de Iporanga, localizado em uma estrada secundária junto ao Rio Ribeira de Iguape.

Tipo: Ponto

Dimensão: Afloramento com 3 m de extensão e 5 m de altura (Figura 36 A, B e C).

Regime de Propriedade: pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Terraço aluvionar do rio Ribeira de Iguape.

Contexto Geológico: Os depósitos sedimentares cenozoicos, essencialmente quaternários, ocorrem dispersos na região do PETAR e arredores, em geral, associados às calhas de drenagem atual. São sedimentos de composição arenosa a argilosa de origem coluvial e fluvial (aluviões). Os depósitos fluviais encontram-se depositados, principalmente, ao longo das principais drenagens da região de estudo, como o Rio Ribeira de Iguape, sob a forma de antigos terraços aluvionares (cap. 3.1.2.4).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: Nada a registrar.

Outras informações: Nada a registrar.

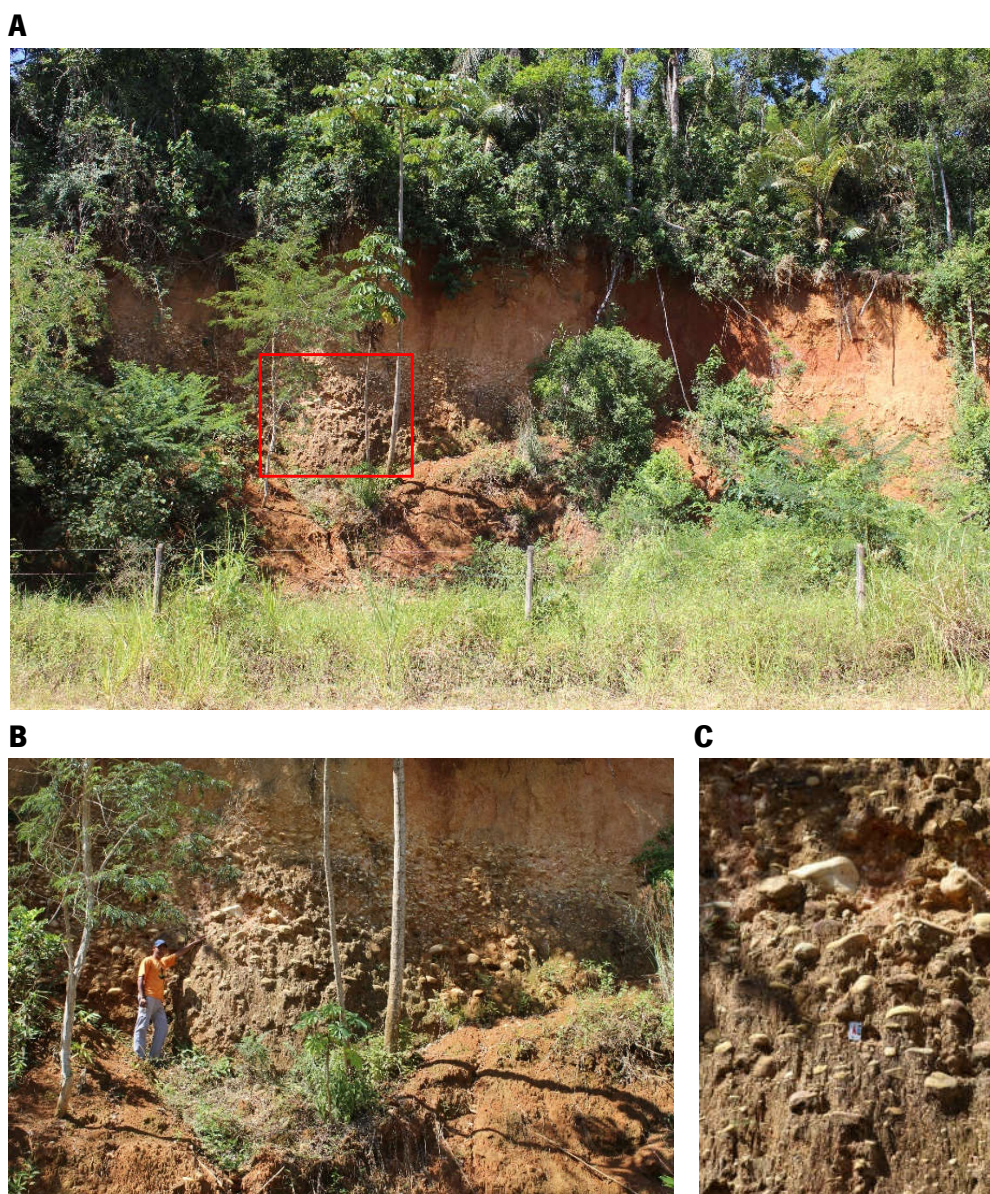


Figura 36. Sítio Paleoterraço do Rio Ribeira. A) Vista geral do afloramento. B) e C) detalhe da foto A.

4.1.24. Mirante Boa vista

Nome do sítio: Mirante Boa Vista	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Mirante Boa Vista	Latitude: 24° 33' 11.4" S
Município: Divisa dos Municípios de Apiaí e Iporanga - SP	Longitude: 48° 42' 55.6" W
	Elevação: 653 m
Acessibilidade: Mirante no km 16 da Rodovia SP-165, que liga os municípios de Apiaí e Iporanga. A partir da rodovia, o mirante localiza-se a 50 m com acesso por trilha.	
Tipo: Mirante	

Dimensão: o ponto de observação tem uma área de cerca de 3m².

Regime de Propriedade: Pública

Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual

Elementos (geológicos) principais de interesse: Alinhamento do Vale do Betari (Figura 37) e aspetos da morfologia cárstica (regional).

Justificativa do valor científico: Como apresentado anteriormente (sítio geológico 4.1.2), a configuração geológica e geomorfológica regional estão associadas à tectônica colisional durante o Ciclo Brasileiro (capítulo 3.1.1) e à tectônica fanerozoica (capítulo 3.1.2.3), responsável pela formação (quase) retilínea do vale do Betari. As rochas carbonáticas da região sofrem intensa ação erosiva do rio Betari. O entalhamento fluvial captou os carbonatos e os condutos subterrâneos, orientados na direção NW-SE, culminando na formação de nascentes cársticas alinhadas, que constituem os principais afluentes do rio Betari (Karmann, 1994). O vale do Betari está condicionado a uma fratura, com direção NW-SE, aberta nos primeiros estágios de fragmentação do Supercontinente Gondwana. Segundo Theodorovicz (2014), trata-se da mesma fratura onde se instalou o diabásio do Núcleo Santana (descrito em 4.1.1).

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: A observação pode ser condicionada pela meteorologia.

Outras informações: Existe uma pequena área onde se podem estacionar veículos.

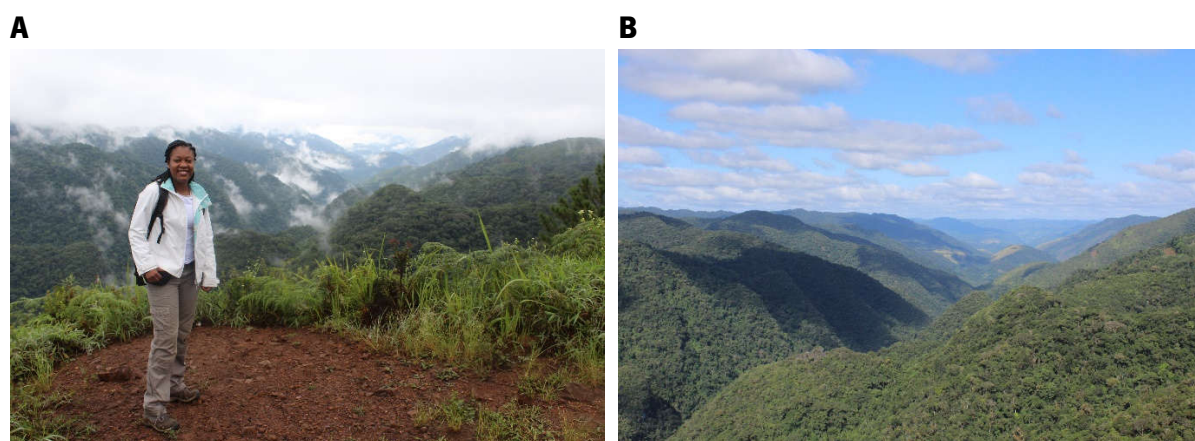


Figura 37. Sítio geológico Mirante Boa Vista. A e B) Feições geomorfológicas gerais a partir do mirante.

4.1.25. Gorotubito Dobrado

Nome do sítio: Gorotubito Dobrado	Localização geográfica:
Nome geográfico local:	Latitude: 24° 32' 17.4" S
Localização: Região da “ferradura”	Longitude: 48° 47' 04.4" W
Município: Iporanga - SP	Elevação: 787 m
Acessibilidade: Este sítio localiza-se na estrada que liga os municípios de Iporanga e Apiaí (SP- 165).	
Tipo: Ponto	
Dimensão: Afloramento (talude de estrada) com cerca de 7 m de altura e 5 m de extensão.	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	
Elementos (geológicos) principais de interesse: Efeitos deformacionais resultantes da tectônica colisional durante o Ciclo Brasileiro (Capítulo 3.1 e 3.1.1).	
Contexto Geológico: A região do PETAR está inserida no Terreno (ou Domínio) Apiaí, da Faixa Ribeira da Província Mantiqueira. A evolução geotectônica da Província Mantiqueira resulta de uma sucessão de cinturões de “empurrão e dobramento” controlados por distintos sistemas de cavalgamento em direção às margens cratônicas. A maioria destes cinturões corresponde a orógenos colisionais formados durante o Neoproterozoico/Cambriano (capítulo 3.1 e 3.1.1) (Bizzi et al., 2003; Heilbron et al., 2004; Hasui, 2010). Neste sítio geológico podem observar-se os dobramentos e falhas de empurrão resultantes da tectônica colisional ocorrida durante o Ciclo Brasileiro. A rocha que ocorre neste sítio foi denominada por Geoffroy e Santos (1942) como Gorotubito (Figura 38 A e B). O gorotubito é um metassedimento diferenciado, com caráter rítmico e estratificado, por ser formado pela alternância entre camadas (com espessura milimétrica) de calculitito, marga, siltito, arenito fino, argilito e mármore. Segundo Theodorovicz (2014) o gorotubito pode ser interpretado como sendo depositado em um ambiente marinho de águas profundas.	
Uso potencial: Educativo e turístico.	
Limitações ao uso: Nada a registrar.	
Outras informações: Nada a registrar.	

A



B



Figura 38. Sítio geológico Gorotubito Dobrado. A) Vista geral do afloramento. B) Detalhe da foto (A).

4.1.26. Mármore Apiaí

Nome do sítio: Mármore Apiaí

Localização geográfica:

Nome geográfico local:

Latitude: 24° 30' 23.2" S

Localização: Apiaí

Longitude: 48° 50' 58.0" W

Município: Apiaí - SP

Elevação: 894 m

Acessibilidade: Afloramento localizado frente à estação ferroviária de Apiaí, embora seja necessário passar por uma propriedade privada para ter acesso ao sítio.

Tipo: Ponto

Dimensão: 600 m² (Garcia et al., 2015, 2017 Inventário do estado de São Paulo).

Regime de Propriedade: pública e privada.

Regime de Proteção: Inexistente.

Elementos (geológicos) principais de interesse: Mármore pertencente ao sistema de Dobramento Apiaí (Fiori, 1993; Garcia et al., 2015) (Figura 39).

Contexto geológico: O sistema de Dobramentos de Apiaí registra o segundo evento deformacional, ao qual as rochas do Supergrupo Açungui foram submetidas. De acordo com Fiori (1993) esse evento corresponde a um dobramento generalizado das estruturas formadas anteriormente, durante primeiro evento deformacional (Sistema de Cavalgamento Açungui). O Sistema de Dobramentos Apiaí está registrado neste sítio geológico por meio de dobras (parasíticas) em rochas metassedimentares do Subgrupo Lajeado.

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização pelo proprietário do local.

Outras informações: O sítio geológico não pode ser acessado a partir da estrada de ferro de Apiaí. O local não possui qualquer tipo de manutenção (como corte de vegetação), o que pode colocar o visitante em situações de risco.

A**B****C****D**

Figura 39. Sítio geológico Mármore Apiaí. A) a C) Afloramento principal visto a partir da estrada de ferro de Apiaí. D) Afloramento observado a partir do ponto de acesso (propriedade privada). (Fonte imagem D) Theodorovicz, 2014).

4.1.27. Morro do ouro

Nome do sítio: Morro do Ouro	Localização geográfica:
Nome geográfico local: Parque Natural Municipal do Morro do Ouro	Latitude: 24° 30' 50.1" S
Localização: Vila Santa Terezinha	Longitude: 48° 50' 09.9" W
Município: Apiaí - SP	Elevação: 1097 m
Acessibilidade: O parque localiza-se na rodovia Sebastião Ferraz de Camargo Penteado, a 2.5 km da sede do PETAR.	
Tipo: Área	
Dimensão: 4,5 km²	
Regime de Propriedade: pública	
Regime de Proteção: Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Estadual	

Elementos (geológicos) principais de interesse: mineralizações auríferas.

Contexto geológico: as rochas deste sítio geológico pertencem à Formação Água Clara do Supergrupo Açungui. Essa formação corresponde a uma sequência metavulcanossedimentar composta, predominantemente, por carbonatos xisto e rochas carbonáticas intercaladas por quartzitos, gnditos, formações ferromagnesíferas e matabasitos vulcânicos, rochas associadas a deposição marinha em águas rasas a profundas (Shimada, 2013; Theodorovicz, 2014). Segundo Shimada (2013: p.183) “as mineralizações auríferas do Morro do Ouro ocorrem em dois tipos de minério: veios de quartzo escuro cortando rochas metassedimentares de fácies xisto verde da Formação Água Clara (1450–1500 Ma) e minério limonítico, formado por quartzito (possivelmente chert recristalizado) enriquecido em óxidos de ferro e intercalado com níveis de limonita”.

Uso potencial: Educativo e turístico.

Limitações ao uso: necessidade de autorização do parque para a realização do percurso.

Outras informações: A exploração de ouro na região de Apiaí teve início no século XVII e perdurou até 1942. A região ficou abandonada até o final da década de 1990, quando foi transformada em uma área de utilidade pública por meio de um decreto de lei municipal (Shimada, 2013). O Parque Natural Municipal do Morro do Ouro foi criado em 2002. Na ocasião, a prefeitura de Apiaí criou projeto de recuperação local, com a inclusão de infraestrutura de acesso (Figura 40 A, B, C e D) (base de visitantes, escadas e manutenção de trilhas para acesso às antigas galerias da mineração).

A**B****C****D**

Figura 40. Sítio geológico Morro do Ouro. A) e B) Túneis (galerias) da antiga mineração de ouro. C) Sede do Parque Natural do Morro do Ouro. D) Ruínas da indústria de beneficiamento de ouro.

4.2. Avaliação Quantitativa dos Sítios Geológicos

Segundo Brilha (2005, 2016), a avaliação quantitativa de sítios geológicos permite a diminuição da subjetividade inerente ao processo de avaliação e o estabelecimento da prioridade de gestão do conjunto de sítios avaliados. De acordo com o mesmo autor, nas últimas décadas foram desenvolvidos

diferentes métodos para avaliação numérica de sítios geológicos, porém, não se chegou a método aceito em geral. Os diferentes métodos propostos pela comunidade geocientífica resultam de análises, testes e combinações de métodos anteriores e variam de abordagens diferentes (Cendrero 1996a, b; Coratza e Giusti 2005; Pralong e Reynard 2005; Pereira et al., 2007; Reynard et al., 2007; Bruschi e Cendrero 2009; Reynard 2009; Pereira e Pereira 2010; Bruschi et al., 2011; Fassoulas et al., 2012; Pereira e Pereira, 2012; Bollati et al., 2013 citados por Brilha, 2016; Medina, 2012, GEOSSIT, 2017). De modo geral, esses métodos são compostos por “categorias”, em que são atribuídas diferentes pontuações aos diferentes critérios para avaliação do valor científico, educativo e/ou turístico, aos aspetos de uso e gestão e à prioridade de proteção dos sítios geológicos.

Neste contexto, no escopo deste trabalho, a avaliação quantitativa dos sítios geológicos foi feita por meio do Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade (GEOSSIT), que consiste em um aplicativo destinado para o inventário, avaliação qualitativa e quantitativa de sítios geológicos do Brasil (descrito em 4.2.1).

A seguir são apresentados os resultados obtidos no aplicativo GEOSSIT (2017) para a avaliação quantitativa dos sítios geológicos inventariados no PETAR e arredores. Posteriormente, apresenta-se a discussão destes resultados.

4.2.1. GEOSSIT

O GEOSSIT (Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade), consiste em um aplicativo destinado para o inventário, avaliação qualitativa e quantitativa de sítios geológicos do Brasil. O aplicativo foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM baseado originalmente na metodologia de Brilha (2005) e Garcia-Cortés et al. (2009). Posteriormente, o aplicativo foi atualizado passando a adotar a metodologia de Brilha (2016) com adaptações de critérios necessárias para o cenário brasileiro (GEOSSIT, 2017).

Os critérios elegidos para a avaliação quantitativa de sítios geológicos são agrupados nas categorias: (A) Valor Científico (VC); (B) Risco de Degradação (RD) e (C) Potencial Uso Educativo (PUE) e Potencial Uso Turístico (PUT) (Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4). A ficha completa para avaliação quantitativa de sítios geológicos e glossário de termos técnicos encontram-se nos Anexos 5 e 6, respetivamente.

A - VALOR CIENTÍFICO (VC)			
Critério		Nota	Peso
A1	Representatividade		30%
A2	Local-tipo		20%
A3	Conhecimento científico		5%
A4	Integridade		15%
A5	Diversidade geológica		5%
A6	Raridade		15%
A7	Limitações ao uso		10%
	Total		100%

Tabela 1. Critérios e pesos atribuídos para a avaliação quantitativa do Valor Científico no aplicativo GEOSSIT (2017).

B - RISCO DE DEGRADAÇÃO (RD)			
Critério		Nota	Peso
B1	Deterioração de elementos geológicos		35%
B2	Proximidade a áreas/atividades com potencial para causar degradação		20%
B3	Proteção legal		20%
B4	Acessibilidade		15%
B5	Densidade populacional		10%
	Total		100%

Tabela 2. Critérios e pesos atribuídos para o cálculo do Risco de Degradação (RD) no aplicativo GEOSSIT (2017).

RD	
0 ≤ RD ≤ 200	Baixo
200 < RD ≤ 300	Médio
300 < RD ≤ 400	Alto

Tabela 3. O RD de cada sítio geológico pode ser classificado em baixo, médio e alto.

POTENCIAL USO EDUCATIVO (PUE) E TURÍSTICO (PUT)				
Critério		Nota	Educativo	Turístico
			Peso	Peso
C1	Vulnerabilidade		10%	10%
C2	Acessibilidade		10%	10%
C3	Limitações ao uso		5%	5%
C4	Segurança		10%	10%
C5	Logística		5%	5%
C6	Densidade populacional		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%
Total			100%	100%

Tabela 4. Critérios e pesos atribuídos para a avaliação quantitativa de PUE e PUT no aplicativo GEOSSIT (2017).

No aplicativo GEOSSIT (2017), um geossítio tem relevância nacional quando o valor científico está no intervalo entre 200 e 299 e tem relevância internacional quando este valor é igual ou superior a 300. De igual modo, um sítio de geodiversidade é considerado de relevância nacional quando o potencial uso turístico e educativo é igual ou maior que 200. Para valores inferiores a 200, os sítios de geodiversidade são considerados de relevância regional ou local.

Ao final, a Prioridade de Proteção (PP) é calculada a partir dos resultados obtidos para o tipo de Interesse científico (Ic), didático (Id), turístico (It), somados ao RD. A PP de cada sítio pode ser de longo, médio ou curto prazo (Tabela 5 e Tabela 6).

Prioridade de Proteção (PP)				
Pelo Interesse	Valor		Risco de Degradação	Soma
Científico (Ic)		+		
Didático (Id)				
Turístico (It)				
Global (Ig)				

Tabela 5. Critérios para o cálculo da PP dos sítios geológicos no aplicativo GEOSSIT (2017), onde $Ig = (Ic + Id + It) / 3$.

PP	
$0 \leq PP \leq 400$	Longo prazo
$400 < PP \leq 700$	Médio prazo
$700 < PP \leq 900$	Curto prazo
$900 < PP \leq 1000$	Urgente

Tabela 6. Critérios para classificação da PP (GEOSSIT, 2017).

4.2.2. Resultados da Quantificação

Os valores atribuídos aos critérios usados na avaliação do Valor Científico (VC) e resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Na Tabela 8 apresentam-se os valores atribuídos aos critérios para cálculo do Risco de Degradação (RD), seguidos dos resultados obtidos.

A - VALOR CIENTÍFICO (VC)									
SÍTIO GEOLÓGICO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	RESULTADOS VC	"RANKING"
Caverna Casa de Pedra	4	0	4	4	2	4	1	280	1ª
Morro do Ouro	4	0	4	4	1	4	1	275	2ª
Mármora Apiaí	4	0	2	2	2	4	2	250	3ª
Gorotubito Dobrado	2	0	2	4	1	2	2	185	4ª
Cavernas Couto e Morro Preto	2	0	4	4	2	1	1	175	5ª
Mirante Boa vista	2	0	2	4	1	1	2	170	6ª
Caverna Temimima I e II	2	0	4	4	2	0	1	160	7ª
Caverna Santana	2	0	4	4	1	0	1	155	8ª
Caverna Água Suja	2	0	4	4	1	0	1		
Caverna Laje Branca	2	0	4	4	1	0	1		
Caverna Alambari de Baixo	2	0	4	4	1	0	1		
Caverna Ouro Grosso	2	0	4	4	1	0	1		
Gruta do Chapéu	2	0	4	4	1	0	1		
Grutas Areias I e II	2	0	4	4	1	0	1	145	9ª
Caverna Cafezal	2	0	2	4	1	0	1		
Grutas Chapéu Mirim I e II	2	0	2	4	1	0	1		
Caverna Aranhas	2	0	2	4	1	0	1		
Metacalcários Formação Bairro da Serra	2	0	2	1	1	1	4	140	10ª
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	2	0	1	4	1	0	1		
Mirante do Núcleo Santana	1	0	1	4	1	1	1	125	11ª
Estrada e Mina do Lajeado	2	0	1	2	1	0	1	110	12ª
Gruta do Laboratório	1	0	1	4	1	0	1		
Mirante da Laje Branca	1	0	0	4	1	0	1	105	13ª
Cachoeira do Sem Fim	1	0	0	4	1	0	1		
Paleoterraço do Rio Ribeira	1	0	1	1	1	0	2	75	14ª
Mina de Furnas	1	0	2	1	1	0	1	70	15ª
Diabásio Núcleo Santana	1	0	1	1	1	0	1	65	16ª

Tabela 7. Valores atribuídos aos critérios A1 a A7 para cálculo do Valor Científico (VC) e resultados obtidos na plataforma GEOSSIT (2017).

B - RISCO DE DEGRADAÇÃO (RD)							CLASSIFICAÇÃO DE RD	"RANKING"		
SÍTIO GEOLÓGICO	B1	B2	B3	B4	B5	RESULTADOS RD				
Mármore Apiai	3	3	4	3	1	300	Médio	1ª		
Paleoterraço do Rio Ribeira	3	2	4	4	1	295		2ª		
Metacalcários Formação Bairro da Serra	3	1	4	2	1	245		3ª		
Gorotubito Dobrado	3	1	2	2	1	205		4ª		
Diabásio Núcleo Santana	3	0	1	4	1	195	Baixo	5ª		
Caverna Cafezal	3	0	3	0	1	175		6ª		
Gruta do Laboratório	2	0	4	1	1			170	7ª	
Mina de Furnas	3	0	2	1	1	150			8ª	
Caverna Santana	3	0	1	1	1			120	9ª	
Estrada e Mina do Lajeado	2	0	2	2	1	115			10ª	
Grutas Areias I e II	2	0	2	0	1			100	11ª	
Caverna Alambari de Baixo	2	0	1	1	1	90			12ª	
Caverna Laje Branca	2	0	1	0	1				85	13ª
Caverna Casa de Pedra	2	0	1	0	1					80
Caverna Temimima I e II	2	0	1	0	1	75		15ª		
Mirante do Núcleo Santana	0	0	1	4	1			65	16ª	
Cachoeira do Sem Fim	0	0	3	1	1	45			17ª	
Cavernas Couto e Morro Preto	1	0	1	1	1			30	18ª	
Mirante da Laje Branca	0	0	2	2	1				30	
Morro do Ouro	0	0	1	3	1					30
Caverna Água Suja	1	0	1	0	1	30				
Mirante Boa vista	0	0	2	1	1			30		
Caverna Ouro Grosso	0	0	1	1	1				30	
Gruta do Chapéu	0	0	1	1	1	30				
Grutas Chapéu Mirim I e II	0	0	1	1	1			30		
Caverna Aranhas	0	0	1	1	1				30	
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	0	0	1	0	1	30				
							30			
								30		
						30				

Tabela 8. Valores atribuídos aos critérios B1 a B5 para o cálculo do RD e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).

Na Tabela 9 e Tabela 10 apresentam-se os valores atribuídos aos critérios usados no calculado do Potencial Uso Educativo (PUE) e do Potencial Uso Turístico (PUT). Para o PUE são considerados os critérios C1 a C12 (Tabela 4), sendo os resultados obtidos expressos pelo Valor Educativo (VE). Em relação ao PUT, são excluídos os critérios C11 e C12 no cálculo do Valor Turístico (VT). A relevância de VE e VT pode ser classificada em Local/ Regional e Nacional.

Como já foi referido, o aplicativo GEOSSIT (2017) considera um geossítio com relevância nacional quando o VC se situa no intervalo 200-299 e de relevância internacional quando este valor é igual ou maior que 300. Um sítio de geodiversidade tem relevância nacional quando VT ou VE são igual ou maior que 200. Os sítios com valores inferiores a 200 são considerados como sítio de geodiversidade de relevância regional ou local. A Tabela 11 apresenta a classificação dos sítios geológicos inventariados durante este trabalho.

A Prioridade de Proteção (PP) dos sítios geológicos é calculada a partir do valor obtido para cada tipo de interesse (Ic, Id, It e Ig) somado ao RD. Cabe ressaltar que, no âmbito deste trabalho, não serão usados os resultados obtidos para a PP Global dos sítios geológicos, devido ao fato de Ig representar uma sobreposição de valores a cada tipo de interesse (Ic, Id, e It). A sobreposição de valores, pode influenciar negativamente a seriação final dos sítios geológicos. Por exemplo: se o objetivo for olhar para o potencial uso turístico, não deveria sobrepor valores de potencial uso educativo e científico.

C - POTENCIAL USO EDUCATIVO (PUE)															
SÍTIO GEOLÓGICO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	VALOR EDUCATIVO (VE)	RELEVÂNCIA (VE)	"RANKING"
Mirante do Núcleo Santana	4	4	2	4	4	1	4	1	1	3	4	1	305	Nacional	1ª
Cavernas Couto e Morro Preto	3	1	2	4	4	1	4	1	1	4	4	2	285		2ª
Caverna Alambari de Baixo	3	1	2	4	4	1	4	1	1	4	4	2	280		3ª
Caverna Santana	2	1	2	4	4	1	4	2	1	4	4	2	275		4ª
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	4	0	2	4	4	1	4	1	1	4	4	1	270		5ª
Caverna Água Suja	3	0	2	4	4	1	4	1	1	4	4	2	270		
Diabásio Núcleo Santana	4	4	2	4	4	1	4	0	1	3	2	2	265		6ª
Caverna Ouro Grosso	3	1	2	4	4	1	4	0	1	4	4	1	265		
Mirante Boa vista	4	1	2	4	4	1	4	0	1	3	4	1	260		7ª
Gruta do Chapéu	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	250		8ª
Grutas Chapéu Mirim I e II	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	250		9ª
Caverna Aranhas	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	250		
Grutas Areias I e II	3	0	1	2	3	1	4	0	1	4	4	2	245		10ª
Caverna Laje Branca	3	0	1	2	4	1	4	0	1	3	4	2	245		
Gruta do Laboratório	3	1	2	2	4	1	4	0	1	3	4	2	225		11ª
Cachoeira do Sem Fim	0	1	2	4	4	1	4	1	1	4	4	1	220		12ª
Paleoterraço do Rio Ribeira	2	3	4	2	4	1	3	0	1	2	4	1	205		13ª
Estrada e Mina do Lajeado	0	2	2	2	3	1	4	0	1	3	4	2	200		14ª
Mirante da Laje Branca	4	2	2	2	4	1	4	0	1	3	2	1	195	Regional/ Local	15ª
Caverna Cafezal	3	0	1	4	4	1	4	0	1	4	1	2	180		16ª
Gorotubito Dobrado	2	2	2	2	4	1	4	0	1	4	1	2	160		
Caverna Temimina I e II	3	0	1	2	3	1	4	1	1	4	1	3	195	Regional/ Local	14ª
Metacalcários Formação Bairro da Serra	2	2	4	2	4	1	4	0	1	2	1	1	180		15ª
Mina de Furnas	2	1	2	2	4	1	4	0	1	2	1	1	160		16ª

Tabela 9. Valores atribuídos aos critérios C1 a C12 para o cálculo do VE e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).

C - POTENCIAL USO TURÍSTICO (PUT)																
SÍTIO GEOLÓGICO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C13	C14	C15	VALOR TURÍSTICO (VT)	RELEVÂNCIA (VT)	"RANKING"
Mirante do Núcleo Santana	4	4	2	4	4	1	4	1	1	3	3	1	4	270	Nacional	1ª
Diabásio Núcleo Santana	4	4	2	4	4	1	4	0	1	3	3	1	4	255		2ª
Caverna Santana	2	1	2	4	4	1	4	2	1	4	4	1	4	250		3ª
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	4	0	2	4	4	1	4	1	1	4	4	1	4	245		4ª
Caverna Alambari de Baixo	3	1	2	4	4	1	4	1	1	4	4	1	3	240		5ª
Cavernas Couto e Morro Preto	3	1	2	4	4	1	4	1	1	4	3	1	4	235		6ª
Caverna Ouro Grosso	3	1	2	4	4	1	4	0	1	4	4	1	4	230		7ª
Mirante Boa vista	4	1	2	4	4	1	4	0	1	3	4	1	3			
Caverna Água Suja	3	0	2	4	4	1	4	1	1	4	3	1	4	225		8ª
Gruta do Chapéu	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	4			
Grutas Chapéu Mirim I e II	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	4			
Caverna Aranhas	4	1	2	3	3	1	4	0	1	4	4	1	4			
Grutas Areias I e II	3	0	1	2	3	1	4	0	1	4	3	1	1	215		9ª
Mirante da Laje Branca	4	2	2	2	4	1	4	0	1	3	3	1	4			
Cachoeira do Sem Fim	0	1	2	4	4	1	4	1	1	4	4	1	4			
Paleoterraço do Rio Ribeira	2	3	4	2	4	1	3	0	1	2	4	1	4	205		Regional/ Local
Caverna Cafezal	3	0	1	4	4	1	4	0	1	4	3	1	4	195	11ª	
Gruta do Laboratório	3	1	2	2	4	1	4	0	1	3	3	1	4	190	12ª	
Metacalcários Formação Bairro da Serra	2	2	4	2	4	1	4	0	1	2	2	1	4	185	13ª	
Caverna Laje Branca	3	0	1	2	4	1	4	0	1	3	4	1	3			
Caverna Temimina I e II	3	0	1	2	3	1	4	1	1	4	3	1	2	170	14ª	
Mina de Furnas	2	1	2	2	4	1	4	0	1	2	2	1	4	165	15ª	
Estrada e Mina do Lajeado	0	2	2	2	3	1	4	0	1	3	4	1	1			
Gorotubito Dobrado	2	2	2	2	4	1	4	0	1	4	0	1	3			

Tabela 10. Valores atribuídos aos critérios C1 a C15 para o cálculo do VT e resultados obtidos (GEOSSIT, 2017).

SÍTIO GEOLÓGICO	CLASSIFICAÇÃO
Caverna Casa de Pedra	Geossítio de Relevância Nacional
Mármore Apiaí	
Morro do Ouro	
Diabásio Núcleo Santana	Sítio da Geodiversidade de Relevância Nacional
Mirante do Núcleo Santana	
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	
Caverna Santana	
Caverna Água Suja	
Cavernas Couto e Morro Preto	
Caverna Cafezal	
Mirante da Laje Branca	
Caverna Laje Branca	
Caverna Alambari de Baixo	
Caverna Ouro Grosso	
Gruta do Chapéu	
Caverna Mirim I e II	
Caverna Aranhas	
Grutas Areias I e II	
Estrada e Mina do Lajeado	
Cachoeira do Sem Fim	
Gruta do Laboratório	
Paleoterraço do Rio Ribeira	
Mirante Boa vista	
Gorotubito Dobrado	
Caverna Temimina I e II	Sítio da Geodiversidade de Relevância Regional/Local
Metacalcários Formação Bairro da Serra	
Mina de Furnas	

Tabela 11. Classificação dos sítios geológicos de acordo com os resultados obtidos pelo aplicativo GEOSIT (2017).

Na Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14 apresenta-se o cálculo da PP de Ic e Id e It, e os resultados quanto à urgência de proteção, respetivamente.

PRIORIDADE DE PROTEÇÃO CIENTÍFICA					
SÍTIO GEOLÓGICO	Ic	RD	(Ic + RD)	Urgência à Proteção devido a atividades científicas	"RANKING"
Mármore Apiaí	250	300	550	A médio prazo	1 ^a
Caverna Casa de Pedra	280	100	380		2 ^a
Morro do Ouro	275	75	350		3 ^a

Tabela 12. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades científicas.

PRIORIDADE DE PROTEÇÃO DIDÁTICA					
SÍTIO GEOLÓGICO	Id	RD	(Id + RD)	Urgência à Proteção devido a atividades didáticas	"RANKING"
Paleoterraço do Rio Ribeira	245	295	540	A médio prazo	1ª
Diabásio Núcleo Santana	270	195	465		2ª
Caverna Santana	280	150	430		3ª
Metacalcários Formação Bairro da Serra	180	245	425		4ª
Gruta do Laboratório	250	175			
Gorotubito Dobrado	200	205	405		5ª
Caverna Alambari de Baixo	285	115	400		6ª
Mirante do Núcleo Santana	305	90	395		7ª
Caverna Cafezal	205	175	380		8ª
Grutas Areias I e II	260	120			
Estrada e Mina do Lajeado	225	150	375		9ª
Cavernas Couto e Morro Preto	285	80	365		10ª
Caverna Laje Branca	250	100	350		11ª
Caverna Água Suja	275	65	340		12ª
Mirante Boa vista	270	65	335		13ª
Cachoeira do Sem Fim	245	85	330		14ª
Mina de Furnas	160	170			
Caverna Ouro Grosso	270	45	315		15ª
Gruta do Chapéu	265	45	310		16ª
Caverna Mirim I e II					
Caverna Aranhas					
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	275	30	305		17ª
Mirante da Laje Branca	220	80	300	A longo prazo	18ª
Caverna Temimina I e II	195	100	295		19ª

Tabela 13. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades educativas.

PRIORIDADE DE PROTEÇÃO TURÍSTICA					
SÍTIO GEOLÓGICO	It	RD	(It +RD)	Urgência à Proteção devido a atividades turísticas	"RANKING"
Paleoterraço do Rio Ribeira	215	295	510	A médio prazo	1ª
Diabásio Núcleo Santana	255	195	450		2ª
Metacalcários Formação Bairro da Serra	190	245	435		3ª
Caverna Santana	250	150	400		4ª
Caverna Cafezal	205	175	380		5ª
Gruta do Laboratório	195	175	370		6ª
Gorotubito Dobrado	165	205			
Mirante do Núcleo Santana	270	90	360		7ª
Caverna Alambari de Baixo	240	115	355		8ª
Grutas Areias I e II	225	120	345		9ª
Mina de Furnas	170	170	340		10ª
Cavernas Couto e Morro Preto	235	80	315		11ª
Estrada e Mina do Lajeado	165	150			
Cachoeira do Sem Fim	215	85	300	A longo prazo	12ª
Mirante da Laje Branca	215	80	295		13ª
Mirante Boa vista	230	65			
Caverna Água Suja	225	65	290		14ª
Caverna Laje Branca	185	100	285		15ª
Caverna Temimina I e II					
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	245	30	275		16ª
Caverna Ouro Grosso	230	45			
Gruta do Chapéu	225	45	270		17ª
Caverna Mirim I e II					
Caverna Aranhas					

Tabela 14. Resultados obtidos para a prioridade de proteção face a atividades turísticas.

A partir dos resultados obtidos na avaliação quantitativa dos 27 sítios geológicos inventariados na área de estudo, consideram-se os seguintes critérios para o estabelecimento de um “ranking geral” de Prioridade de Proteção (Tabela 15 e Tabela 16):

- i. geossítios: devem ser priorizados numa estratégia de gestão pelo valor científico que representam (Brilha, 2016).
- ii. sítios de geodiversidade: considerou-se o maior valor entre os resultados obtidos para PP didática e PP turísticas.

SÍTIO GEOLÓGICO	PRIORIDADE DE PROTEÇÃO DIDÁTICA			PRIORIDADE DE PROTEÇÃO TURÍSTICA		
	Id	RD	(Id + RD)	It	RD	(It + RD)
Diabásio Núcleo Santana	270	195	465	255	195	450
Mirante do Núcleo Santana	305	90	395	270	90	360
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	275	30	305	245	30	275
Caverna Santana	280	150	430	250	150	400
Caverna Água Suja	275	65	340	225	65	290
Cavernas Couto e Morro Preto	285	80	365	235	80	315
Caverna Cafezal	205	175	380	205	175	380
Mirante da Laje Branca	220	80	300	215	80	295
Caverna Laje Branca	250	100	350	185	100	285
Caverna Alambari de Baixo	285	115	400	240	115	355
Caverna Ouro Grosso	270	45	315	230	45	275
Gruta do Chapéu	265	45	310	225	45	270
Caverna Mirim I e II	265	45	310	225	45	270
Caverna Aranhas	265	45	310	225	45	270
Grutas Areias I e II	260	120	380	225	120	345
Caverna Temimina I e II	195	100	295	185	100	285
Metacalcários Formação Bairro da Serra	180	245	425	190	245	435
Estrada e Mina do Lajeado	225	150	375	165	150	315
Cachoeira do Sem Fim	245	85	330	215	85	300
Gruta do Laboratório	250	175	425	195	175	370
Paleoterraço do Rio Ribeira	245	295	540	215	295	510
Mirante Boa vista	270	65	335	230	65	295
Gorotubito Dobrado	200	205	405	165	205	370
Mina de Furnas	160	170	330	170	170	340

Tabela 15. Comparação entre os resultados obtidos para PP didática e turística dos sítios geológicos, com destaque para o maior valor obtido entre elas.

Na Tabela 16 apresenta-se a seriação (*ranking*) final dos sítios geológicos que integram o inventário de sítios geológicos no PETAR e arredores.

PRIORIDADE DE PROTEÇÃO GERAL		
SÍTIO GEOLÓGICO	RESULTADO DE PP (Ic, Id ou It)	"RANKING"
Mármore Apiaí	550	1 ^a
Caverna Casa de Pedra	380	2 ^a
Morro do Ouro	350	3 ^a
Paleoterraço do Rio Ribeira	540	4 ^a
Diabásio Núcleo Santana	465	5 ^a
Metacalcários Formação Bairro da Serra	435	6 ^a
Caverna Santana	430	7 ^a
Gruta do Laboratório	425	8 ^a
Gorotubito Dobrado	405	9 ^a
Caverna Alambari de Baixo	400	10 ^a
Mirante do Núcleo Santana	395	11 ^a
Caverna Cafezal	380	12 ^a
Grutas Areias I e II		
Estrada e Mina do Lajeado	375	13 ^a
Cavernas Couto e Morro Preto	365	14 ^a
Caverna Laje Branca	350	15 ^a
Caverna Água Suja	340	16 ^a
Mina de Furnas		
Mirante Boa vista	335	17 ^a
Cachoeira do Sem Fim	330	18 ^a
Caverna Ouro Grosso	315	19 ^a
Gruta do Chapéu	310	20 ^a
Caverna Mirim I e II		
Caverna Aranhas		
Cachoeiras Beija-flor e Andorinhas	305	21 ^a
Mirante da Laje Branca	300	22 ^a
Caverna Temimina I e II	295	23 ^a

Tabela 16. Seriação final face à Prioridade de Proteção Geral dos sítios geológicos inventariados no PETAR e arredores.

4.2.3. Discussão sobre a avaliação quantitativa

No cálculo do VC, o critério A2 (local-tipo) não apresenta informação suficiente para caracterização dos sítios geológicos do PETAR, portanto, a pontuação atribuída a todos os sítios inventariados foi 0 “não se aplica”. No caso do critério A3 (conhecimento científico) as opções contemplam publicações científicas em livro, revistas científicas internacionais, revistas científicas nacionais, resumos em anais de eventos científicos ou em relatórios inéditos, diretamente relacionados à categoria temática. Existe ainda, a opção “não se aplica”. Tendo em conta que sítios geológicos descritos em dissertação de mestrado e/ou tese de doutoramento poderiam ser subvalorizados durante o processo de avaliação, consideraram-se estes documentos como “relatórios inéditos”, tendo-lhes sido

assim sido atribuído 1 ponto no critério A3 (foi o caso dos sítios “Cachoeiras do Beija-flor e Andorinhas” e “Mirante do Núcleo Santana”).

De acordo com os resultados obtidos do VC (Tabela 8), os sítios geológicos que obtiveram as maiores pontuações são a Caverna Casa de Pedra, o Morro do Ouro e o Mármore Apiaí, pelo fato destes três sítios obterem pontuação máxima (4) nos critérios A1 (representatividade) e A6 (raridade). Como o seu valor científico é maior que 200, são os únicos do inventário realizado considerados como geossítios de relevância nacional (Tabela 11).

Dentre os 27 sítios geológicos inventariados, 21 obtiveram PUT e PUE igual ou maior que 200. Foram assim classificados como sítios da geodiversidade de relevância nacional. Os três sítios com valores inferiores a 200 foram considerados como sítio de geodiversidade de relevância regional ou local (Tabela 11).

Os resultados da avaliação quantitativa de sítios geológicos permitem fazer reflexões interessantes sobre a atribuição de um dado valor por parte de diferentes investigadores. Por exemplo: o sítio Cavernas Couto e Morro Preto, que ocupa a 5ª posição no VC e os sítios Caverna Santana, Água Suja e Grutas Areias I e II, todos na 8ª posição (Tabela 7) foram considerados geossítios em inventários efetuados anteriormente por outros autores, nomeadamente no Inventário do Patrimônio Geológico do Estado de São Paulo (Garcia et al., 2017) e na Proposta de Geoparque do Alto Vale do Ribeira do Serviço Geológico do Brasil (Theodorovicz, 2014). Porém, no presente trabalho, não atingiram o VC suficiente para permitir a sua classificação como geossítios. A que se deve esta discrepância? Comparando as três primeiras posições no “ranking” de VC, em relação ao critério A1 – Representatividade (que tem o peso mais alto, 30%) obtiveram pontuação 2. Em A6 – Raridade (com peso de 15%) o sítio Cavernas do Couto e Morro Preto obteve pontuação 1 e os demais pontuação 0.

Em primeiro lugar, o sítio Cavernas Couto e Morro Preto na proposta de Geoparque do Alto Vale do Ribeira, correspondem a dois geossítios: Caverna e cachoeira do Couto e Caverna Morro Preto (avaliados de forma independente), enquanto neste trabalho ambas correspondem a um único sítio geológico. Além disso, ao analisar o objetivo do inventário realizado pela CPRM pode-se “aferir” que o conceito de “geossítio” adotado recorre ao conceito convencional: o objetivo do inventário realizado pela CPRM foi a seleção de “geossítios” mais representativos do patrimônio natural e cultural da região. A seleção dos geossítios teve como critério a escolha de locais onde o turista possa adquirir conhecimentos sobre a natureza, história e cultura regional, e que ao mesmo tempo, o turista interessado oportunidade em conhecer aspectos da história geológica da região, afirma Theodorovicz (2014). Por exemplo: a caverna do Couto foi incluída no inventário pela “exuberância” de ambos os portais. Já a caverna do

Morro Preto, pela diversidade e “beleza” dos espeleotemas. Em outras palavras, independente do resultado da avaliação quantitativa do valor de VC, estes sítios seriam nomeados de geossítios, na proposta de Geoparque do Alto Vale do Ribeira. O mesmo se aplica aos sítios Caverna Santana e Água Suja. No âmbito deste trabalho, classificação foi feita pelo GEOSSIT (apresentado em 4.2.1), baseado na proposta de Brilha (2016) (apresentada anteriormente no capítulo 2.2). A classificação em geossítio ou sítio geológico baseia-se no valor obtido em VC.

O Inventário do Patrimônio Geológico do Estado de São Paulo (Garcia et al., 2017) teve como objetivo principal, a identificação, seleção e caracterização do patrimônio geológico de valor científico excepcional de relevância nacional e internacional do Estado. Os sítios Caverna Santana, Couto e Morro Preto e Água Suja e Grutas Areias I e II foram integrados na categoria Sistemas Cársticos, cujas cavernas da região do Alto Vale do Ribeira são as mais representativas no Estado. Em comparação ao inventário realizado neste trabalho podemos considerar dois motivos para discrepância na classificação para estes sítios geológicos: a escala do inventário e os elementos geológicos de interesse principal considerados. O Estado de São Paulo tem uma área de aproximadamente 205.000 km² (IBGE, 2016), enquanto o PETAR tem uma área de 358 km². Considerando os elementos geológicos de interesse, o sítio Caverna Santana foi incluído pela diversidade de espeleotemas em ambos os inventários. O sítio Água Suja faz parte do inventário do Estado de São Paulo por representar um sistema complexo com abismo, e neste trabalho considerou-se a diversidade de espeleotemas, aspectos geomorfológicos e estruturais (como falhas, dobras). O sítio Grutas Areias I e II, em ambos se considerou como elementos geológicos principais o sistema de cavernas e depósitos sedimentares. Por fim, o Sítio Cavernas Couto e Morro Preto em ambos os inventários foram considerados como elementos geológicos principais o sistema de cavernas formados em diferentes níveis, contudo no inventário de São Paulo considerou-se adicionalmente paleoressurgência e achados fósseis. Se analisados a escala do inventário e os elementos geológicos destacados em cada sítio, significa que o sítio Caverna Santana em uma escala local não corresponde ao que melhor representa a diversidade de espeleotemas, já em escala estadual, é o mais representativo para a diversidade de espeleotemas. Embora os elementos geológicos de interesse principal sejam os mesmos, talvez a escala de inventário, somada ao “olhar do investigador” (experiência/conhecimento) possam ser considerados os motivos da discrepância assinalada. O mesmo se aplica ao sítio Grutas Areias I e II. No sítio Água Suja além da escala de inventário foram considerados diferentes elementos geológicos principais. Finalmente, no sítio Cavernas Couto e Morro Preto deve-se considerar como fator de discrepância os principais elementos geológicos considerados em cada inventário, um diferencial entre eles pode ser o fato de em um inventário tenha sido considerado

paleoressurgência e a presença de fósseis e neste trabalho não. Em análise geral a estes sítios geológicos, constata-se que a escala de inventário e os elementos geológicos principais considerados são dois aspetos importantes na justificação da obtenção de resultados diferentes. Não se pode dizer qual está “certo ou errado”, apenas que existem diferentes abordagens, consoante os objetivos da pesquisa.

Os sítios de geodiversidade Mina de Furnas e Diabásio e Núcleo Santana ocupam as últimas posições no “ranking” de VC. Para ambos, a pontuação obtida em cada critério difere apenas em A3 – Conhecimento científico em que foram pontuados com 2 e 1, respetivamente, o que determinou a posição destes sítios de geodiversidade no “ranking” de VC. Este resultado condiz com a realidade e está dentro do esperado.

Relativamente ao VC, verifica-se que o critério A1 – Representatividade é o que tem maior influência na seriação e classificação dos sítios geológicos. Em relação a A6 – Raridade, quando existem mais de 6 ocorrências idênticas na área de estudo, o critério é classificado como “não se aplica” (zero pontos). Este facto faz com que alguns sítios que se esperaria terem uma elevada PP, acabem por ficar subvalorizados. Por exemplo, o sítio Caverna Santana tem uma elevada diversidade de espeleotemas e, por este motivo, representa um bom exemplo ilustrativo destes elementos geológicos e, assim, obtém uma elevada valoração no critério A1 – representatividade. Contudo, existem na região de estudo muitas outras cavernas com espeleotemas semelhantes, ou seja, estes elementos não são raros e, portanto, o critério A6 – Raridade é avaliado com o valor zero. A Caverna Santana não foi assim sinalizada como tendo elevada PP o que acaba por ser contraditório pelo facto de ser um dos locais mais visitados no PETAR, necessitando por isso de a gestão priorizada.

Em relação aos critérios B5 e C6 – Densidade populacional usados no cálculo do RD, PUE e PUT, foram utilizados os dados obtidos no Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, publicado em 2010. Sendo a densidade populacional média do estado de São Paulo de 166,23 habitantes/km², e tendo os municípios de Apiaí 25,91 habitantes/km² e Iporanga 3,7 habitantes/km², foi atribuída a pontuação 1 a todos os sítios geológicos do inventário. Para áreas pequenas, como é o caso do PETAR, este critério não oferece grande possibilidade de diferenciação entre os sítios geológicos. Situação idêntica se verifica com o critério C14 – Nível econômico. Segundo o mesmo atlas, o estado de São Paulo tem um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,727., superior ao Índice de Desenvolvimento Municipal (IDHM) de Apiaí (0,710) e Iporanga (0,703). Assim, foi atribuída a este critério a mesma pontuação (um ponto) para todos os sítios geológicos.

De modo geral, os resultados obtidos de RD (Tabela 8) condizem com o esperado, em resultado do trabalho de campo efetuado. O geossítio Mármore de Apiaí ocupa a 1ª posição no “ranking”, seguido

dos sítios de geodiversidade Paleoterraço do Rio Ribeira, Metacalcários Formação Bairro da Serra e Gorotubito Dobrado. Estes quatro sítios geológicos ficaram classificados com RD médio porque estão em áreas sem proteção legal e sem controle de acesso, tendo-lhes sido atribuída a pontuação máxima no critério B3 – Proteção legal (4 pontos). O sítio Gorotubito Dobrado, embora esteja dentro do parque, pode ser acessado sem controle de acesso (tendo obtido pontuação 2). Acresce o facto que, nestes mesmos sítios, ocorrem afloramentos no talude de estradas, pelo que lhes foi atribuída a pontuação máxima no critério B1 – Deterioração de elementos geológicos.

Ainda relativamente ao RD, a maior parte dos sítios geológicos obteve pontuação zero no critério B2 – Proximidade a áreas/atividades com potencial para causar degradação, como os geossítios Caverna Casa de Pedra e Morro Ouro. Isso porque, esses sítios estão dentro do parque e as atividades desenvolvidas são “controladas”, portanto, esse critério “não se aplica”. Apenas os sítios que estão nas quatro primeiras posições do “ranking” foram pontuados neste critério.

Em relação ao PUE e PUT, foi efetuado o cálculo do VE e VT apenas para os sítios de geodiversidade (Tabela 9 e Tabela 10). De acordo com Brilha (2016), os geossítios devem ser sempre priorizados numa estratégia de geoconservação, independentemente do potencial uso, devido ao valor científico que representam. Assim, optou-se por não utilizar o VE e VT para os três geossítios do inventário (Caverna Casa de Pedra, Morro do Ouro e Mármore Apiaí). De acordo com o aplicativo GEOSSIT (2017), o VE e VT dos sítios de geodiversidade permitem classificá-los relativamente à relevância nacional ou regional/local. Entretanto, para efeito deste trabalho, esta relevância não será discutida em detalhe por não ter interesse direto nos objetivos da tese.

Quanto ao cálculo da PP, este trabalho apenas considerou a PP científica para os três geossítios (Tabela 12), já que os sítios de geodiversidade, por definição, têm baixo ou nulo valor científico. Todos os três geossítios apresentam uma prioridade de proteção de médio prazo. Já para os sítios de geodiversidade, foi calculada a PP didática e turística (Tabela 13 e Tabela 14). Em relação à PP didática e turística, as primeiras quatro posições no “ranking” são ocupadas por Paleoterraço do Rio Ribeira, Diabásio do Núcleo Santana, Caverna Santana e Metacalcários Formação Bairro da Serra. Também para estes 4 sítios, a prioridade de proteção é de médio prazo

Durante a avaliação quantitativa pelo aplicativo GEOSSIT (2017) optou-se por não utilizar os resultados obtidos da PP global. A PP global consiste na média aritmética entre os diferentes tipos de interesse: científico (Ic), didático (Id) e turístico (It), somado ao RD (como apresentado em 4.2.1). Ao estabelecer a seriação dos sítios geológicos baseadas nos resultados obtidos em PP global, alguns sítios poderiam vir a ser subvalorizados durante o processo de avaliação. Por exemplo, os geossítios Caverna

Casa de Pedra e o Morro do Ouro, que têm alto valor científico, quando calculada a PP global, perderiam posições no “ranking global” e, necessariamente, não seriam priorizados no estabelecimento de ações de gestão.

Deste modo, a seriação dos sítios geológicos que integram o inventário do PETAR e arredores, apresentado na Tabela 16, baseou-se em dois critérios: (i) geossítios e (ii) sítios de geodiversidade. Nas três primeiras posições do “ranking” final estão os geossítios: Mármore de Apiaí, Caverna Casa de Pedra e Morro do Ouro, seriados de acordo com a PP científica. Posteriormente, os sítios de geodiversidade foram seriados de acordo com os resultados da PP didática e PP turística. Para tanto, considerou-se o maior valor obtido entre as duas categorias de PP, expressos na Tabela 15.

5. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM SÍTIOS GEOLÓGICOS

5.1. O conceito de capacidade de carga

O conceito de capacidade de carga ou capacidade de suporte surgiu no final do século XIX aplicado às ciências biológicas, à ecologia e ecologia humana. A “ideia” ou “necessidade” de estabelecer a capacidade de carga foram registrados a primeira vez entre 1880 e 1885 no *“Random House Webster's Collegiate Dictionary”*, e em 1906 no Anuário do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, referindo-se principalmente ao ordenamento do território (uso da terra para pastoreio) (Price, 1999; Shaofeng, 2004).

No início do século XX, o conceito ecológico da capacidade de carga foi introduzido pela primeira vez por Hadwen e Palmer (1920) a partir da observação dos efeitos ecológicos da população de renas no Alasca (Shaofeng, 2004). No mesmo ano, foi publicado o trabalho de Pearl e Reed (1920) que teorizou a respeito do crescimento populacional de humanos e animais. O modelo matemático proposto por esses autores especificou que o crescimento populacional ocorreria lentamente no início, passaria a ser mais rápido até um determinado limite, que estaria associado aos limites ambientais. O crescimento populacional passaria a ser mais lento à medida que se aproxima da capacidade de carga, baseada em um ou mais fatores ambientais, por exemplo, comida e espaço (Manning, 2007).

A partir da publicação de Pearl e Reed (1920), surgiram diferentes estudos relacionados à capacidade de carga no campo da ecologia (Manning, op. cit.). Muitos autores (Takahashi, 1998; Shaofeng, 2004; Manning, 2007; Delgado, 2007; Coutinho, 2010; Zelenka e Kacetl, 2014; Sharma, 2016) destacam que os primeiros estudos abordaram, principalmente, o manejo da vida selvagem, pecuária e agricultura. As primeiras aplicações metodológicas (práticas) do conceito surgiram nos Estados Unidos da América (EUA), referindo-se, principalmente, ao número de animais de uma espécie que poderiam ser mantidos ao mesmo tempo em um determinado habitat (Dasmann, 1945). Os estudos aplicados à pecuária, objetivavam a determinação do número de gado que poderia ser mantido em uma determinada área sem causar danos irreversíveis à pastagem (Soller e Borghetti, 2013; Sharma, 2016). O conceito passou a ser aplicado na agricultura, e historicamente aplicado ao rendimento na silvicultura (Manning op cit.).

Ainda nas primeiras décadas do século XX, o conceito de capacidade de carga passou a ser aplicado para expressar e calcular os limites ambientais decorrentes de atividades humanas. Nesse sentido, Shaofeng (2004 p.35) distingue duas áreas principais de aplicação: na ecológica básica e na ecologia humana. Na ecologia básica (aplicada aos objetivos e aspirações humanas) o conceito de

capacidade de carga refere-se ao manejo de habitats, ecossistemas específicos (como vida selvagem, pastagens, etc.) e à gestão do turismo. Em segundo lugar, a capacidade de carga é aplicada à ecologia humana (análise das interações indivíduos e ambiente, e as demandas humanas sobre o ambiente) para discutir e ilustrar impactos e limites ecológicos decorrentes do crescimento populacional e aumento do consumo.

De modo geral, o conceito de capacidade de carga aplicado às ciências biológicas (ecológicas) tem como objetivo principal, a identificação do ponto de saturação (nível máximo) da população de uma espécie em uma determinada área. Uma vez alcançado esse limite a população está no limite máximo que pode ser sustentado (Pazienza, 2004). Ao que se refere a aplicação do conceito à ecologia humana a capacidade de carga objetiva identificar os limites ecológicos decorrentes da atividade social e económica (Shaofeng, 2004).

Nesse contexto, no âmbito deste trabalho, serão enfocados os principais aspetos históricos, conceituais e metodológicos do conceito de capacidade de carga aplicado à ecologia básica, particularmente, relacionados à gestão do turismo (em áreas naturais protegidas).

5.1.1. Capacidade de carga turística

O conceito de capacidade de carga, procedente das ciências biológicas (ecologia), aplicado, inicialmente, para o manejo da vida selvagem, agricultura e pecuária, converteu-se como uma importante ferramenta de gestão em espaços de recreação e lazer. A capacidade de carga passou a ser aplicada, principalmente, para identificação e cálculo (expressão) de impactos da atividade humana em áreas naturais protegidas (Takahashi, 1998; Shaofeng, 2004; Pires, 2005; Manning, 2007; Delgado, 2007; Coutinho, 2010; Soller e Borghetti, 2013; Zelenka e Kacetl, 2014; Sharma, 2016; Kennell, 2016).

Segundo Manning (2007), a primeira iniciativa em aplicar o conceito de capacidade de carga ocorreu na década de 1930, por meio da publicação de um relatório do Serviço Nacional de Parques dos EUA que propôs a questão: “qual o número de pessoas que podem percorrer uma área natural sem destruir suas qualidades essenciais?” (Sumner, 1936 citado por Manning, 2007). Esse documento representou uma das primeiras iniciativas de aplicação do conceito de capacidade de carga a áreas naturais nos EUA. Sugeriu-se no mesmo documento que “o uso recreativo da natureza fosse mantido dentro da capacidade de carga”. Na década de 1940 as publicações de novos trabalhos nos EUA ressaltaram a importância de “aferir” (ou calcular) a capacidade de carga em zonas florestais com intensa atividade de recreação.

No entanto, apenas na década de 1950 com o crescimento das taxas de visitação de parques e outras áreas protegidas nos EUA, a preocupação com a capacidade de carga em áreas turísticas (de uso público) passou ser sistematizada, como forma de manejo de visitantes em áreas naturais (Soller e Borghetti, 2013). Durante essa década, os esforços de gestores de áreas naturais protegidas nos EUA concentraram-se no estabelecimento do número máximo de visitantes em uma determinada área, sem causar impactos ambientais ao ecossistema.

Na década de 1960 foi publicada a primeira tese com aplicações da capacidade de carga no contexto de manejo de visitantes em áreas protegidas (Wagar, 1964). Esta monografia propôs a ampliação do conceito de capacidade de carga, até então tratado apenas na perspectiva de gestão de impactos ambientais. Para este autor, a capacidade de carga é definida como “o nível de uso que uma área pode sustentar sem afetar a sua qualidade”. O trabalho enfatizou que, além da preocupação com os problemas de gestão de áreas naturais protegidas, deveriam ser incorporadas características sociais e a experiência do visitante (Cole e Stankey, 1998; Takahashi, 1998; Takahashi e Cegana, 2005; Pires, 2005; Manning, 2007; Coutinho, 2010; Soller e Borghetti, 2013). A partir da reformulação do conceito de capacidade de carga, Wagar (1964) concluiu que: (i) diferentes pessoas (turistas, recreacionistas) buscam diferentes experiências ao visitar áreas naturais protegidas, e a relação entre a quantidade de uso e a qualidade de experiência pode variar de acordo com a experiência que o visitante pretende; (ii) a quantidade de uso é apenas uma das variáveis que influenciam a experiência do visitante e a qualidade do ambiente. Nesse sentido, Stankey e Cole (1998) discutem que outras variáveis relacionadas ao uso (modo de viagem, tamanho do grupo, comportamento do visitante) e variáveis ambientais podem influenciar o ambiente visitado. Assim, a gestão de visitantes em áreas naturais protegidas, na perspectiva desses autores, deve envolver um conjunto de ações de gerenciamento e não apenas a limitação do número de visitantes em uma determinada área recreativa.

Pires (2005) destaca que apenas na década de 1970 o conceito de “capacidade de carga” como uma técnica aplicada a gestão do turismo foi consolidada. Durante essa década foram desenvolvidas diferentes metodologias para aplicação da capacidade de carga turística. Dentre elas destaca-se o conceito de “*Limits of Acceptable Change*” (LAC) – “Limite Aceitável de Câmbio” (Takahashi, 1998; Takahashi e Cegana, 2005) ou “Limites de Alterações Aceitáveis” (Coutinho, 2010). O conceito de LAC, considerado como modelo “alternativo” foi proposto por Frissell e Stankey em 1972. O principal objetivo desse modelo foi destacar a importância do manejo de visitantes de acordo com o limite da quantidade de mudança aceitável em um determinado ambiente.

Durante as décadas de 1980 e 1990 houve um significativo aumento de publicações sobre a aplicação da capacidade de carga em destinos turísticos. Nesse sentido, Pazienza (2004), Shaofeng (2004), Pires (2005), Kostopoulou e Kyritsis (2006) e Kennell (2016) destacam que as aplicações da capacidade de carga em diferentes partes do mundo resultaram em uma grande diversidade de enfoques e abordagens para o conceito. Consequentemente, houve a reformulação e evolução dos conceitos existentes, bem como, o desenvolvimento de novas metodologias para avaliação da capacidade de carga turística (CCT).

No início da década de 1980, a Organização Mundial do Turismo (OMT, 1981: 4) (United World Tourism Organization - UNWTO) define a capacidade de carga como: “o número máximo de pessoas que podem visitar um destino turístico ao mesmo tempo, sem causar destruição do ambiente físico, econômico e sociocultural e uma diminuição inaceitável da qualidade e satisfação dos visitantes”.

No ano de 1984, Miguel Cifuentes propôs para o Plano de Manejo do Parque Nacional de Galápagos (Equador) um método para o cálculo da CCT para as trilhas e praias. Posteriormente, o método apresentado por Cifuentes (1984) foi revisto e aplicado a diferentes áreas protegidas na Costa Rica. No ano de 1992 este método obteve reconhecimento internacional e passou a ser aplicada como uma ferramenta de manejo (planejamento e gestão) de visitantes em áreas protegidas de uso público (Takahashi, 1998). De acordo com Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999) a capacidade de carga turística é “um tipo de capacidade de carga ambiental que se refere a capacidade biofísica e social em torno da atividade turística e seu desenvolvimento”. Representa o limite máximo da atividade humana que pode ser mantido em uma determinada área.

Boo (1990) define que “capacidade de carga é a quantidade máxima de visitantes que uma área pode acomodar mantendo poucos impactos negativos sobre os recursos e, ao mesmo tempo, altos níveis de satisfação para os visitantes”. Para Cerro (1993 citado por Pires 2005 p. 8) o conceito de CCT surgiu a partir da necessidade em “determinar limites as atividades recreativas e turísticas. A extrapolação de tais limites contribui para a saturação de equipamentos turísticos, degradação ambiental e a redução da experiência dos visitantes”.

O Serviço Nacional de Parques dos EUA (1992), em revisão ao conceito publicado inicialmente na década de 1930, definiu capacidade de carga como “o tipo de nível de uso que pode ser conciliado enquanto sustenta os recursos desejados e as condições recreativas que integram os objetivos da unidade e os objetivos de manejo”. Nesse sentido, Takahashi (1998) ressalta que a capacidade de carga pode, ou não, definir um número máximo de visitantes, consoante as condições recreativas. Se os

recursos são adequados e as condições recreativas mantidas, a quantidade de visitantes passaria a ter importância secundária.

Em 1992 realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Brasil (Rio-92). A Rio 92 representou um importante marco para sensibilização do uso e desenvolvimento sustentável. Sob influência desse novo paradigma, o conceito de capacidade de carga ganhou relevância global, reforçando a preocupação com questões socioculturais e econômicas em relação as populações residentes em áreas turísticas (Pires, 2005; Kostopoulou e Kyritsis, 2006; Coutinho, 2010).

Neste contexto, são apresentadas novas definições para capacidade de carga, que se distinguem das anteriores por incluírem as questões socioculturais e econômicas relativas às populações residentes em destinos turísticos. Para McIntyre (1993 p. 23) CCT é definida como “o uso máximo de qualquer local, sem causar efeitos negativos nos recursos, reduzindo a satisfação do visitante ou exercer impactos adversos na sociedade, economia e cultura dos locais turísticos”. Para Luc (1998) a capacidade de carga é definida como “o número máximo de pessoas que podem utilizar um local turístico sem efeito inaceitável sobre os recursos ambientais, atendendo à demanda turística”. Ao referir-se a áreas protegidas Lawson et al. (2002 p. 157) definem a capacidade de carga como “à quantidade de tipos de usos por visitantes que podem ser acomodados sem causar impactos inaceitáveis aos recursos naturais e sociais”. Saveriades (2000 p.147) relaciona o conceito diretamente ao desenvolvimento sustentável ao definir a capacidade de carga como “a sustentabilidade de um nível específico de desenvolvimento e uso turístico dentro de uma região específica”.

Muitos autores (Saveriades, 2000; Coccossis e Mexa, 2004a; Pires, 2005; Coutinho, 2010; Zelenka e Kacatl, 2014; Kennell, 2016; Sharma, 2016) ressaltam estudos metodológicos desenvolvidos principalmente a partir da década de 1990, elaborados no espírito das preocupações com o desenvolvimento sustentável. De acordo com Saveriades (2000) não existem definições universalmente aceites, sendo que as diferenças de abordagem representam diversas interpretações e aspetos da capacidade de carga, com implicações na sua forma de cálculo (Coccossis e Mexa, 2004). Nesse sentido, a capacidade de carga não pode ser aplicada de maneira uniforme e igual a todos os locais e atrações turísticas, cujas morfologias e estruturas são distintas (Kennell, 2016). Deste modo, abordagens para o conceito de capacidade de carga turística, em geral, compreendem diferentes componentes, categorias ou tipos de capacidade de carga (apresentadas resumidamente a seguir).

5.1.2. Categorias (ou tipos) de capacidade de carga

Segundo Coccossis e Mexa (2004), a primeira divisão do conceito de capacidade de carga turística em três categorias foi sugerida por Pearce em 1989: capacidade de carga ambiental e ecológica, capacidade de carga física e capacidade de carga perceptiva ou psicológica, as três refletindo as diferentes dimensões em que o conceito passou a ser aplicado. Baseando-se nos trabalhos de Boullón (2006), Pires (2005 p. 09 - 13), Coccossis e Mexa (2004b), Kostopoulou e Kyritsis (2006), Nghi et al. (2007 p. 81) e Kennell (2016 p. 134) são apresentadas, sucintamente, as categorias mais recorrentes para a aplicação do conceito de capacidade de carga no turismo: capacidade de carga ecológica e física, capacidade de carga material, capacidades de carga perceptiva/psicológica/social e capacidade de carga político/econômica.

5.1.2.1. Capacidade de carga ecológica e física

A capacidade de carga ecológica, segundo Pires (2005 p.11), tem como objetivo identificar e valorar os impactos causados por atividades de uso público (recreação e turismo) em ecossistemas. Consiste na determinação dos limites (ou níveis) de degradação ecológica aceitáveis. A partir da determinação destes limites, é calculado o número máximo de visitantes (usuários) que podem utilizar o local (turístico). Dentre os padrões para a determinação desse tipo de capacidade de carga estão o efeito do pisoteio sobre a vegetação e estrutura do solo (Cerro, 1993).

Para Boullón (2006 p.156) a capacidade de carga ecológica consiste no número de dias por ano, no número de visitantes simultâneos e no número de rotações diárias que uma determinada área pode absorver sem que se altere o equilíbrio ecológico. Para se calcular esta capacidade de carga ecológica num ambiente natural deve-se realizar uma investigação para cada caso, uma vez que a natureza não se comporta de maneira idêntica em diferentes ambientes.

Getz (1983 citado por Kennell, 2016 p. 134), define a capacidade de carga ecológica de um destino turístico como: “o nível máximo de uso que pode ocorrer sem causar danos inaceitáveis ao ambiente natural do recurso”. Para Nghi et al. (2007 p. 81) a capacidade de carga ecológica é definida pelo “número de usuários que podem realizar atividades em um determinado local turístico, causando degradação abaixo do limite do ambiente natural”. Para esses autores o cálculo da capacidade de carga ecológica deve envolver os limites de segurança dos ecossistemas, que são frequentemente estabelecidos por meio de indicadores ambientais (como poluição ambiental, perda de vegetação, redução da diversidade biológica).

Ceballos-Lascurian (1996) citado por Pires (2005 p.9) refere-se à capacidade de carga ecológica como o componente biofísico da capacidade. Para o autor essa componente refere-se, principalmente, aos recursos naturais e estende-se a outros recursos, como o patrimônio histórico-cultural. A capacidade de carga biofísica deve ser avaliada cientificamente com a participação de especialistas das ciências naturais e geociências, como destaca Pires (op cit.).

Segundo Coccossis e Mexa (2004b) a componente físico-ecológica da capacidade de carga constitui-se dos elementos do ambiente natural e construído. A capacidade de carga ecológica refere-se aos impactos causados no ambiente natural (impactos e recursos). A capacidade de carga física refere-se a elementos do ambiente construído, principalmente, a sistemas de infraestrutura (como serviços de abastecimento, transporte, saúde, eletricidade, etc.).

5.1.2.2. Capacidade de carga material

Segundo Boullón (2006 p.152), a capacidade de carga material se refere às características geológicas, geográficas e biológicas (vegetação) associadas a condições de segurança para a visitação em determinados locais com interesse turístico. As condições de visitação nos atrativos turísticos devem ser estabelecidas de acordo com cada seguimento do turismo, por exemplo, turismo de aventura, espeleoturismo. Em locais como cavernas e cascatas, deve-se assegurar os acessos, sinalização e equipamentos adequados para que os visitantes fiquem menos expostos a riscos. Ao mesmo tempo, deve-se assegurar que o número de visitantes e instalações de segurança não causem danos à paisagem, de modo a “descaracterizar sua unidade natural”.

5.1.2.3. Capacidades de carga perceptiva/psicológica/social

As capacidades de carga perceptiva, psicológica e social, de modo geral, referem-se à experiência do visitante em um local turístico e ao impacto causado nas comunidades locais.

Segundo Getz (1983 citado por Kennell, 2016 p. 134) a capacidade de carga perceptiva é uma medida do limite considerado pelo turista, além do qual é percebido como sendo um recurso turístico superlotado. A capacidade de carga social refere-se ao uso máximo de um recurso turístico, sem causar níveis inaceitáveis de sentimento negativo no turista.

De acordo com Ceballos-Lascurian (1996) citado por Pires (2005 p.9) o componente sociocultural refere-se aos impactos negativos que podem ser causados sobre a população residente em um local turístico. “O componente psicológico da capacidade de carga refere-se ao número máximo de

visitantes que uma determinada área pode suportar, oferecendo uma experiência turística satisfatória para os visitantes”.

Boullón (2006 p.153) refere-se à capacidade de carga psicológica como “o número de visitantes simultâneos que podem ser contidos em uma área natural permitindo-lhes uma experiência satisfatória”. A capacidade psicológica poderá variar de acordo com a “qualidade” do turista (observador, ator ou observador).

Segundo Coccossis e Mexa (2004b) o componente sociocultural da capacidade de carga inclui aspetos relacionados a qualidade e satisfação dos visitantes, e aspetos de tolerância da comunidade que hospeda o turismo. De acordo com Nghi et al. (2007 p. 81) a capacidade de carga social inclui dois aspectos: i) nível de aceitação da comunidade local, que é refletido pelo número máximo de turistas sem transformar os residentes em agentes oponentes do turismo; e ii) nível de aceitação dos turistas, expresso pela satisfação manifestada pelos turistas e pelo número de turistas que regressa a locais previamente visitados.

5.1.2.4. Capacidade de política/econômica

A componente político-econômica (Coccossis e Mexa, 2004b) da capacidade de carga refere-se, principalmente, aos impactos econômicos (custos de rentabilidade e oportunidade de desenvolvimento) gerados pela atividade turística (Kostopoulou e Kyritsis, 2006).

Segundo Getz (1983 citado por Kennell, 2016 p. 134) a capacidade de carga econômica de um local turístico é o uso máximo do recurso que pode ocorrer pelos turistas antes de levar a um nível inaceitável de dependência econômica do turismo. A capacidade de carga política refere-se ao uso máximo que pode ocorrer de um recurso turístico sem causar instabilidade política, por exemplo, conflitos sobre os direitos à terra ou controle dos rendimentos do turismo.

Na perspectiva de Nghi et al. (2007 p. 81), a capacidade de carga econômica é um nível aceitável de atividades turísticas sem causar nenhum dano às principais atividades econômicas locais. Isso significa que as atividades de turismo não devem gerar conflitos para outros setores econômicos, nem uma diminuição na renda da população local.

5.1.3. Medidas da capacidade de carga

Ao analisar o conceito de capacidade de carga nota-se que termo evoluiu e ganhou amplitude conceitual e metodológica ao longo do tempo. A aplicação da capacidade de carga para o manejo

silvestre passou a ser usada como ferramenta de gestão para destinos naturais de uso público (turísticos), que muitas vezes estão inseridos em áreas protegidas. A partir da década de 1990, sob influência do paradigma do desenvolvimento sustentável, diferentes estudos metodológicos foram desenvolvidos a fim de identificar, caracterizar e calcular os impactos causados ao ambiente natural por meio da atividade humana. O incremento no número de estudos sobre a capacidade de carga resultou no aumento da abrangência de conteúdos e em diferentes abordagens ao tema. Nesse sentido, muitos autores (Boullón 2006; Pires, 2005 p. 09 – 13; Coccossis e Mexa, 2004b; Kostopoulou e Kyritsis, 2006; Nghi et al., 2007 p. 81; Kennell, 2016 p. 134) identificam diferentes tipos ou categorias para a aplicação do conceito de capacidade de carga no turismo, como foi descrito na seção anterior.

Os diferentes métodos usados na avaliação de capacidade de carga (apresentadas na seção seguinte) compreendem desde modelos matemáticos desenvolvidos para determinação do número máximo de visitantes até modelos qualitativos que propõem a gestão dos sítios (locais ou áreas turísticas por meio do estabelecimento de condições aceitáveis). Kennell (2016) discute que nas diferentes abordagens para a determinação da capacidade de carga o objetivo em comum: quantificação do número de usuários em cada área ou local turístico. Entretanto, os diferentes métodos tentam apresentar “medições científicas objetivas, na prática elas dependem de vários julgamentos subjetivos”. Nesse sentido, Coccossis e Mexa (2004a), Shaofeng (2004) e Singh (2006) ressaltam a dificuldade em estabelecer um número de visitantes desejável em uma determinada área considerando as diferentes categorias de capacidade de carga (ecológica e física, material, perceptiva/psicológica/social e político/econômica) de maneira integrada. Além disso, a maioria dos métodos para a medir a capacidade de carga não consideram mudanças nas variáveis ambientais, por exemplo, variações nos processos endógenos e exógenos (Shaofeng, 2004) nem a dinâmica dos ecossistemas (Coccossis e Mexa 2004a). Do mesmo modo, o estabelecimento das capacidades de carga perceptiva, psicológica e social pode ser difícil de medir numericamente, pois estão relacionadas com a experiência e satisfação do visitante. A percepção e o grau de satisfação do visitante podem influenciar no grau de utilização de um determinado local, o que pode levar o gestor da área tomar medidas de desenvolvimento turístico que muitas vezes podem ser inadequadas, se considerada a capacidade de carga física e ecológica do local, por exemplo.

Em contrapartida, foram desenvolvidos diferentes modelos para o planejamento e gestão do uso público em áreas naturais protegidas. Trata-se de metodologias qualitativas, que objetivam orientar a determinação de padrões de mudanças aceitáveis para medir e moderar os impactos provenientes da atividade antrópica em ambientes naturais. Em geral, estes modelos alternativos inter-relacionam as

diferentes categorias da capacidade de carga apresentadas na seção 5.2 (Kostopoulou e Kyritsis, 2006; Sharma, 2016).

Em resumo, destaca-se a inexistência de um consenso alargado sobre quais os métodos mais adequados para avaliação da capacidade de carga, o que demonstra a complexidade do tema. A escolha do método para avaliação e determinação da capacidade de carga deve ser feita de acordo com o objetivo de gestão de locais de uso turístico.

5.2. Metodologias para Avaliação da Capacidade de Carga e suas aplicações

Neste subcapítulo são apresentados os métodos para avaliação da capacidade de carga mais usados na gestão de sítios turísticos (sintetizadas no Quadro 5). Pires (2005) propôs agrupar os métodos em dois grupos: quantitativos e qualitativos. Os métodos quantitativos recorrem à definição de padrões numéricos para a determinação da capacidade de carga, e dos referidos na literatura, são analisados neste trabalho os seguintes: Cifuentes (1992); Cifuentes-Arias et al. (1999); Boullón (2006); métodos de densidades e padrões de uso turístico (Lozato-Giotard, 1992; Ruschumann et al., 2006). Os métodos qualitativos compreendem modelos para a gestão de uso público em áreas naturais protegidas, analisam-se neste trabalho os seguintes: Limites de Alterações Aceitáveis (LAC) (Stankey et al., 1985); Experiência do Visitante e Proteção de Recursos (VERP) (National Park Service, 1993, 1997; Manning, 2001); Modelo de Gestão e Otimização Turística (TOMM) (TOMM, 2000) e Coccossis e Mexa (2004b).

Dada a importância geológica do PETAR, em especial para a espeleologia, e devido à quantidade e importância das cavidades em áreas cársticas, é proposto um terceiro grupo de métodos (que podem ser quantitativos e/ou qualitativos) para a determinação da capacidade de carga em sítios espeleológicos (ou capacidade de carga espeleológica). Incluem-se neste grupo os métodos: Zoneamento Ambiental Espeleológico (ZAE) (Lobo, 2009b); Projeção de cenários em mapas de fragilidade (Lobo et al., 2010; 2013) e o modelo para determinação da capacidade de carga turística com base em parâmetros atmosféricos (Lobo, 2011; 2015). Seguem-se para cada método exemplos com ênfase na aplicação em sítios geológicos.

Baseado nos modelos metodológicos e suas aplicações, no Quadro 5 foram sintetizadas algumas vantagens e desvantagens consideradas por alguns autores (Pires, 2005; Delgado, 2006; Manning, 2007; Boggiani et al., 2007; Lobo, 2009; Coutinho 2010; Lobo et al., 2010, 2013; Lobo, 2015; 2017) e pela própria autora.

Quadro 5. Metodologias/Métodos para avaliação da capacidade de carga turística: síntese de vantagens e desvantagens

METODOLOGIAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
METODOLOGIAS BASEADAS EM PADRÕES NUMÉRICOS		
Cifuentes (1992), Cifuentes–Arias et al. (1999)	➤ Monitoramento de variáveis quantificáveis (parâmetros físicos e químicos) ➤ Limitação do número de visitantes (melhor planejamento e gestão) (prática e operacional)	➤ Determinação do número máximo de visitantes pode ser incoerente com os objetivos de gestão ➤ Dificuldades em medir variáveis (erosão, compactação do solo) e distúrbios na fauna e flora ➤ Dificuldade em estabelecer relações diretas entre a visitação e os impactos causados no local e expressá-los numericamente ➤ Sobreposição de fatores e redução de CCT ➤ Resultados obtidos podem não corresponder à realidade do local
Boullón (2006)	➤ Considerada a demanda de visitação ➤ Permite o controle de visitação de forma simples (determinação do número de grupos por dia) ➤ Fornece alternativa “emergencial” e “provisória” para determinação de CCT quando ainda não se conhece as variáveis ambientais. ➤ “Bolha ecológica”: alternativa para determinação de CCT locais com uso intensivo, em que o ambiente natural já se encontra bastante alterado ➤ Determinação do número de pessoas simultaneamente em um local em função das necessidades do usuário	➤ Ausência de critérios e parâmetros ambientais para determinação de CCT ➤ Dificuldade em estabelecer os limites reais de visitação (subestima ou superestima dos valores de CCT) ➤ “Bolha ecológica”: melhor aplicável para a determinação da CCT psicológica/social (perspetiva do visitante) ➤ Pouco efetiva para a determinação da capacidade de carga ecológica/ material

Densidades e padrões de uso turístico Lozato-Giotard (1992); Ruschumann et al. (2006); IBAMA (2001, 2002)	➤ Considerada a demanda de visitação ➤ Permite o controle de visitação de forma simples (determinação do número de visitantes por dia em uma determinada área) ➤ Monitoramento baseia-se em dados quantificáveis (reduz subjetividade na avaliação)	➤ Ausência de critérios e parâmetros ambientais para determinação de CCT ➤ Os padrões podem definidos de natureza empírica ➤ Dificuldade em estabelecer os limites reais de visitação (subestima ou superestima os valores de CCT)
METODOLOGIAS PARA GESTÃO DE USO PÚBLICO EM ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS		
Limites de Alterações Aceitáveis (LAC) (Stankey et al., 1985) Experiência do Visitante e Proteção de Recursos (VERP) (National Park Service, 1993, 1997; Manning, 2001) Modelo de Gestão e Otimização Turística (TOMM) (TOMM, 2000)	➤ Modelos de planejamento turístico que possibilitam a elaboração de quadros sistemáticos para as condições ambientais e sociais aceitáveis ➤ Identificação e avaliação de impactos em determinadas áreas ➤ Monitoramento sistemático como forma de detectar mudanças antrópicas ou naturais como base para o manejo ➤ Facilitam ações para o manejo ➤ Permitem decisões de gestão na perspectiva de conservação dos recursos ➤ Estimulam ações participativas entre as comunidades locais	➤ Dificuldades na implementação efetiva em função da grande necessidade de investimentos financeiros (custos altos) para implantação de ações de gestão ➤ Carência de estudos científicos sobre a relação direta entre o ambiente e os impactos causados pela visitação ➤ Baseiam-se na experiência do visitante e avaliação do grau de satisfação (alterações mínimas no ambiente natural não são priorizadas) ➤ Melhor aplicáveis em áreas extensas
Coccossis e Mexa (2004b)	➤ Identificação de elementos descritivos e avaliativos permitem a determinação de fatores limitantes ➤ Elementos avaliativos demonstram os níveis de impactos aceitáveis e oferece bases para a gestão da área estudada	➤ Dificuldades na implementação efetiva em função de investimento financeiro (custos altos) para implantação de ações de gestão ➤ Baseiam-se na experiência do visitante e avaliação do grau de satisfação (alterações mínimas no ambiente natural não são priorizadas) ➤ Melhor aplicáveis em áreas extensas

	➤ Para cada tipo de CCT (físico-ecológica, socioculturais e político-econômico) propõe o uso de um conjunto de indicadores para o desenvolvimento sustentável do turismo e um conjunto de indicadores para avaliação de CCT (Forma simples e flexível) ➤ Monitoramento de fatores para a avaliação do estado do ambiente	
METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA TURÍSTICA EM SÍTIOS ESPELEOLÓGICOS		
Zoneamento Ambiental Espeleológico (ZAE) (Lobo, 2009b)	➤ Estabelece os limites de uso em função das características de cada zona do sítio geológico e dos tipos de público ➤ Fornece respostas rápidas para a determinação de CCT preliminar em sítios espeleológicos ➤ Integração de estudos temáticos independentes (arqueológicos, paleontológicos, etc.) ➤ Fornece alternativas para a determinação da capacidade de carga real do ambiente quando necessário ➤ Pode ser adaptado para diferentes áreas (não apenas para sítios espeleológicos)	➤ A classificação de zonas de manejo com uso restrito (sem visitação) e intangível prevê a limitação ao uso público tem pouca utilidade prática (não há visitação, não há motivos para estabelecer a CCT nessas zonas)
“Projeção de Cenários em mapas de fragilidade” (Lobo et al., 2010; 2013)	➤ Integração de estudos temáticos independentes (arqueológicos, paleontológicos, etc.)	➤ O método não é "ideal" para a determinação da capacidade de carga turística "permanente" em sítios espeleológicos

	➤ Estudo multidisciplinar envolve a participação de especialistas em diferentes áreas do conhecimento (biólogos, geológicos, arqueólogos, etc.) (planejamento participativo) ➤ Considera os aspectos sociais (participação das comunidades locais) ➤ Fornece resultados flexíveis ➤ Estabelece o número de visitantes, dimensão dos grupos de acordo com o tipo de atividades ➤ Estabelece roteiros prévios de visita ➤ Não havendo consenso entre as partes, fornece alternativas para a determinação de CCT provisória (numericamente)	➤ Não prevê o monitoramento ambiental para avaliação da dinâmica ambiental (ex. parâmetros atmosféricos: temperatura, umidade do ar, etc.)
Capacidade de carga turística com base em parâmetros atmosféricos (Lobo, 2011; 2015)	➤ Projeção de cenários de visita ➤ Monitoramento de fatores ambientais (parâmetros ambientais mensuráveis) considerando a sazonalidade ➤ Permite o estabelecimento de CCT de forma dinâmica, de acordo com a sazonalidade (cada estação do ano pode apresentar uma capacidade de carga)	➤ Dificuldades na implementação efetiva em função da grande necessidade de investimentos financeiros (custos altos) para o monitoramento ambiental das variáveis (parâmetros atmosféricos) ➤ O processo para estabelecer a CCT de um sítio espeleológico não é recomendado para um período mais curto de dados (semanas ou meses).

5.2.1. Metodologias baseadas em padrões numéricos

5.2.1.1. Metodologia de Miguel Cifuentes (1992) Cifuentes-Arias et al. (1999)

De acordo com Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999) a determinação da capacidade de carga turística (CCT) constitui uma ferramenta de planejamento que permite estabelecer a intensidade de uso em locais de uso público em áreas naturais protegidas, o que suporta a tomada de decisões para a gestão desses sítios. O cálculo da CCT envolve um processo com seis etapas distintas apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6. Etapas metodológicas propostas por Cifuentes (1992).

Etapla 1. Análise de políticas públicas sobre o turismo e manejo de áreas protegidas a nível nacional, regional e local.
Etapla 2. Análise dos objetivos de gestão da área protegida.
Etapla 3. Análise e zoneamento dos locais públicos de visitação.
Etapla 4. Definição, reforço ou mudanças de políticas públicas e decisões na gestão, de acordo com a categoria de manejo e zoneamento.
Etapla 5. Identificação de fatores/características que influenciam cada local de uso público.
Etapla 6. Determinação da capacidade de carga para cada sítio de uso público.

A determinação da capacidade de carga de cada sítio de uso público compreende três níveis ou tipos:

- a) Capacidade de Carga Física (CCF)
- b) Capacidade de Carga Real (CCR)
- c) Capacidade de Carga Efetiva (CCE).

Cada um dos níveis subsequentes, na ordem em que foram citados, constituem uma capacidade de carga corrigida da calculada anteriormente. A relação entre os diferentes níveis da capacidade de carga é apresentada na Figura 41, abaixo:

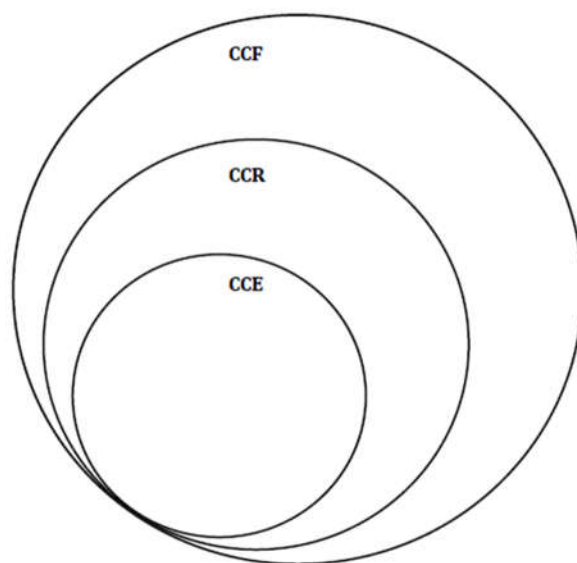


Figura 41. Relação entre os diferentes níveis da capacidade de carga. Fonte: Lima, 2012 adaptado de Cifuentes (1992).

Capacidade de Carga Física (CCF)

A capacidade de carga física (CCF) será sempre maior que a capacidade de carga real (CCR) e esta poderá ser maior ou igual a capacidade de carga efetiva (CCE).

$$CCF > CCR \geq CCE$$

A capacidade de carga física (CCF) corresponde ao limite máximo de visitas que podem ser feitas a um sítio com uma área determinada e duração específica. O cálculo da CCF deve ser baseado, necessariamente, nos seguintes fatores:

- Espaço por visitante: considera-se que uma pessoa, normalmente, ocupa 1m² de espaço, para “mover-se livremente”;
- Superfície disponível: está determinada pelas condições do sítio avaliado. Em ambientes abertos, poderá estar condicionada a fatores físicos (como rochas, barrancos, rachaduras (gretas), etc.) ou por limitações devido à fragilidade e segurança. Deve-se considerar ainda o tamanho e a distância que deverá ser mantida entre grupos de visitantes;
- Fatores de visita: correspondem ao horário de visitação diária de um sítio e ao tempo necessário para que se realize a visita.

Deste modo o cálculo da CCF é dado por:

$$CCF = \frac{S}{SP} \times NV$$

Onde:

S = Superfície disponível (m²)

SP = Superfície disponível por pessoa (m²)

NV = Número de vezes que o local pode ser visitado pela mesma pessoa em um dia.

O cálculo de NV é dado por:

$$NV = H/t$$

Onde:

H = Horário de visita ao local

t = tempo necessário para realizar a visita

Capacidade de Carga Real (CCR):

A capacidade de carga real (CCR) é o limite máximo de visitas, estabelecidos a partir do cálculo de CCF, após a introdução de alguns fatores de correção. Estes são obtidos de acordo com variáveis físicas (erosão, por exemplo), ambientais (pluviosidade, intensidade de insolação, por exemplo), biológicas (distúrbio da fauna e flora) e de gestão (acessibilidade e manutenção de instalações, etc.). Os fatores de correção são calculados a partir da seguinte fórmula:

$$FC = \frac{Ml}{Mt} \times 100$$

Onde:

FC = Fator de correção

Ml = Magnitude limitante da variável

Mt = Magnitude total da variável

A partir do cálculo dos fatores de correção a CCF é obtida pela seguinte fórmula:

$$CCR = CCF \times \frac{100 - FC1}{100} \times \frac{100 - FC2}{100} \times \dots \times \frac{100 - FCn}{100}$$

Capacidade de Carga Efetiva (CCE):

A capacidade de carga efetiva (CCE) corresponde ao limite máximo de visitas que devem ser permitidas, tendo em conta a CCR e a capacidade de manejo (CM) da área protegida. CCE é obtida pela comparação entre a CCR e a CM da administração da área protegida.

A CCE é obtida pela fórmula geral:

$$CCE = CCR \times \frac{CM}{100}$$

Onde:

CCR = capacidade de carga real

CM = percentagem da capacidade de manejo mínima

A capacidade de manejo (CM) é definida como as condições administrativas da área protegidas que são necessárias para que se possa atingir funções e objetivos de gestão em sua totalidade. A determinação da CM está condicionada por variáveis administrativas como: respaldo jurídico, políticas públicas, infraestruturas, financiamento, etc. Entretanto, algumas dessas variáveis não podem ser mensuráveis. A aproximação aceitável para a CM pode ser feita, considerando variáveis mensuráveis, como: infraestrutura, equipamentos e financiamento (Cifuentes, 1992; Cifuentes-Arias, 1999).

A definição da capacidade de carga não deve ser entendida como a solução para problemas de visitação em áreas naturais protegidas, mas sim uma ferramenta de manejo. A análise do cálculo da CCT permitirá obter conclusões e formular recomendações para orientar os diferentes níveis administrativos de gestão de áreas protegidas.

5.2.1.1.1. Aplicações do método de Cifuentes (1992), Cifuentes-Arias et al. (1999)

O método de Cifuentes foi aplicado pela primeira vez em 1984, como parte da revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional de Galápagos (Equador). Em 1992, o modelo para o cálculo da capacidade de carga turística foi revisado e aplicado na Reserva Biológica na Costa Rica. Adicionalmente, foram desenvolvidos outros estudos em áreas protegidas na Costa Rica: no Monumento Nacional de Guayabo, na Reserva Natural Absoluta Cabo Blanco e no Parque Nacional Manuel Antonio (Cifuentes, 1992; Cifuentes-Arias et al., 1999).

A metodologia de Cifuentes obteve reconhecimento internacional e passou a ser aplicada para calcular a capacidade de carga em diferentes áreas naturais protegidas de uso público em diferentes partes do mundo. Muitos desses estudos justificam-se pela crescente demanda do turismo em áreas naturais protegidas. Na Ásia, por exemplo, realizou-se o estudo da capacidade de carga ambiental no Parque Natural de Telaga Warna Telaga Pengilon, Planalto de Dieng, ilha de Java (Aryasa et al., 2017). Na África e Europa a metodologia de Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999) tem sido aplicada para gestão zonas costeiras, como as praias do Tofo, em Moçambique (Zacarias, 2013) e na praia de

Carcavelos, em Portugal (Silva, 2017). Ambos os estudos objetivaram a apresentação de cenários para gestão estratégica de visitantes em zonas costeiras por meio da avaliação da CCT.

Na América Latina, a metodologia proposta por Cifuentes (op. cit.) tem sido aplicada em áreas naturais protegidas terrestres e marinhas, nomeadamente em trilhas: no Parque Nacional Cahuita, Costa Rica (PROARCA, 2006); Caminhos Rurais de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil (Soller e Borghetti, 2013); e Reserva Particular do Patrimônio Natural Uru, Paraná, Brasil (Pontes e Paula, 2017). Além disso, a metodologia foi aplicada para o cálculo da capacidade de carga para regulamentação de prática de rafting no Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), São Paulo, Brasil (Raimundo e Vilani, 2000). Em áreas naturais protegidas insulares destacam-se os trabalhos desenvolvidos no Parque Nacional de Galápagos, Equador (Amador et al., 1996) e no Parque Nacional de Fernando de Noronha, Brasil (Mitraud, 1998). Em áreas marinhas, esta metodologia foi adaptada para a gestão da atividade de mergulho em trilhas subaquáticas no Parque Nacional da Ilha Isabel, México (Rios-Jara et al., 2013).

A metodologia de Cifuentes (1992) foi igualmente aplicada em percursos pedestres (Queiroz et al., 2014) e geossítios (Boggiani et al., 2007; Lima, 2012; Lima et al., 2017) em geoparques e, sítios geológicos em áreas protegidas (Lobo, 2010; 2011; Lobo et al., 2017), como ferramenta de planeamento e gestão.

Lima (2012) e Lima et al. (2017) realizaram o monitoramento do impacto da visitação no geossítio “Ponta da Ferraria e Pico das Camarinhas”, Ilha de São Miguel, Geoparque Açores. O cálculo da capacidade de carga foi obtido pela aplicação do método de Cifuentes (1992), adaptado ao contexto do geossítio. Para o cálculo de CCR do geossítio foram analisados fatores de correção físicos (erosão e acessibilidade), ambientais (precipitação, intensidade do sol e influência das marés); biológicos (distúrbio da fauna e flora) e de gestão (atividades de manutenção). Os resultados obtidos para CCE indicam que o geossítio pode receber 2050 visitantes por dia (ou 748.250 por ano) cerca de dez vezes o número de visitantes registrados durante o trabalho de campo realizado no ano de 2012 (Lima, et al., 2017 p. 501). Os autores discutem que embora o número de visitas diárias no geossítio possa ser cerca de dez vezes superior que o número de visitas recebidas em 2012, dificilmente o geossítio atingirá a sua capacidade de carga máxima, dadas as condições do local, por exemplo, locais para estacionamento de viaturas, estrada de acesso ao local, dimensão da piscina, etc.

Queiroz et al. (2014) realizaram um estudo para determinar a capacidade de carga turística em percursos de pedestres nas ilhas de São Miguel e Flores no Geoparque Açores, Portugal, com o intuito de promover o seu planeamento e gestão sustentável. Muitos percursos pedestres estão inseridos em

áreas de Rede Natura 2000 e em geossítios (como a Lagoa do Fogo). O método de Cifuentes (1992) foi adaptado à realidade dos locais estudados, tendo sido considerados fatores de correção social, precipitação, luz e acessibilidade. A CCE não foi avaliada durante esse estudo devido à ausência de infraestrutura nas trilhas. Os autores discutem os valores obtidos, indicam que a capacidade de carga das trilhas não foi atingida em nenhum dos trechos, entretanto, a demanda turística nos Açores tende a aumentar, então, a capacidade de carga poderá aumentar. Ao final, concluiu-se que o estudo da CCT contribuiu para o monitoramento contínuo e ajuste de planos de gestão locais (Queiroz et al., 2014 p.7).

No Brasil, foram realizados estudos para avaliação da CCT nos geossítios (espeleológicos) Gruta do Lago Azul e Nossa Senhora Aparecida, integrados no Monumento Natural Gruta do Lago Azul, Mato Grosso do Sul (Boggiani et al., 2007; Geoparque Bodoquena Pantanal, 2018). No estudo foi aplicado o método de Cifuentes (1992), pela primeira vez, em percursos no interior de cavernas. Boggiani et al. (2007 p.336) ressaltam que, no caso particular das cavernas, a visita deve ser planejada considerando a forma que as visitas podem ser feitas, para que haja o mínimo de alterações nas condições ambientais. Deste modo, os fatores de correção para o cálculo da CCR foram estabelecidos após o monitoramento de parâmetros físico-químicos (temperatura e umidade) durante 15 meses. Considerou-se como fatores de correção: acessibilidade, modificação da temperatura e umidade, aumento da taxa de gás carbônico, incidência de radônio, piso escorregadio e distúrbio da fauna. Ao final, para gruta do Lago Azul, a capacidade de carga turística resultou em 264 visitas/dia (no período menos chuvoso, entre abril a outubro) e 95 visitas (no período mais chuvoso, entre novembro a março). A capacidade de carga turística para a gruta Nossa Senhora Aparecida resultou em 297 visitas/dia.

O método de Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999) foi também aplicado em diversos trabalhos em sítios geológicos no PETAR, compilados por Lobo (2017 p. 656-657). Segundo o autor, muitos desses trabalhos foram desenvolvidos na caverna Santana. Os primeiros trabalhos foram desenvolvidos por Sgarbi (2003) com a aplicação do método de Cifuentes (1992). Neste trabalho CCR para a caverna Santana foi calculada em 430 visitas/dia. Em outros trabalhos, os valores obtidos para CCR no mesmo sítio geológico foram: 242 visitas/dia (Lobo, 2005); 132 visitas/dia Lobo (2007). Posteriormente, os resultados para CCF em Lobo (2005) foram revisados e aplicados os fatores de correção adaptados do método de Cifuentes (1999). Os resultados obtidos nesse estudo para CCR na caverna Santana foram 117 visitas/dia. No ano de 2008, em revisão aos trabalhos anteriores, o mesmo autor sugere que a visita na caverna Santana fosse “realizada de forma sazonal: “117 visitas/dia (nos dias úteis) sendo 13 grupos de até 9 pessoas (incluindo o monitor ambiental) e 135 visitas/ dia nos

finais de semana e feriados, ou seja, 15 grupos de até 9 pessoas (incluindo o monitor ambiental)” (Lobo, 2017 p. 657).

Outros estudos de CCT foram feitos no sítio geológico caverna Morro Preto no PETAR, com aplicação do método de Cifuentes-Arias et al. (1999) para a determinação da CCF durante a realização de eventos musicais. Nesse estudo foi obtido o valor limite de 238 pessoas (Lobo et al., 2009; Lobo e Zago, 2009).

Em uma breve análise à aplicação do método apresentado, observou-se que em muitos estudos (Boggiani et al., 2007; Lima, 2012; Zacarias, 2013; Queiroz et al., 2014; Aryasa et al., 2017; Lima et al., 2017) discute-se que a CCT não é estática e que os valores obtidos devem apenas servir como referência para o planejamento e gestão dos locais avaliados. Esses valores devem ser revistos e recalculados (aumentados ou diminuídos) caso a dinâmica do local seja alterada. A limitação do número máximo de visitantes pode, muitas vezes, ser incoerente com os objetivos de planejamento e gestão em áreas naturais protegidas, uma vez que, na maior parte dos estudos para determinação de CCT, as formas de visitação e comportamento individual do visitante (que podem interferir nos impactos causados pelo turismo) não são considerados (Delgado, 2006; Lobo, 2011).

Entretanto, na perspectiva de conservação de elementos específicos da geodiversidade, como o caso de sítios espeleológicos (em que se deve monitorar os parâmetros físicos e químicos) a determinação do número de pessoas permite o planejamento e gestão, de modo que as alterações sejam minimizadas naquele ambiente (Boggiani et al., 2007). Nesse sentido, Delgado (2006) e Lobo (2011; 2017) identificam algumas falhas na metodologia proposta por Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999). Delgado (2006 p.86) afirma que a metodologia apresenta melhores resultados quando as variáveis são bem conhecidas e podem ser facilmente quantificadas. Ao analisar variáveis complexas (como erosão, compactação do solo, distúrbios da fauna e flora) torna-se difícil estabelecer uma relação direta entre os impactos causados no local e a visitação, e expressá-los numericamente. Lobo (2011; 2017) ressalta que sobreposição de fatores de correção entre si reduz significativamente a CCR de um local turístico, deste modo ao final do processo obtém-se um número que muitas vezes pode não corresponder com a realidade, ou seja, com a capacidade de resiliência do ambiente natural.

5.2.1.2. Método de Boullón (2006)

Devido aos problemas de ordenamento de território nos espaços em que se desenvolvem atividades turísticas na América Latina e aos resultados insatisfatórios de adaptações metodológicas anteriores, este autor introduziu em 1985 o conceito de “coeficiente de rotatividade”, e reapresentou o

conceito de “distância pessoal” ou “bolha ecológica” para avaliação da capacidade de carga em áreas naturais.

Boullón (2006) reconhece três tipos de capacidade de carga: material, ecológica e psicológica (apresentado em 5.1.2). Baseado no cálculo de cada tipo pode-se obter os limites de tolerância turística de uma determinada área ou local. A relação entre cada tipo de capacidade de carga, os tipos de uso (que podem ser restrito, ou seja, com limitações de uso público; ou intensivo, isto é, amplamente usado para o uso público) e os fatores que interferem no cálculo da capacidade de carga são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Capacidade de carga de paisagens naturais, baseada em Boullón (2006).

Tipo de capacidade de carga	Usos	Fatores
Material	➤ Uso restrito ➤ Uso intensivo	➤ Condição geográfica ➤ Segurança do turista ➤ Atividades programadas
Ecológica	➤ Uso restrito ➤ Uso intensivo	➤ Efeitos de diluição ambiental
Psicológica	➤ Uso restrito ➤ Uso intensivo	➤ Bolha ecológica ➤ Atividades programadas

A determinação da capacidade de carga de uma área é obtida pela divisão da dimensão da área utilizada para o turismo por um valor padrão.

$$Capacidade\ de\ Carga = \frac{D}{P}$$

Onde:

D = dimensão da área turística,

P = valor padrão, que representa o espaço em M^2 por pessoa.

O valor padrão refere-se a um valor, teórico ou experimental, relativo à capacidade territorial limite para cada usuário.

Posteriormente calcula-se o total de visitas diárias, que se obtém da seguinte forma:

$$Total\ de\ visitas\ diárias = capacidade\ de\ carga \times coeficiente\ de\ rotatividade$$

Onde o coeficiente de rotatividade se determina através da divisão entre o número das horas diárias que o local poderá ser visitado entre o tempo médio de cada visita (calculado para a realização da atividade turística) de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Coeficiente de rotatividade} = \frac{\text{Tempo que o local poderá ser visitado}}{\text{tempo médio de visitas}}$$

5.2.1.2.1. “Distância pessoal” ou “bolha ecológica”

A metodologia de Boullón (2006) apresenta o conceito de distância pessoal ou bolha ecológica como alternativa para locais de uso turístico, especificamente, praias. O autor afirma que os métodos para a determinação da capacidade de carga, em geral, foram concebidos para áreas protegidas e que a maior parte desses locais considera prioritariamente a capacidade de carga ecológica. Entretanto, para locais não inseridos em áreas protegidas, em que o ambiente natural já se encontra bastante alterado ou já não existe, a determinação da capacidade de carga deve basear-se nas capacidades material (condições do solo e água) e psicológica.

A distância pessoal é definida como “uma determinada área, dotada de fronteiras invisíveis, ao redor do corpo de uma pessoa, e na qual os intrusos não devem penetrar” (Hediger p. 149). Baseia-se em duas situações: (i) relação homem–homem e (ii) relação homem–ambiente. Considerando os tipos de atividades que podem ser realizadas por turistas nesses locais, o autor define quatro tipos de distância: isolada (pesca, caça e caminhadas); de proximidade, ou seja, quando se produzem concentração de pessoas (viagens em grupos, feiras, espetáculos públicos); de conjunto (jogos em equipe); e de contato (como danças). Os três primeiros tipos aplicam-se a estudos de capacidade de carga psicológica, ou seja, para a determinação do número de visitantes que uma área pode receber, de modo a que os mesmos tenham uma experiência satisfatória.

5.2.1.2.2. Aplicações do método de Boullón (2006)

De acordo com Lobo (2011 p.83) o coeficiente de rotatividade é a forma mais recorrente para identificar os limites de visitação em cavernas no Brasil. O planejamento de visitação em cavernas baseia-se no tempo disponível para a visitação e o tempo necessário para realizar o roteiro turístico. O mesmo autor ressalta que nenhum fator “crítico do ambiente” é considerado para a determinação do número máximo de visitantes que pode visitar cada local. Deste modo, não se podem estabelecer limites reais de uso de uma caverna.

O método de Boullón (2006) foi aplicado no geossítio Abismo Anhumas, Mato Grosso do Sul, Brasil. O geossítio é uma cavidade em superfície com 72m de desnível até ao lago no seu interior. Entre

os principais elementos de interesse geológico estão cones calcários, submersos em águas cristalinas. Esses espeleotemas tornam o geossítio um dos locais mundialmente importantes para esse tipo de ocorrência (Geoparque Bodoquena Pantanal, 2018). O limite máximo de visitantes por dia é de 18 pessoas (estabelecidos no plano de manejo espeleológico) (Costa, 2004; Geoparque Bodoquena Pantanal, 2018). Lobo op cit. ressalta que embora o geossítio tenha grande extensão, sob a ótica da conservação ambiental, os limites estabelecidos são adequados, dada a importância dos principais elementos geológicos.

Outro exemplo de aplicação baseado no coeficiente de rotatividade de Boullón (2006), foi apresentado na proposta metodológica de determinação da capacidade de carga de visitação turística para as cavernas da região de Bulhas D'Água e Buenos no Parque Estadual de Intervalos e no Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira, Estado de São Paulo. Essa proposta foi elaborada por Camargo (2008), com base nos trabalhos de pesquisas realizados pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas na região. Segundo Camargo (2008 p.33) a determinação da capacidade de carga de visitação, ou seja, determinação do número máximo de pessoas em uma caverna deve abranger: os riscos, caracterização do ambiente, tipo de público, tempo de visitação (em horas) turística e desenvolvimento da cavidade a ser avaliada (em km). Lobo (2011) ressalta que através dessa proposta pode-se obter uma resposta prévia aos limites de visitação, caso os fatores ambientais e a dinâmica do turismo ainda não tenham sido estabelecidos.

Segundo Lobo (2017 p. 654) o coeficiente de rotatividade foi uma das primeiras tentativas de controle de visitantes na Caverna Santana, PETAR. Para a caverna foi determinado o máximo de 30 grupos por dia (1 a cada 15 minutos, entre as 08:00h e 15:30h), cada grupo poderia ter no máximo 9 pessoas (8 visitantes e 1 monitor ambiental). Desta forma o limite máximo de visitantes na caverna seria de 270 visitas diárias.

5.2.1.3. Densidades e padrões de uso turístico

Pires (2005) e Lessa (2006), ao referirem-se a diferentes métodos (Salinas e Casas, 1992; Lozato-Giotard, 1992; Cerro, 1993; Gómez et al., 1993; Ruschumann et al., 2006) para avaliação da capacidade carga turística, apresentam alguns tipos de padrões de uso, baseados em critérios de densidade de usuários. Estes padrões foram desenvolvidos de acordo com o tipo de atividade, tipo de área, densidade de usuários recomendada para praias, e densidade por tipo de zona em áreas naturais protegidas. Os dois últimos serão brevemente apresentados seguir.

Os mesmos autores identificam na literatura propostas equivalentes à de Boullón (2006), aplicadas a praias e a estações de ski. Segundo estes autores, Lozato-Giotard (1992) propôs uma formulação equivalente ao coeficiente de rotatividade, considerando indicadores geográficos para a análise da capacidade de carga. O índice espacial de frequência turística (STI) considera o número de turistas (por ano, estação ou dia) em relação à área disponível. Ao final, o STI permite chegar a um nível ou limite de capacidade de carga geográfica (Lessa, 2006 p.30). O modelo proposto por Lozato-Giotard (1992) para linhas de costa considera o comprimento da linha de costa e o número de turistas na praia numa razão que resulta em padrões de densidade. Esse índice foi adaptado por Ruschmann (1997) e passou a ser aplicado em diferentes praias no Brasil (Pires, 2005; Lessa; 2006).

O modelo de densidade por tipo de zona em áreas naturais protegidas, baseia-se no zoneamento ambiental. O zoneamento ambiental é o instrumento que estabelece a ordenação do território, e as normas de ocupação e uso do solo e dos recursos naturais (IBAMA, 2001). Tem como principal objetivo a delimitação geográfica de uma determinada área em zonas ambientais, visando estabelecer regimes de intervenção, ocupação, posse, uso, atividades recreativas e turísticas. A formulação e diretrizes para gestão das diferentes zonas é feita pela identificação de vulnerabilidades e potencialidades. Estas baseiam-se nas particularidades ambientais da região, em sua interação com processos sociais, culturais, econômicos e políticos, vigentes (IBAMA, 2001; FUNDARPE, 2010). As diretrizes e estratégias para gestão, em especial, ao que se refere ocupações humanas de cada zona definida devem ser estabelecidas de acordo com a capacidade de carga (FUNDARPE, 2010). Segundo Pires (2005), em geral, para uma zona de uso (ou manejo) extensivo, ou seja, em uma zona constituída em sua maior parte por áreas naturais com poucas alterações de influência antrópicas, recomenda-se a densidade de 20 turistas por km². Em zonas de uso intensivo, que são constituídas por áreas naturais ou com alterações significativas de causa antrópica, recomenda-se a densidade de 500 turistas por km².

No Brasil, o zoneamento ambiental é denominado por Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE e instituído no âmbito da Política Nacional de Meio Ambiente, pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. O ZEE constitui-se num dos principais instrumentos para o planejamento ambiental e gestão do território (Art.9º, Inciso II). A regulamentação desse instrumento no âmbito nacional está definida pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, definido como:

“Instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos

recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.”

O ZEE passou a ser implementado em diferentes áreas protegidas como instrumento de ordenamento e gestão. Tem sido uma das principais propostas metodológicas para a determinação de zonas e diretrizes para o manejo (planejamento e gestão) apresentadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por meio de publicações técnicas, como “Roteiro Metodológico para Gestão de Área de Proteção ambiental” (IBAMA, 2001) e “Roteiro metodológico de Planejamento: Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica (IBAMA, 2002). A definição de zonas de uso e diretrizes para realização de atividades nas diferentes categorias de UCs no Brasil, serviu como base para o desenvolvimento do modelo para o zoneamento ambiental espeleológico (ZAE), proposto por Lobo (2009b) para a determinação da capacidade de carga em sítios espeleológicos (apresentado em 5.2.3.1).

Cabe ressaltar que o modelo de densidade de uso turístico em áreas naturais protegidas prevê ações de gestão coerente com a capacidade de carga das diferentes zonas identificadas na UC. No caso do ZEE, os roteiros metodológicos apontam para a necessidade de estudos específicos de avaliação da capacidade de carga. Embora não sejam apresentadas formas específicas para esta avaliação, em ambos os documentos referidos acima é referido que o zoneamento ambiental pode fornecer importantes bases para a realização destes estudos, que devem ser apresentados em planos de manejo das UCs.

5.2.2. Metodologias para gestão do uso público em áreas protegidas

Paralelamente ao desenvolvimento de metodologias com “padrões numéricos” para a avaliação da CCT, a partir da década de 1970 foram desenvolvidos modelos para gestão do uso público em áreas protegidas. Esses modelos baseiam-se no conceito de capacidade de carga como o “nível de uso recreativo que pode ser acomodado em um parque ou áreas relacionadas sem descumprir os limites estabelecidos por variáveis de indicadores relevantes” (Manning, 2007 p.25). Os modelos mais conhecidos e aplicados em diversas partes do mundo incluem: Espectro de Oportunidades Recreativas (The Recreation Opportunity Spectrum – ROS) (Clark e Stankey, 1979); Limites Aceitáveis de Alteração (Limits of Acceptable Change – LAC) (Stankey et al., 1985); Gestão do Impacto de Visitantes (Visitor Impact Management – VIM) (Graefe et al., 1990); Processo de Gestão da Visitação (Visitor Activity Management Process – VAMP) (Environment Canada and Service Park, 1991); Experiência do Visitante e Proteção do Recurso (Visitor Experience and Resource Protection – VERP) (National Park Service, 1993, 1997; Manning, 2001); Processo de Avaliação da Capacidade de Carga (Carring Capacity Assessment

Process – C-CAP) (Shelby e Herberlein, 1986); Modelo de Gestão de Otimização Turística (Tourism Optimization Management Model – TOMM (TOMM, 2000). Seguidamente, irão ser descritas as três metodologias mais amplamente aplicadas para gestão do turismo em áreas protegidas.

5.2.2.1. Limites Aceitáveis de Alteração (Limits of Acceptable Change – LAC)

O conceito de “Limites de Aceitáveis de Alteração” - LAC, foi proposto por Frissell e Duncan (1965) que partiu do pressuposto que o uso recreativo em ambientes naturais causa impactos negativos no ambiente. Estes impactos devem ser reconhecidos, sendo necessário estabelecer qual o limite de mudança aceitável para a área em questão. Uma vez atingido esse limite deve tomar-se medidas para evitar a deterioração do ambiente natural, ou seja, para evitar “mudanças adversas” (Frissell e Duncan, 1965). A partir desta abordagem inicial, Frissell e Stankey (1972) propuseram a metodologia LAC para o estabelecimento da CCT em áreas naturais. O objetivo principal do modelo proposto foi destacar a importância do manejo de visitantes, de acordo com o limite de mudança aceitável num determinado ambiente.

Em 1985, a metodologia LAC foi publicada oficialmente pelo Serviço de Florestal dos Estados Unidos da América e passou a ser aplicada em diferentes áreas protegidas como forma de gestão de atividades recreativas (Stankey et al., 1985; Cole e Stankey, 1998). Pires (2005) ressalta que este modelo se considera uma extensão (ou reelaboração) do modelo ROS que havia sido proposto anteriormente, cujo processo inclui etapas de inventário das condições físicas da área e de aspetos sociais e administrativos.

O LAC consiste em um modelo técnico de planeamento que possibilita a elaboração de um “quadro” sistemático para as condições aceitáveis de mudanças ecológicas e sociais decorrentes atividades recreativas e turísticas, permitindo a tomada de decisão por parte dos gestores (Cole e Stankey, 1998; Takahashi 1998, Takahashi e Cegana, 2005; Pires, op cit.). A metodologia consiste na aplicação de dez etapas, descritas sucintamente no Quadro 8.

Os indicadores de impactos são as variáveis específicas avaliadas (individualmente ou em conjunto) para conhecer a situação de uma determinada área. Diversos autores (Stankey et al., 1985; Merigliano, 1987,1990; Manning 2007) apresentam características básicas para a seleção de bons indicadores. Algumas dessas características foram compiladas por Manning (2007 p.29), e são apresentadas, sucintamente, no Quadro 9.

Etapa 1 – Inventário de condições existentes ➤ Reunião do conjunto de diretrizes e leis para o manejo da área protegida ➤ Identificação dos objetivos gerais da área ➤ Estabelecimento das condições desejáveis
Etapa 2 – Identificação de valores e limitações da área ➤ Identificação de características ou valores especiais da área ➤ Identificação de problemas de manejo que têm de ser tratados
Etapa 3 – Estabelecimento do zoneamento da área ➤ Subdivisão da área em diferentes zonas ➤ Identificação das condições biofísicas, recreativas e do tipo de manejo desejável e adequado ➤ Estabelecimento de metas e normas compatíveis com os objetivos e legislação incidente em cada zona.
Etapa 4 - Seleção dos indicadores de impacto ➤ Seleção de variáveis biológicas, físicas ou recreativas mensuráveis que indicam o estado de conservação de cada zona ➤ Estabelecimento de indicadores representativos que indiquem, quando necessário, as condições ambientais, econômicas, políticas e recreativas da área.
Etapa 5 - Inventário das condições existentes ➤ Estado atual da área, de acordo com cada indicador proposto na etapa 4.
Etapa 6 - Estabelecimento dos limites aceitáveis de impacto ➤ Estabelecimento do limite aceitável de impacto para cada indicador nas diferentes zonas.
Etapa 7 - Identificação das condições naturais e recreativas adequadas para cada zona ➤ Análise de informações obtidas a partir dos administradores, visitantes e dados resultantes das etapas 2 e 5 ➤ Definição de quais e como as condições naturais e recreativas deverão ser mantidas ou alcançadas nas diferentes zonas.
Etapa 8 - Estabelecimento de ações de manejo para cada condição ➤ Comparação entre as condições existentes na Etapa 5 com os limites máximos aceitáveis de impacto da Etapa 6, para detectar se um determinado local apresenta ou não problemas. ➤ Identificação de potenciais ações de manejo que possam reverter a situação de cada indicador selecionado e implantado, de acordo com os recursos econômicos e sociais da área em questão.
Etapa 9 - Avaliação e seleção das ações de manejo adequadas ➤ Seleção de alternativas, cuja relação custo/benefício esteja dentro dos objetivos e realidade local.
Etapa 10 - Implantação das ações e do sistema de monitoramento ➤ Implantação das ações de manejo selecionadas na Etapa 9 ➤ Desenvolvimento de programa de monitoramento em que as condições existentes (demonstradas por um conjunto de indicadores de impacto) são comparadas com os limites máximos aceitáveis de impacto estabelecidos na Etapa 6.

De acordo com Manning (op cit.) a definição dos limites aceitáveis de impacto (ou padrões) baseia-se em quatro características básicas:

- a) Ser expresso de modo quantitativo;

- b) Estar relacionado a um tempo específico;
- c) Ser expresso como probabilidade;
- d) Orientado para o impacto (limite aceitável).

O monitoramento de recursos naturais é definido como a coleção sistemática e análise de dados em intervalos regulares, a fim de detetar mudanças introduzidas de forma naturais ou antrópicas e fornecer base para o manejo (Takahashi, 1998, Takahashi e Cegana, 2005). A implementação de um sistema de monitoramento de LAC deve ser feito de acordo com as bases legais da área de estudo. Além disso, deve seguir diretrizes básicas (Quadro 10) para que os objetivos de manejo sejam alcançados.

Quadro 9. Características para seleção de indicadores de impacto, baseado em Manning (2007)

Diretrizes para seleção de indicadores de impacto
Específicos ➤ Devem definir condições específicas e não gerais
Objetivo ➤ As variáveis indicadoras devem ser medidas em termos absolutos e inequívocos
Confiável e repetível ➤ Devem produzir resultados semelhantes quando repetidos
Relacionado ao uso do visitante ➤ Nível, tipo e local de uso ➤ Comportamento do visitante
Sensível ➤ Sensível ao uso de visitantes pelo menos por períodos relativamente curtos de tempo
Manejável ➤ Os indicadores devem ser responsivos e ajudar a determinar a efetividade de ações de gestão
Eficiente e eficaz para medir ➤ Devem ser relativamente fáceis e económicos de medir
Integrativo ou sintético ➤ Variáveis podem ser utilizadas para medir mais de um componente em áreas protegidas
Significativo ➤ Ajudar a definir a qualidade do recurso

Quadro 10. Diretrizes para monitoramento em áreas naturais protegidas e de recreio, baseado em Takahashi e Cegana (2005) apud Merigliano (1987).

Diretrizes para o monitoramento
a) Definir os objetivos de monitoramento: porque se deve monitorar?
b) Coletar dados em relação às características biológicas, físicas e humanas da área, além de identificar atributos únicos
c) Identificar as atividades humanas que causam impactos na área
d) Selecionar indicadores das condições ambientais e da experiência do visitante
e) Descrever métodos de amostragem para cada indicador selecionado
f) Oferecer treinamento para profissionais e implementar o monitoramento
g) Estabelecer um sistema de manejo de dados
h) Analisar os dados coletados
i) Especificar os limites de mudanças aceitáveis e identificar ações de correção
j) Avaliar e redefinir o método aplicado para medição de indicadores e padrões

5.2.2.2. Experiência do Visitante e Proteção do Recurso (Visitor Experience and Resource Protection – VERP)

A metodologia VERP foi desenvolvida pelo Serviço de Nacional de Parques dos Estados Unidos da América (EUA) em 1992, com o intuito de melhorar a gestão de visitantes e a avaliação da capacidade de carga em áreas de uso público (Pires, 2005; Coutinho, 2010). O modelo enfatiza a valorização da qualidade dos recursos naturais e a experiência do visitante. Durante o processo são aplicadas 9 etapas, as quais devem ser rigorosamente documentadas (Quadro 11). Ao final são apresentadas recomendações para tomada de decisões de manejo da área, incluindo a definição das condições desejáveis, determinação de indicadores e padrões.

Autores como Belnap et al. (1997) e Manning (2004, 2007 p. 25) afirmam que a estrutura e o desenvolvimento deste modelo foram uma adaptação da metodologia LAC. Embora alguns aspectos como a terminologia e o sequenciamento das etapas possam variar, em geral, as duas metodologias têm uma lógica em comum:

1. Definição das condições da área a serem mantidas. Essas condições devem ser definidas em termos de objetivos de gestão / condições desejadas e indicadores e padrões associados, e devem abordar os recursos, os componentes relacionados a experiência do visitante e de gerenciamento dos parques e recreação ao ar livre.
2. Monitoramento das variáveis do indicador para determinar se as condições existentes do parque atendem aos padrões que foram especificados.
3. Aplicação de práticas de gerenciamento para garantir que os padrões sejam mantidos.

Quadro 11. Etapas do processo de VERP, baseado em Manning (2007).

Experiência e Proteção de Recursos (VERP)
Elemento 1. Montar um projeto interdisciplinar.
Elemento 2. Desenvolver uma estratégia de envolvimento público.
Elemento 3. Desenvolver declarações de propósito, significado e temas interpretativos primários do parque primário.
Elemento 4. Analisar os recursos do parque e o uso existente do visitante.
Elemento 5. Descrever uma gama potencial de experiências de visitantes e condições de recursos.
Elemento 6. Alocar zonas potenciais para locais específicos.
Elemento 7. Selecionar indicadores e especificar padrões para cada zona; desenvolver um plano de monitoramento.
Elemento 8. Monitorar indicadores sociais e de recursos.
Elemento 9. Definir ações de gerenciamento

5.2.2.3. Modelo de Gestão da Otimização Turística (Tourism Optimization Management Model – TOMM)

O Modelo de Gestão da Otimização Turística foi desenvolvido em 1996 como um novo modelo para a gestão sustentável do turismo na Ilha Kangaroo, Austrália (TOMM, 2000, 2016). Este modelo, assim como LAC e VERP, é composto por etapas que envolvem: a definição das condições desejadas, a identificação de indicadores e padrões; o monitoramento de indicadores, e a aplicação de ações de gestão. Contudo, o principal foco é o gerenciamento do turismo em uma perspectiva de rendimentos econômicos, que ao mesmo tempo sejam sustentáveis. Assim, a identificação de limites máximos de uso e a capacidade de carga, são abordados em segundo plano pelo modelo (Pires, 2005; Lessa, 2006; Coutinho, 2010).

As atividades do TOMM foram iniciadas em 1997 com diferentes programas para o “rastreamento” de indicadores para o monitoramento ambiental, aspectos sociais e econômicos da ilha. Posteriormente, a implementação do sistema de monitoramento incluiu pesquisas relacionadas à satisfação do visitante e dos residentes da ilha e o impacto do turismo. O monitoramento ambiental baseia-se nos indicadores já estabelecidos e são revisados periodicamente, de acordo com as atividades de diferentes grupos de monitoramento ambiental na ilha (TOMM, 2000, 2016).

5.2.2.4. Aplicação das metodologias para gestão do uso público em áreas protegidas

Baseando-se na metodologia LAC, Takahashi (1998) elaborou um modelo (preliminar) de manejo e monitoramento das condições ecológicas e recreativas em duas UC de uso público no estado do Paraná, Brasil. No Parque Estadual Pico do Marumbi, para a área de acampamento selvagem, foram

definidos indicadores e estabelecidos padrões para as condições ecológicas e recreativas. A autora sugere que, para as condições ecológicas, os indicadores que devem ser monitorados, prioritariamente, são: porosidade de aeração, a microporosidade, resistência do solo à penetração na superfície entre 5-10cm e a densidade do solo. Para as condições recreativas, os indicadores a serem monitorados são: quantidade de lixo acumulado, número de danos na vegetação, número de acessos secundários, número de marcas de fogueiras e área total desprovida de vegetação.

Ao aplicar o modelo LAC na Reserva Natural de Salto Morato, a mesma autora concluiu que, para a Trilha do Salto, os principais indicadores ecológicos que devem ser monitorados são porosidade e aeração e o conteúdo de carbono. Para as condições recreativas, deve-se monitorar a quantidade de lixo acumulado, número de danos na vegetação, número de acessos secundários após o período de maior visitação (abril e maio) e largura da trilha, também após período de maior visitação. Takahashi (1998 p.114) sugere ainda que o estabelecimento de indicadores e padrões em ambas UCs poderão fundamentar as decisões para o manejo de visitantes, assegurando a conservação da natureza e experiência do visitante.

Em outros estudos realizados no Brasil, compilados por Takahashi e Cegana (2005 p.217), são estabelecidos indicadores de impactos para o manejo de UCs, baseados no modelo LAC. No Parque Estadual Intervales, São Paulo, Brasil, Passold (2002) analisou trinta indicadores de impacto e concluiu que os melhores para o monitoramento do uso público são: presença de serrapilheira, número de árvores com raízes expostas, área de vegetação degradada, número de trilhas não oficiais, presença de lixo e número de árvores danificadas.

Barros (2003), citado por Takahashi e Cegana (2005), realizou um estudo em trilhas e áreas de acampamento no Parque Nacional do Itatiaia, Rio de Janeiro. Após avaliar indicadores ecológicos e recreativos, concluiu que a presença de erosão, degraus, pedras e falta de drenagem são indicadores inerentes às condições do local, e estão relacionados diretamente com a ausência de planejamento e não propriamente com o comportamento inadequado dos visitantes. Indicadores recreativos como presença de lixo e danos por vandalismo estão relacionados ao comportamento do visitante, mas não apresentaram alterações significativas nos impactos observados nas trilhas.

Em resumo, os estudos aqui apresentados, em termos gerais, têm em comum os seguintes indicadores ecológicos: resistência do solo, degradação da vegetação e número de acessos secundários (trilhas não oficiais). Dentre os indicadores recreativos, a quantidade de lixo acumulado é o mais referido. Em todos esses estudos os autores concluem que estes indicadores podem ser facilmente monitorados e não apresentam diferenças ao serem avaliados por indivíduos diferentes (Takahashi e Cegana op cit).

Durante a realização deste trabalho não foram identificados estudos dos modelos LAC, VERP ou TOMM aplicados a sítios geológicos. Entretanto, foram identificados os trabalhos de Guo e Chung (2016, 2017) que propõem a aplicação da CCT a geoparques, por meio da revisão destes e outros modelos metodológicos. De acordo com Guo e Chung (2016, 2017) a CCT no contexto de geoparques é definida como “o nível de uso dos visitantes que podem manter o equilíbrio entre a conservação ambiental, educação científica e sustentabilidade econômica regional, para que todos os interesses das partes interessadas sejam alcançados”. Os mesmos autores ressaltam que, em termos de gestão, os princípios entre geoparques e áreas protegidas diferem-se apenas no destaque dado à conservação e proteção do ambiente físico. Em áreas protegidas o objetivo principal é a conservação e proteção destes ambientes, enquanto que em geoparques a conservação do ambiente físico (sítios geológicos) é considerada de modo equivalente à educação (divulgação do conhecimento geocientífico) e ao desenvolvimento econômico do território (Guo e Chung, 2016).

Ao analisar os diferentes tipos de CCT (físico-ecológica, sócio-demográfica e político-econômica), Guo e Chung (2016) afirmam que estes tipos estão relacionados com os diferentes aspetos dos geoparques, como preservação do patrimônio geológico, conservação da natureza, herança cultural e desenvolvimento econômico local. Assim, cada tipo simboliza a relação que se devem estabelecer com todas as partes interessadas nos geoparques (*stakeholders*).

A partir da análise dos diferentes modelos para avaliação de CCT esses autores apresentam uma estrutura modificada para uso em geoparques. A fase inicial consiste na revisão dos principais interesses dos *stakeholders* e a definição dos objetivos de gestão. Segue-se a avaliação dos três tipos de CCT referidos anteriormente, por todos os *stakeholders*: capacidade de carga físico-ecológica, político-econômica e sócio-demográfica. A fase final consiste na elaboração de um plano de ação, após a análise SWOT com base nos resultados da avaliação (Figura 42).

Guo e Chung (2017) propuseram um modelo para avaliação da capacidade de carga com base em uma análise fatorial confirmatória e numa modelagem de equações estruturais. Este modelo foi aplicado ao Geoparque Mundial da UNESCO Hong Kong. A avaliação da CCT baseou-se na percepção da comunidade local sobre a gestão do geoparque e nas perspectivas dos visitantes. De acordo com os resultados obtidos, Guo e Chung (2017 p.12) discutem que “a comunidade local apoia fortemente os três princípios de gestão da Rede Global de Geoparques e que existem fortes inter-relações nas três dimensões do geoturismo sustentável, ou seja, a capacidade de carga ecológica, sociodemográfica e política. Assim, a avaliação da CCT fornece uma base empírica para operacionalizar o geoturismo sustentável em geoparques, concluem estes autores.

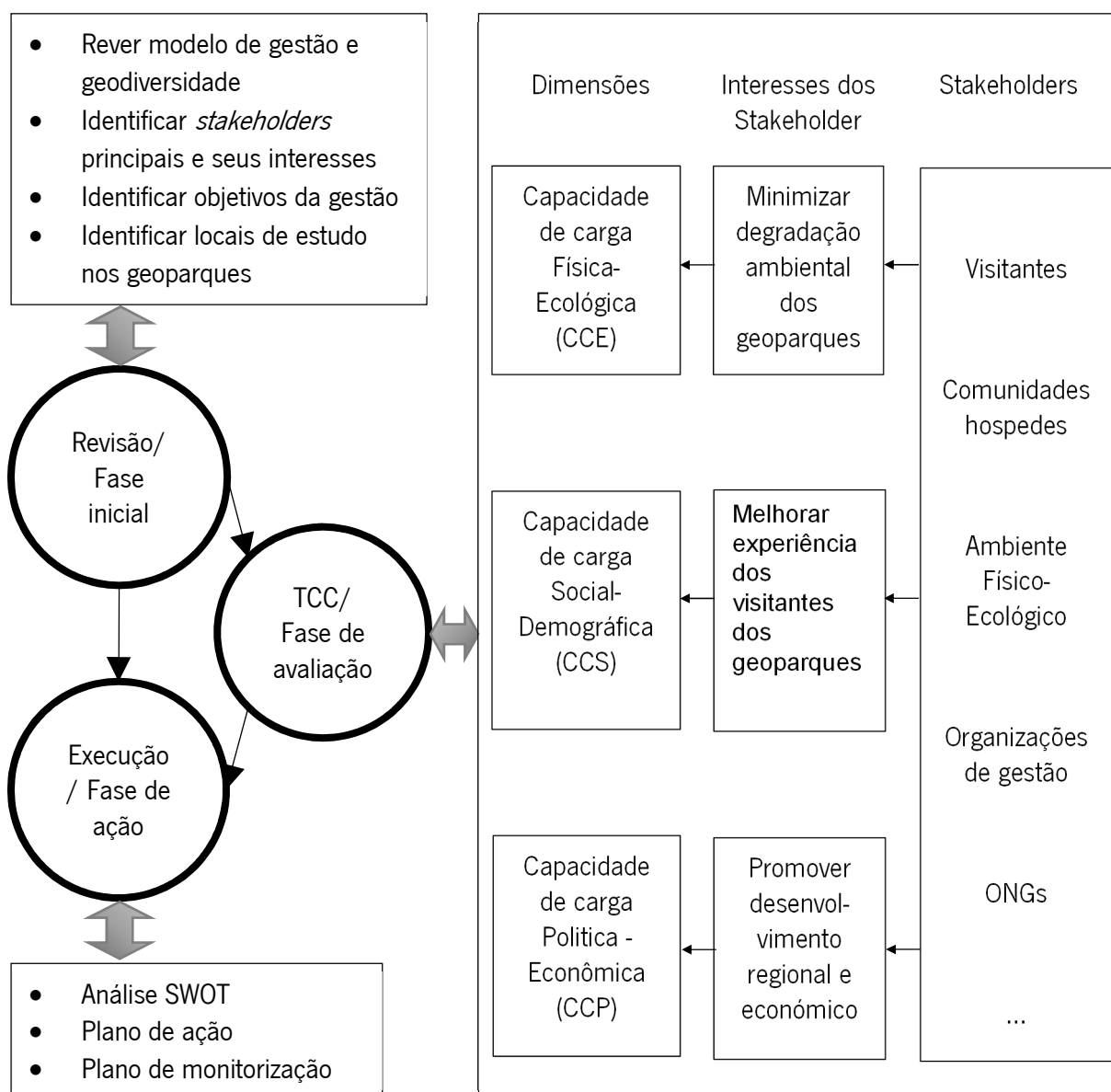


Figura 42. Estrutura do método de avaliação da CCT em geoparques. Traduzido de Guo e Chung (2016).

5.2.2.5. Metodologia de Coccossis e Mexa

De acordo com Coccossis e Mexa (2004b) conceituar a CCT na perspectiva de análise de políticas públicas requer uma abordagem multidimensional, incluindo os aspetos ambientais, sociopolíticos e económicos de cada destino turístico, ou seja, os diferentes tipos de CCT já referidos anteriormente. Para estes autores, a medição e implementação da CCT requerem um quadro apropriado, em que se considera as particularidades em relação às características de cada local turístico e às características do

visitante. A aplicação da CCT deve basear-se no desenvolvimento do turismo, em relação aos limites-chave de significância local e, devem ainda, prescrever ações que devem ser tomadas para o desenvolvimento do turismo sustentável. Especificamente em áreas protegidas, a avaliação de CCT está associada à valorização e observação da natureza e ao apoio ao desenvolvimento de atividades educativas. Este tipo de turismo, normalmente, desenvolve-se sob uma gestão restritiva, tendo em vista que a proteção da natureza e funcionamento dos ecossistemas devem ser priorizados na gestão dessas áreas.

Coccossis e Mexa (2004b) propõem uma metodologia para avaliação da CCT em nove etapas (Quadro 12), envolvendo elementos descritivos e avaliativos. Os elementos descritivos incluem aspetos físicos, ecológicos, sociais, políticos e económicos. A partir da análise destes elementos devem ser identificadas as restrições (fatores limitantes, de difícil gerenciamento), obstruções (fatores limitantes do sistema que podem ser manipulados por gestores da área enfocada como, por exemplo, a determinação do número de visitantes) e impactos (elementos do sistema afetados pela intensidade de uso). Os elementos avaliativos descrevem como uma área deve ser gerenciada e o nível de impacto aceitável. Neste caso é ressaltada a importância do estabelecimento de metas e objetivos, e critérios de avaliação que especificam os níveis aceitáveis de mudança (impactos).

Esses autores apresentam para cada componente (físico-ecológico, socioculturais e político-económico) um conjunto de indicadores para o desenvolvimento sustentável do turismo (por exemplo: qualidade do ar, produção e gestão de resíduos, uso da terra, consumo e qualidade da água, comportamento social, ganhos e investimentos em turismo) e indicadores de capacidade de carga do turismo (como: número de dias em que os padrões de poluição são excedidos, consumo diário de água e energia com atividades relacionadas ao turismo, produção média diária de resíduos). Este tipo de abordagem tem sido, nos últimos anos, amplamente usado em áreas protegidas com alto valor ecológico. Um conjunto central de indicadores, em muitos casos, podem refletir as pressões e fatores-chave (ex: espécies endêmicas em ameaça) no ambiente. O monitoramento desses fatores podem fornecer o estado do ambiente e contribuir para a identificação da capacidade de carga desse local, afirmam Coccossis e Mexa (2004b).

Quadro 12. Etapas metodológicas para avaliação da CCT, baseado em Coccossis e Mexa (2004b)

Etapa 1 – Análise do sistema ➤ Análise das características físicas e ecológicas do sistema. ➤ Análise das características sociais do sistema. ➤ Análise das características político-administrativos do sistema.
Etapa 2 – Análise do desenvolvimento turístico ➤ Análise da demanda turística. ➤ Caracterização do público. ➤ Identificação de padrões de comportamento.
Etapa 3 – Análise das implicações do desenvolvimento turístico para cada componente ➤ Implicações para o componente físico-ecológico (identificação de impactos, forças motrizes, causas). ➤ Implicações para o componente sociocultural. ➤ Implicações para o componente político-econômico.
Etapa 4 – Avaliação de Impactos ➤ Avaliação da componente física e ecológica do sistema. ➤ Avaliação da componente sociocultural do sistema. ➤ Avaliação da componente político-administrativo do sistema.
Etapa 5 – Definição da capacidade de carga turística para cada componente ➤ Identificação de obstruções (parâmetros flexíveis) para as componentes físico-ecológicas, socioculturais e político-econômicas (a avaliação pode indicar vários problemas e ameaças). ➤ Identificação de restrições para as três componentes. Critérios de limitação devem ser identificados. ➤ Definição de limiares para as obstruções e as restrições. Valores máximos e mínimos devem ser identificados. ➤ Seleção de indicadores. ➤ Definição do nível desejado para cada indicador/limiar (ex: proporção de visitantes para a população local). Padrões relacionados a capacidade do ambiente físico (ex: padrões de poluição). Onde existem padrões, o monitoramento de indicadores deverá ser realizado em relação aos padrões estabelecidos.
Etapa 6 – Elaboração de opções alternativas de desenvolvimento turístico e modos de ação alternativos ➤ Opções alternativas: restrições (permanece inalteráveis nas várias opções); obstruções (modificáveis de acordo com os diversos modos de ação).
Etapa 7 – Definição da capacidade de carga total do sistema ➤ Definição de obstruções para a opção preferida (identificação de fatores-chave finais, os limiares e indicadores a serem considerados).
Etapa 8 – Implementação da capacidade de carga total ➤ Elaboração de medidas políticas para capacidade de carga turística. ➤ Seleção de lista de indicadores para restrições e obstruções identificadas. ➤ Definição de limiares e parâmetros.
Etapa 9 - Monitoramento ➤ Contagem de visitantes (uso total, variações do uso, distribuição dos visitantes). ➤ Perfil de visitantes (dados demográficos e socioeconômicos, procura recreativa, informação de recreação). ➤ Questionário sobre a opinião dos visitantes.

5.2.2.5.1. Aplicação da Metodologia de Coccossis e Mexa 2004

Coutinho (2010) aplicou (parcialmente) a metodologia proposta por Coccossis e Mexa (2004b) na avaliação da CCT do geossítio de Penha Garcia, Geoparque Mundial UNESCO Naturtejo, Portugal. O estudo objetivou a avaliação de CCT de forma qualitativa a fim de fundamentar ações para o geoturismo no geossítio. A aplicação metodológica consistiu nas etapas de análise de sistema (características físico-ecológicas, socioculturais e político-econômicas), análise do desenvolvimento turístico (oferta turística e caracterização do turista), avaliação da capacidade de carga turística e sugestão de diretrizes. A avaliação de CCT foi feita por meio da análise de um organograma, construído a partir das etapas de análise do sistema e desenvolvimento turístico. Em análise aos resultados obtidos a autora conclui que relativamente às características físico-ecológicas, socioculturais e político-econômicas do sistema: “a atividade turística traz à região uma mais-valia, permitindo que a economia se dinamize e que o sector económico diversifique, trazendo outros setores mais competitivos que o primário e criando nichos de mercado, consequentes do afluxo de turistas”. Além disso, a nova dinâmica econômica do turismo pode contribuir para o estabelecimento de camadas mais jovens que contrariam o processo de envelhecimento populacional na região (Coutinho, 2010 p. 58). Em relação às características físico-ecológicas, a autora constatou que o patrimônio paleontológico é a principal atração turística, que se pretende preservar. Para tanto, ressalta a necessidade de priorizar a educação do turista, alertando-o para o valor do patrimônio local (Coutinho op cit. p.59). Mesmo reconhecendo o patrimônio paleontológico como principal “atrativo turístico” local, as observações e proposições de diretrizes, são maioritariamente, apresentadas pelo autor na perspectiva do desenvolvimento econômico e sociocultural, ou seja, como o desenvolvimento do turismo local pode ser feito em benefício da comunidade e melhor experiência do visitante e ao mesmo tempo gerar “renda”. Notou-se a ausência de diretrizes em relação ao estado de conservação do estado conservação do patrimônio geológico, ou seja, algum tipo de intervenção para salvaguardar as propriedades físicas do geossítio.

5.2.3. Metodologias para avaliação da capacidade de carga turística em sítios espeleológicos

A capacidade de carga espeleoturística, de acordo com Lobo (2008 p. 383), é definida como a “possibilidade de limitação temporal e espacial de uso de uma caverna de forma a não gerar danos ambientais, tendo como fator chave a capacidade de resiliência. Sua origem deriva das possibilidades de manejo que uma porção territorial possa vir a receber, de forma a mitigar ou diluir em escalas mais

amplas os impactos negativos do turismo, tomando como base para o manejo as fragilidades ambientais e as possibilidades de visitação”.

Lobo et al. (2009) discutem a necessidade de estudos multidisciplinares, que envolvem a avaliação da biodiversidade e geodiversidade, para determinação da capacidade de carga em cavernas. Em relação   avaliação do meio físico, os autores, ressaltam a importância do monitoramento climático (alterações de parâmetros atmosféricos) como a temperatura e umidade relativa do ar. Neste sentido, são apresentados diferentes estudos (como Hoyos et al., 1998; Calaforra et al., 2003; Sgarbi, 2003; Scarleante, 2003 Fernández-Cortés et al., 2006, Boggiani et al., 2007,) que estabelecem a CCT em cavernas, baseados do monitoramento destas variáveis. Contudo, a maior parte desses estudos envolvem a adaptação de procedimentos metodológicos estatísticos (como a metodologia de Cifuentes, 1992; Cifuentes-Arias, 1999 e o coeficiente de rotatividade), ao estabelecem a CCT com um número máximo de visitantes diários permitidos para cada caverna. A aplicação destes procedimentos, muitas vezes, pode ser suficiente para o ordenamento do uso espeleotur stico em fases iniciais, entretanto, essas técnicas podem ser refinadas a partir da realização de novos estudos científicos e tecnológicos mais aprofundados, segundo Lobo et al. (2009).

Neste contexto, são apresentados os procedimentos metodológicos desenvolvidos por Lobo et al. (2009, 2013) e Lobo (2009, 2010, 2011, 2015) para a determinação da capacidade de carga em cavernas no Brasil, particularmente na região do Alto Vale do Ribeira, São Paulo.

5.2.3.1. Zoneamento Ambiental Espeleológico (ZAE)

O zoneamento ambiental espeleológico tem como objetivo conciliar atividades antrópicas, dentre elas o turismo, com a conservação dos ambientes subterrâneos. O procedimento metodológico inclui as etapas de elaboração de mapas de: fragilidade ambiental, potencialidade de visitação, fragilidade máxima e análise integrada, risco ao visitante. A partir da elaboração destes mapas são estabelecidas relações diretas entre o diagnóstico ambiental e o ZAE (Lobo, 2009b).

O mapa de potencialidade de uso público e risco ao visitante deve conter todas as informações consideradas para os diferentes cenários de visitação e os riscos associados. Dentre as possíveis atividades realizadas em cavernas, este mapa pode conter informações sobre o turismo de aventura, espeleovertical, mergulho em cavernas, histórico-cultural, turismo religioso, estudo do meio e aulas de campo. A avaliação de risco ao turista tem como objetivo direcionar o tipo de público, a escala de visitação, a quantidade de guias (condutores) necessários e o ZAE (Lobo, 2009 p.118 119).

As zonas de manejo espeleológico (Quadro 13) apresentadas neste modelo foram reclassificadas pelo autor, baseando-se nas categorias de zoneamento ambiental para Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica, definidas por IBAMA (2002). Para cada zona descrita foram propostas escalas (limite máximo de pessoas) e perfis de visitação (Quadro 14).

Quadro 13. Zonas para o ZAE, adaptado de Lobo (2009b)

Zonas	Descrição	Objetivo de manejo
Intangível (ZI)	�rea preservada, sem quaisquer tolerâncias a alterações humanas perceptíveis.	Proteção integral dos sistemas subterrâneos, monitoramento ambiental e pesquisa técnico-científica.
Uso Restrito (ZUr - A/B)	�rea preservada, com pequena ou mínima intervenção humana, contendo elementos ou processos significativos dos sistemas subterrâneos.	Pesquisa técnico-científica e uso em escala restrita para determinados tipos de roteiros turísticos. Nestes casos, o caminhamento � previamente delimitado.
ZUr-A: sem visitação turística restrita		
ZUr-B: com visitação turística restrita		
Histórico-Cultural (ZHC)	�reas com elementos de patrim�nio histórico-cultural, arqueológico ou paleontológico, que são preservadas, estudadas, restauradas e interpretadas para o público, servindo à pesquisa, educação e uso científico.	Proteção de tradições histórico-culturais e sítios históricos, culturais, paleontológicos ou arqueológicos.
Recuperação (ZR)	�reas consideravelmente danificadas pelo uso humano e passíveis de recuperação, tanto por processos naturais quanto induzidos. Zona provisória, uma vez restaurada será reclassificada.	Deter a degradação dos recursos ou restaurar a �rea. Permitir o uso público em escala restrita, para fins de pesquisa técnico-científica ou estudo do meio.

Interferência Experimental (ZiE)	Áreas delimitadas para o desenvolvimento de pesquisas e implantação de laboratórios subterrâneos, correspondendo ao máximo de 1/3 do desenvolvimento total da caverna.	Desenvolvimento de pesquisas comparativas em áreas preservadas, bem como o estudo do meio e as aulas de campo.
Uso Extensivo (ZUe)	Áreas de caminhamento e pontos interpretativos de dispersão controlada onde o ambiente é mantido o mais próximo possível do natural, contendo algumas facilidades de acesso construídas com materiais inertes e benfeitorias que resguardec a segurança do ambiente e dos visitantes.	Facilitar o espeleoturismo em pequena, média ou larga escala, dependendo do tipo e da proposta de uso.
Uso Intensivo (ZUi)	Áreas de caminhamento e pontos interpretativos de dispersão controlada onde o ambiente é mantido o mais próximo possível do natural, podendo conter: benfeitorias de acesso construídas com materiais inertes, iluminação artificial e outras facilidades, como banheiros químicos.	Facilitar a maior quantidade de formas permitidas de espeleoturismo em larga escala.
Área de Influência (AdI)	O entorno imediato e a área correspondente em superfície de uma caverna – em um raio mínimo de 250m –, bem como sua área de recarga autogênica e alogênica.	Trata-se de uma área onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre os sistemas subterrâneos.

Quadro 14. Escala de visitação no ZAE, adaptada de Lobo (2009b).

Zonas	Tipos de Uso Público		
	Técnico Científico	Espeleoturismo	Estudo do meio e aulas de campo
Intangível	Restrita	Sem visitação	Restrita
Uso Restrito		Restrita	
Uso Extensivo	Baixa	Média	Alta
Uso Intensivo		Alta	
Histórico-Cultural		Baixa	Baixa
Recuperação	Restrita	Sem visitação	
Interferência Experimental			

Legenda: Sem Visitação; Restrita: até 6 pessoas; Baixa: até 10 pessoas; Média: até 20 pessoas; Alta: até 30 pessoas.

A elaboração de mapas de fragilidade ambiental deve ser feita para cada estudo temático (arqueológico, espeleológico, hidrológico, topográfico, paleontológico, microclimáticos, turístico, etc...) em etapas de diagnóstico, incluindo o material já existente em pesquisas científicas anteriores (dissertações, teses e artigos científicos). Nesta etapa devem-se avaliar os indicadores e parâmetros adotados para cada estudo, de modo que a escala final seja mantida em todos os mapas.

Os níveis de fragilidade para o ZAE podem ser classificados como absoluto, alto, médio ou baixo, baseados em indicadores e motivos que implicam o uso público. A fim de estabelecer uma base de comparação e ponderação, foram agregados diferentes pesos aos níveis de fragilidade. Foram atribuídas diferentes cores para a identificação dos níveis de fragilidades nos mapas (Tabela 17).

Nível	Peso (%)	Cor da legenda
Absoluto	75,01 - 100	Preta
Alto	50,01 - 75	Vermelha
Médio	25,01 - 50	Amarela
Baixo	00,01 - 25	Verde
Não classificado/inexistente	0	Branca (translucido)

Tabela 17. Classificação de níveis de fragilidade, fonte: Lobo (2009b).

Ao final do processo é gerado o mapa de fragilidade integrada da caverna através da soma dos mapas temáticos produzidos nas etapas anteriores:

$$Fz = \frac{FT1 + FT2 + FT3 \dots FTn}{\sum FTs}$$

Onde:

Fz = Fragilidade total da zona específica da caverna

$FT1, 2, 3, n$ = Fragilidades obtidas por meio dos estudos temáticos

$\sum FTs$ = Total de mapas de fragilidade temática utilizados para obtenção do mapa final, considerando cada zona classificada.

5.2.3.2. Metodologia Projeção de Cenários

O método denominado “cenários” (Lobo et al., 2010, 2013) foi desenvolvido para a determinação da capacidade de carga provisória em cavernas inseridas nos Parques Estaduais: Intervalos (PEI), Turístico do Alto Ribeira, Caverna do Diabo (PECD) e do Rio do Turvo (PESRT). O método integra as etapas de projeção de cenários de visitação e análise do potencial espeleoturista, análise das fragilidades do ambiente e a determinação da capacidade de carga provisória, apresentadas sucintamente no Quadro 15.

Durante a etapa de análise do potencial espeleoturista e projeção de cenários de visitação, o número de visitantes por grupo deve ser estabelecido de acordo com o Quadro 16. Além disso, deve-se considerar aspectos qualitativos (mais subjetivos) como (Lobo et al., 2013 p.237):

- a) Tempo necessário para completar o roteiro de visitação, considerando a composição do grupo e a finalidade da visitação;
- b) Informação ambiental a fornecer, com pontos específicos onde serão feitas pausas para chamar a atenção para aspectos do ambiente subterrâneo e para explorar as ideias dos visitantes em relação a cavernas;
- c) Expectativas e necessidades da população alvo;
- d) Infraestrutura pré-existente adaptada para visitação;
- e) Questões de segurança, que envolvem mapas de possíveis riscos e o estabelecimento de planos de contingência;
- f) Demanda, baseada no interesse dos visitantes, por cada rota específica;
- g) Necessidades das comunidades locais e agentes turísticos.

Quadro 15. Metodologia de projeção de “cenários”, baseada em Lobo et al., 2010, 2013.

Análise do potencial espeleoturista e projeção de cenários de visitação ➤ Proposição do roteiro de visitação: projeção do caminhar e pontos de dispersão controlada em mapa topográfico da caverna, incluindo memorial educativo (explicando os pontos de intervenção e detalhes da proposta) ➤ Identificação do público alvo ➤ Delimitação de tipos de propostas de visitação a serem consideradas
Análise das fragilidades do ambiente cavernícola ➤ Diagnósticos temáticos dentro dos temas (espeleologia, paleontologia, espeleobiologia, climatologia e arqueologia) ➤ Classificação dos níveis de fragilidade de cada estudo temático (Tabela 17) ➤ Aplicação da classificação dos níveis de fragilidades para a caverna (como salão, rio, zona atmosférica) a partir da interpolação ou extrapolação dos pontos de coleta ➤ Análise da fragilidade total para cada zona classificada na caverna
Integração dos mapas temáticos ➤ Sobreposição dos mapas temáticos, produzindo mapas integrados para cada seção (zona) ou para toda a caverna. Considerando duas possibilidades: Fragilidades: • Fragilidades ponderada: produzido através da média dos valores obtidos a partir da avaliação de várias áreas. • Fragilidades máximas: correspondendo à maior fragilidade identificada de qualquer ponto de vista científico
Capacidade de carga turística provisória em cavernas ➤ A partir da integração dos mapas temáticos a capacidade de carga provisória pode ser determinada: • Por meio de discussões entre especialistas a fim chegar a um consenso • Ou matematicamente, pela aplicação de índices para a redução da quantidade de visitantes propostos nos cenários

Quadro 16. Escala de visitação para a projeção de cenários de uso público, fonte: Lobo, et al., 2013)

Escala de visitação	Total de visitantes por grupo (incluindo guia)
Restrita	Até 7
Baixa	Até 10
Média	Até 20
Alta	Até 30
Intensa	Até 50

Segundo os autores, a fase de análise das fragilidades do ambiente subterrâneo deve considerar critérios específicos para tipo de estudo realizado. No Quadro 17 são apresentados exemplos de indicadores sugeridos pelos autores.

Quadro 17. Exemplos de critérios para análise das fragilidades em cavernas devido a visitação. Fonte: Lobo et al., 2010; 2013.

Estudo Temático	Exemplos de indicadores utilizados
Espeleogeologia	➤ Desenvolvimento dos condutos ➤ Variedade e raridade morfológica ➤ Presença de depósitos clásticos ➤ Presença, variedade, mineralogia e posição de espeleotemas ➤ Singularidades geológicas.
Paleontologia e arqueologia	➤ Presença de vestígios ➤ Realização de estudo/resgate do material.
Microclimatologia	➤ Conectividade atmosférica com o meio externo ➤ Concentração de gás carbônico.
Espeleobiologia	➤ Riqueza de espécies troglomórficas ➤ Ocorrência de espécies com baixa densidade populacional ➤ Espécies indicadoras de qualidade da água ➤ Granulação do substrato no leito dos rios ➤ Singularidades biológicas, incluindo fenômenos raros, locais de reprodução etc.

A fragilidade total de cada tema e cada zona é obtida pela expressão:

$$FTx = \frac{IF1 + IF2 + IF3 \dots IFn}{\sum IFs}$$

Onde:

FTx = Fragilidade temática da zona “x” de uma caverna

$IF1, 2, 3, \dots, n$ = Valores e/ou pesos de cada indicador de fragilidade

$\sum IFs$ = Total de indicadores utilizados para classificar cada zona da caverna estudada.

A determinação da capacidade de carga provisória deve ser feita matematicamente, caso os especialistas não entrem em consenso a respeito das decisões que devem ser tomadas na caverna estudada (Lobo et al., 2013). Neste caso, devem ser aplicados como fatores limitantes aos cenários projetados índices de fragilidades ponderadas ou um índice de fragilidade máxima de um estudo temático (o qual não se tenha chegado a um consenso) (Lobo et al., 2010 p.39). Os valores reduzidos para a quantidade de visitantes da área em questão são obtidos pela seguinte expressão:

$$CCPdet = Fz (MÁX OU PEND) * CV$$

Onde:

CCPdet = Capacidade de Carga Provisória determinada

Fz (MÁX OU PEND) = Maior índice de fragilidade ponderada ou índice de fragilidade de estudo temático pendente, considerando as zonas atingidas pelos roteiros propostos

CV = Cenário de visitação proposto

5.2.3.3. Capacidade de carga turística baseada em parâmetros atmosféricos

Lobo (2011) apresentou uma nova metodologia para a avaliação da CCT em cavernas, com base no monitoramento e análise de parâmetros atmosféricos: temperatura e umidade relativa do ar. A metodologia de trabalho é dividida em diferentes etapas, apresentadas no Quadro 18.

Em 2015, em revisão à proposta original e baseando-se em estudos (anteriores como Scaleante et al., 2009; Lobo et al., 2010, 2013), o mesmo autor, apresentou uma nova proposta para a determinação da CCT em cavernas. A principal mudança do método, comparada com a versão anterior, refere-se ao estabelecimento do “tempo máximo de visitação em pontos específicos da caverna” em substituição ao intervalo de entrada entre grupos na caverna (IEh) (Lobo, 2015; 2017).

Quadro 18. Etapas metodológicas para determinação da capacidade de carga turística em cavernas, baseada em Lobo (2011, 2015).

Etapa 1 – Delimitação preliminar do caminharmento e análise do fluxo de visitação ➤ Determinação do trajeto linear do percurso ➤ Identificação de áreas de dispersão controlada, a fim de realizar atividades de percepção e interação no ambiente
Etapa 2 – Projeção do cenário de visitação desejado ➤ Definição dos critérios para o dimensionamento do uso turístico ➤ Projeção de cenários desejáveis para visitação, baseado em Lobo et al. (2010, 2013)
Etapa 3 – Análise dos parâmetros ambientais para identificação de fatores críticos sazonais ➤ Realização de estudo ambiental, a fim de determinar as pressões existentes, identificar fatores críticos, fatores sazonais, e evitar a ocorrência de danos irreversíveis ao ambiente
Etapa 4 – Transformação do fator crítico em índice de limitação ➤ Determinação de índices de limitação baseado em fatores críticos identificados na análise ambiental: ➤ Limitação espacial: caso o uso turístico seja incompatível com a conservação ambiental. Deve ser aplicado em caso de ocorrência de espeleotemas, vestígios arqueológicos e paleontológicos e minerais que possam ser potencialmente danificados pela atividade humana; ou se os parâmetros atmosféricos sejam reestabelecidos devido a atividades humanas. ➤ Limitação temporal: redução do tempo de uso antrópico de um trecho ou caverna inteira, como estratégia de conservação das características fisiográficas devido a pressões ambientais.
Etapa 5 – Obtenção da capacidade de carga de cavernas turísticas (CCct) ➤ Determinação de CCct atrelado ao monitoramento de parâmetros atmosférico ➤ Teste do cenário projetado (Cv), a partir da verificação do intervalo de entrada entre grupos na caverna (IEh) comparado ao intervalo para entrada de grupos (Ie). Caso IEh seja maior que Ie, significa que o cenário proposto é aceitável.
Etapa 7 – Monitoramento dos fatores críticos considerados ➤ Implantação de programa de monitoramento com base nos fatores críticos determinados e outros fatores necessários para compreensão da dinâmica da caverna.

Para projeção do cenário turístico considera-se o tempo necessário para que o último grupo de visitantes complete o roteiro turístico estabelecido, considerando o funcionamento da caverna (do parque), representado pela equação:

$$Tdv = Ttv - dr$$

Onde:

Tdv = Tempo disponível para visitação (em minutos)

Ttv = Tempo total de visitação (diferença entre as horas de abertura e de fechamento) (em minutos)

dr = é a duração da rota: o tempo gasto para percorrer a rota de visitação.

O número de grupos de visitantes permitidos por dia na caverna é obtido pela equação, a seguir:

$$ng = \frac{Tdv}{Teg}$$

Onde:

Ng = Número de grupos

Tdv = Tempo disponível para visitação (em minutos)

Teg = Tempo entre grupos (em minutos)

O tamanho de grupos de visitantes é estabelecido de acordo com a equação:

$$Ldv = Ng \times Tg$$

Onde:

Ldv = Limite diário de visitação

Ng = Número de grupos

Tg = Tamanho de grupos

A determinação de CCT é obtida a partir da relação entre as variáveis temporais e fatores de impactos, expressadas na equação abaixo:

$$Tm = \frac{Tp \times Tmr}{Ttr}$$

Onde:

Tm = tempo máximo de permanência aceito para uma determinada área dentro de uma caverna, em minutos

Tp = Tempo de pausa (duração da permanência em uma parada interpretativa), em minutos

Tmr = Tempo máximo possível para a atmosfera recuperar (entre o horário de fechamento e abertura para visitação)

Ttr = Tempo total de recuperação necessário, (após o impacto da visitação) identificado para um parâmetro atmosférico selecionado, em minutos

A partir da análise dos resultados obtidos, determina-se o tempo máximo de permanência para uma determinada área dentro de uma caverna, a fim de evitar impactos cumulativos de visitação baseados em parâmetros atmosféricos (Lobo, 2015 p.70).

5.2.3.4. Aplicações metodologias para avaliação da capacidade de carga turística em sítios espeleológicos

No ano de 2008, as cavernas turísticas na região do Vale do Ribeira em São Paulo, tiveram suas atividades suspensas por determinação judicial, motivada pela ausência de planos de manejo desses espaços e pela ocorrência de acidentes com visitantes. Na ocasião, foi assinado um Termo de Ajustamento de Conduta, o qual estabeleceu a necessidade de estudos para elaboração de planos de manejos espeleológicos desses parques. A partir de então, foram criados grupos de trabalhos e estabelecidas parcerias entre diferentes instituições públicas (Fundação Florestal, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Instituto Geológico, Instituto Florestal, ...) e especialistas de universidades do estado de São Paulo (Universidade de São Paulo, Universidade Federal de São Carlos, Universidade Estadual Paulista) para a elaboração destes documentos (Lobo et al., 2010). Neste contexto, foram realizados diferentes estudos, dentre eles estudos específicos e a proposição de metodologias (apresentadas anteriormente) para determinação da CCT nas cavernas da região.

O modelo de zoneamento ambiental espeleológico foi aplicado em cavernas na região do Alto Ribeira para a determinação da capacidade de carga preliminar. A partir de estudos realizados em cavernas (como a Caverna Santana, localizada no PETAR e a Gruta no Fogo, localizada no PEI) foram estabelecidos os limites de uso público, em função de fragilidades ambientais identificadas em cada zona ou na caverna inteira (Fundação Florestal, 2010; Lobo, 2011).

Baseado no ZAE de Lobo (2009b), Lobo et al. (2010) propuseram um modelo metodológico para a determinação da capacidade de carga provisória em caverna inseridas nos Parques Estaduais: Intervalos (PEI), Turístico do Alto Ribeira, Caverna do Diabo (PECD) e do Rio do Turvo (PESRT). Essa metodologia foi desenvolvida para a elaboração do plano de manejo destas UCs e foi aplicada em 32 cavernas dessas áreas, das quais 20 estão inseridas no PETAR. Das cavernas do PETAR, 12 estão no inventário de sítios geológicos (apresentado no capítulo 4).

Como estratégia para a conservação do ambiente, o principal ponto metodológico foi a delimitação de zonas lineares de caminamento (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010; Lobo et al., 2010). Neste sentido, Lobo (2011) ressalta que do ponto de vista hidrogeológico, embora o ZAE seja uma importante ferramenta para a determinação de zonas de influência em cavernas, do ponto de vista

da conservação destes espaços, a contribuição de ZAE é bastante restrita. Baseado em estudos anteriores (como Boggiani et al., 2007 e Lobo, 2006) o mesmo autor propõe a “delimitação de caminhamento”, ou seja, um trecho linear de visitação turística, ao invés de trechos de dispersão controlada. As principais vantagens na delimitação do caminhamento de visitação são: confinamento espacial, concentração dos impactos da visitação e a capacidade de carga de gestão (permitindo um melhor ordenamento da gestão da visitação e controle de parâmetros espaciais, bióticos, abióticos e temporais).

O zoneamento das cavernas foi estabelecido a partir da realização de oficinas com os coordenadores temáticos, consultores, representantes das UCs e demais partes interessadas (Fundação Florestal, 2010). Como resultado, foram aprovadas 45 (de 51) propostas de roteiros de visitação (Lobo et al., 2010). Dentre os resultados obtidos, para os sítios de geodiversidade Caverna Santana e Morro Preto (PETAR), os autores afirmam que, os roteiros originalmente propostos, foram “vetados” em função das fragilidades dos espeleotemas, presença de fauna troglóbia e mudança microclimática, em algumas zonas dessas cavernas. Para gruta do Ouro Grosso (PETAR) a capacidade de carga estabelecida para o roteiro de visitação foi de 130 pessoas, entre os meses de outubro a abril, e 60 pessoas, nos meses de maio a setembro. Neste caso, considerou-se o ciclo reprodutivo de uma espécie de opilião em diferentes zonas na caverna. Por último, para a caverna Água Suja (PETAR), em função da necessidade de recuperação da fauna aquática no ambiente cavernícola, a capacidade de carga sugerida a partir do estudo de espeleobiologia foi de 80 pessoas por dia. O cenário projetado inicialmente sugeria como máximo de visitas 300 pessoas por dia. Ao final, baseando em ambos os resultados a capacidade de carga provisória estabelecida foi de 180 pessoas por dia na caverna. Além disso, para este sítio geológico foram estabelecidas regras específicas para a realização do roteiro de visitação, como o intervalo mínimo de 90 minutos entre os grupos de visitantes (Lobo et al., op cit).

A versão final da metodologia proposta para a determinação da CCT em cavernas, posteriormente, denominada como “cenários”, foi publicada por Lobo et al. (2013) em um estudo aplicado à Caverna do Diabo (PECD) no estado de São Paulo. Para esta caverna foram projetados 4 cenários de visitação: tradicional (com limite de 810 visita/dia em grupos de até 30 pessoas), tradicional e rio (com limite de 80 visita/dia em grupos de até 10 pessoas), salão Erectus (com limite de 24 visita/dia em grupos de até 06 pessoas) e travessia – totalizando 922 visitas/dia na caverna. Foram também produzidos três mapas de fragilidade ambiental: físico (geologia, geomorfologia, paleontologia), biologia e microclimático. A integração dos mapas de fragilidade resultou no “mapa integrado de fragilidade”, o qual possibilitou a identificação de zonas de fragilidade máxima, média e baixa na caverna. Ao final, os

quatro cenários projetados foram aprovados para a caverna, dos quais dois, tradicional (com limite de 1100 visita/dia em grupos de até 50 pessoas para atividades em geral e 30 para atividades de educação ambiental) e tradicional e rio (com limite de 84 visita/dia em grupos de até 12 pessoas), tiveram o limite de visitação aumentado devido à baixa fragilidade do ambiente e questões socioeconômicas dos *stakeholders* (Lobo et al., op cit.). O limite de visitação foi diminuído no cenário proposto para salão Erectus (com limite de 18 visita/dia em grupos de até 06 pessoas) e estabelecida para o cenário travessia (com limite de 50 visita/dia em grupos de até 50 pessoas) – totalizando 1252 visitas/dia na caverna.

A metodologia proposta por Lobo (2011) para avaliação da CCT em cavernas baseou-se no monitoramento de parâmetros atmosféricos (temperatura e umidade relativa do ar) no sítio de geodiversidade caverna Santana. Durante o estudo foi proposta uma nova rota de visitação na caverna e para os pontos de dispersão foram calculadas áreas de “estrangulamento”: Bolo de noiva (37 m²), Fafá (35m²), Bacon (21 m²), Cristo (27 m²) e Encontro (22,5 m²). A partir destes resultados, considerando o ponto Bacon como “crítico”, foi estabelecido o número máximo de 24 pessoas (Lobo, 2011 p.343). A projeção de cenário de visitação para o sítio geológico foi de 334 visitas/dia. A aplicação do método consistiu em análises estatísticas relacionadas ao número de visitação por dia com as variáveis atmosféricas monitoradas. O resultado obtido para a capacidade de carga turística foi de 1353,7 visitas por dia (Lobo, 2011, 2017).

O avanço deste método foi publicado em 2015 pelo mesmo autor e também aplicado à caverna Santana. Neste estudo foi testada a projeção de dois cenários de visitação que haviam sido propostos para o PME da caverna, baseados na metodologia de Lobo et al., 2013. Os cenários de visitação testados permitiam a visitação de grupos com até 18 pessoas (incluindo dois guias) em finais de semana e grupos com até 23 pessoas (incluindo 3 guias) durante a semana. Os resultados obtidos indicam que, ao considerar os principais parâmetros ambientais críticos (umidade relativa e pressão do ar), a visitação na caverna não causou impactos na atmosfera da caverna. Portanto, a CCT na caverna foi estabelecida em um limite diário de 378 visitantes/dia nos finais de semana e feriados, organizados em grupos de até 18 pessoas, como máximo de até 21 grupos, cujos intervalos de entrada permitidos são a cada 20 minutos. Em dias úteis (dias de trabalho) permitido um total de 336 visitantes por dia, com máximo de 14 grupos de 24 visitantes cada, e intervalos de entrada de 30 minutos (Lobo op cit.).

5.3. Proposta para avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos

A gestão de sítios geológicos deve ser planejada de modo a alcançar os objetivos de conservação, e ao mesmo tempo assegurar a qualidade da visitação (Lima, 2012). A avaliação da capacidade de carga

em sítios geológicos justifica-se por se tratar de uma ferramenta de gestão, que ajuda a definir os limites aceitáveis de visitação, sem causar impactos significativo na integridade de um determinado sítio (Brilha, 2018b). Além disso, ações de monitoramento, contempladas nestes estudos podem fornecer informações sobre o estado de conservação do sítio geológico ao longo do tempo (Brilha, 2018b).

Estudos de capacidade de carga em áreas naturais protegidas, em geral, são contemplados em planos de manejo (documento que estabelece as normas e restrições para o uso, ações de desenvolvimento e manejo de recursos naturais). Em sítios geológicos, não necessariamente inseridos em áreas naturais protegidas (por exemplo: sítios geológicos em geoparques), os estudos de capacidade de carga devem ser contemplados em planos de gestão, cuja finalidade é manter ou alcançar o estado de conservação favorável do sítio geológico (Wimbledon et al., 2004; Lima, 2012).

Desta forma, baseado nos modelos e suas aplicações apresentados anteriormente (capítulo 5.2), considerando as vantagens e desvantagens de cada método (sintetizadas no Quadro 5), e as estratégias de geoconservação (Brilha, 2005, 2016, 2018b) (capítulo 2.3), apresenta-se a seguir uma proposta para a avaliação da capacidade de carga como ferramenta para a gestão adequada de sítios geológicos. Cabe ressaltar que com esta proposta não se pretende esgotar as possibilidades sobre a temática, e sim fornecer uma contribuição para avaliação da capacidade de carga no âmbito da geoconservação (considerando o potencial uso e o risco de degradação de cada sítio geológico). Para tanto, deve-se clarificar que maior enfoque será dado às componentes da capacidade de carga que avaliam o meio natural, especificamente, a capacidade de carga físico-ecológica ou material, com intuito de evidenciar as características geológicas nesses sítios. A proposta a seguir apresentada compreende diferentes etapas, sintetizadas no Quadro 19 e Figura 43.

Os procedimentos para avaliação da capacidade de carga compreendem três partes: A) Análise do Sistema, B) Prioridade de gestão e C) Determinação da Capacidade de Carga.

A Análise do Sistema, baseia-se no método proposto por Coccossis e Mexa (2004b) (capítulo 5.2.2.5). Os mesmos autores sugerem que nesta etapa seja feita análise das características físicas-ecológicas, sociais e político-administrativas, que correspondem aos diferentes componentes da capacidade de carga. Contudo, no âmbito deste trabalho, em adaptação à proposta original dos autores, a análise do sistema compreende as sub etapas: análise das características físicas, biodiversidade e geodiversidade; análise do desenvolvimento turístico e análise de políticas de gestão/manejo. A análise das características da geodiversidade, corresponde, em parte, à etapa de inventário (ou seja, a identificação e caracterização) de sítios geológicos, fase inicial de uma estratégia de geoconservação (Brilha, 2005, 2016, 2018b) (capítulo 2.3).

Quadro 19. Etapas para avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos

PARTE A – ANÁLISE DO SISTEMA
Análise do meio físico ➤ Características físicas ➤ Biodiversidade ➤ Geodiversidade
Análise do desenvolvimento turístico/potencial uso/uso público ➤ Potencial uso do sítio geológico ➤ Oferta turística e procura ➤ Caracterização do público
Análise de políticas de gestão da área/sítio geológico ➤ Regime de proteção ➤ Categoria de manejo (quando aplicável)
PARTE B – PRIORIDADE DE GESTÃO
Estabelecimento de prioridades de gestão (quando aplicável) ➤ Em áreas com dezenas de sítios geológicos: seriação dos sítios geológicos
PARTE C – DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA
Zoneamento da área/sítio geológico (quando aplicável) ➤ Identificação de aspetos e sub aspetos para cada área/sítio geológico ➤ Definição de zonas para cada área/sítio geológico ➤ Definição do tipo e nível de uso para cada zona de acordo com as diferentes categorias de manejo e de modo a agrupar os aspetos e sub aspetos identificados
Identificação de fatores/geoindicadores (associados às ameaças) ➤ Identificação de fatores características que influenciam cada sítio geológico ou zona de um sítio geológico ➤ Definição de geoindicadores para cada zona ou sítio geológico
Monitoramento de fatores/geoindicadores ➤ Estabelecimento de estratégia de monitoramento ➤ Definição do limite de mudança aceitável para cada geoindicador e indicadores de impacto de visitação (quando aplicável) identificados para cada zona ou sítio geológico ➤ Recolha sistemática e análise de dados a fim de determinar a capacidade de cada zona ou sítio geológico
Cálculo da capacidade de carga ➤ Avaliação de indicadores monitorados na etapa anterior e estratégias de manejo ➤ Definição do número máximo de usuários permitidos em diferentes zonas ou sítio geológico
Revisão do processo ➤ Revisão das estratégias de monitoramento e manejo ➤ Revisão da capacidade de carga numérica (quando aplicável)

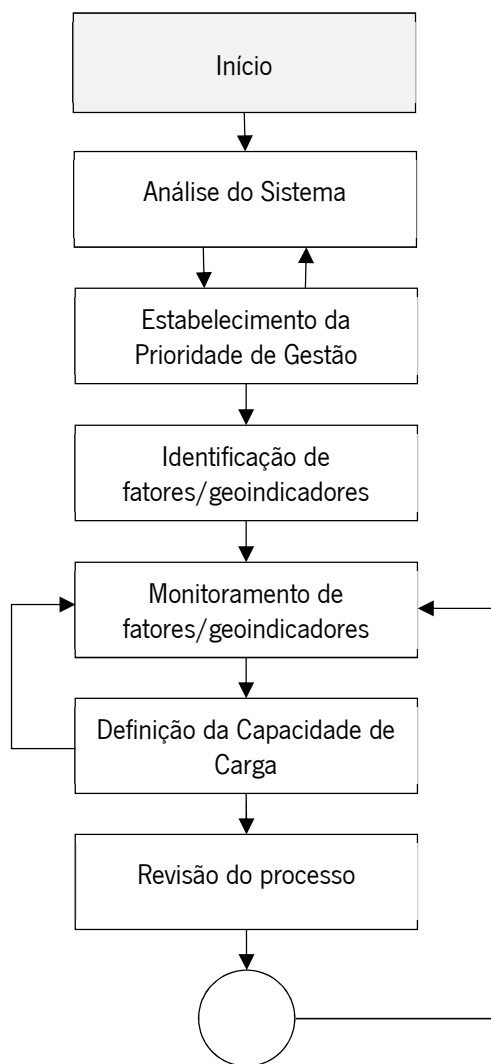


Figura 43. Fluxo para avaliação da capacidade de carga (CC) em sítios Geológicos.

A segunda sub etapa para a avaliação da capacidade de carga deve envolver a análise do desenvolvimento turístico na região, especificamente, a oferta e procura turística e a caracterização do público (Coccossis e Mexa, 2004b). Esta análise poderá contribuir para as etapas subsequentes, especificamente, para o zoneamento do sítio geológico e tomada de decisões consoantes ao potencial uso turístico e educativo.

A proposição da sub etapa de análise das políticas para o manejo (gestão) da área ou sítio geológico, baseou-se nos modelos de Coccossis e Mexa (2004b) e nas propostas de LAC (Stankey et al., 1985), Cifuentes de (1992), Cifuentes-Arias et al. (1999). De acordo com estes autores, as políticas para o manejo em áreas protegidas podem fornecer importantes informações sobre as potencialidades e contradições que podem existir em relação à proteção desses locais. De acordo com a categoria de manejo de cada área poderão ser traçados os objetivos de gestão dos sítios geológicos, ou seja, as

atividades e o tipo de turismo que pode ser praticado. Além disso, em etapas posteriores, o conhecimento de políticas de gestão poderá contribuir para a identificação dos sítios geológicos que necessitam ser legalmente protegidos e para a classificação destes sítios, de acordo com o enquadramento legal existente (direta ou indiretamente) no âmbito nacional, regional e municipal (Brilha, 2005, 2016, 2018a).

A segunda parte do estudo para avaliação da capacidade de carga (Parte B: Prioridade de Gestão) deve ser iniciada com o estabelecimento da prioridade de gestão da área ou sítios geológicos. Baseado nas estratégias de geoconservação, uma vez realizado o inventário de sítios geológicos, particularmente quando o número de sítios geológicos inventariados é elevado, deve-se proceder à sua avaliação quantitativa, a fim de estabelecer prioridades de gestão (Brilha, 2005, 2016, 2018a). Durante este processo os sítios geológicos são quantificados em relação ao valor científico, risco de degradação e, quando aplicável, ao potencial uso turístico e/ou educativo (Brilha, 2005, 2016, 2018a). Os sítios que possuem maior potencial para usos turístico e educativo deverão/poderão ser prioritariamente submetidos a estudos de capacidade de carga.

Cabe ressaltar que, em alguns casos, os sítios geológicos englobados num mesmo estudo poderão estar localizados em municípios, cidades ou até estados diferentes, o que pode significar que podem estar sujeitos a diferentes políticas de uso público. Neste caso, o estabelecimento da prioridade de gestão dos sítios geológicos poderá/deverá ser realizado antes da etapa de análise do sistema.

O zoneamento ambiental permite estabelecer a ocupação e normas de uso de uma determinada área, conforme referido na revisão bibliográfica apresentada no subcapítulo 5.2. A subdivisão da área de estudo em diferentes zonas permite a identificação do nível e tipo de uso, e o manejo necessário para cada zona. Assim, sugere-se o zoneamento da área ou sítio geológico que consiste na subdivisão em zonas de modo a facilitar o tipo de uso (de acordo com as diferentes categorias de manejo). Além disso, sugere-se agrupar os elementos geológicos de principal interesse (aspetos) e elementos geológicos secundários (sub aspetos), de acordo com a proposta de Wimbledon et al. (2004) para a elaboração de planos de gestão de sítios geológicos.

Considerando os aspetos e sub aspetos caracterizados em cada zona ou sítio geológico na etapa anterior, deve-se identificar os processos e pressões que afetam ou poderão afetar o estado de conservação do sítio geológico. Conforme referido no subcapítulo 5.2, de acordo com Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias et al. (1999) esta etapa consiste na identificação de fatores, ou seja, características que influenciam cada sítio de uso público. Nos modelos de gestão do uso público em áreas naturais protegidas LAC (Stankey et al., 1985), (VERP) (National Park Service, 1993, 1997), TOMM (TOMM, 2000) e no modelo de Coccossis e Mexa (2004b), tais características são avaliadas por meio de indicadores de

impactos. Os indicadores de impacto ou indicadores de fragilidade (Lobo et al., 2010; 2013), de modo geral, são variáveis específicas que permitem conhecer o estado de conservação geral de uma área. Segundo Cifuentes (1992), Cifuentes-Arias et al. (1999) e Wimbledon et al. (2004) os fatores podem afetar diretamente ou indiretamente um sítio de uso público (ou um sítio geológico) tornando-o mais vulnerável e diminuindo ou aumentando a atração do público de acordo com possíveis modificações nos principais aspetos ou sub aspetos (ou seja, de acordo com as alterações dos principais elementos atrativos no sítio). Os mesmos autores afirmam que os indicadores podem ainda ser de causas naturais (por exemplo: erosão, crescimento da vegetação, etc.) ou antrópicas, (por exemplo: pisoteio, abertura de picadas (caminhos alternativos em trilhas), exploração de recursos, obras de infraestrutura, etc.). Autores como Stankey et al. (1985), Merigliano (1987, 1990) e Manning (2007) discutem que a seleção de bons indicadores de impacto deve basear-se em algumas características: devem ser específicos, objetivos, confiáveis, relacionado ao uso público, sensível, manejável, eficiente e eficaz para medir, interativo ou sintético e significativo (apresentados no Quadro 9).

De acordo García-Cortés et al. (2012) e Díez-Herrero et al. (2018) a definição e o monitoramento de um conjunto de geoindicadores permitem conhecer, controlar e mitigar tanto os impactos naturais, quanto os impactos (mudanças) de causa antrópica em um sítio geológico. Além disso, o monitoramento de geoindicadores permitem avaliar o estado de conservação de sítios geológicos. Os mesmos autores afirmam que os geoindicadores devem ser quantificáveis, de modo que se possa estimar os impactos de processos geológicos ativos em sítios geológicos de uso público.

Assim, geoindicadores são medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de fenômenos e processos geológicos, que ocorrem na superfície ou próximos à superfície terrestre, e estão sujeitos a mudanças significativas para o entendimento de mudanças ambientais no período de até cem anos (Berger e Iams, 1996). O conceito de geoindicadores foi estabelecido pela *International Union of Geological Sciences* (IUGS), na década de 1990, por meio da *Commission on Geological Sciences for Environmental Planning* (COGEOENVIRONMENT) com a criação de um grupo de pesquisa para o desenvolvimento de indicadores geológicos. Em 1996, como resultado dos trabalhos desenvolvidos, foram compilados 27 geoindicadores “padrões”, que podem ser selecionados e modificados de acordo com a necessidade de aplicação. Para cada geoindicador, são apresentadas formas de medições para cada parâmetro, o significado de para a avaliação ambiental e a causa (natural ou antrópica).

Neste sentido Hirai e Augusto Filho (2008) apresentam os 27 geoindicadores propostos pela IUGS, ordenados de acordo com a relevância para a dinâmica ambiental brasileira (Tabela 18). Os mesmos autores apresentam uma lista de outros geoindicadores referidos na literatura, entre eles:

erosão do solo e sedimentos, qualidade do solo, escorregamento e avalanches, carstificação, e sequência de deposição de sedimentos (Anexo 7).

Ainda nesta etapa, para cada sítio geológico poderão ser identificados fatores (ou indicadores) de impacto de visitação (que estão relacionados diretamente com o uso público de uma zona ou sítio geológico). No Quadro 20 e Quadro 21 são apresentados exemplos de indicadores de impacto já aplicados para o manejo de visitantes em UCs no Brasil. As listas completas de indicadores são apresentadas por Lobo e Simões (2010) no Manual de Monitoramento e Gestão de Impactos da Visitação em Unidades de Conservação e no Roteiro Metodológico para Manejo da Visitação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2011). Ambos os documentos se baseiam em modelos para gestão do uso público em áreas naturais protegidas, nomeadamente, VERP (National Park Service, 1993, 1997) e VIMM (Graefe et al., 1990).

Geoindicadores	Graus de influência dos fatores (*)	
	Natural	Antrópico
Qualidade do solo	2	1
Erosão de solos e sedimentos	1	1
Escorregamentos ou avalanches	1	1
Carstificação	1	2
Sequência e composição de sedimentos	1	1
Posição da linha costeira	1	1
Nível do lençol freático	2	1
Qualidade de águas subterrâneas	2	1
Química de águas subterrâneas em zonas não saturadas	1	1
Qualidade de águas superficiais	1	1
Fluxos fluviais	1	1
Morfologia dos canais fluviais	1	1
Carga e deposição de sedimentos nos cursos de água	1	1
Extensão, estrutura e hidrologia de áreas alagadas	1	1
Salinidade e nível dos lagos	1	1
Nível relativo do mar	1	2
Padrões de crescimento e química dos corais	1	1
Atividade e morfologia de dunas	1	2
Tempestade de areia	1	2
Erosão eólica	1	2
Fissuras e crostas em superfícies desérticas	1	2
Sismicidade	1	2
Deslocamentos da superfície	1	2
Congelamento do solo	1	2
Flutuações glaciais	1	3
Regime de temperatura sub superficial	1	2
Atividade vulcânica	1	3

* 1: fortemente influenciado; 2: pode ser influenciado; 3: sem influência significativa.

Tabela 18. Geoindicadores e graus de influência dos fatores naturais e antrópicos. Fonte: Hirai e Augusto Filho (2008), modificado de Simões (1997).

Quadro 20. Exemplos de indicadores de impactos de visitação: ambientais e da experiência de visitantes (adaptada de ICMBio, 2011)

Indicador	Tipo de indicador	Tipo de ambiente	Atributo
Percentual de superfície de solo exposto em uma área de acampamento	Ambiental/experiência do visitante	Diverso	Uso conflitante / vegetação
Número de atalhos em uma trilha	Ambiental	Terreste	Vegetação
Número e comprimento de trilhas não oficiais	Ambiental	Terrestre	Vegetação
Total em metros lineares erodidos de percurso de trilha	Ambiental	Terrestre	Solo
Grau e compactação do solo	Experiência do visitante	Terreste /aquático	Solo
Volume de lixo encontrado em uma caverna	Ambiental	Cavernicola	Poluição
Acumulação de lixo em áreas específicas	Ambiental	Diverso	Poluição
Grau de mudança da qualidade da água causada por atividades de uso público como nível de coliformes fecais, nutrientes totais dissolvidos (nitrogênio, nitratos e fósforo), hidrocarbonetos	Ambiental	Aquático	Poluição

Quadro 21. Exemplos de indicadores de impactos da visitação e forma de coleta de dados de campo (adaptada de Lobo e Simões, 2010).

Indicadores	Coleta	Forma de avaliação
Largura da trilha	Amostragem (pontos)	Quantitativa
Número de trilhas não oficiais	Censo (seção)	Integrativa
Danos aos recursos naturais	Amostragem (pontos)	Quantitativa
Danos à infraestrutura	Amostragem (pontos)	Quantitativa + Qualitativa
Presença de lixo	Censo (seção)	Quantitativa + Qualitativa
Problemas de drenagem	Censo (seção)	Quantitativa + Qualitativa
Área de vegetação degradada	Amostragem (pontos)	Quantitativa
Poeira (em ambiente seco de cavernas)	Amostragem (pontos)	Quantitativa
Carregamento do solo e matéria orgânica (em ambiente de cavernas, em geral em entradas)	Amostragem (pontos)	Quantitativa

A seguir à etapa de identificação de geoindicadores e indicadores de impacto de visitação (quando aplicável) deve-se estabelecer procedimentos para o monitoramento e análise de dados (periodicamente) para cada zona ou sítio geológico.

Baseado nos modelos LAC, VERP e TOMM, para cada indicador (geoindicador/indicador de impacto de visitação) deve-se proceder ao estabelecimento dos limites de alteração aceitável (estado de conservação desejável) (Stankey et al., 1985) ou das condições máximas de mensuração aceitas

(National Park Service, 1993, 1997; TOMM 2000), ou seja, as condições que devem ser mantidas para cada indicador a partir do estabelecimento de padrões. Nos referidos modelos, a definição do nível desejado para cada indicador deverá estar relacionada à capacidade do ambiente (ex. níveis de poluição). A definição de padrões para os geoindicadores e indicadores de impacto de visitação deverá basear-se em um valor de referência, obtido na fase inicial de monitoramento no sítio geológico. Após um determinado período de monitoramento, os padrões estabelecidos poderão ser confrontados com os índices obtidos para os diferentes indicadores, auxiliando na avaliação da capacidade de carga e ações de gestão. Onde existem padrões já estabelecidos, o monitoramento de geoindicadores e indicadores de impacto de visitação, deve ser realizado em relação a estes padrões (Coccossis e Mexa 2004b).

A respeito das etapas de identificação e monitoramento de geoindicadores e indicadores de impacto de visitação, ressalta-se que a escolha de geoindicadores deve basear-se em observações de campo e dados obtidos durante a fase de análise do sistema (Parte A). O conjunto desses geoindicadores e indicadores de impacto de visitação em uma determinada área ou sítio geológico não é estático, e deverá ser revisado e atualizado de acordo com o período e os resultados do monitoramento (que possibilitará avaliar a eficácia), e condições da área ou sítio geológico. Do mesmo modo, os padrões estabelecidos para cada geoindicador ou indicador de impacto de visitação, poderá ser alterado se necessário. Por fim, recomenda-se que o período de monitoramento para cada geoindicador/indicadores seja feito durante 12 meses, para que se possa considerar as diferentes estações do ano.

A capacidade de carga de um sítio geológico deverá ser definida após a avaliação dos dados de monitoramento para o conjunto de indicadores (geoindicadores/indicadores de impacto de visitação) de duas formas:

- 1 - Por meio de um conjunto de ações de manejo para que os limites de mudanças aceitáveis para cada indicador ou conjunto de indicadores (geoindicadores/indicadores de impacto de visitação) sejam mantidos.

- 2 - Limitação do número de usuários (visitantes) em uma zona ou sítio geológico.

A avaliação de dados do monitoramento permitirá obter informações sobre os impactos causados em um sítio geológico. Em geral, um impacto não está associado apenas a um só indicador, mas sim a um conjunto de indicadores (ICMBio, 2011). Deste modo, quando houver indícios do limite aceitável para um indicador “chave” (de grande influência no sítio geológico), ou conjunto de indicadores, ter sido ultrapassado, deve-se considerar as alterações nos padrões estabelecidos, e avaliar os impactos e suas possíveis causas reais, incluindo a influência da atividade antrópica nos impactos causados. Conhecendo os impactos e suas causas reais (sejam elas naturais e/ou relacionadas ao uso público) devem ser

criadas estratégias de manejo para o sítio geológico, a fim de reestabelecer os padrões estabelecidos (ou seja, manter a capacidade de carga na zona ou sítio em questão). Neste caso, não deverá ser necessariamente estabelecido um número de usuários para cada zona ou sítio geológico.

As estratégias de manejo, de acordo com Lobo e Simões (2010 p. 46) “são definidas como um conjunto de ações ou intervenções que ocorrem a partir da constatação de um impacto (indicadores fora de padrão). Os objetivos dessas ações de manejo são controlar, minimizar e/ou eliminar os impactos causados ao ambiente”. As ações de manejo devem ser planejadas para minimizar os impactos a médio e curto prazos, e serem iniciadas por ações fáceis de serem resolvidas e baixo custo (ICMBio, 2011). Neste sentido, Lobo e Simões (2010) apresentam uma compilação de diferentes táticas de manejo apresentadas originalmente por Cole et al. (1987) e Hammitt et al. (1998), que foram aplicadas para a gestão de impactos de visitantes em UCs no Brasil (sintetizadas na Tabela 19). Outros exemplos de táticas (ou ações) de manejo são apresentadas no Roteiro Metodológico para Manejo de Impacto de Visitação em Unidade de Conservação no Brasil, elaboradas pelo ICMBio (2011) (Quadro 22). Estas e outras táticas podem ser adaptadas e aplicadas para mitigação e/ou eliminação de impactos em sítios geológicos. Em outras palavras, o desenvolvimento de ações e táticas de manejo permitem o “controle” da capacidade de carga no local estudado.

Uma vez ultrapassados os limites de alteração aceitáveis para os indicadores avaliados, e caso as estratégias de manejo não sejam suficientes para controlar os impactos identificados em uma zona ou sítio geológico, o número de usuários deverá/poderá ser limitado. O número limite de usuários poderá ser obtido da seguinte forma:

$$NLU = \frac{LACV}{IM}$$

Onde:

NLU = número limite de usuários (capacidade de carga).

LACV = Limite alteração aceitável para o indicador devido à visitação (uso público).

IM = variação média causada por um usuário.

O valor de *LACV* é obtido da seguinte expressão:

$$LACV = LAC - ANE$$

Onde:

LAC = Limite de alteração aceitável para o indicador, definido pelos padrões pré-estabelecidos.

ANE = Alteração natural expectável (processos naturais sem influência antrópica).

I. Realizar manutenção ou recuperação do recurso/área
1. Remover o problema
2. Realizar a manutenção ou recuperar áreas impactadas
II. Aumentar a resistência da área
3. Proteger a área do impacto
4. Endurecer a área
III. Modificar as expectativas do visitante
5. Informar os visitantes sobre o correto uso das áreas da UC
6. Informar os visitantes sobre as condições encontradas nas trilhas e atrativos da UC
IV. Modificar o tipo de uso e comportamento do visitante
7. Desencorajar ou proibir o uso de equipamento ou pratica de atividades potencialmente impactantes
8. Encorajar ou exigir certo tipo de conduta, pratica, técnica e/ou equipamento
9. Ensinar as boas praticas em ambientes naturais (mínimo impacto)
10. Encorajar ou exigir um número limite para o tamanho de grupos ou animais de montaria (cavalgadas)
11. Desencorajar ou proibir o uso de animais de montaria (cavalgadas)
12. Desencorajar ou proibir o pernoite
V. Modificar a sazonalidade de uso
13. Encorajar o uso da área fora dos períodos de pico
14. Desencorajar ou proibir o uso quando o potencial de impacto e alto
15. Taxar a visitação em períodos de pico e/ou de elevado potencial de impacto
VI. Modificar o local do uso em áreas com problemas
16. Desencorajar ou proibir o acampamento e/ou uso de animais de montaria em áreas com problemas
17. Encorajar ou proibir o acampamento e/ou uso de animais de montaria somente em áreas específicas
18. Alocar infraestruturas em áreas resistentes
19. Concentrar o uso em áreas com infraestruturas e/ou disponibilidade de orientações
20. Desencorajar ou proibir o uso em áreas abertas (off trail)
21. Segregar diferentes tipos de visitantes
VII. Reduzir a visitação em áreas com problemas
22. Informar os visitantes as desvantagens das áreas com problemas e as vantagens das áreas alternativas
23. Desencorajar ou proibir o uso de áreas com problemas
24. Limitar o número de visitantes em áreas com problemas
25. Encorajar ou exigir uma permanência limite nas áreas com problemas
26. Dificultar o acesso a áreas com problemas e/ou facilitar o acesso a áreas alternativas
27. Eliminar infraestruturas ou atrativos em áreas com problemas e/ou melhorar infraestruturas ou atrativos em áreas alternativas
28. Encorajar o uso em áreas abertas (off trail)
29. Exigir a comprovação de habilidades técnicas ou uso de equipamentos específicos
30. Cobrar diferentes taxas de visitação
VIII. Reduzir a visitação em toda UC
31. Limitar o número de visitantes em toda UC
32. Limitar o período de permanência em toda UC
33. Encorajar o uso de outras áreas da UC
34. Exigir o uso de determinados técnicas e/ou equipamentos
35. Cobrar uma taxa de visitação
36. Dificultar o acesso em toda UC

Tabela 19. Estratégias e ações de manejo para áreas naturais protegidas. Fonte: Lobo e Simões, 2010.

Alterar o tempo e a frequência de uso: • Estimule o uso fora dos horários e dias de pico; • Desestimule ou proíba o uso quando o potencial de impacto se tornar alto; • Diferencie os valores cobrados por serviços durante os períodos de muita procura ou de alto potencial de impacto.
Adequar o tipo de uso ou o comportamento do visitante: • Desestimule ou proíba práticas danosas ao ambiente e à experiência de outros visitantes; • Incentive ou exija certos comportamentos, aptidões ou equipamentos; • Recomende e divulgue a ética e as práticas de mínimo impacto; • Incentive grupos pequenos; • Desestimule ou proíba a permanência em locais ou períodos de intensa atividade de fauna.
Adequar as expectativas dos visitantes às condições existentes na UC: • Divulgue os usos permitidos/apropriados; • Informe os visitantes sobre as condições que deverão encontrar.
Modificar o uso de áreas problemáticas: • Desestimule ou proíba o acampamento nos locais mais atingidos; • Estimule ou apenas permita o acampamento em outras áreas existentes; • Estimule a utilização de abrigos; • Concentre o uso nos locais mais resistentes através de orientações claras, ou pela instalação de estruturas e/ou equipamentos que protejam os recursos naturais e culturais; • Recomende aos visitantes que sigam as normas estabelecidas para as atividades de visitação; • Mantenha diferentes tipos de visitantes em locais distintos.
Reduzir o uso apenas nos lugares onde há maior impacto dentro da área estratégica: • Desestimule o uso dessas áreas, informando aos potenciais visitantes sobre as desvantagens de ir até lá e os problemas que o local apresenta; • Proíba o uso dessas áreas; • Diminua o número de visitantes em áreas com problema; • Estabeleça prazos para a estadia de visitantes em áreas com problema; • Faça o acesso às áreas com problema ser mais difícil, estabelecendo, por exemplo, um sistema de agendamento prévio; • Melhore o acesso e a divulgação de outras áreas; • Estabeleça diferentes requisitos de habilidades ou de equipamentos para cada área.

O valor de IM pode ser calculado através dos dados de monitoramento (quando disponíveis). A expressão para o seu cálculo é:

$$IM = \frac{AI - AIN}{NV}$$

Onde:

AI = alteração do indicador (observada, dados de monitoramento).

AIN = alteração do indicador causada por processos naturais (sem influência antrópica).

NV = número de visitantes durante o período de monitoramento.

Por vezes, os dados monitorados não permitem distinguir qual a componente de alteração causada por processos naturais. Neste caso o valor de AIN deverá ser estimado de acordo com padrões estabelecidos na literatura para a região.

Quando os dados da monitorização não são suficientes para uma estimativa confiável do impacto médio de um utilizador (IM), este pode ser assumido com base em valores apresentados na literatura em que as condições do sítio geológico sejam o mais semelhante possível à localização em estudo.

Após o cálculo do número limite de visitantes (NLU) para cada indicador monitorizado, a capacidade carga (CC) da zona ou sítio geológico será dada pelo valor mínimo obtido entre todos eles, não devendo exceder o valor da CCR, que pode ser calculado de acordo com Cifuentes (1992) – em que apenas entram como fatores de correção aqueles que limitam o acesso física ao local.

Após a definição da capacidade de carga em uma zona ou sítio geológico, segue-se um período em que se efetua o monitoramento de indicadores de impacto, e ao final desse período, procede-se à revisão das estratégias de monitoramento e manejo, assim como do valor específico da capacidade de carga (CC) (quando aplicável). Para esta revisão, toma-se como base os procedimentos propostos no "Roteiro Metodológico para Manejo de Impactos da Visitação" (ICMBio, 2011), por se tratar de um documento oficial do país, onde as diretrizes apresentadas se baseiam em modelos para gestão de uso público (por exemplo, os modelos LAC (Stankey et al., 1985) e VERP (National Park Service, 1993, 1997)). Assim, a forma de revisão do processo de avaliação dependerá das condições de manejo verificadas no final do período de monitoramento.

Caso as condições de manejo em uma zona ou sítio geológico sejam mantidas ou melhoradas (por exemplo: recuperação de acessos, implementação de infraestruturas, disponibilização de novos serviços), a revisão do processo de avaliação da capacidade de carga deverá ser feita de acordo com a Figura 44. Nestes casos, deve-se verificar se os indicadores de impacto estão em conformidade com o padrão estabelecido. Caso tal não se verifique, e se após a análise das causas dos impactos se concluir que tal deve-se à intensidade de uso público, então o valor da CC deverá ser reduzido, ou seja, o número de usuários deverá diminuir. Se, por outro lado, a análise das causas de impactos concluir que a extrapolação dos indicadores não estiver diretamente associada ao uso público, então a capacidade de carga em uma zona ou sítio geológico poderá ser aumentada. Independente dos motivos que levaram à extrapolação dos padrões, a revisão da capacidade de carga poderá ser feita por meio de ações de manejo no sítio geológico (conforme referido no subcapítulo 5.3). No caso de os dados de monitoramento apontarem que os indicadores estão em conformidade com os padrões estabelecidos, então a capacidade de carga poderá ser redefinida de modo a aumentar o número de usuários.

Em caso de piora nas condições de manejo do sítio geológico, a revisão do processo deverá basear-se na Figura 45. Neste caso deve-se tentar perceber se foram alterados os fatores que limitam a visitação ao sítio geológico (indicadores de impacto de visitação) considerados na determinação da capacidade de carga. Caso tal se verifique deve-se proceder a revisão CC para sua diminuição. Caso não se constate alterações nos fatores que limitam a visitação, deverá ser avaliado se as condições de manejo que foram pioradas comprometem a capacidade de uso público. Neste caso, poderão ser incluídos novos indicadores na revisão do cálculo da capacidade de carga. Após a avaliação das condições de manejo no sítio geológico, conclui-se a revisão do procedimento para a avaliação da capacidade de carga seguindo os procedimentos adotados nos casos em que as condições de manejo se mantiveram ou foram melhoradas (ou seja, a partir da verificação se os indicadores de impacto estão em conformidade com o padrão estabelecido).

Finalmente, em ambas as situações (melhora ou piora das condições de manejo), ressalta-se que o processo de revisão da capacidade de carga em um sítio geológico é cíclico, e está diretamente relacionado aos dados de monitoramento de indicadores de impacto. Contudo, para a determinação e revisão da CC é necessário estabelecer estratégias para o controle de usuários (por meio de cobrança e/ou reservas de ingresso, estabelecimento de quotas de entrada, etc.) no período de monitoramento e analisar a relação direta entre os níveis de uso e a qualidade ambiental no sítio geológico (ICMBio, 2011).

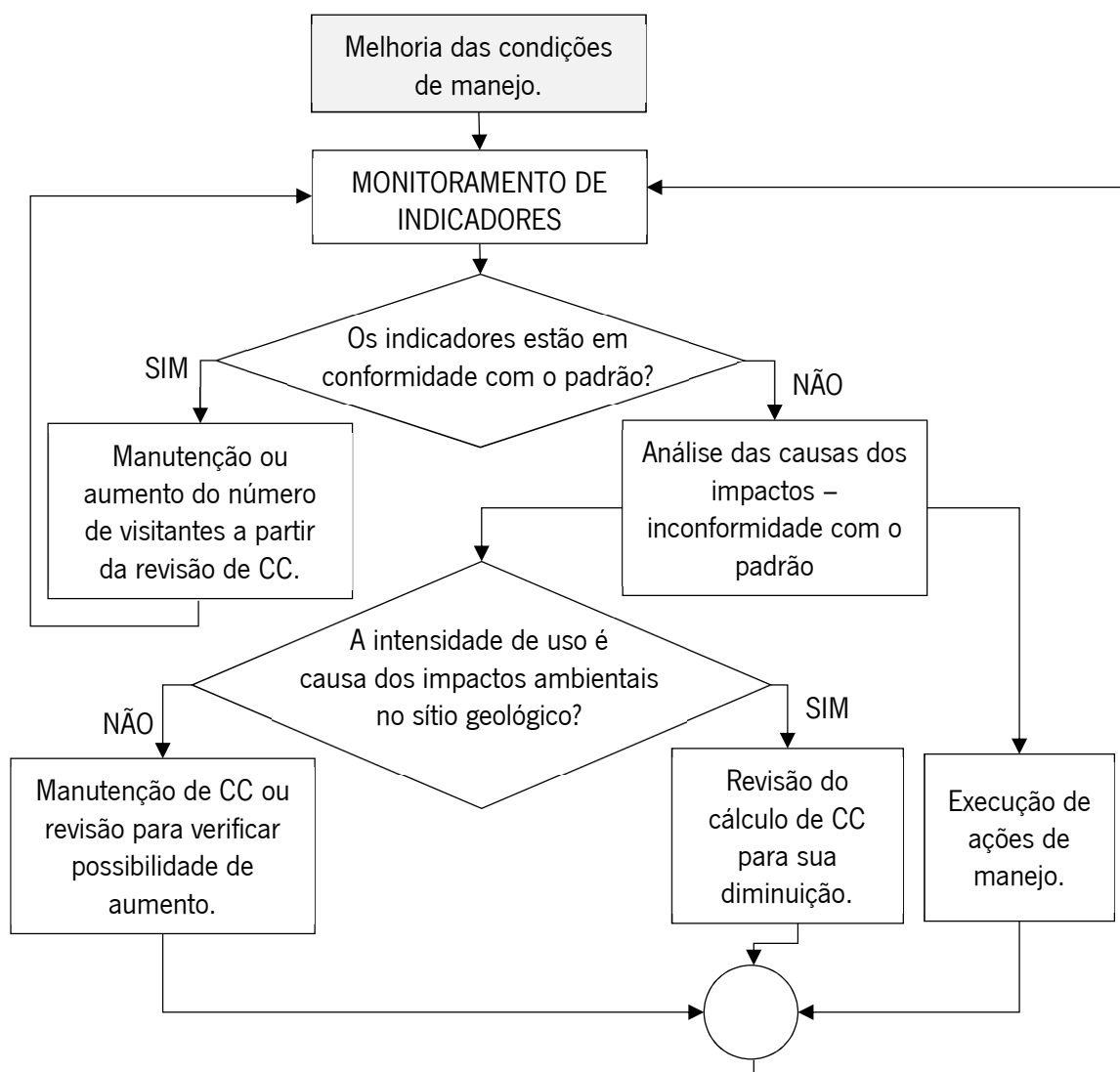


Figura 44. Fluxo de decisões para a análise da capacidade de carga em caso de melhoria das condições de manejo no sítio geológico. Adaptado de ICMBio (2011).

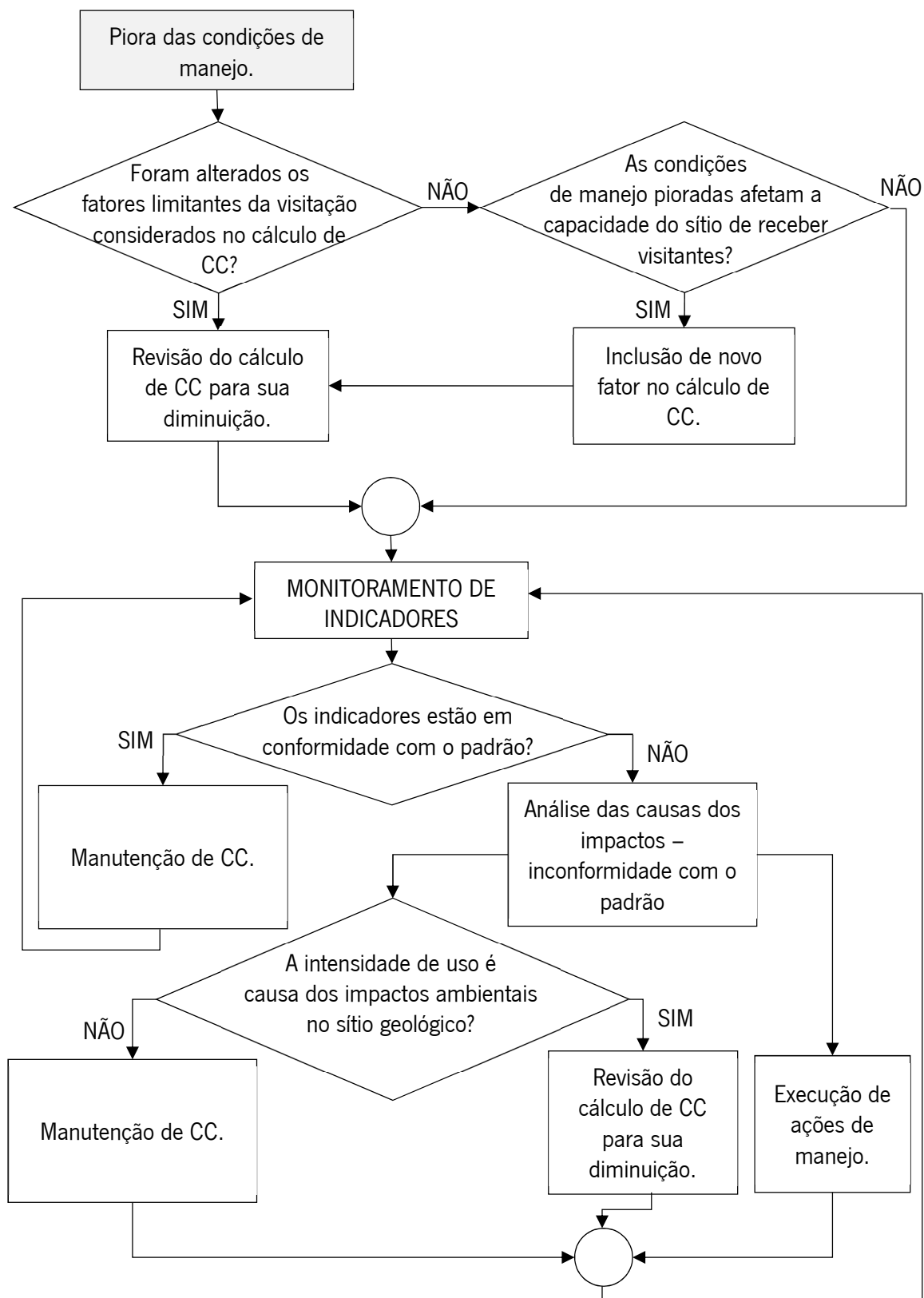


Figura 45. Fluxo de decisões para a análise da capacidade de carga em caso de piora das condições de manejo no sítio geológico. Adaptado de ICMBio (2011).

6. ORIENTAÇÕES PARA A AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM SÍTIOS GEOLÓGICOS

A proposta para a avaliação da capacidade de carga em sítios geológicos (apresentada no subcapítulo 5.3) compreende três etapas distintas: A) Análise do sistema; B) Prioridade de gestão e C) Determinação da capacidade de carga. O desenvolvimento de todas as etapas requer o monitoramento dos sítios geológicos ao longo de, no mínimo, um ano, para que possam ser consideradas as diferentes estações do ano e para identificar os eventuais fatores que afetam o sítio geológico. No entanto, a identificação/conhecimento dos processos geológicos em determinados sítios poderá requerer, frequentemente, anos de investigação. Por esta razão, não foi possível avaliar a capacidade de carga de sítios geológicos inventariados neste trabalho, mas será feita, em alternativa, uma análise dos procedimentos necessários, com base em exemplos concretos da área em estudo. Neste capítulo serão abordadas as etapas A e B referidas acima, baseadas na revisão bibliográfica e em trabalho de campo.

Por forma a justificar a escolha de alguns sítios geológicos que são usados posteriormente como estudos de caso, irá ser abordada, em primeiro lugar, a etapa B (Prioridade de gestão). Como foi visto anteriormente, esta etapa consiste no processo de seriação de sítios geológicos, a fim de identificar qual ou quais deverão ser submetidos prioritariamente à determinação da capacidade de carga.

O atual inventário de sítios geológicos no PETAR e seu entorno é composto por 27 sítios, descritos no subcapítulo 4.1. Estes sítios estão distribuídos por dois municípios: Apiaí (7 sítios) e Iporanga (19 sítios) (1 sítio geológico está no limite entre estes dois municípios). A avaliação quantitativa dos sítios geológicos foi feita por meio do Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios de Geodiversidade (GEOSSIT) (apresentada no subcapítulo 4.2). Durante este processo, os sítios geológicos foram quantificados em relação ao valor científico, risco de degradação e, quando aplicável, procedeu-se à valoração do potencial uso turístico e/ou educativo, de acordo com a proposta de Brilha (2016). A partir da seriação da prioridade de gestão dos sítios geológicos, pode-se identificar os sítios que possuem maior valor científico, potencial uso turístico e educativo. A partir da análise do inventário e resultados obtidos na avaliação quantitativa, expressos no “ranking” geral de sítios geológicos (subcapítulo 4.2.2) foram selecionados três sítios para exemplificar a etapa “determinação da capacidade de carga”. A seleção destes sítios geológicos foi feita de acordo com os seguintes critérios:

- (i) Geossítios: justificado pelo valor científico que representam, os geossítios devem ser priorizados em estratégias (ações) de gestão (Brilha, 2016; 2018b). Contudo, os estudos

de capacidade de carga justificam-se pelo potencial uso público e, deste modo, deve-se avaliar também a prioridade de proteção quanto ao uso didático e/ou turístico;

- (ii) Sítios de geodiversidade: entre aqueles que obtiveram maior valor na prioridade de proteção quanto ao uso didático e/ou turístico;
- (iii) Dada a importância dos sítios espeleológicos no PETAR, foi selecionado o sítio espeleológico com maior prioridade de proteção quanto ao uso didático e/ou turístico.

Deste modo, entre os geossítios Mármore Apiaí, Caverna Casa de Pedra e Morro do Ouro, que ocupam, respectivamente, as 3 primeiras posições no “ranking geral” de prioridade de proteção (subcapítulo 4.2.2) quando avaliadas a prioridade de proteção quanto ao uso didático e turístico, foi selecionado o geossítio que apresentou maior valor entre ele: o Mármore Apiaí (Tabela 20). Ressalta-se que, para os geossítios, os valores obtidos para prioridade de proteção quanto ao uso didático e turístico não foram usados para o estabelecimento do “ranking geral” de sítios geológicos, mas sim o valor científico.

Entre os sítios de geodiversidade selecionou-se aquele que obteve maior valor quando avaliada a prioridade de proteção quanto ao uso didático e/ou turístico durante o processo de seriação de sítios geológicos: Paleoterraço do Rio Ribeira (subcapítulo 2.2.2).

Geossítio	Prioridade de Proteção Didática	Prioridade de Proteção Turística
Mármore Apiaí	510	500
Caverna Casa de Pedra	365	325
Morro do Ouro	290	270

Tabela 20. Prioridade de proteção quanto ao uso (realização de atividades didáticas e turísticas) dos geossítios inventariados no PETAR e zona de amortecimento.

Considerando a importância dos sítios espeleológicos no PETAR, foi selecionado o sítio de geodiversidade (espeleológico) com maior prioridade de proteção quanto ao uso didático e/ou turístico: Caverna Santana.

6.1. Geossítio Mármore Apiaí

6.1.1. Análise do sistema

6.1.1.1. Análise do meio físico

O geossítio Mármore Apiaí está localizado no município de Apiaí (Figura 46). Este município localiza-se na região do Alto Vale do Ribeira, no sudeste do estado de São Paulo. Distante 324 Km da capital, São Paulo, limita com os municípios de Guapiara, Ribeirão Branco e Itapeva (a norte), Ribeira e Itaóca (a sul), Itararé, Barra do Chapéu e Bom Sucesso de Itararé (a leste) e Iporanga (a oeste) (IBGE, 2019). O município de Apiaí tem uma área de 1.005,73 km², dos quais 100.48,26 km² integram o PETAR.

Conforme apresentado no referencial teórico (subcapítulo 3.3), o geossítio Mármore Apiaí, assim como os sítios de geodiversidade Paleoterraço do Rio Ribeira e Caverna Santana (descritos a seguir em 6.3 e 6.4, respetivamente) estão inseridos no Domínio Morfoclimático das Regiões Serranas, tropicais úmidas, ou dos “mares de morros” extensivamente florestados (Ab'Saber, 1970; 1973). Esta região encontra-se sobre o flanco sudoeste da serra de Paranapiacaba, com relevo montanhoso e amplitudes topográficas até 700m (Karmann e Ferrari, 2002). Segundo Almeida (1967) e Ponçano et al. (1981) a área está inserida no Planalto de Guapiara – uma das zonas do Planalto Atlântico – e na Província Costeira, na zona Serrania Costeira (Subzonas Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores).

O clima regional é subtropical, temperado /super-úmido, controlado por massas tropicais polares marítimas. O período mais chuvoso e mais quente ocorre entre os meses de outubro a abril, enquanto o período mais seco é entre os meses de maio a setembro (Monteiro, 1973). A pluviosidade média anual na região é de 1500 mm. As temperaturas médias anuais variam de acordo com as unidades climáticas regionais. No município de Apiaí, inserido no Planalto da Guapiara, a temperatura média anual é de 18°C. No Bairro da Serra, Serrania Ribeira, a temperatura média anual é de 20°C. A região do baixo vale do Ribeira (zona da Baixada Costeira ou alto da Serra do Mar) tem temperatura média de 24°C (Karmann, 1994; Ferreira, 2014) (conforme apresentado no subcapítulo 3.4).

Os municípios de Apiaí e Iporanga localizam-se na sub-bacia do Baixo Ribeira, na bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e do Litoral Sul (UGRHI 11) (CBH-RB, 2013). O PETAR localiza-se na margem esquerda do médio a alto curso do rio Ribeira e é drenada pelas bacias dos rios Betari, Iporanga e Pilões os quais tem nascente na borda do Planalto da Guapiara (Planalto Atlântico), nas cotas entre 900 e 1000 metros, atingindo o rio Ribeira entre 70 e 80 metros, próximo à cidade de Iporanga. Essas bacias drenam a Serrania do Ribeira, deste modo, os rios apresentam vales encaixados e perfis

longitudinais de alto a médio gradiente, localmente encachoeirados (Karmann, 1994; Karmann e Ferrari, 2002 p.402) (conforme apresentado no subcapítulo 3.5).

Os sítios geológicos estão inseridos na faixa carbonática Lajeado (Karmann, 1994) da Província Espeleológica do Alto Ribeira (Karmann e Sánchez, 1979). Em termos litológicos, essa faixa é composta por metacalcários dolomíticos, metacalcários magnesianos e metacalcários. As principais feições de relevo cárstico na faixa Lajeado foram descritas por Karmann (1994) como carste poligonal, cones e cânions cársticos, vales fluviais profundos, sistemas de drenagem subterrânea integrada a “sistemas” de cavernas e grande variedade morfológica espeleotemas (subcapítulo 3.6).

Ao que se refere aos solos, segundo os trabalhos de Lepsch et al. (1999) e Oliveira et al. (1999) na região de estudos são distinguidas diferentes classes de solos: latossolos, argissolos, neossolos, cambissolos e gleissolos (Figura 47) descritos sucintamente no Quadro 23. Segundo Castro (2004) as principais classes que ocorrem na região, são característicos na Mata Atlântica: caracterizados como solos ácidos de pouca fertilidade, e pouca profundidade agravados pela declividade regional. Em áreas mais planas, devido a presença do calcário em zonas pontuais, constituem-se solos de maior fertilidade. Localmente, o geossítio Mármore Apiaí encontram-se na região onde predominam latossolos e argissolos.

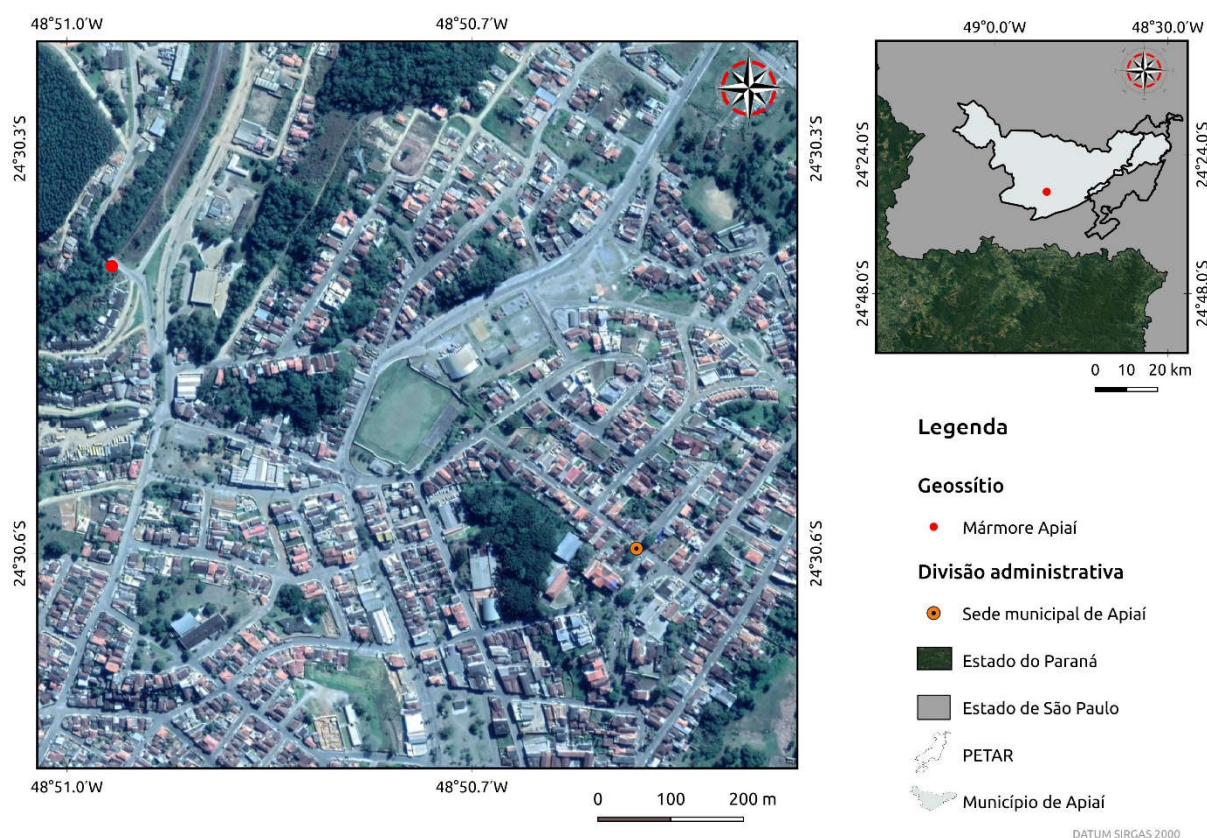


Figura 46. Mapa de localização do geossítio Mármore Apiaí.

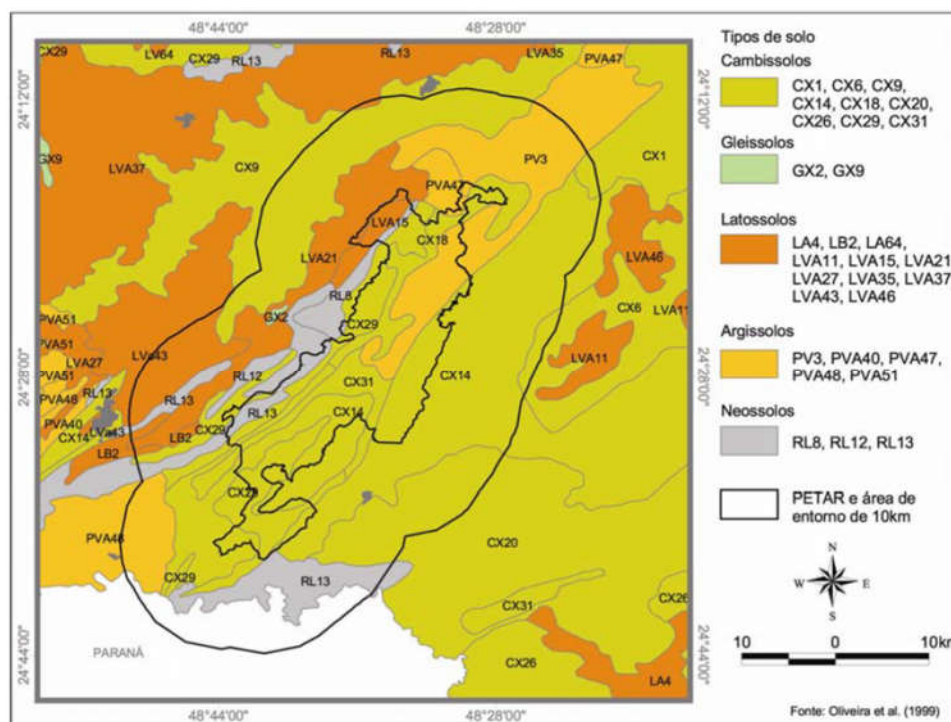


Figura 47. Mapa de solos do Estado de São Paulo, escala 1:5000.000 de Oliveira et al. (1999).

Quadro 23. Principais classes de solos identificadas no PETAR e seu entorno. Adaptado de Fundação Florestal, 2010 (p.180-183).

Tipos de solo
Latossolos: solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, apresentam avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, virtualmente destituídos de minerais primários, variam de fortemente a bem drenados, normalmente profundos.
Argissolos: solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa. O horizonte B textural (Bt) se encontra imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, com exceção do hístico. Apresentam evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o B. Apresentam profundidade variável, drenagem de forte a imperfeita, com cores avermelhadas a amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas.
Neossolos: solos constituídos por material mineral, ou material orgânico pouco espesso, sem alteração expressiva em relação ao material originário. Admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo horizonte O com menos de 20 cm, ou horizonte A húmico ou proeminente com mais de 50 cm, alguns podem apresentar horizonte B com insuficiência de requisitos para caracterizar tal horizonte.
Nitossolos: solos constituídos por material mineral, com horizonte B nitido, textura argilosa ou muito argilosa, esses solos apresentam horizonte B espesso em termos de desenvolvimento de estrutura e cerosidade, apresentam argila de atividade baixa.
Cambissolos: solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Comporta solos desde fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor Bruna ou Bruno-amarelada até vermelho escura, com saturação por bases variada.

O geossítio Mármore Apiaí (apresentado no subcapítulo 4.1.26) corresponde a um afloramento com cerca de 600 m² (Garcia et al., 2015, 2017) localizado em frente à estação ferroviária de Apiaí. O geossítio tem como principal elemento geológico de interesse o mármore, que pertencente ao sistema

de Dobramento Apiaí (Fiori, 1993; Garcia et al., 2015). O sistema de Dobramentos de Apiaí registra o segundo evento deformacional, ao qual as rochas do Supergrupo Açungui foram submetidas. De acordo com Fiori (1993) esse evento corresponde a um dobramento generalizado das estruturas formadas anteriormente, durante primeiro evento deformacional (Sistema de Cavalcamento Açungui). O Sistema de Dobramentos Apiaí está registrado neste sítio geológico por meio de dobras (parasíticas) em rochas metassedimentares do Subgrupo Lajeado.

Outros aspetos sobre a geodiversidade de Apiaí, estão relacionados ao histórico da mineração durante os séculos XVII e XVIII. Dentre os principais recursos minerais no município estão a galena, cobre, manganês, granito, caulim e calcário. Além disso, o município é reconhecido por sediar mineradoras de grande porte, cujas jazidas encontram-se em municípios vizinhos, como Itaóca (Fundação Florestal, 2010).

Em relação à biodiversidade regional, conforme apresentado no subcapítulo 3.7, os sítios geológicos estão no Bioma Mata Atlântica. A floresta é caracterizada por: elevada diversidade florística, endemismo de espécies, árvores com até 30 metros de altura, corpo florestal denso com copas contínuas, ambiente interno sombreado e abafado (Santos, 2004). Segundo Ivanauskas et al. (2012) apenas no sudoeste do estado de São Paulo e noroeste do estado do Paraná ocorre o desenvolvimento da Mata Atlântica em regiões cársticas. Os solos originados nessas regiões são rasos, ricos em cálcio e magnésio, tornando-os mais férteis. Somados às condições do clima regional, com altas umidade e temperatura, é favorecido o desenvolvimento da floresta. A Mata Atlântica encontra-se mais bem preservada em regiões de escarpas. Nessas áreas concentram-se a maior quantidade e diversidade de tipos de vegetação propiciam o desenvolvimento de diferentes grupos de animais como, aves, peixes, répteis e mamíferos de médio e grande porte. A biodiversidade da Mata Atlântica, que ocorre no PETAR e seu entorno, inclui muitas espécies (conhecidas popularmente) como o Bugio-marrom, Bugio-ruivo, Mico-leão-dourado, Onça-pintada e a Jacutinga, que estão listadas no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (ICMBio, 2016). Neste contexto, os sítios Mármore Apiaí e Paleoterraço rio Ribeira, por estarem localizados próximos a zonas urbanas (nos limites da zona de amortecimento do PETAR) estão bastantes descaracterizados em relação à biodiversidade regional. Já o sítio Caverna Santana insere-se na zona da floresta.

6.1.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (potencial uso)

A etapa de análise do desenvolvimento turístico corresponde a caracterização das atividades que são desenvolvidas na região ou no sítio geológico (oferta turística) e a caracterização do público alvo

(procura) (conforme apresentado no subcapítulo 5.3). Nesta etapa também poderá ser avaliado o potencial uso (turístico/ educativo) do sítio geológico.

Considerando o contexto geológico no qual se insere, o geossítio tem potencial para ser usado em ações do ensino superior. Quanto ao potencial uso turístico, por se tratar da única ocorrência geológica em Apiaí, o geossítio pode despertar a “curiosidade” no turista que visita o município.

Em relação às sub etapas de “oferta e procura” e “caracterização do público alvo” não foram obtidos dados municipais que permitissem o seu desenvolvimento. Além disso, cabe ressaltar, que não existe qualquer divulgação do local como sítio geológico.

6.1.1.3. Análise de políticas de gestão (manejo)

O geossítio está localizado em propriedade pública e privada. O regime de proteção legal do local é inexistente. O local não possui qualquer tipo de manutenção (como corte de vegetação), o que pode colocar o visitante em situações de risco. Finalmente, quanto a limitações ao uso, há necessidade de obter autorização do proprietário do terreno para acesso ao local.

6.1.2. Determinação da capacidade de carga

6.1.2.1. Zoneamento do sítio geológico

O zoneamento do sítio geológico consiste na subdivisão em zonas, de modo a definir o tipo de uso que é possível implementar. Nestas zonas, os elementos geológicos de principal interesse (aspetos) e elementos geológicos secundários (sub aspetos) poderão ser agrupados, conforme a proposta de Wimbledon et al. (2004). Neste geossítio, o principal elemento de interesse geológico, ou seja, o principal aspecto, é o mármore. Não foram considerados elementos geológicos secundários (sub aspetos). Por se tratar de um geossítio com 600 m² de superfície e com apenas um aspeto, não foi feito o zoneamento do mesmo.

6.1.2.2. Identificação de geoindicadores

Considerando os aspetos identificados na etapa anterior, devem ser identificados os fatores podem afetar diretamente ou indiretamente o sítio geológico, tornando-o mais vulnerável e diminuindo ou aumentando a atração do público de acordo com possíveis modificações nos principais aspetos destacados. Como referido anteriormente em 5.3, tais fatores são avaliados por meio de indicadores de

impacto, geoindicadores e/ou indicadores de impacto de uso público (visitação). O conjunto de indicadores identificados para cada sítio geológico podem ser a causa natural ou antrópica, e podem estar associados às ameaças à geodiversidade (Brilha, 2005).

Neste sentido, para o geossítio Mármore Apiaí, por se tratar de uma área na superfície terrestre, em especial onde há perturbações (pela passagem de trem próximo) e áreas com declives acentuados, cobertos por solo ou sedimentos, foram identificados dois geoindicadores que podem ser fortemente influenciados por fatores naturais e antrópicos, de acordo com a proposta de Berger e Iams (1996). São eles a erosão de solos e sedimentos (erosão visível) e os escorregamentos. Quanto aos indicadores de impacto de visitação que podem vir a influenciar os aspectos no geossítio, foram identificados a acumulação de lixo em áreas específicas (volume de lixo) e o vandalismo e pressão urbana.

6.1.2.3. Monitoramento de geoindicadores

O monitoramento de geoindicadores permite conhecer, controlar e mitigar, tanto os impactos naturais, quanto os impactos (mudanças) antrópicos em um sítio geológico (García-Cortés et al., 2012; Díez-Herrero et al., 2018). Para tanto, devem ser estabelecidas estratégias de monitoramento e análise dos dados obtidos para as variáveis monitoradas no sítio geológico.

Nesta fase do trabalho não se pode proceder ao monitoramento do conjunto de indicadores identificados para o geossítio. Contudo, baseado nas observações de campo e revisão bibliográfica para o geossítio Mármore Apiaí, os geoindicadores poderão ser monitorados, de acordo com a proposta de Berger e Iams (1996) já compilados por Hirai e Augusto Filho (2008).

Para o geoindicador erosão de solos e sedimentos, as variações detectáveis no local poderão estar relacionadas a estabilidades de taludes, uso do solo, topografia, clima, permeabilidade do solo, cobertura vegetal e contaminação. Dentre os parâmetros que podem ser medidos estão: taxa de erosão, movimentos do solo e quantidade de sedimentos. identificação da erosão pode ser feita por técnicas padronizadas, como o uso de estacas e fotografias de pontos de referência. A taxa de erosão pode ser determinada por meio de modelos numéricos. Segundo Hirai e Augusto Filho (2008 p.38) a escala de aplicação, poderá recorrer a padrões já estabelecidos em outras ciências, tais como na ecologia: local (0 a 1 km), paisagístico (1 a 10 km), meso-escalar (10 a 100 km), regional (100 a 1000 km) e continental (1000 a 10000 km). A frequência de medição depende das condições locais e dos parâmetros a serem mensurados.

Para o geoindicador escorregamentos, as variações a detectar poderão ser: a estabilidade do talude, risco de movimentos de massa, uso do solo, umidade, cobertura vegetal e precipitação. Os parâmetros medidos poderão ser a inclinação do talude, ocorrência de falhas e fraturas e a presença e características do solo e vegetação. As técnicas de monitoramento podem envolver a medição da evolução das rupturas, subsidências e elevações do terreno, e ruídos com averiguação em profundidade, fotografia aérea e observação da cobertura vegetal. Neste caso, considerando a dimensão do sítio geológico, escala de aplicação poderá ser feita a nível paisagístico (1 a 10 km). Por fim, a frequência da medição dependente da ruptura e da deformação do terreno, sendo intensificada na ocorrência de deflagradores como a chuva intensa ou atividades humanas.

Sobre os indicadores de impacto de visitação que poderão afetar o geossítio, em relação à presença de lixo e vandalismo, sugere-se que o monitoramento seja feito periodicamente e identificado a "presença" ou ausência.

Os limites de alterações aceitáveis no geossítio deverão ser estabelecidos de acordo com os padrões definidos. Como já referido no subcapítulo 5.3, a definição de padrões para os geoindicadores e indicadores de impacto de visitação deverá basear-se em um valor de referência, obtido na fase inicial de monitoramento no sítio geológico. Após um determinado período de monitoramento, os padrões estabelecidos poderão ser confrontados com os índices obtidos para os diferentes indicadores, auxiliando na avaliação da capacidade de carga e ações de gestão. Onde existem padrões já estabelecidos, o monitoramento de geoindicadores e indicadores de impacto de visitação, deve ser realizado em relação a estes padrões (Coccossis e Mexa 2004b).

6.1.2.4. Cálculo final da capacidade de carga

A capacidade de carga do geossítio deverá ser definida após a avaliação dos dados de monitoramento para o conjunto de indicadores (geoindicadores/indicadores de impacto de visitação). No caso deste geossítio, a capacidade de carga poderá ser determinada por meio de um conjunto de ações de manejo para que os limites de mudanças aceitáveis para cada indicador ou conjunto de indicadores sejam mantidos. Esta fase, envolverá a revisão do processo e reavaliação dos indicadores selecionados para este sítio geológico.

6.2. Paleoterraço do Rio Ribeira

6.2.1. Análise do sistema

6.2.1.1. Análise do meio físico

O sítio de geodiversidade Paleoterraço do Rio Ribeira está localizado no município de Iporanga, (Figura 48) que, por sua vez, se localiza na região do Alto Vale do Ribeira, no sudeste do estado de São Paulo. Distante 360 km da capital, São Paulo, Iporanga limita com os municípios de Guapiara (a norte), Ribeirão Grande (a nordeste), Barra do Turvo e estado do Paraná (a sul), Eldorado (a leste) e Apiai (a oeste) (IBGE, 2019). O município de Iporanga tem uma área de 1.152,059 km², dos quais aproximadamente 258 km² integram o PETAR.

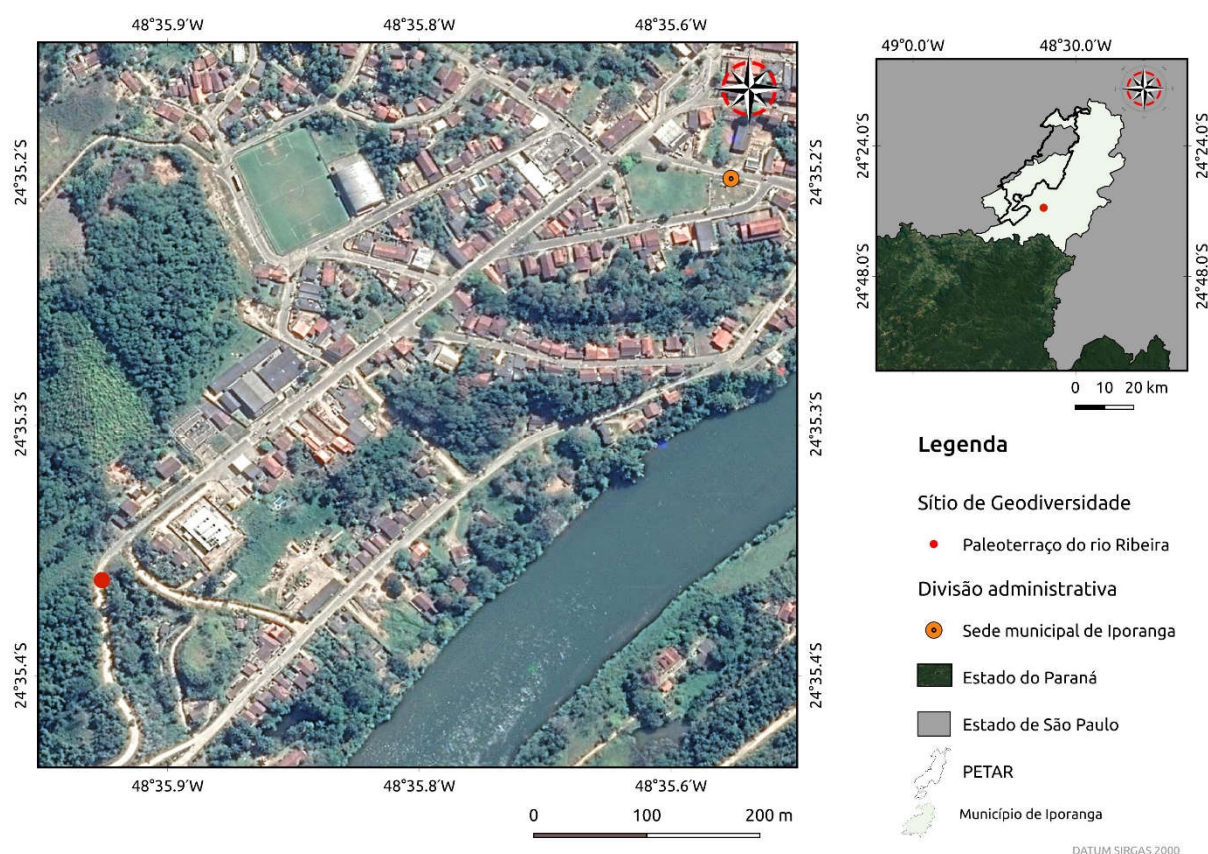


Figura 48. Mapa de localização do sítio de geodiversidade Paleoterraço Rio Ribeira.

Este sítio (descrito no subcapítulo 4.1.23) corresponde a um terraço aluvionar do rio Ribeira de Iguape. Está exposto num talude, com cerca de 3 m de extensão e 5 m de altura, de uma estrada secundária junto ao Rio Ribeira de Iguape, a 2 km do centro da cidade de Iporanga. O contexto geológico no qual se insere corresponde aos depósitos sedimentares cenozoicos, essencialmente quaternários,

que ocorrem dispersos na região do PETAR e arredores, em geral, associados às calhas de drenagem atual. São sedimentos de composição arenosa a argilosa de origem coluvial e fluvial (aluviões). Os depósitos fluviais ocorrem, principalmente, ao longo das principais drenagens da região de estudo, como o Rio Ribeira de Iguape, sob a forma de antigos terraços aluvionares.

Em relação às características fisiográficas, este sítio geológico se insere no mesmo contexto regional dos sítios Mármore Apiaí (já descrito em 6.1.1.1) e Caverna Santana (apresentado em 6.3). O mesmo se aplica ao que se refere às características da biodiversidade.

6.2.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (potencial uso)

Conforme explicitado anteriormente (nos subcapítulos 5.3 e 6.1.1.2), a etapa de análise do desenvolvimento turístico corresponde a caracterização da oferta e procura turística e na avaliação do potencial uso do sítio geológico.

Considerando o contexto geológico no qual se insere, este sítio tem potencial para uso educativo, por se tratar de uma ocorrência geológica ensinada em todos os níveis de ensino, e que podem ser “razoavelmente” bem observadas no local. Quanto ao potencial uso turístico, não se trata de um sítio com valor estético, contudo, constitui um bom exemplo para o público que tem interesse em aspectos da história geológica regional. O sítio geológico não tem limitações em relação ao uso para a realização de atividades didáticas e/ou turísticas.

Em relação às sub etapas de “oferta e procura” e “caracterização do público alvo”, assim como geossítio Mármore de Apiaí, não foram obtidos dados municipais que permitissem o seu desenvolvimento. Além disso, não existe qualquer divulgação do local como sítio geológico.

6.2.1.3. Análise de políticas de gestão (manejo)

O sítio geológico está localizado em propriedade pública. Embora localizado na zona de amortecimento do PETAR, o regime de proteção legal é inexistente. O local não possui qualquer tipo de manutenção (como corte de vegetação), o que pode colocar o visitante em situações de risco. Finalmente, quanto a limitações ao uso, não há necessidade de pedido de autorização para acesso ao sítio.

6.2.2. Determinação da capacidade de carga

6.2.2.1. Zoneamento do sítio geológico

O principal elemento de interesse geológico deste sítio, ou seja, o principal aspeto considerado, é o terraço aluvionar do rio Ribeira de Iguape. Não foram identificados e/ou considerados elementos geológicos secundários (sub aspetos) neste sítio. Deste modo, não é necessário dividir este sítio geológico em diferentes zonas.

6.2.2.2. Identificação de fatores /geoindicadores

Este sítio corresponde a uma área com inclinações acentuadas, cobertas por solo ou sedimentos e desflorestada. Foram selecionados dois geoindicadores que podem ser fortemente influenciados por fatores naturais e antrópicos: erosão de solos e sedimentos (erosão visível) e escorregamentos. Além disso, selecionou-se um outro geoindicador que pode ser influenciado por fatores naturais e fortemente influenciado por fatores antrópicos: qualidade do solo (de acordo com a proposta de Berger e Iams, 1996). Quanto aos indicadores de impacto de visitação que podem vir a influenciar os aspetos no sítio foram identificados e/ou selecionados: acumulação de lixo em áreas específicas (volume de lixo), vandalismo e pressão urbana (que está associada às ameaças à geodiversidade local).

6.2.2.3. Monitoramento de geoindicadores

O monitoramento dos geoindicadores "escorregamentos" e "erosão de solos e sedimentos", ao que se refere às variações detectáveis, aos parâmetros que podem ser medidos, escala de aplicação (a nível paisagístico, ou seja 1 a 10 km) e frequência da medição (a nível paisagístico) e frequência da medição, poderá ser feito de igual modo ao que foi sugerido para o geossítio Mármore Apiaí (subtópico 6.2.1.3).

Em relação ao geoindicador qualidade do solo, as variações detectáveis que se aplicam a este sítio são: risco de erosão, uso do solo, clima e contaminação. Dentre os parâmetros detectáveis estão: taxa de erosão e características químicas e físicas do solo. Ao que se refere às características de monitoramento pode-se estabelecer uma comparação entre regiões com perturbações e não perturbadas, com o intuito de comparar os dados em cada local. Além disso, pode-se proceder a medições de variáveis de qualidade química (pH, conteúdo de matéria orgânica, relação de sólido

absorvido, capacidade de troca e saturação de cátions) e variáveis físicas (textura, capacidade de retenção de água, tamanho e estabilidade do solo) (Hirai e Augusto Filho, 2008 p.38).

Sobre os indicadores de impacto de visitação que poderão afetar o sítio, de igual modo ao geossítio Mármore Apiaí, em relação à presença de lixo e vandalismo, sugere-se que o monitoramento seja feito periodicamente, considerando "presença" ou "ausência".

Os limites de alterações aceitáveis neste sítio deverão ser estabelecidos de acordo com os padrões definidos para os geoindicadores e indicadores de impacto de visitação. Neste caso, trata-se do valor de referência, obtido para cada indicador na fase inicial de monitoramento no sítio geológico. De igual modo, após um determinado período de monitoramento, os padrões estabelecidos poderão ser confrontados com os índices obtidos para os diferentes indicadores, auxiliando na avaliação da capacidade de carga e ações de gestão (como apresentado anteriormente em 5.3).

6.2.2.4. Cálculo final da capacidade de carga

A capacidade de carga do sítio de geodiversidade, assim como para o geossítio Mármore Apiaí, deverá ser definida após a avaliação dos dados de monitoramento para o conjunto de indicadores. A capacidade de carga poderá ser determinada por meio de um conjunto de ações de manejo para que os limites de mudanças aceitáveis para cada indicador ou conjunto de indicadores sejam mantidos. A fase, envolverá a revisão do processo e reavaliação dos indicadores selecionados para este sítio geológico. Em ambos os casos, nesta fase não há necessidade de limitação do número de usuários (capacidade de carga numérica).

6.3. Caverna Santana

6.3.1. Análise do sistema

6.3.1.1. Análise do meio físico

A caverna Santana está localizada no núcleo Santana do PETAR, no município de Iporanga (Figura 49). O acesso é feito por um percurso de 100 m a partir do quiosque de visitantes do Núcleo Santana.

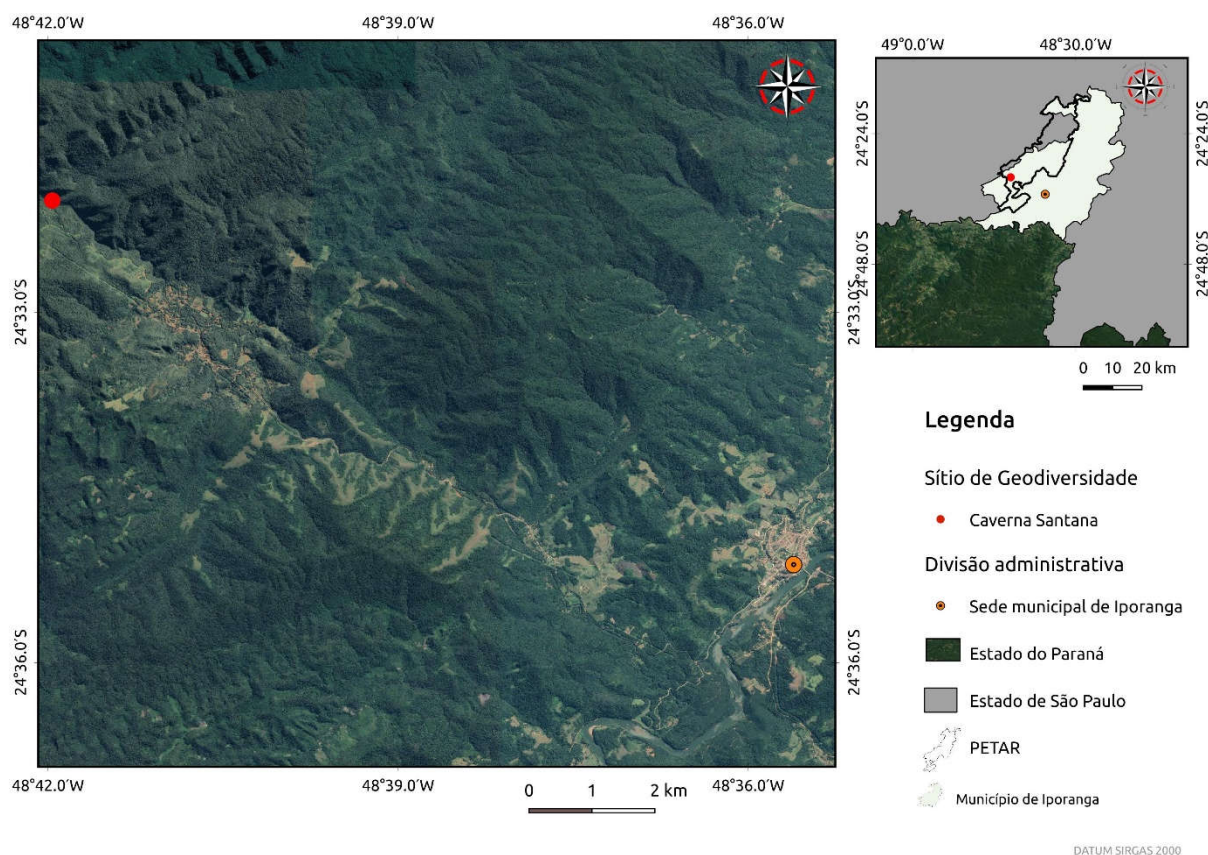


Figura 49. Mapa de localização do sítio de geodiversidade Caverna Santana

A caverna Santana tem 8540 m de extensão (SBE, 2014) e é formada em rochas da Formação Bairro da Serra do Subgrupo Lajeado (subtópico 4.1.3). De acordo com Karmann (1994) a caverna representa a ressurgência do rio Roncador, principal afluente do sistema cárstico Pérolas-Santana. Este sistema cárstico é caracterizado por uma faixa de rochas metassedimentares, com direção NE-SW, e uma área de 27,5 km². Esta caverna possui grande variedade de espeleotemas em função da quantidade e variedade minerais, tais como: aragonita, calcita, celestita, gipsita, dentre outros (Lobo, 2011) (conforme apresentado em 4.1.4).

Segundo Lobo (2011) e Lobo et al. (2015), a caverna Santana desenvolveu-se em uma região de cobertura vegetal típica da Mata Atlântica. Nesta região a umidade relativa do ar é influenciada pela floresta, chegando próximo a níveis de saturação (100%) a maior parte do ano, com flutuações diárias. As variações térmicas ocorrem na região, predominantemente, devido à altitude e, secundariamente, à latitude. Além da floresta, a compartimentação geomorfológica influencia a temperatura e umidade do ar (Lobo et al., 2015 p.228). A caverna situa-se em uma região composta por uma sequência de fundos de vales, que formam poligonais fechadas e conservam bolsões de ar em seu interior, caracterizando os microclimas.

Estudos de monitoramento espeleoclimáticos na região da caverna Santana foram desenvolvidos por Barbieri (1993), Gutjahr e Tarifa (1993), Scarleante (2003), Viana Júnior (2002), Lobo (2011) e Lobo et al. (2015). Segundo Viana Júnior (2002) citado por Lobo et al. (2015) por meio do monitoramento espeleoclimático anual em diferentes pontos da caverna, a temperatura máxima na caverna foi 28,3 °C e mínima -0,2 °C. Para umidade relativa do ar foram obtidos 62,4 % mínima e 100% máxima. Em estudos mais recentes do sistema atmosférico da caverna, Lobo et al. (2015 p. 236) obtiveram para a temperatura máxima na caverna 32,9 °C e mínima 6,1 °C. Para umidade relativa do ar foram obtidos valores entre 60,2 % e 99 %. A diferença entre os resultados obtidos entre os diferentes autores deve-se ao desenvolvimento de nova instrumentação e a “variações infra-anuais” em ciclos mais amplos de monitoramento do que os períodos monitorados, segundo os mesmos autores. Os resultados obtidos por Lobo et al. (2015) permitiram a identificação de diferentes zonas termo-climáticas na caverna Santana. Estas zonas são influenciadas pelo rio Roncador e pela espessura da rocha. Na galeria do rio Roncador concentra-se maior fluxo de ar frio, e, portanto, a temperatura é mais baixa. Por sua vez, nas galerias intermediárias e superiores, formam-se bolsões de ar quente, motivo pelo qual a temperatura é superior à média.

Em relação à biodiversidade, na caverna Santana foram identificadas cinquenta morfoespécies de invertebrados e duas de vertebrados, das quais sete apresentam troglomorfismos. A fauna aquática é composta por quinze morfoespécies, das quais uma troglomorfa (*Potamolithus sp.*) (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

6.3.1.2. Análise do desenvolvimento turístico (uso público)

A caverna Santana foi descoberta pelo naturalista alemão Ricardo Krone entre 1896 e 1905. A caverna foi denominada por gruta Roncador, indicando a localização da sua entrada (a ressurgência do rio Roncador) (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010; Lobo, 2011). Na década de 1940, devido à prospecção de ouro feita por Theodor Knecht, a entrada da caverna foi alargada e foram colocadas passarelas em seu interior. Na mesma época foram descobertos outros salões na caverna, que teve seu nome alterado para gruta Sant'Anna. No final da década de 1950, com a criação do Parque Estadual do Alto Ribeira (PEAR), as atividades de prospecção para exploração mineral na caverna foram interrompidas. No início da década de 1960, o PEAR teve seu nome alterado para Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e por iniciativa da Prefeitura Municipal de Iporanga, foram contratados guias e realizadas novas obras de infraestrutura (como passarelas e escadas) para a visitação pública na caverna (Fundação Florestal, 2010; Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010; Lobo, 2011). Na década de

1980, com a implantação efetiva do parque, e com a criação do núcleo Santana, iniciou-se o uso público da caverna, com o aumento significativo de visitantes, principalmente durante a década de 1990 (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

Durante as décadas de 1980 e 1990 foram desenvolvidos diversos estudos científicos de mapeamento da caverna Santana. Segundo Lobo op cit. o primeiro mapa da caverna, totalizando 5.040m de galerias, foi publicado em 1991 pelo Grupo de Espeleologia da Geologia USP (GGEO). No início dos anos 2000 o Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME) realizou um novo trabalho de topografia da caverna em toda caverna (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010). A geomorfologia do sistema cárstico regional (Pérolas-Santana), a evolução espeleogenética e dinâmica hidrogeológica foram conduzidas por estudos de Marinho (1992); Karmann (1994). Além disso, foram desenvolvidos estudos específicos sobre o espeleoclima da caverna (Lobo, 2011; Lobo et al., 2015).

Para Lobo (2011), a partir da década de 1990 o perfil do visitante do PETAR, e consequentemente, na caverna Santana, foi alterado, passando de um grupo formado, majoritariamente, por cientistas (espeleólogos e biólogos) para turistas indiscriminados. O atendimento aos turistas passou a ser feito por monitores ambientais, que em sua maioria são moradores locais. Ainda, na mesma década, devido ao crescimento do turismo, o parque passou a ter problemas na gestão do uso público. Neste sentido, Lobo op cit. ressalta a falta de controle de visitantes nas cavernas e a ausência do plano de manejo espeleológico (realizado apenas entre 2008 e 2010). Deste modo, não se pode traçar o histórico de visitação na caverna, uma vez que até ao ano de 2008 o controle de visitantes era feito por núcleo administrativo (descrito no subcapítulo 3.8), afirma o mesmo autor.

A partir da elaboração do plano de manejo espeleológico das cavernas no PETAR, o controle de visitantes passou a ser feito para cada caverna aberta a visitação. A contagem é feita diariamente e resulta em totais mensais. O Gráfico 6 abaixo apresenta fluxo de visitação entre os anos de 2013 e 2016 na caverna Santana. Em geral, em agosto ocorre o encerramento da caverna para manutenção.

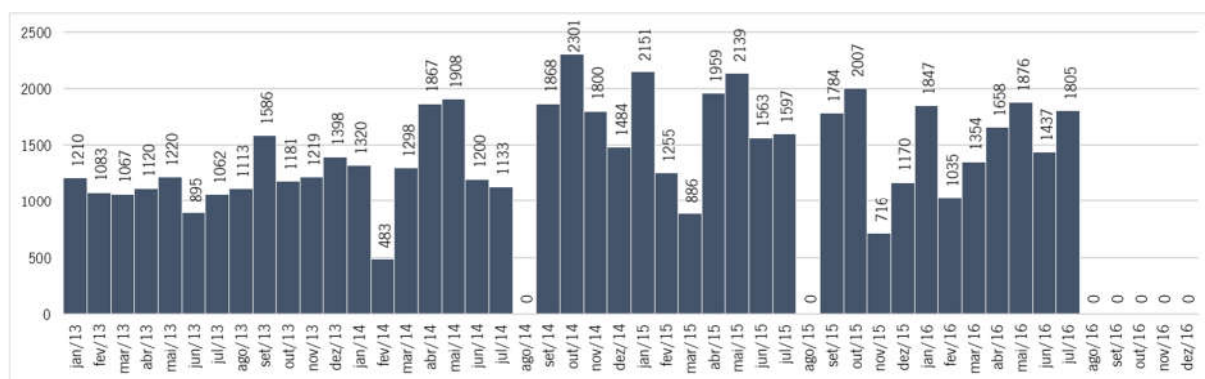


Gráfico 6. Fluxo de visitação na Caverna Santana entre os anos de 2013 e julho/2016. Fonte: Fundação Florestal (2017).

Em relação à oferta turística na caverna Santana, segundo o plano de manejo espeleológico, são propostos quatro roteiros de visitação. Nas galerias superiores da caverna foram estabelecidos 9 pontos de interpretação (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

Em relação à procura da oferta turística, a caverna Santana é o local com maior procura no PETAR (Gráfico 7). Durante o período de 2013 a 2016, a caverna Santana recebeu 59055 visitantes, representando 24,6% do total de visitantes no PETAR, seguidos dos demais sítios geológicos também integrados no inventário (apresentados subcapítulo 4.1): cavernas Morro Preto, Água Suja, Ouro Grosso, Couto, Alambari de Baixo, cachoeiras Andorinhas e Beija-flor e caverna Cafezal. Os restantes atrativos do parque somam menos de 2,5% do total de visitação.

A partir da contagem diária e baseado nas diferentes atividades realizadas no parque, é possível estabelecer diferentes perfis de público que visitam o PETAR. No caso das cavernas, a contagem é feita como atividade de “visitação a cavernas”, portanto não se pode estabelecer a caracterização de público para cada caverna. O Gráfico 8 apresenta os diferentes tipos de visitantes no PETAR entre os anos de 2014 e 2016. A maior parte dos visitantes (40%) corresponde ao público em geral (ou seja, adultos pagantes de ingresso integral), seguido pelo público escolar (37%) e outros (12%), que inclui professores de rede de ensino público, membros do conselho consultivo, funcionários públicos e serviço e guias de turismo. O atendimento ao público escolar (uso educativo) consiste em atividades de educação ambiental e interpretação nos pontos estabelecidos no roteiro de visitação.

Finalmente, quanto a limitações ao uso, há necessidade de pedido de autorização para o acesso ao sítio e pagamento de ingresso.

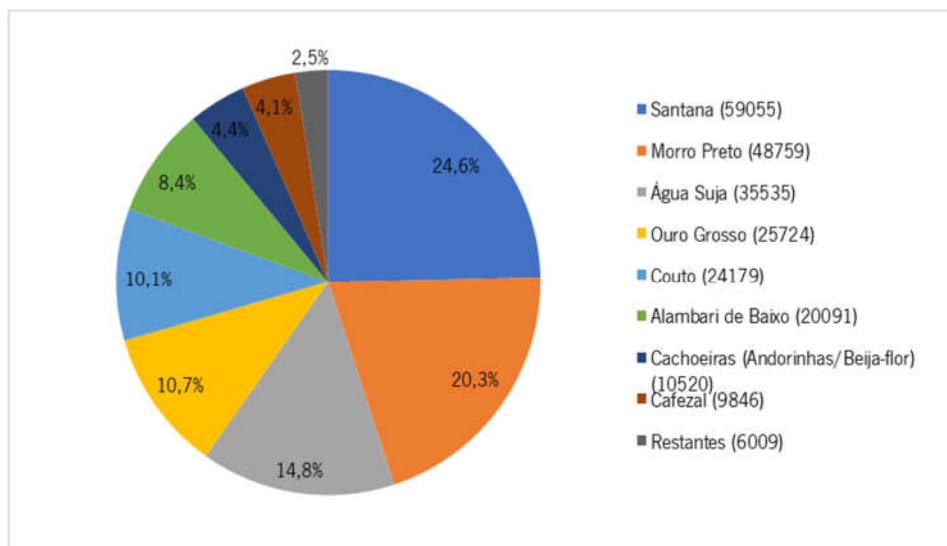


Gráfico 7. Sítios geológicos mais visitados no PETAR entre 2013 e 2016. Fonte de dados: Fundação Florestal (2017).

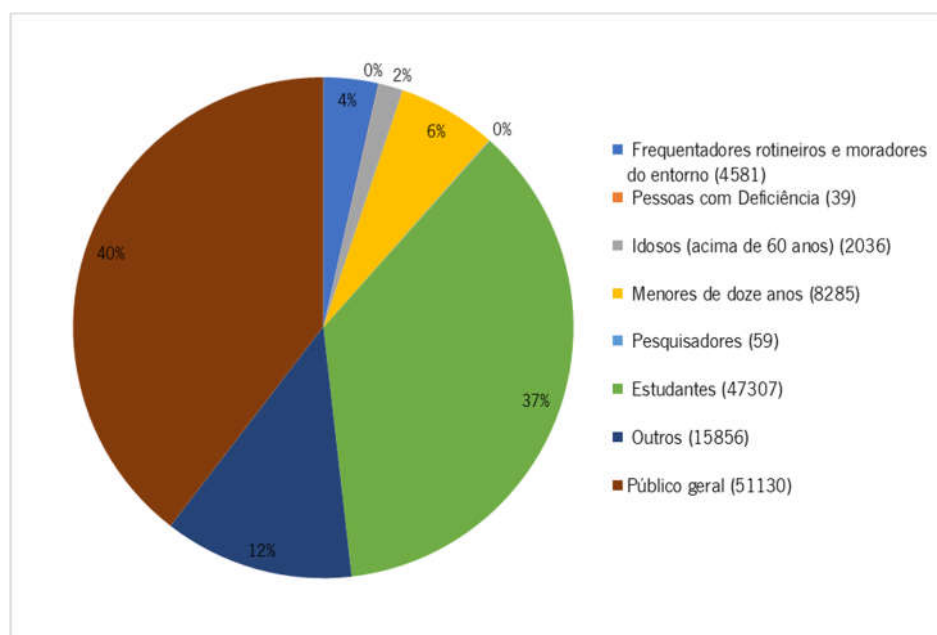


Gráfico 8. Perfil dos visitantes do PETAR. Fonte de dados: Fundação Florestal (2017).

6.3.1.3. Análise de políticas de gestão

Como apresentado no subcapítulo 3.1, o PETAR é uma UC de Proteção Integral, classificado na categoria de manejo de Parque Nacional, segundo o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC). A caverna Santana está localizada no núcleo Santana do PETAR e o regime de propriedade é público (pertencente ao Estado).

Parque Nacional (PARNA) é a categoria de manejo que permite o desenvolvimento de atividades recreativas, educativas e de interpretação ambiental, além de permitir a realização de pesquisas científicas (MMA, 2019). As normas e restrições quanto ao uso dos recursos naturais e para a implantação de estruturas físicas na área total da UC e ao seu entorno são estabelecidas no plano de manejo da UC. Em geral, a ferramenta mais usada no plano de manejo é o zoneamento da UC, que estabelece o grau de proteção e regras de uso. Inclui também medidas para promover o desenvolvimento socioeconômico e socioambiental por meio da participação das comunidades vizinhas e pesquisas científicas (Santos, 2014 p.38).

A caverna Santana está incluída no plano de manejo do PETAR, aprovado em 2018 pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) do Estado de São Paulo. Além disso, a caverna é contemplada no plano de manejo espeleológico, cuja finalidade é ordenar o uso público em cavernas no PETAR e outras UCs da região (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010). O uso permitido nas diferentes zonas na caverna compreende o desenvolvimento de pesquisas científicas, espeleologia e espeleoturismo. Fica restrito o uso direto dos recursos naturais (por exemplo, retirada de materiais da caverna) (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010). Em ambos os documentos são apresentadas diretrizes específicas para o desenvolvimento turístico no sítio geológico, como o estabelecimento da área aberta à visitação (atualmente apenas 495 m), roteiros de visitação, a implementação de infraestruturas, sinalização, painéis interpretativos, e desenvolvimento de atividade de interpretação e educação ambiental.

6.3.2. Determinação da capacidade de carga

6.3.2.1. Zoneamento do sítio geológico

Para o sítio de geodiversidade Santana tomou-se como base o zoneamento estabelecido no Plano de Manejo Espeleológico (PME) do PETAR (ainda em fase de aprovação pelo CONSEMA), em que o trecho de visitação corresponde a 495 m. O percurso é feito por diferentes salões no interior da caverna: Bolo de noiva, Salão do Cavalo, Fafá, galeria do rio Morto, Cristo e Encontro. No interior da caverna foram definidos 9 pontos interpretativos. A maior parte destes pontos é destinada à observação de aspectos sobre a formação de diferentes tipos de espeleotemas, por exemplo: a 2ª parada – “Bolo de noiva” e 3ª parada, em que alguns dos espeleotemas são conhecidos popularmente como: “cavalo”, “asa de anjo”, “cabeça de macaco”, etc. (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010). A Figura 50 apresenta o circuito de

visitação principal da caverna Santana, com a identificação de pontos interpretativos e pontos de interferência nas "estruturas facilitadoras" (escadas, passarelas, corrimão em madeira).

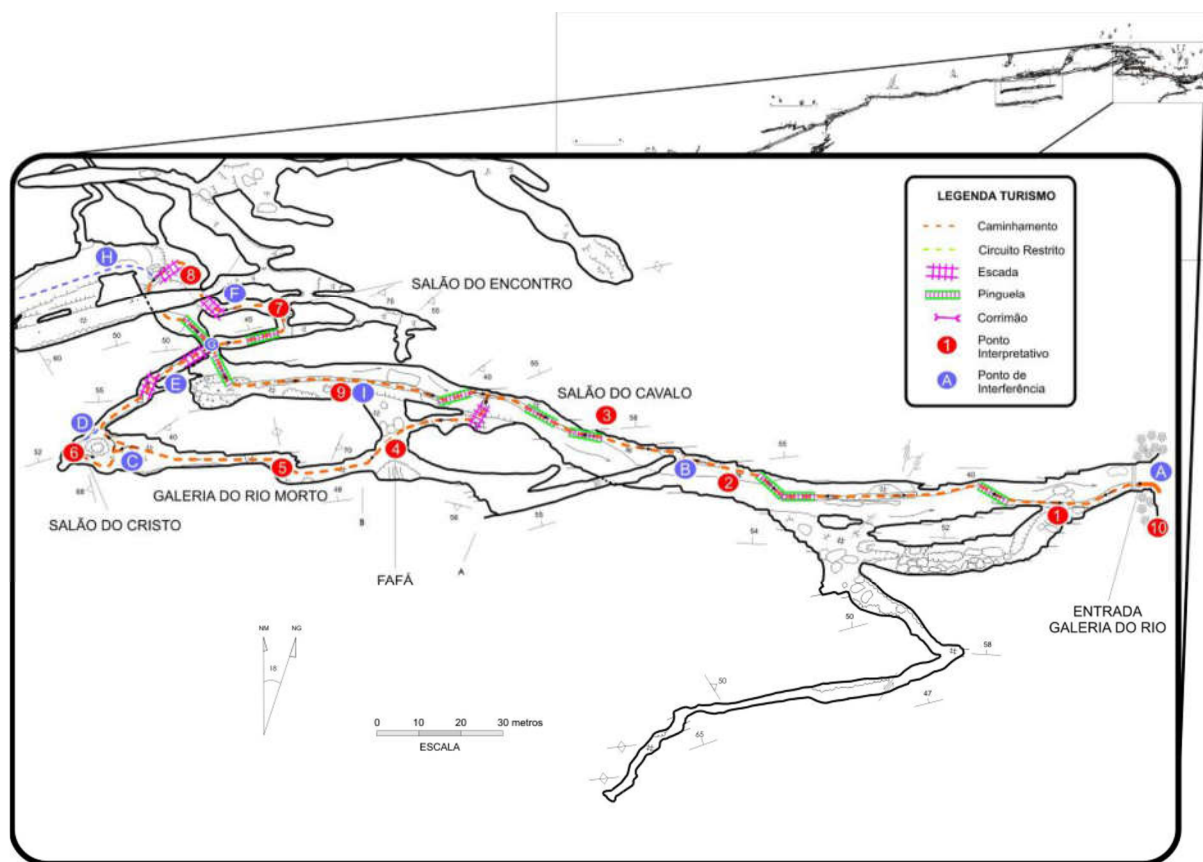


Figura 50. Trajeto com pontos interpretativos e intervenção na caverna Santana. Fonte: Plano de Manejo Espeleológico do PETAR (Fundação Florestal e Ekos Brasil, 2010).

6.3.2.2. Identificação de fatores /geoindicadores

Em todas as zonas deste sítio geológico destinadas à visitação, ou seja, nos salões que concentram o circuito de visitação, a partir do referencial teórico, os indicadores identificados são: "parâmetros atmosféricos" e "carstificação". Segundo Lobo (2011; 2015) o monitoramento de parâmetros ambientais críticos, como a umidade relativa e pressão do ar, permitem o conhecimento da atmosfera subterrânea e a identificação de microclimas. O monitoramento destes parâmetros associados ao monitoramento do uso público permite detectar impactos na atmosfera da caverna. O geoindicador "carstificação" é recomendado por Berger e Iams (1996) para aplicação em ambientes carbonáticos de áreas úmidas de qualquer clima.

Em relação aos indicadores de visitação sugerem-se "carregamento do solo e matéria orgânica", "poeira" e "volume de lixo" em todas as zonas do sítio geológico.

6.3.2.3. Monitoramento de geoindicadores

Em relação ao geoindicador “carstificação”, as variações no ambiente poderão ser químicas e de fluxo de águas subterrâneas, composição atmosférica, clima, mudança na cobertura vegetal, contaminação, risco de ocorrência de subsidência e colapsos. Os principais parâmetros analisados para a identificação de processos de carstificação são: qualidade da água, permeabilidade e porosidade, nível e sentido de fluxo da água. O monitoramento poderá envolver a medição em cavernas para a análise de qualidade de água, direção de fluxo (por meio de traçadores), permeabilidade de aquíferos cársticos, caracterização mineralógica e geoquímica. O monitoramento deve ser contínuo dada a possibilidade de mudança súbita na qualidade da água e do meio, com inundações repentinas dos sistemas cársticos, como descrevem Hirai e Augusto Filho (2008 p.38).

O monitoramento dos parâmetros ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) poderá ser feito com instrumentação distribuída pelas zonas destinadas à visitação. O intervalo de medição em cada ponto poderá ser espaçado, totalizando medições diárias, conforme proposto por Lobo et al. (2015) em estudo espeleoclimáticos no sítio Santana.

A respeito dos indicadores de impacto de visitação, de acordo de Lobo (2010), o carreamento de solo ou sedimento e matéria orgânica é feito para o interior da caverna através do calçado dos visitantes. Em geral, este registro ocorre na área de entrada da caverna, em quantidades que podem variar de acordo com o tipo de material transportado e as condições de drenagem no percurso de acesso à caverna e na área de entrada. A concentração de matéria orgânica e o seu processo de decomposição podem acelerar a dissolução das rochas através da acidificação resultante deste processo (Lobo, 2010). O monitoramento deste indicador deverá ser feito de forma quantitativa de modo a avaliar a concentração de matéria orgânica nas diferentes zonas da caverna.

O indicador poeira é aplicável em ambientes secos em cavernas. A suspensão de partículas de solo (material argiloso do piso da caverna) ocorre com o caminhar no interior da caverna. Estas partículas são depositadas sobre espeleotemas e paredes das cavernas. Ao longo do tempo o material acumulado pode alterar a cor e a composição dos espeleotemas (Lobo e Simões, 2010). O monitoramento deste indicador deve ser feito em um ou mais pontos estratégicos do sítio geológico, ou seja, alguns espeleotemas devem ser escolhidos como ponto de controle. Em cada ponto de controle deverá ser feita a limpeza de uma pequena parte do espeleotema (com água deionizada) para a remoção da poeira aderida. Deste modo, a área poderá ser verificada enquanto ocorre a deposição de novas partículas durante o período de monitoramento.

Finalmente, o indicador "volume de lixo", assim como nos sítios geológicos descritos anteriormente, poderá ser monitorado considerando presença ou ausência e o volume encontrado em cada zona do sítio geológico.

6.3.2.4. Cálculo final da capacidade de carga

O cálculo final da capacidade de carga neste sítio geológico deverá ser definido após a avaliação dos dados de monitoramento para o conjunto de indicadores e após o estabelecimento dos limites aceitáveis para cada um deles.

Neste sítio geológico, para o indicador "volume de lixo" deverão ser traçadas ações de manejo, e, portanto, este indicador não será computado para o cálculo da capacidade de carga. Considerando os demais indicadores selecionados para este sítio geológico, se faz necessário a limitação do número de visitantes no sítio geológico. Deste modo, conforme apresentado no subcapítulo 5.3, o número limitante de visitantes para cada indicador deve ser calculado da seguinte forma:

$$NLU = \frac{LACV}{IM}$$

Onde:

NLU = número limite de usuários (capacidade de carga).

LACV = Limite alteração aceitável para o indicador devido à visitação (uso público).

IM = variação média causada por um usuário.

O valor de *LACV* é obtido da seguinte expressão:

$$LACV = LAC - ANE$$

Onde:

LAC = Limite de alteração aceitável para o indicador, definido pelos padrões pré-estabelecidos.

ANE = Alteração natural expectável (processos naturais sem influência antrópica).

Por sua vez, o valor de *IM* pode ser calculado através dos dados de monitoramento (quando disponíveis). A expressão para o seu cálculo é:

$$IM = \frac{AI - AIN}{NV}$$

Onde:

AI = alteração do indicador (observada, dados de monitoramento).

AIN = alteração do indicador causada por processos naturais (sem influência antrópica).

NV = número de visitantes durante o período de monitoramento.

Para os indicadores considerados neste sítio geológico, é expectável que a sua variação seja dominada pela influência antrópica e não somente por processos naturais:

- A acumulação de solo e material orgânica deve-se ao seu transporte pelos visitantes;
- A presença de poeiras no interior da caverna deve-se, igualmente, ao transporte do exterior por parte dos visitantes;
- As condições atmosféricas das cavernas podem ser alteradas pela presença humana, em consequência, a alteração no ambiente pode alterar tanto a estrutura quanto a composição de espeleotemas.

Desta forma, é razoável assumir que os valores de alteração natural expectável (ANE) e alteração natural do indicador (AIN) sejam zero. Sendo assim, para este sítio geológico, os valores de LACV e IM para cada indicador serão obtidos das seguintes expressões:

$$LACV = LAC$$

$$IM = \frac{AI}{NV}$$

Após o cálculo do número limite de visitantes (NLU) para cada um dos indicadores monitorizado como base nas expressões de LACV e IM definidas em cima, a capacidade carga (CC) da zona ou sítio geológico será dada pelo valor mínimo obtido entre eles. Este valor não poderá exceder o valor da CCR do sítio geológico. O cálculo de CCR deverá ser feito baseado no método de Cifuentes (1992), em que apenas entram como fatores de correção aqueles que limitam o acesso físico ao local.

6.4. Discussão dos resultados

Em uma breve análise sobre o desenvolvimento das partes A (análise do sistema) e B (prioridade de gestão) do estudo de CC relativamente aos sítios Mármore Apiaí e Paleoterraço do Rio Ribeira, não foi possível desenvolver a sub etapa de desenvolvimento turístico (oferta e procura e caracterização do público) por não terem sido obtidos dados suficientes por parte do município. São também inexistentes políticas de gestão porque ambos os sítios se encontram em áreas públicas e/ou privadas. No caso do Mármore Apiaí, embora o geossítio tenha sido incluído em outros inventários (Garcia et al., 2017;

Theodorovicz, 2014), não há qualquer indício de que o local tenha já sido reconhecido pelas autoridades municipais.

Em relação à prioridade de gestão (Parte B) quando analisado o critério de seleção dos sítios geológicos a exemplificar esta etapa, entre os três geossítios inventariados no PETAR e seu entorno (Mármore Apiaí, caverna Casa de Pedra e Morro do Ouro) foi selecionado aquele que obteve maior valor entre a prioridade de proteção à realização de atividades didáticas e turísticas (Tabela 20). Deste modo foi selecionado o geossítio Mármore Apiaí. Comparado aos demais geossítios, embora este tenha apresentado maiores valores para PP (Id e It), quando avaliado o "uso público real", ou seja, se avaliado uso já existente, os demais geossítios deveriam ser priorizados. Em uma análise ainda mais refinada, considerando (também) os principais aspetos e sub aspetos nos geossítios, pode dizer que o geossítio prioritário para a realização do estudo de capacidade de carga seria o Morro do Ouro. Devido ao fato do principal aspeto da caverna Casa de Pedra (o pórtico da caverna) estar menos sujeito a "riscos" devido ao uso público. Além disso, o geossítio Morro do Ouro recebe cerca de 6.500 visitantes por ano (estimativa do parque municipal do Morro do Ouro a partir de 2007) e o pórtico da caverna Casa de Pedra entre os anos de 2013 e 2016 recebeu o total de 1015 visitantes (conforme dos dados apresentado no subcapítulo 3.8). Ou seja, o uso público no Morro do Ouro é mais "intensivo".

Neste sentido, se faz necessário o refinamento do critério para a seleção dos geossítios que devem ser priorizados em estudos de CC, em outras palavras, deve-se pensar em uma forma de compatibilizar os dados do uso público já existentes no processo de seriação dos sítios geológicos, ou seja, durante o inventário ao invés de usar "o potencial uso" usar "real uso público". Portanto, colocam-se como "questões não resolvidas": Como integrar o real uso público, seja turístico ou didático, ao processo de seriação de sítios geológicos? Como compatibilizar estes dados com o risco de degradação do sítio geológico?

Para o desenvolvimento da etapa de "identificação de indicadores" (geoindicadores e indicadores de impactos de visitação) colocou-se as seguintes questões: qual ou quais indicadores permitem entender as pressões que afetam ou poderiam vir a afetar o sítio geológico? Quais indicadores estão relacionados ao uso público dos sócios geológicos? Desta forma, para os sócios Mármore Apiaí e Paleoterraço do rio Ribeira foram selecionados: "erosão de solos e sedimentos" e "escorregamentos". Adicionalmente, identificou-se o geoindicador "qualidade do solo" para o sítio Paleoterraço do Rio Ribeira, por se tratar de uma área com inclinações acentuadas, coberta por solos e sedimentos, e desflorestada.

Sobre os "impactos de visita o" para os três sócios geológicos foram selecionados "presença de lixo" ou "volume de lixo acumulado" e "vandalismo". Estes indicadores devem ser monitorados, porém,

não há relevância de inclusão dos dados obtidos em um possível "cálculo numérico de CC", pois estes são indicadores que a princípio os impactos podem ser controlados por meio de ações de manejo. Adicionalmente, para os sítios Mármore Apiaí e Paleoterraço do Rio Ribeira deve-se considerar as "pressões urbanas" em que estes sítios estão sujeitos, em ambas localizações destes sítios há possibilidade "destruição total" do sítio geológico por qualquer tipo de obras de infraestrutura, para contenção de terrenos, melhoramento das condições da linha de trem, entre outras. Na caverna Santana, além destes indicadores de impacto de visitação, deve-se considerar os indicadores "poeira" e "carregamento de solo e matéria orgânica, pois estes podem causar impactos mais significativos nos principais aspetos na caverna.

Em relação ao monitoramento de geoindicadores, colocou-se a questão: quais parâmetros e como poderiam ser monitorados? Desta forma foram apresentadas sugestões, baseadas na revisão bibliográfica, para cada geoindicador identificado na etapa anterior. Cabe ressaltar que, nesta fase da pesquisa não se pode afirmar a eficiência dos geoindicadores e indicadores de impacto de visitação para a avaliação destes sítios geológicos, para tanto é necessário o monitoramento periódico, para que se possa gerar dados, a fim de estabelecer "limites" e "padrões" e, assim proceder a determinação da capacidade de carga.

Neste sentido, autores como Hirai e Augusto Filho (2008) discutem algumas limitações quanto ao uso destes geoindicadores, que devem ser consideradas para os sítios geológicos enfocados neste estudo. Em relação ao geoindicador erosão as limitações podem estar relacionadas a distribuição no tempo e espaço da erosão, o que impede a sua representação de forma linear em um sítio, portanto, requer vários períodos de monitoramento, e a atualização mais frequente dos dados. O geoindicador "escorregamento" embora possa ser monitorado as variações no terreno, em alguns casos podem ocorrer rupturas repentinas. Sobre a qualidade do solo, há necessidade de instalação de diferentes pontos de medições (sítios de monitoramento), além disso, poderá haver dificuldades em obtenção de amostras significativas, considerando que as propriedades do solo variam amplamente. Para o geoindicador carstificação, deve-se considerar como limitações mudanças na qualidade da água e ocorrência na dissolução de rochas. Portanto é necessário um estudo sobre a dinâmica hidrogeológica que controlam as feições no sítio geológico. Para todos estes indicadores deve-se considerar ainda os custos elevados para a realização do monitoramento.

Os indicadores de impacto de visitação "poeira" e "carregamento de matéria orgânica e solos" e os parâmetros atmosféricos, específicos para o sítio caverna Santana, devem ser monitorados para a identificação de impactos que podem ser causados no ambiente cavernícola. Neste sentido, como já

referido Lobo (2006) e Lobo e Simões (2010) discutem que os impactos causados por estes indicadores podem alterar a composição e estrutura dos espeleotemas. Os mesmos autores apontam que o monitoramento destes indicadores requer o uso de equipamentos específicos, e o conhecimento técnico apropriado para a interpretação dos resultados obtidos, e, portanto, neste caso deve-se considerar os custos elevados para o monitoramento.

Sobre a CC dos sítios geológicos, o exercício realizado neste trabalho tomou como base as questões: Calcular a capacidade de carga? Como este processo deverá ser feito? Para os sítios Mármore Apiaí e Paleoterraço do rio Ribeira por se tratar de sítios onde não há uso público, não se faz necessário o estabelecimento do número de usuários que possam frequentar estes locais. Sugere-se para estes sítios o monitoramento dos indicadores, para que se possa conhecer as pressões e processos atuantes, bem como aos riscos que estão sujeitos. Após um período de monitoramento, deve-se estabelecer os limites aceitáveis para os diferentes indicadores, e criadas estratégias para que estes limites sejam "mantidos". No futuro, caso verificado o uso público nestes sítios, devem-se avaliar se haverá real necessidade da limitação de visitação, e como poderá ser feita.

O sítio geológico caverna Santana, como já referido na revisão bibliográfica (subcapítulo 5.2.1.1.1) foi alvo de diferentes estudos em que foram obtidos diferentes resultados para o cálculo da CC. Em compilação a estes estudos Lobo (2017 p. 656-657) discute que muitos destes estudos foram desenvolvidos por com a aplicação do método de Cifuentes (1992) e Cifuentes-Arias (1999) (como Sgarbi, 2003a, 2003b; Lobo, 2005, 2007). Os estudos mais recentes para a caverna foram desenvolvidos com aplicação da "projeção em cenários" (Lobo et al., 2010, 2013) e o cálculo da capacidade de carga baseada na avaliação de parâmetros atmosféricos (Lobo, 2011, 2015). Em todos estes casos os autores ressaltam a importância do estabelecimento do número de visitantes para que as condições no sítio geológico sejam mantidas.

Neste contexto, corroborando com estes autores, e considerando a particularidade do microclima e possibilidade de "degradação" dos principais aspetos, sugere-se a determinação numérica da capacidade de carga neste sítio geológico, ou seja, a determinação do número limite de usuários (NLU). A obtenção de NLU, conforme a proposta apresentada, baseia-se na relação entre os limites de variação aceitáveis para cada um dos indicadores de impacto de visitação (LACV) (definidos de acordo com os padrões estabelecidos) e na variação média causada por um usuário (IM) (estimada a partir de dados de monitoramento) para cada indicador. Cada indicador analisado resultará num limite de usuários distinto, devendo então assumir-se como capacidade de carga o número inferior desses todos. A capacidade de carga não deverá exceder o valor da CCR calculada para o sítio geológico, que poderá ser calculado de

acordo com o método de Cifuentes (1992), uma vez que este método permite o estabelecimento do número de máximo de visitantes tendo em consideração as variáveis físicas e de gestão que restringem o acesso ao local. Contudo, a limitação do número de usuários deverá estar associada a outras ações de manejo que permitam o uso sustentável deste sítio de geodiversidade.

Em relação a proposição de estratégias de manejo para os sítios geológico, nesta fase dos estudos, não se podem planejar de forma realista. Portanto, são sugeridas propostas para a melhoria das condições dos sítios geológicos de acordo com as observações durante os trabalhos de campo na região de estudos. Os sítios geológicos Mármore Apiaí e Paleoterraço do rio Ribeira, carecem de intervenção para a limpeza dos locais, como corte de vegetação e remoção de lixo acumulado. O sítio geológico caverna Santana, por estar dentro do PETAR já dispõe de infraestrutura para visitação, controle de visitação, limpeza da trilha de acesso, dentre outros serviços "facilitadores" para a visitação.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da geodiversidade no PETAR e seu entorno permitiu efetuar o refinamento do inventário de sítios geológicos. Conforme referido no capítulo 4, este inventário é atualmente composto por 27 sítios. A avaliação quantitativa destes sítios permitiu a identificação de três geossítios de relevância nacional e 24 sítios de geodiversidade. Ao final deste processo foi estabelecida a seriação dos sítios geológicos quanto a prioridades de gestão. Para tanto, considerou-se como critérios: a prioridade aos geossítios (justificados pelo valor científico) seguidos dos sítios de geodiversidade (em que se considerou o maior valor entre os resultados obtidos para prioridade de proteção didática e prioridade de proteção turística). A partir dos resultados da avaliação quantitativa, foi possível constatar a atribuição, por diferentes investigadores, de valores distintos, a um mesmo sítio geológico, uma vez que existem discrepâncias entre os resultados obtidos neste trabalho e outros inventários (Theodorovicz, 2014; Garcia et al., 2017). Estas discrepâncias estão relacionadas, principalmente, aos diferentes objetivos de cada inventário, aos diferentes conceitos de “geossítio” adotados por distintos investigadores, e à escala em que o inventário foi realizado. Além disso, deve-se ressaltar que os mesmos sítios geológicos foram incluídos em inventários por razões diferentes, ou seja, cada inventário considera, para um mesmo sítio, diferentes elementos geológicos principais de interesse. A escolha destes elementos, como já referido, está associada aos objetivos do inventário e ao conhecimento/experiência do investigador. Verifica-se então que a comparação de diferentes inventários de uma mesma região, tem que ter em conta os diversos objetivos, temas, escalas, e, somado aos diferentes entendimentos de conceitos da geoconservação. Os resultados obtidos em inventários, não devem ser tidos como imutáveis ou acabados, estes podem ser revistos e reavaliados à medida que novos conhecimentos científicos são conhecidos para a área de estudos (Brilha, 2016).

Ainda sobre o processo de avaliação quantitativa de sítios geológicos efetuado pelo aplicativo GEOSSIT, deve-se destacar que algumas das adaptações feitas para alguns dos critérios a partir da metodologia original não se revelaram as mais adequadas para a avaliação dos sítios geológicos do PETAR e seu entorno. Uma das causas deve-se ao fato de o aplicativo ter sido desenvolvido para um banco de dados à escala de todo país. Deste modo, a avaliação de sítios geológicos em grande escala (como neste inventário) requer adaptações específicas que podem ainda ser introduzidas no.

A revisão bibliográfica sobre capacidade de carga (apresentada no capítulo 5) permitiu a compreensão da sua evolução e amplitude conceitual e metodológica ao longo do tempo. Como já referido, o conceito da capacidade de carga converteu-se em uma importante ferramenta de planejamento e gestão do uso público, especialmente, em áreas naturais protegidas. A consolidação

deste conceito, se deu principalmente na década de 1970, a partir de métodos sistemáticos para a determinação da capacidade de carga em destinos turísticos. O conceito passou a integrar questões socioeconômicas e culturais das populações em destinos turísticos, principalmente a partir da década de 1990. As diferentes abordagens para o conceito de capacidade de carga implicam nas suas diferentes formas de avaliação e cálculo. Neste sentido, a fim de propor estratégias para avaliação da capacidade de carga como ferramenta de gestão de sítios geológicos, foram avaliadas diferentes metodologias neste trabalho. A análise destes métodos, seguido de exemplos de aplicações (com ênfase em sítios geológicos), permitiu a identificação de algumas vantagens e desvantagens e a constatação que não existe uma forma universalmente aceita para a determinação da capacidade de carga. As diferentes proposições metodológicas refletem as diferentes interpretações e complexidade do tema, corroborando com muitos autores (ex. Saveriades, 2000; Mexa e Coccossis, 2004a; Pires, 2005; Manning, 2007; Coutinho, 2010; Sharma, 2016).

De modo geral, verificou-se que o conjunto de metodologias que propõem a determinação da capacidade de carga por meio de padrões numéricos se baseiam principalmente no conceito da capacidade como “o cálculo do número de visitantes que podem visitar um local sem causar danos no ambiente natural”. A constatação da ineficiência da limitação do número de visitantes no controle de impacto ambiental em áreas naturais protegidas (Pires, 2005), abriu espaço para o desenvolvimento de um conjunto de metodologias para a gestão de impactos de visitantes. Estas propõem a gestão de impacto ambiental e, ao mesmo tempo, preocupam-se com a satisfação do visitante. Em geral, estas metodologias propõem determinação da capacidade por meio de um conjunto de ações de manejo, aplicadas a áreas naturais protegidas. Estas ações requerem um grande investimento de tempo (para obtenção de dados que permitam estabelecer limites de alteração aceitáveis) e investimento financeiro (para que as estratégias de manejo propostas sejam concretizadas), o que se entende como uma desvantagem, quando pensado na realidade das UCs no Brasil, que carecem de recursos, principalmente financeiros, para a sua manutenção.

Neste contexto, buscou-se a formulação de uma proposta para a capacidade de carga que poderá ser aplicada aos sítios geológicos inventariados no PETAR e seu entorno (conforme apresentado no subcapítulo 5.3). A proposta apresentada baseia-se na determinação da capacidade de carga por meio de um conjunto de ações de gestão e/ou a limitação do número de usuários em um sítio geológico, a partir do estabelecimento de limites de mudanças aceitáveis para os indicadores identificados em cada sítio. Deste modo procedeu-se à análise dos procedimentos necessários, com base em exemplos na área de estudos. Como já referido no capítulo 6, o desenvolvimento de todas as etapas previstas requer a

identificação/conhecimento dos processos que atuam nos sítios geológicos, o que requer o monitoramento sistemático destes locais, para que tais limites possam ser definidos. Esta foi a maior dificuldade em termos de aplicação da proposta aos sítios inventariados neste trabalho.

Dentre outras dificuldades relacionadas à aplicação da proposta, referente à “Parte A – análise do sistema”, constatou-se que a falta de informação dos municípios a respeito do desenvolvimento turístico não permitiu o desenvolvimento desta etapa para os sítios geológicos fora da área do parque. Relativamente à Parte B, o estabelecimento de prioridades de gestão baseou-se na avaliação quantitativa realizada no inventário, tendo sido considerado os potenciais usos educativo e turístico. A seriação dos sítios geológicos contribuiu para a identificação de quais deverão ser priorizados em ações de gestão. Deste modo, seguindo a lógica e os critérios estabelecidos foram identificados os sítios geológicos que deverão ser prioritariamente submetidos à avaliação da capacidade de carga. Durante esta fase constatou-se a necessidade de uma avaliação crítica em relação aos resultados da seriação e aos critérios estabelecidos para a seleção dos sítios geológicos que deverão ser prioritariamente submetidos à avaliação da capacidade de carga. Neste sentido, ressalta-se deverão ser consideradas as discrepâncias entre os resultados obtidos na fase de seriação dos sítios geológicos com aquilo que se observa na realidade do sítio. Além disso, deve-se buscar formas de compatibilizar o “real uso público” para os sítios que já disponham de dados de monitoramento de visitantes. Assim, os resultados obtidos tenderão a ser mais próximos da realidade.

Sobre o processo de avaliação da capacidade de carga, proposto neste trabalho, coloca-se a seguinte questão: qual a real necessidade em determinar a capacidade de carga de sítios geológicos onde não há uso público? Em fase inicial de estudos e plano de gestão para o sítio geológico, constatou-se que, o mais importante é a identificação de fatores/geoindicadores, e monitoramento destes indicadores para entender os processos que atuam no local. Posteriormente, após a abertura do sítio geológico para o uso público, uma vez “conhecidos” tais pressões e processos, deve-se avaliar se a capacidade de carga poderá ser determinada por meio de ações de manejo para os limites de alterações aceitáveis sejam mantidos. Em casos de sítios geológicos onde já existe o uso público, deve-se avaliar qual a real necessidade da limitação de visitantes. Esta limitação deverá ser feita por meio de estratégias de manejo para o controle “de uso” (como cobrança de ingresso, alterações nos dias e horários de funcionamento, etc.)? Ou a limitação no número de visitantes é necessária e suficiente para a conservação do respectivo patrimônio geológico? A limitação do número de visitantes em um determinado sítio geológico representa apenas um dos instrumentos de gestão. Acredita-se que, mesmo embora não tenha sido possível estabelecer uma relação direta entre o número de visitantes e a degradação de sítios

geológicos, este instrumento poderá ser eficaz conservação do respectivo patrimônio geológico, porém, não suficiente. A simples limitação do número de visitantes muitas vezes poderá ser eficaz em sítios que não se conheça a “dinâmica de uso público”. Em casos de sítios geológicos onde já existe o uso público acredita-se a limitação numérica associada às estratégias de manejo de uso público torna-se mais eficientes para a conservação do respectivo patrimônio geológico, contudo, se faz necessária uma análise crítica e a revisão da eficácia real destas estratégias por parte dos gestores.

Neste contexto, pode concluir que a avaliação da capacidade de carga de um sítio geológico é mais do que estabelecer ou fixar um número de visitantes. Este processo deve envolver também uma série de etapas que permitam conhecer o local, estabelecer critérios para a identificação e monitoramento de indicadores, elaborar estratégias de gestão e de revisão/reavaliação periódica destas etapas, tornando o processo cíclico. Estes resultados devem ser compatibilizados com a avaliação de outros “tipos” ou “categorias” de capacidade de carga (ecológica, perceptiva/psicológica/social e político/econômica), de modo a promover o uso sustentável do sítio avaliado. Uma vez que se trata de um método complexo e que pode ter uma duração de vários anos, exige a existência de uma equipa de gestão focalizada na geoconservação e determinada em fazer um manejo correto dos sítios geológicos. Infelizmente, são ainda poucos os exemplos no mundo onde esta situação ocorre.

Por fim, dentre os desafios para o futuro, pretende-se que a aplicação da proposta aqui apresentada possa ser implementada na prática. A direção do PETAR fica assim a dispor de uma ferramenta de geoconservação que pode aplicar na gestão e ordenamento do parque. O inventário realizado na região é também uma contribuição para o banco de dados do inventário nacional do patrimônio geológico brasileiro e para refinar o inventário do estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. (1973). Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro (Geomorfologia–28–IGEOG–USP–São Paulo).
- Ab'Saber, A.N. (1970). Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia* 1–26.
- Almeida, F. de (1969). Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. Em *Congresso Brasileiro de Geologia*, pp. 29–46.
- Almeida, F.F.M. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira (DNPM).
- Almeida, F. de, Hasui, Y., Brito Neves, B. de, e Fuck, R.A. (1977). Províncias estruturais brasileiras. *Simpósio de Geologia do Nordeste* 8, 363–391.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., de Brito Neves, B.B., e Fuck, R.A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews* 17, 1–29.
- Amador, E., Cayot, L., Cifuentes, M., Cruz, E., Cruz, F., e Ayora, P. (1996). Determinación de la capacidad de carga turística en los sitios de visita del Parque Nacional Galápagos. *Servicio Parque Nacional Galápagos, Ecuador*. 42p.
- Araripe, G. (2018). <http://geoparkararipe.urca.br/> (acesso em 25 de janeiro de 2018).
- Arouca, G. (2017). Declaração de Arouca, disponível em: <http://aroucageopark.pt/pt/documentacao/> (acesso em 20 de outubro de 2017).
- Aryasa, A.M., Bambang, A.N., e Muhammad, F. (2017). The study of environmental carrying capacity for sustainable tourism in Telaga Warna Telaga Pengilon Nature Park, Dieng Plateau, Central Java. Em *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (IOP Publishing), pp. 1–5.
- Asrat, A., Demissie, M., e Mogessie, A. (2012). Geoheritage conservation in Ethiopia: the case of the Simien Mountains. *Quaestiones Geographicae* 31, 7–23.
- Balestro, G., Cassulo, R., Festa, A., Fioraso, G., Giardino, M., Nicolò, G., e Perotti, L. (2016). 3D Geological visualizations of geoheritage information in the Monviso Massif (Western Alps).
- Barros, M.I.A. de (2003). Caracterização da visitação, dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do planalto do Parque Nacional do Itatiaia. Universidade de São Paulo.
- Berger, A.R., e Iams, W.J. (1996). *Geoindicators—assessing rapid environmental changes in earth systems*: Rotterdam. AA Balkema.
- Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., VIDOTTI, R.M., e GONÇALVES, J.H. (2003). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG (CPRM)*.
- Boggiani, P.C., da SILVA, O.J., Gallati, E.A.B., Gesicki, A.L.D., de Oliveira Salles, L., e Lima, M.M.E.R. (2007). Definição de capacidade de carga turística das cavernas do Monumento Natural Gruta do Lago Azul (Bonito, MS). *Geociências (São Paulo)* 26, 333–348.
- Bollati, I., Smiraglia, C., e Pelfini, M. (2013). Assessment and selection of geomorphosites and trails in the Miage Glacier Area (Western Italian Alps). *Environmental Management* 51, 951–967.

- Boullón, R. (2006). Planificación del espacio turístico (Editorial Trillas).
- Brasil (2008). Decreto-lei no 6.640, de 07 de novembro de 2008: dá nova redação aos artigos 1o ao 5o do Decreto-lei no 99.556, de 01/10/1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais. Brasília: PR. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 16 de abril de 2019.
- Brasil, S.P. (1960). Lei Estadual no 5.973, de 23 de novembro de 1960. Denomina «Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira» ao “Parque Estadual do Alto Ribeira”, criado pelo decreto no 32383.
- Brasil, CONAMA (2004). Resolução CONAMA no 347, de 10 de setembro de 2004: dispõe sobre a Proteção do Patrimônio Espeleológico. Brasília: CONAMA. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: 01 de abril de 2019.
- Brasil, IBAMA (1990). Portaria no 887/IBAMA, de 15 de junho de 1990: dispõe sobre a realização de diagnóstico da situação do patrimônio espeleológico nacional. Brasília: IBAMA. Disponível em: www.ICMBio.gov.br. Acesso em: 01 de abril de 2019.
- Brasil, ICMBio (2009). Portaria ICMBio no 078 de 03 de setembro de 2009: dispõe sobre a Criação do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas- CECAV. Brasília: ICMBio. Disponível em: www.ICMBio.gov.br. Acesso em: 1 de abril de 2019.
- Brasil, MMA (2009a). Instrução Normativa MMA no 02, de 20 de agosto de 2009: estabelece a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas conforme metodologia estabelecida nesta Instrução Normativa. Brasília: MMA. Disponível em : www.ICMBio.gov.br. Acesso em: 01 de abril de 2019.
- Brasil, MMA (2009b). Portaria MMA no 358, de 30 de setembro de 2009: dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico. Brasília: MMA. Disponível em: www.ICMBio.gov.br. Acesso em: 01 de abril de 2019.
- Brilha, J. (2005). Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica (Palimage).
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* 8, 119–134.
- Brilha, J. (2018a). Geoheritage: inventories and evaluation. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 69–85.
- Brilha, J. (2018b). Geoheritage and geoparks. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 323–335.
- Brilha, J.B., e Reynard, E. (2018). Geoheritage and geoconservation: the challenges.
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D., e Pereira, P. (2018). Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy* 86, 19–28.
- Brito Neves, B.B. de, Campos Neto, M. da C., e Fuck, R.A. (1999). From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences* 22, 155–166.
- Brocx, M., e Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation-history, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 90, 53–87.

- Bruschi, V.M., e Cendrero, A. (2009). Direct and parametric methods for the assessment of geosites and geomorphosites. *Geomorphosites* 73–88.
- Bruschi, V.M., Cendrero, A., e Albertos, J.A.C. (2011). A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage* 3, 131–149.
- Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, A., Sánchez-Martos, F., Gisbert, J., e Pulido-Bosch, A. (2003). Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use. *Environmental Conservation* 30, 160–167.
- Camargo, A.L. (2008). Proposta de método de determinação da capacidade de carga de visitação turística para as cavernas da região de Bulhas D'Água e Vale dos Buenos no Parque Estadual de Intervalos e no Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira, Estado de São Paulo. Trabalho de MBA. Instituto Mauá da Tecnologia.
- Campanha, G.A. da C. (1991). Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Campanha, G.A. da C. (2002). O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira. Tese de Livre Docente. Universidade de São Paulo.
- Campanha, G.A. da C., e Sadowski, G.R. (1999). Tectonics of the southern portion of the Ribeira belt (Apiá Domain). *Precambrian Research* 98, 31–51.
- Campanha, G. da C., Gimenez Filho, A., Caetano, S.L.V., Pires, F.A., Dantas, A.S.L., Teixeira, A.L., e Dehira, L.K. (1986). Geologia e estratigrafia da região das folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira, São Paulo. Em *Congresso Brasileiro de Geologia*, pp. 1058–1073.
- Campanha, G.A. da C., Basei, M., Faleiros, F.M., e Nutman, A.P. (2016). The mesoproterozoic to early neoproterozoic passive margin lajeado group and Apiá gabbro, southeastern Brazil. *Geoscience Frontiers* 7, 683–694.
- Campos Neto, M. da C. (2000). Orogenic systems from Southwestern Gondwana, an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in south-eastern Brazil. *Tectonic Evolution of South America* 31, 335–365.
- Carcavilla, L.U. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 22, 5.
- Carcavilla, L., Durán, J.J., e López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas* 10, 1299–1303.
- Castro, C.E. de (2004). O Caminho entre a Percepção, o Impacto no Solo e as Metodologias de Manejo: o estudo de Trilhas do Parque Estadual Turístico do Alto da Ribeira/SP. 2004, 153 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento
- CBH-RB (2013). Relatório de situação de recursos hídricos e meio ambiente da unidade de gerenciamento n. 11: Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (São Paulo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul).
- Ceballos-Lascurain, H. (1996). Tourism, ecotourism, and protected areas: The state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development. (Iucn).

- Cendrero, A. (1996a). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. El patrimonio geológico: bases para su valoración, protección, conservación y utilización 17–38.
- Cendrero, A. (1996b). Propuesta sobre criterios para la clasificación y catalogación del patrimonio geológico. El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización 17–28.
- Cerro, F.L. (1993). Técnicas de Evaluación del potencial Turístico. Madrid, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo-Centro de publicaciones.
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas (Bib. Orton IICA/CATIE).
- Cifuentes-Arias, M., Mesquita, C.A.B., Méndez, J., Morales, M.E., e Aguilar, N. (1999). Capacidad de carga turística de las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica (Turrialba, CR: WWF).
- Clark, R.N., e Stankey, G.H. (1979). The Recreation Opportunity Spectrum: a framework for planning, management, and research. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-098. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 32 p 98.
- CNC (2019). <http://www.cavernas.org.br/cnc/> (acesso em 15 de janeiro de 2019).
- Coccossis, H. e Mexa, A. (2004). Sustainable tourism and carrying capacity: a new context. Em *The Challenge of Tourism Carrying Capacity Assessment*, (Routledge), pp. 19–30.
- Coccossis, H., e Mexa, A. (2004a). Tourism carrying capacity: a theoretical overview. Em *The challenge of tourism carrying capacity assessment: theory and practice*, (Ashgate), pp. 37–53.
- Coccossis, H., e Mexa, A. (2004b). Tourism carrying capacity: methodological considerations. Em *The challenge of tourism carrying capacity assessment: Theory and practice*, (Ashgate), pp. 55–90.
- Cole, D.N. (1987). Assessing and monitoring backcountry trail conditions (US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range ...).
- Comănescu, L., e Nedelea, A. (2012). The assessment of geodiversity—a premise for declaring the geopark Buzăului County (Romania). *Journal of earth system science* 121, 1493–1500.
- Coratza, P., e Giusti, C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Il Quaternario* 18, 305–311.
- Costa, E.J. (2004). Abismo Anhumas (MS 04): Plano de Manejo Espeleológico. rev. e ampl. Bonito: Abismo Anhumas.
- Cotta, J.A.O., Rezende, M.O.O., Piovani, M.R., e others (2006). Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-PETAR, São Paulo, Brasil. *Química nova* 29, 40–45.
- Coutinho, I.M.A. (2010). Avaliação da capacidade de carga turística para o geossítio de Penha Garcia. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia.
- Coutinho, J.M.V. (2008). Dyke swarm of the Paraná triple junction, southern Brazil. *Geologia USP: Série Científica* 8, 29–52.

- CPRM, S.G. do B. (2018). <http://www.cprm.gov.br/> (acesso em maio de 2018).
- Daitx, E.C. (1996). Origem e evolução dos depósitos tipo Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas Canoas e Perau, Vale do Ribeira-PR. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UNESP, Rio Claro.
- Damião, A.B. (2018). O mito do turismo sustentável na Ilha João da Cunha-SC: análise das políticas públicas e instrumentos da sustentabilidade. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Dasmann, R.F. (1945). *Wildlife biology* (Wiley).
- Delgado, M. (2007). Análise da metodologia criada por Miguel Cifuentes referente à capacidade de carga turística. *Revista Turismo em Análise* 18, 73–93.
- Díez-Herrero, A., Vegas, J., Carcavilla, L., Gómez-Heras, M., e García-Cortés, Á. (2018). Techniques for the Monitoring of Geosites in Cabañeros National Park, Spain. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 417–430.
- Environment Canada, e Service Park (1991). *Selected Readings on the Visitor Activity Management Process*. (Ottawa, Ontario: Environment Canada.).
- FADURPE (2010). Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - APA Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá e Goiana/PE. (Recife: CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente).
- Faleiros, F.M., Ferrari, V.C., Costa, V.S., e da Cruz Campanha, G.A. (2011). Geoquímica e petrogênese de metabasitos do grupo Votuverava (Terreno Apiaí, Cinturão Ribeira Meridional): evidências de uma bacia retroarco calimiana. *Geologia USP. Série Científica* 11, 135–155.
- Faleiros, F.M., Morais, S.M., e Costa, V.S. (2012). Geologia e recursos minerais da folha Apiaí SG. 22-XBV.
- Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P., e Iliopoulos, G. (2012). Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage* 4, 177–193.
- Fernández-Cortés, A., Calaforra, J.M., Sánchez-Martos, F., e Gisbert, J. (2006). Microclimate processes characterization of the giant geode of Pulpí (Almería, Spain): technical criteria for conservation. *International Journal of Climatology* 26, 691–706.
- Ferreira, A.R.R. (2014). Patrimônio geológico no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-SP: inventariação e quantificação de geossítios. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista.
- Ferreira, M.W. da S. (2016). Enquadramento legal e institucional para a promoção da geoconservação no Brasil e propostas de desenvolvimento. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- Ferreira, A.R.R., Lobo, H.A.S., e Perinotto, J.A. de J. (2018). Inventory and quantification of geosites in the State Tourist Park of Alto Ribeira (PETAR, São Paulo State, Brazil). *Geoheritage*.
- Fiori, A.P. (1993). O sistema de dobramento Apiaí, Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências* 23, 5–17.
- Frissell, S.S., e Duncan, D.P. (1965). Campsite preference and deterioration in the Quetico-Superior canoe country. *Journal of Forestry* 63, 256–260.

- Frissell, S.S., e Stankey, G.H. (1972). Wilderness environmental quality: Search for social and ecological harmony. (Society of American Foresters Hot Springs, AR), p.
- Fundação Florestal (2010). Plano de manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (São Paulo: Fundação Florestal).
- Fundação Florestal, e EKOS Brasil (2010). Plano de manejo espeleológico do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (São Paulo: Fundação Florestal).
- Garcia, M., Brilha, J.B., Boggiani, P.C., Bourotte, C.L.M., Del Lama, E.A., Martins, L., Lima, F.F., Fernandes, L.A., e Vargas, J.C. (2015). Relatório Científico: Patrimônio Geológico do Estado de São Paulo: identificação, conservação e valorização de geossítios de valor científico com relevância Nacional e Internacional.
- Garcia, M. da G.M., Brilha, J., de Lima, F.F., Vargas, J.C., Pérez-Aguilar, A., Alves, A., da Cruz Campanha, G.A., Duleba, W., Faleiros, F.M., e Fernandes, L.A. (2017). The inventory of geological heritage of the State of São Paulo, Brazil: methodological basis, results and perspectives. *Geoheritage* 10, 239–258.
- García-Cortés, A., Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., e Vegas, J. (2009). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG) (Madrid: Instituto Geológico y Minero de España).
- García-Cortés, Á., Vegas, J., Carcavilla, L., e Díaz-Martínez, E. (2012). Un sistema de indicadores para la evaluación y seguimiento del estado de conservación del patrimonio geológico. *Geo-Temas* 13, 1272–1275.
- Garda, G.M., e Schorscher, J.H.D. (1996). Os diques costeiros básicos e ultrabásicos adjacentes ao Canal de São Sebastião (litoral norte do Estado de São Paulo). *Revista do Instituto Geológico* 17, 7–31.
- Geoffroy, P.R., e Santos, T.D.S. (1942). Nota sobre a geologia de Apiaí, São Paulo. *Min. Metal.* 6, 109–110.
- Geoparque Bodoquena Pantanal (2018). <https://www.geoparkbodoquenapantanal.ms.gov.br/> (acesso em outubro de 2018).
- GEOSSIT (2017). <http://www.cprm.gov.br/geossit/> (acesso em 02 de junho de 2019).
- Getz, D. (1983). Capacity to absorb tourism: Concepts and implications for strategic planning. *Annals of Tourism Research* 10, 239–263.
- GGN, R.G. de G. (2019). <http://www.globalgeopark.org/> (acesso em 05 de abril de 2019).
- Gimenez Filho, A., Teixeira, W., e Figueiredo, M.C.H. (1996). Geologia e litogeoquímica do complexo granítico Três Córregos na região de Barra do Chapéu e Ribeirão Branco, estado de São Paulo. *Boletim IG-USP. Publicação Especial* 43–45.
- Gómez, M.J.M., Rosabal, P.M., e Salinas Chávez, E. (1993). Planificación y desarrollo del ecoturismo. *Estudios turísticos*, 119-120, 39-58.
- Gordon, J.E. (2012). Engaging with geodiversity: ‘stone voices’, creativity and ecosystem cultural services in Scotland. *Scottish Geographical Journal* 128, 240–265.

- Gordon, J.E., e Barron, H.F. (2013). The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scottish Journal of Geology* 49, 41–58.
- Gordon, J.E., Barron, H.F., Hansom, J.D., e Thomas, M.F. (2012). Engaging with geodiversity—why it matters. *Proceedings of the Geologists' Association* 123, 1–6.
- Gordon, J.E., Crofts, R., Díaz-Martínez, E., e Woo, K.S. (2017). Enhancing the role of geoconservation in protected area management and nature conservation. *Geoheritage* 10, 191–203.
- Graefe, A.R., Kuss, F.R., e Vaske, J.J. (1990). Visitor impact management. The planning framework, vol. II. National Parks and Conservation Association, Washington, DC.
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature* (Chichester: John Wiley & Sons).
- Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. *Geological Society, London, Special Publications* 300, 31–36.
- Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation* 38, 271–274.
- Gray, M. (2012). Valuing geodiversity in an 'ecosystem services' context. *Scottish Geographical Journal* 128, 177–194.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature* (Chichester: John Wiley & Sons).
- Gray, M. (2018). Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 13–25.
- Gray, M., Gordon, J.E., e Brown, E.J. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 659–673.
- Guedes, E., Heilbron, M., Vasconcelos, P.M., de Morisson Valeriano, C., de Almeida, J.C.H., Teixeira, W., e Thomaz Filho, A. (2005). K–Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of dikes emplaced in the onshore basement of the Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation. *Journal of South American Earth Sciences* 18, 371–382.
- Guerra, A.J.T., e Jorge, M. do C.O. (2018). *Geoturismo, geodiversidade e geoconservação* (São Paulo: Oficina de Textos).
- Guil, A.L.F. (2011). *Ecologia populacional do bagre cego de Iporanga, Pimelodella kronei* (Siluriformes: Heptapteridae), do Vale do Alto Ribeira, Iporanga-SP: uma comparação com Trajano, 1987. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Guimarães, G.B., de Lima, F.F., e Rocha-Campos, A.C. (2018). Varvite Park, A Brazilian Initiative for the Conservation and Interpretation of Geoheritage. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 405–415.
- Guo, W., e Chung, S. (2016). Remaking tourism carrying capacity frameworks for geoparks. Em *DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science*, pp. 197–205.
- Guo, W., e Chung, S. (2017). Using tourism carrying capacity to strengthen UNESCO global geopark management in Hong Kong. *Geoheritage* 11, 193–205.

- Hadi, H.E., Tahiri, A., Brilha, J.B., Maidani, A.E., Baghdad, B., e Zaidi, A. (2015). Geodiversity Examples of Morocco: From Inventory to Regional Geotourism Development. *Open Journal of Ecology* 5, 409–419.
- Hadwen, I.A.S., e Palmer, L.J. (1920). *Reindeer in Alaska* (US Department of Agriculture).
- Hammit, W.E., Cole, D.N., e Monz, C.A. (1998). *Wildland recreation: ecology and management* (John Wiley & Sons).
- Hasui, Y. (2010). A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências* 141–169.
- Hasui, Y., Carneiro, C.D.R., e Coimbra, A.M. (1975). The Ribeira folded belt. *Revista Brasileira de Geociências* 5, 257–266.
- Hediger, H. (1950). *Wild animals in captivity* (Butterworth-Heinemann).
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M. da C., Silva, L. da, Trouw, R.A.J., e Janasi, V. de A. (2004). Província mantiqueira. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* 203–235.
- Heilbron, M., Valeriano, C. de M., Tassinari, C.C.G., Almeida, J., Tupinamba, M., Siga, O., e Trouw, R. (2008). Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society, London, Special Publications* 294, 211–237.
- Henriques, M.H., e Brilha, J. (2017). UNESCO Global Geoparks: A strategy towards global understanding and sustainability. *Episodes* 40, 349–355.
- Hirai, J.N., e Augusto Filho, O. (2008). Avaliação ambiental por meio de geoindicadores: aplicação de erosão de solos e sedimentos. *Revista Minerva* 5, 35–44.
- Hjort, J., e Luoto, M. (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115, 109–116.
- Hjort, J., e Luoto, M. (2012). Can geodiversity be predicted from space? *Geomorphology* 153, 74–80.
- Hjort, J., Gordon, J.E., Gray, M., e Hunter Jr, M.L. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology* 29, 630–639.
- Hose, T.A. (1995). Selling the Story of Britain's Stone, *Environmental Interpretation*, 10-2. Disponível on line: <https://ojs.zrc-sazu.si/ags/article/view/1315/1079> 16–17.
- Hose, T.A. (2000). European geotourism–geological interpretation and geoconservation promotion for tourists. *Geological heritage: its conservation and management*. Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Madrid 127–146.
- Hose, T.A. (2012). *Geotourism and geoconservation* (Springer).
- Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J., Sánchez-Moral, S., e Sanz-Rubio, E. (1998). Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology* 33, 231–242.

- IBAMA (2001). Roteiro metodológico para gestão de área de proteção ambiental (Brasília: Ministério do Meio Ambiente).
- IBAMA (2002). Roteiro metodológico de planejamento: Parque Nacional, Reserva Biológica, Estação Ecológica (Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).
- ICMBio (2011). Roteiro metodológico para manejo de impactos da visitação com enfoque na experiência do visitante e na proteção dos recursos naturais e culturais (Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade).
- ICMBio (2016). Sumário executivo do livro vermelho da fauna Brasileira ameaçada de extinção (Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade).
- IUCN, I.U. for C. of N. (2018). <https://www.iucn.org/> (acesso em 05 de junho de 2018).
- Ivanauskas, N.M., Miashike, R.L., Leme de Godoy, J.R., de Souza, F.M., Kanashiro, M.M., des de Aguiar Mattos, I.F., Zugliani Toniato, M.T., Franco, C., e Daher, G.A. (2012). A vegetação do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica* 12, 147–177.
- Jacobi, P. (2005). Educar para a Sustentabilidade: complexidade, reflexividade, desafios. *Revista educação e pesquisa* 31, 233–250.
- Janasi, V.A., Leite, R.J., e Van Schmus, W.R. (2001). U–Pb chronostratigraphy of the granitic magmatism in the Agudos Grandes Batholith (west of Sao Paulo, Brazil)—implications for the evolution of the Ribeira Belt. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 363–376.
- Karmann, I. (1994). Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto Vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Karmann, I., e Ferrari, J. (2002). Carste e cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. Em *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil - Volume I*, pp. 401–413.
- Karmann, I., e Sánchez, L.E. (1979). Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. *Espeleo-tema* 13, 105–167.
- Kennell, J. (2016). Carrying capacity. *Encyclopedia of Tourism* 133–135.
- Koh, Y.-K., Oh, K.-H., Youn, S.-T., e Kim, H.-G. (2014). Geodiversity and geotourism utilization of islands: Gwanmae Island of South Korea. *Journal of Marine and Island Cultures* 3, 106–112.
- Kostopoulou, S., e Kyritsis, I. (2006). A tourism carrying capacity indicator for protected areas. *Anatolia: An International Journal of Tourism and Hospitality Research* 17, 5–24.
- Kozłowski, S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny* 52, 833–837.
- Lawson, S.R., Manning, R.E., Valliere, W.A., e Wang, B. (2002). Proactive monitoring and adaptive management of social carrying capacity in Arches National Park: an application of computer simulation modeling. *Journal of Environmental Management* 68, 305–313.
- Lepsch, I.F., Sakai, E., Prado, H., Menk, J.R.F., SAKAI, E., e RIZZO, L. (1999). Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos da região do Rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo. IAC, São Paulo. Mapa escala 1.

- Lessa, B. da C. (2006). Proposta de um método de análise de capacidade de carga turística para o empreendimento Ilha de Porto Belo-Ilha João da Cunha-(Município de Porto Belo/SC-Brasil). Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Itajaí.
- Liccardo, A., Piekarz, G., e Salamuni, E. (2008). Geoturismo em Curitiba (Mineropar).
- Lima, A.F.G. (2012). Estratégias de monitorização do geossítio" Ponta da Ferraria e Pico das Camarinhas", ilha de S. Miguel: contributo para a gestão sustentada do património geológico do Geoparque Açores. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- Lima, F.F. (2008). Proposta metodológica para a inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro. Universidade do Minho.
- Lima, F.J.S., e Marinho, M. de A. (2001). Laboratório II: Uma nova cavidade no bairro da Serra Iporanga/SP. Em Anais do 13th International Congress of Speleology, (Brasília DF), pp. 445–450.
- Lima, A., Nunes, J.C., e Brilha, J. (2017). Monitoring of the visitors impact at “Ponta da Ferraria e Pico das Camarinhas” geosite (São Miguel Island, Azores UNESCO Global Geopark, Portugal). *Geoheritage* 9, 495–503.
- Lobo, H. (2009). Zoneamento ambiental espeleológico (ZAE): aproximação teórica e delimitação metodológica. *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas* 2, 113–129.
- Lobo, H.A.S. (2006). O lado escuro do paraíso: espeleoturismo na Serra da Bodoquena, MS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Lobo, H.A.S. (2008). Ecoturismo e percepção de impactos socioambientais sob a ótica dos turistas no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira–PETAR. *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas* 1, 67–75.
- Lobo, H.A.S. (2011). Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (PETAR, Iporanga, SP). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- Lobo, H.A.S. (2015). Tourist carrying capacity of Santana cave (PETAR-SP, Brazil): a new method based on a critical atmospheric parameter. *Tourism Management Perspectives* 16, 67–75.
- Lobo, H.A.S. (2017). Entre 117 e 1344: qual o limite diário recomendável para a visita da caverna Santana (PETAR-SP)? *Revista Brasileira de Ecoturismo* 10, 645–669.
- Lobo, A.C., e Simões, L.L. (2010). Manual de monitoramento e gestão dos impactos da visita em unidades de conservação (Secretaria do Meio Ambiente).
- Lobo, H.A.S., e Zago, S. (2009). Impactos ambientais causados pela música e concentração de pessoas em um evento musical na gruta do Morro Preto (PETAR-SP). Em Congresso Brasileiro de Espeleologia, (Monte Claros, Minas Gerais), pp. 107–112.
- Lobo, H., Marinho, M. de A., Trajano, E., Scaleante, J., Rocha, B., Scaleante, O., e Laterza, F. (2010). Planejamento ambiental integrado e participativo na determinação da capacidade de carga turística provisória em cavernas. *Turismo e Paisagens Cársticas* 3, 31–43.

- Lobo, H.A.S., Veríssimo, C.U.V., Sallun Filho, W., Figueiredo, L.A.V. de, e Rasteiro, M.A. (2007). Potencial geoturístico da paisagem cárstica. *Global Tourism* 3, 1–20.
- Lobo, H.A.S., Perinotto, J.A. de J., e Boggiani, P.C. (2009). Capacidade de carga turística em cavernas: estado-da-arte e novas perspectivas. *SBE Espeleo-Tema* 20, 37–47.
- Lobo, H.A.S., Trajano, E., de Alcântara Marinho, M., Bichuette, M.E., Scaleante, J.A.B., Scaleante, O.A.F., Rocha, B.N., e Laterza, F.V. (2013). Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. *Tourism Management* 35, 234–243.
- Lobo, H.A.S., de Jesus Perinotto, J.A., e Boggiani, P.C. (2014). Monitoramento espeleoclimático do trecho turístico da Caverna Santana (PETAR, SP). *Mercator, Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará* 13, 227–241.
- Lozato-Giotart, J.-P. (1992). Geographical rating in tourism development. *Tourism Management* 13, 141–144.
- Lucchesi, S., e Giardino, M. (2012). The role of geoscientists in human progress. *Annals of geophysics* 55, 355–359.
- Manning, R.E. (2007). *Parks and carrying capacity: Commons without tragedy* (Washington: Island Press).
- Manosso, F.C. (2009). Geodiversidade, geoturismo e patrimônio geológico. *Perspectiva Geográfica* 4, 102–112.
- Manosso, F.C., e Nóbrega, M.T. (2016). Calculation of geodiversity from landscape units of the Cadeado Range region in Paraná, Brazil. *Geoheritage* 8, 189–199.
- Marinho, M. de A. (1992). Contribuição à geomorfologia cárstica do Vale do Betari, Iporanga–Apiaí, São Paulo.
- Martinez-Graña, A.M., Goy, J.L., e Cimarra, C. (2015). 2D to 3D geologic mapping transformation using virtual globes and flight simulators and their applications in the analysis of geodiversity in natural areas. *Environmental earth sciences* 73, 8023–8034.
- McIntyre, G. (1993). *Sustainable tourism development: guide for local planners*. (World Tourism Organization (WTO)).
- Medina, W.M. (2012). Propuesta metodológica para el inventario del patrimonio geológico de Argentina.
- Merigliano, L. (1990). Indicators to monitor the wilderness recreation experience. *Managing America's Enduring Wilderness Resource* (Lime DW), (ed) Tourism Center, University of Minnesota Extension Service. St. Paul, MN 156–162.
- Merigliano, L.L. (1987). The identification and evaluation of indicators to monitor wilderness conditions: Report to participants of a Delphi study. Moscow, ID: College of Forestry, Wildlife and Range Sciences, Forest, Wildlife and Range Experiment Station.
- Mitraud, S.F. (1998). *Uso Recreativo do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha: um exemplo de planejamento e implementação*. WWF Brasil, Brasília.

- MMA (2018). <http://www.mma.gov.br/> (acesso em 01 de novembro de 2018).
- Monteiro, C.A. de F. (1973). Dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo.
- Moreira, J.C. (2008). Patrimônio geológico em unidades de conservação: atividades interpretativas, educativas e geoturísticas.
- Moreira, J.C. (2011). Geoturismo e interpretação ambiental (SciELO-Editora UEPG).
- Nascimento, M.A.L., e Sousa, D.C. (2013). Projeto Patrimônio Geológico do Estado do Rio Grande do Norte: uma estratégia de geoconservação com base na identificação de geossítios. Em Simpósio de Geologia do Nortedese, (Gravatá), pp. 57–57.
- National Park Service (1993). VERP Implementation for Arches National Park (Denver, CO: U.S.).
- National Park Service. (1997). VERP: The Visitor Experience and Resource Protection (VERP) Framework—A Handbook for Planners and Managers (Denver, CO: U.S.).
- Newsome, D., e Dowling, R. (2018). Geoheritage and geotourism. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 305–321.
- Nghi, T., Nguyen, T.L., Nguyen, D.T., Dang, M., e Dinh, X.T. (2007). Tourism carrying capacity assessment for Phong Nha-Ke Bang and Dong Hoi, Quang Binh Province.
- Nieto, L.M. (2001). Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero* 112, 3–12.
- Oliveira, J.B., Camargo, M. de, Rossi, M., e Calderano Filho, B. (1999). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, SP (Brasil). Centro ...).
- ONU Brasil (2018). <https://nacoesunidas.org/tema/agenda2030/> (acesso em 01 de novembro de 2018).
- Palacio, J., Sánchez, J., e Schilling, M. (2016). Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: Situación y perspectivas nacionales (México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México).
- Passold, A.J. (2002). Seleção de indicadores para o monitoramento do uso público em áreas naturais. Universidade de São Paulo.
- Pazienza, P. (2004). A multidimensional tourism carrying capacity model: an empirical approach. Em XIII International Leisure and Tourism Symposium ESADE, (ESADE Business School), p.
- Pearl, R., e Reed, L.J. (1920). On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 6, 275.
- Pellitero, R., González-Amuchastegui, M.J., Ruiz-Flaño, P., e Serrano, E. (2010). Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a natural protected area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage* 3, 163–174.

- Pellitero, R., Manosso, F.C., e Serrano, E. (2014). Mid-and large-scale geodiversity calculation in fuentes carrionas (nw spain) and serra do cadeado (paraná, brazil): methodology and application for land management. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 97, 219–235.
- Pereira, R.G.F. de A. (2010). Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil). Tese de Doutorado. Universidade do Minho.
- Pereira, P., e Pereira, D. (2010). Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 16, 215–222.
- Pereira, P., e Pereira, D. (2012). ASSESSMENT OF GEOSITES TOURISTIC VALUE IN GEOPARKS: THE EXAMPLE OF AROUCA GEOPARK (PORTUGAL).
- Pereira, D.I., Pereira, P., Brilha, J., e Santos, L. (2013). Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environmental Management* 52, 541–552.
- Pereira, P., Pereira, D.I., e Alves, M.I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho natural park (Portugal). *Geographica Helvetica* 62, 159–168.
- Pires, F.A. (1988). Uma nova concepção para os ambientes do Grupo Açungui, na região de Iporanga e Apiaí, sul de São Paulo. Em *Congresso Brasileiro de Geologia*, p. 606e616.
- Pires, F.A. (1991). Faciologia e análise paleoambiental da Seqüência Depositional Furnas-Lajeado (Gr. Açungui), de idade proterozóica. *Revista Brasileira de Geociências* 21, 355–362.
- Pires, P.S. (2005). «Capacidade de carga» como paradigma de gestão dos impactos da recreação e do turismo em áreas naturais. *Revista Turismo em Análise* 16, 5–28.
- Ponçano, W.L., Carneiro, C.D.R., Bistrichi, C.A., DE ALMEIDA, F., e Prandini, F.L. (1981). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 94p. Publicação.
- Pontes, L., e de Paula, E.V. (2017). Capacidade de carga e análise de efetividade da revitalização de uma trilha interpretativa na RPPN Uru - Lapa/PR. Em *Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento*, (Campinas - São Paulo), pp. 1202–1213.
- Pralong, J.-P., e Reynard, E. (2005). A proposal for a classification of geomorphological sites depending on their tourist value. *Il Quaternario* 18, 313–319.
- Price, D. (1999). Carrying capacity reconsidered. *Population and Environment* 21, 5–26.
- PROARCA (2006). Informes de caracterización y determinación de la capacidad de carga turística en el Parque Nacional Cahuita (Costa Rica: Programa Ambiental Regional para Centroamérica, Componente de Áreas Protegidas y Mercadeo Ambiental, Proyecto).
- Prosser, C.D. (2013). Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 568–580.
- Prosser, C.D., Brown, E.J., Larwood, J.G., e Bridgland, D.R. (2013). Geoconservation for science and society—an agenda for the future. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 561–567.

- Queiroz, R.E., Anunciação Ventura, M., Guerreiro, J.A., e Tristão da Cunha, R. (2014). Carrying capacity of hiking trails in Natura 2000 sites: a case study from North Atlantic Islands (Azores, Portugal). *Revista de Gestão Costeira Integrada* 14, 233–242.
- Raimundo, S., e Vilani, J. (2000). Estudo de capacidade de carga e proposta de regulamentação do rafting no Núcleo Santa Virgínia–Parque Estadual da Serra do Mar (SP). Em CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, pp. 232–242.
- Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M., e Perrin, M. (1992). The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science* 258, 975–979.
- Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L., e Scapozza, C. (2007). A method for assessing the scientific and additional values of geomorphosites. *Geographica Helvetica* 62, 148–158.
- Reynard, E., Coratza, P., e Regolini-Bissig, G. (2009). *Geomorphosites* (Verlag Dr. Friedrich Pfeil Mnichov).
- Ríos-Jara, E., Galván-Villa, C.M., Rodríguez-Zaragoza, F.A., López-Uriarte, E., e Munoz-Fernández, V.T. (2013). The tourism carrying capacity of underwater trails in Isabel Island National Park, Mexico. *Environmental management* 52, 335–347.
- Romão, R.M.M., e Garcia, M. da G.M. (2017). Iniciativas de inventário e quantificação do patrimônio geológico no Brasil: Panorama atual. *Anuário do Instituto de Geociências* 40, 250–265.
- Ruchkys, U.A. (2007). Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. Instituto de Geociências/UFMG, Tese de Doutorado, Belo Horizonte. Disponível em: <http://goo.gl/gEVyxn>. Consultado em 17, 2015.
- Ruschmann, D., Rosa, R., e Weidgenant, P. (2006). A sustentabilidade como estratégia de desenvolvimento em empreendimentos turísticos–O caso da Ilha de Porto Belo/SC. Em *Anais do IV SemintUR–Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul*, (Caxias do Sul), p.
- Salinas, E., e Casas, O. (1992). La zonificación funcional y la planificación turística en áreas protegidas. *Flora, fauna y áreas silvestres* 14, 10–12.
- Sallun Filho, W. (2009). Geologia em planos de manejo: subsídios para zoneamento ambiental do Parque Estadual Intervales (PEI), Estado de São Paulo. *Geociências (São Paulo)* 28, 91–107.
- Santos, Á.R. (2004). A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquis à Rodovia dos Imigrantes (o Nome da Rosa).
- Santos, P.L. de A. (2014). Patrimônio geológico em áreas de proteção ambiental: Ubatuba-SP. Universidade de São Paulo.
- Saveriades, A. (2000). Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus. *Tourism management* 21, 147–156.
- SBE, S.B. de E. (2017). <http://www.cavernas.org.br/> (acesso em julho de 2017).
- Scaleante, J.A.B. (2003). Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas. Universidade Estadual de Campinas.

- Scaleante, J.A.B., Espinha, A.M.L., Labegalini, J.A., Rasteiro, M.A., Scaleante, O.A.F., e Scaggiante, V.F. (2009). Relatório final de diagnóstico de turismo para os planos de manejo espeleológico. São Paulo: Ekos Brasil.
- Serrano, E., e Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica* 62, 140–147.
- Serrano, E., e Ruiz-Flaño, P. (2009). Geomorphosites and geodiversity. *Geomorphosites* 49–61.
- Sgarbi, M. (2003). Metodologia de manejo em cavernas para minimização de impactos ambientais decorrentes de atividade antrópica: estudo de caso Gruta do Chapéu & Caverna Santana, Parque Estadual do Alto do Ribeira/SP. Mogi das Cruzes.
- Shaofeng, C. (2004). Carrying capacity: an overview. *Chinese Journal of Population Resources and Environment* 2, 35–40.
- Sharma, R. (2016). Evaluating total carrying capacity of tourism using impact indicators. *Global Journal of Environmental Science and Management* 2, 187–196.
- Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart.
- Shelby, B., e Heberlein, T.A. (1984). A conceptual framework for carrying capacity determination. *Leisure sciences* 6, 433–451.
- Shimada, H. (2013). Mina do Morro do Ouro, Apiaí, SP – a transformação em parque. *Boletim Paranaense de Geociências* 70, 180–189.
- Silva, A.C. (2002). Geoprocessamento e sensoriamento remoto como apoio ao planejamento territorial do município de Iporanga-SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Silva, R.P. (2017). Análise da capacidade de carga turística da Praia de Carcavelos. Dissertação de Mestrado. Universidade Europeia.
- Silva, J., Rodrigues, C., e Pereira, D.I. (2015). Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu river basin, Amazonia, Brazil. *Geoheritage* 7, 337–350.
- Silva, J.P., Pereira, D.I., Aguiar, A.M., e Rodrigues, C. (2013). Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. *Journal of Maps* 9, 254–262.
- Silva Schmitt, R., Trouw, R.A., Van Schmus, W.R., e Pimentel, M.M. (2004). Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research* 133, 29–61.
- Singh, S. (2006). What's wrong with carrying capacity for tourism? *Tourism Recreation Research* 31, 67–72.
- SMA, (2012). ZEE zoneamento ecológico-econômico: base para o desenvolvimento sustentável do estado de São Paulo (São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente).
- Soller, J.M.D., e Borghetti, C. (2013). Capacidade de carga turística: um estudo no Caminhos Rurais de Porto Alegre, RS. *Rosa dos Ventos-Turismo e Hospitalidade* 5, 511–527.

- Stankey, G.H., e Cole, D.N. (1998). Historical development of limits of acceptable change: conceptual clarifications and possible extensions. Em *Limits of acceptable change and related planning processes: progress and future directions*, (Ogden, EUA), pp. 5–9.
- Stankey, G.H., Cole, D.N., Lucas, R.C., Petersen, M.E., e Frissell, S.S. (1985). The limits of acceptable change (LAC) system for wilderness planning. *The limits of acceptable change (LAC) system for wilderness planning*.
- Stehmann, J.R., Forzza, R.C., Salino, A., Sobral, M., da Costa, D.P., e Kamino, L.H.Y. (2009). Plantas da floresta Atlântica (Jardim Botânico do Rio de Janeiro Rio de Janeiro).
- Sumner, E.L. (1936). Special report on a wildlife study of the High Sierra in Sequoia and Yosemite National Parks and adjacent territory (US Department of the Interior, National Park Service).
- Takahashi, L.Y. (1998). Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do estado do Paraná. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.
- Takahashi, L.Y., e Cegana, A.C. (2005). Como monitorar o impacto dos visitantes utilizando o sistema LAC-Limite Aceitável de Câmbio. *Revista Turismo em Análise* 16, 206–222.
- Theodorovicz, A. (2014). Geoparque Alto Vale do Ribeira: proposta. Preservação do patrimônio geológico. Visibilidade e desenvolvimento através do geoturismo (SBG/CPRM - Serviço Geológico do Brasil).
- Thomas, M. (2012). A geomorphological approach to geodiversity-its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones geographicae* 31, 81–89.
- TOMM (2000). Tourism optimisation management model (Ilha de Kangaroo, Austrália: TOMM Management Committee).
- TOMM (2016). TOMM Kangaroo Island Management Committee (Ilha de Kangaroo, Austrália: TOMM Management Committee).
- Trajano, E. (1986). Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista brasileira de Zoologia* 3, 533–561.
- Trajano, E. (2006). Sistema Areias. 100 anos de estudos (São Paulo: Redespeleo Brasil).
- Trompette, R., Egydio-Silva, M., Tommasi, A., Vauchez, A., e Uhlein, A. (1993). Amalgamação do Gondwana Ocidental no Panafricano-Brasiliano e o papel da geometria do Cráton do São Francisco na arquitetura da Faixa Ribeira. *Revista Brasileira de Geociências* 23, 187–193.
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Valeriano, C., Júnior, R.P., de Dios, F.B., Machado, N., do Eirado Silva, L.G., e de Almeida, J.C.H. (2012). Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro magmatic arc (Ribeira Belt, Brazil): implications for western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research* 21, 422–438.
- Wagar, J.A. (1964). The carrying capacity of wild lands for recreation. *Forest Science* 10, a0001-24.
- Wimbledon, W., Barnard, A., e Peterken, A. (2004). Geosite management—a widely applicable, practical approach. *Natural and cultural landscapes—the geological foundation*. Royal Irish Academy, Dublin 187–192.

- Worton, G.J. (2008). A historical perspective on local communities and geological conservation. Geological Society, London, Special Publications 300, 137–146.
- Zacarias, D.A. (2013). Avaliação da capacidade de carga turística para gestão de praias em Moçambique: o caso da Praia do Tofo. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13, 205–214.
- ZEE, Z.E.-E. (2002). Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. (Art.9o, Inciso II). Decreto no 4.297, de 10 de julho de 2002.
- Zelenka, J., e Kacetl, J. (2014). The concept of carrying capacity in tourism. *Economic Interferences* 16, 641–654.
- Zwoliński, Z. (2010). Aspekty turystyczne georóżnorodności rzeźby Karpat. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego*.
- Zwoliński, Z., e Stachowiak, J. (2012). Geodiversity map of the Tatra National Park for geotourism. *Quaestiones geographicae* 31, 99–107.
- Zwolinski, Z., Najwer, A., e Giardino, M. (2018). Methods for assessing geodiversity. Em *Geoheritage*, (Elsevier), pp. 27–52.

ANEXOS

ANEXO 1

Ficha de descrição de sítios geológicos

Nome do sítio geológico:

Município:	
Localização geográfica (coordenadas):	
Nome geográfico local:	
Tipo (área/ponto/mirante/seção:	
Dimensão:	
Regime de propriedade (pública/ privada):	
Regime de proteção:	
Acessibilidade:	
Justificativa do valor científico (quando aplicável):	
Elementos (geológicos) principais de interesse: (Descrição geológica)	
Uso potencial:	
Limitações ao uso:	
Outras informações:	

- Registro fotográfico: numeração da sequência de fotos do local.

ANEXO 2

Mapa Geológico do Parque Estadual Turístico Alto Ribeira

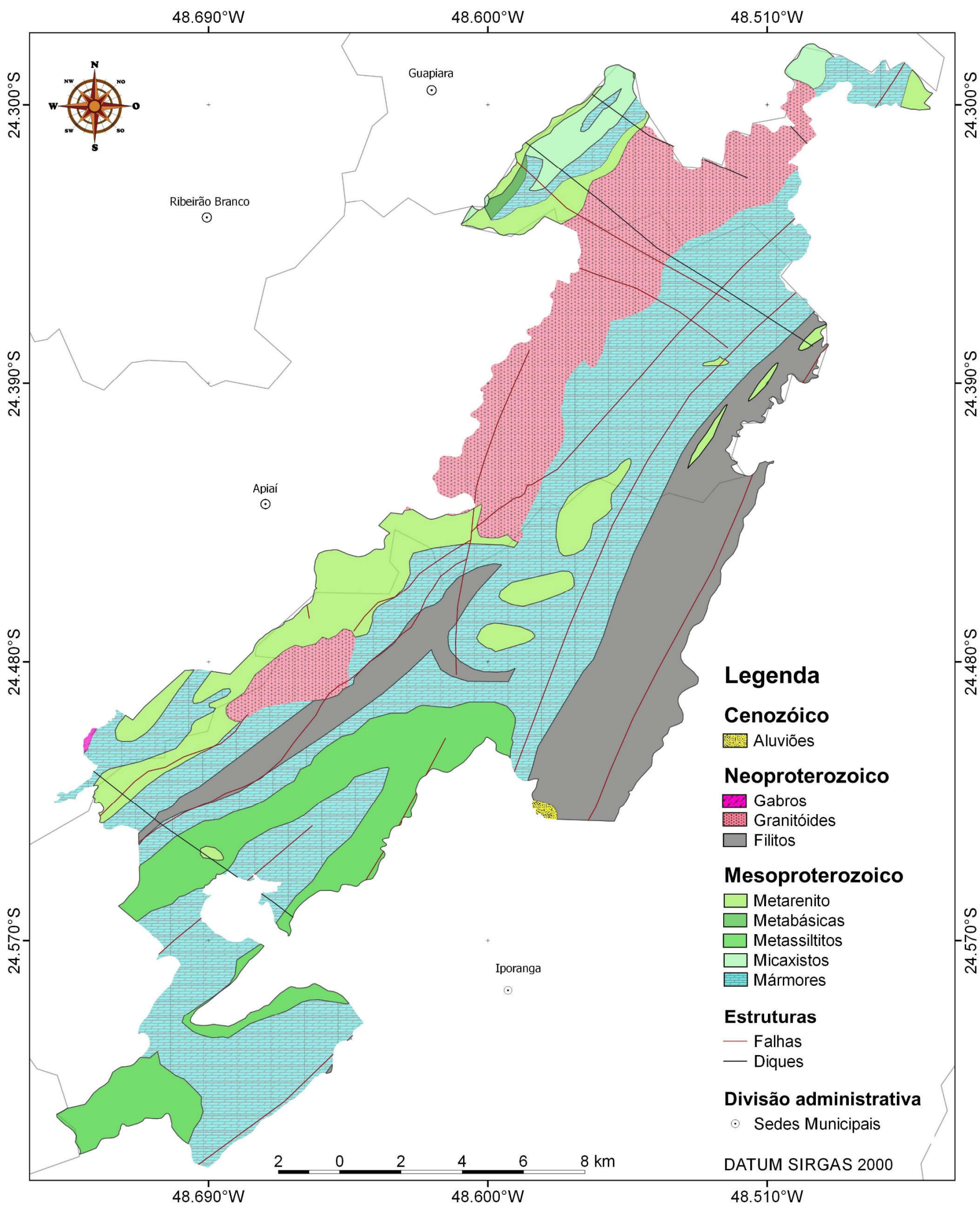


Figura 9. Mapa geológico do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP (2013), baseado em Campanha (2002).

ANEXO 3

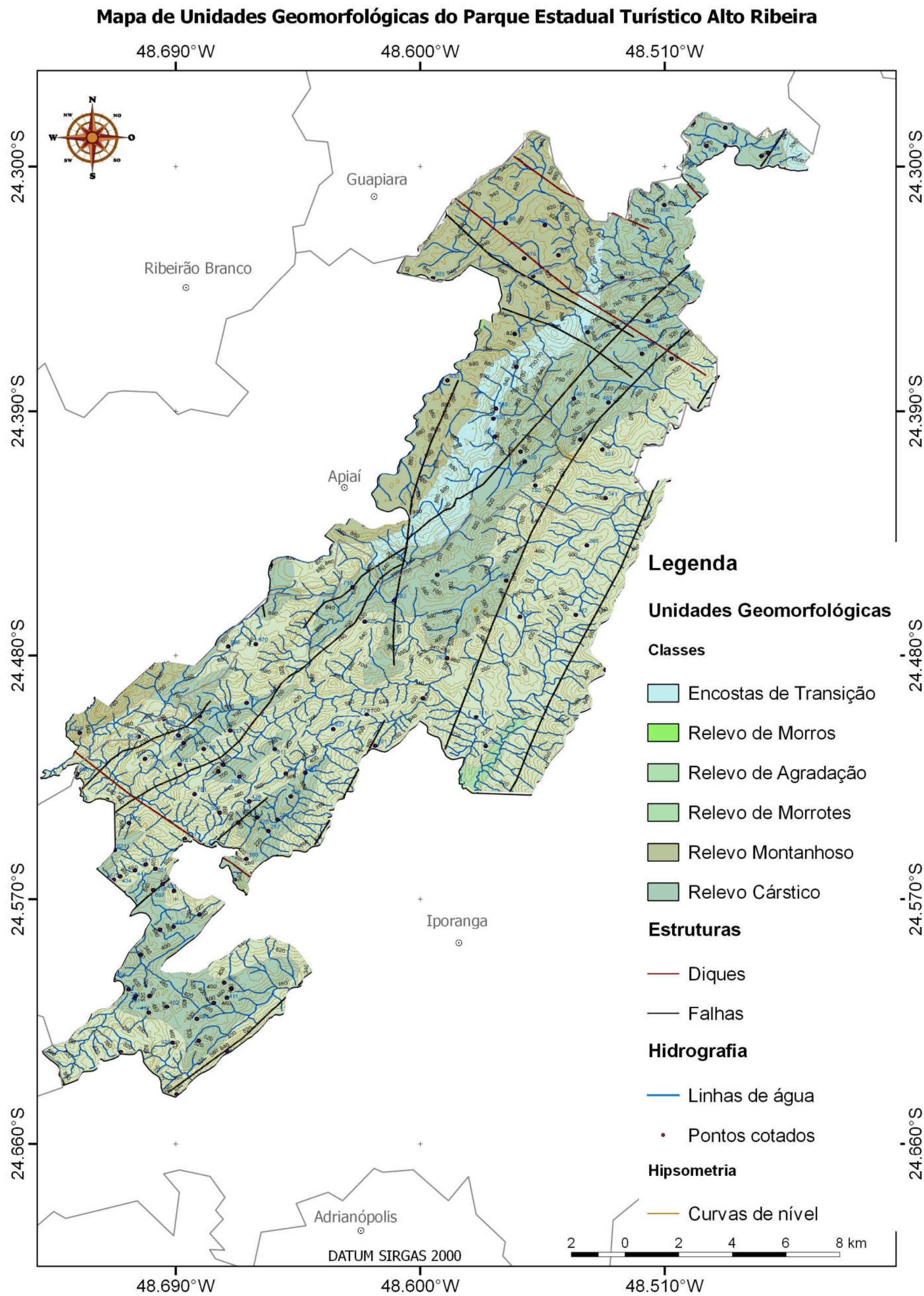


Figura 10. Mapa de Unidades Geomorfológicas do PETAR (escala 1: 125.000) adaptado de CBH-SP, (2013) baseado em Ross (2002).

ANEXO 4

Mapa de Sítios Geológicos Inventariados

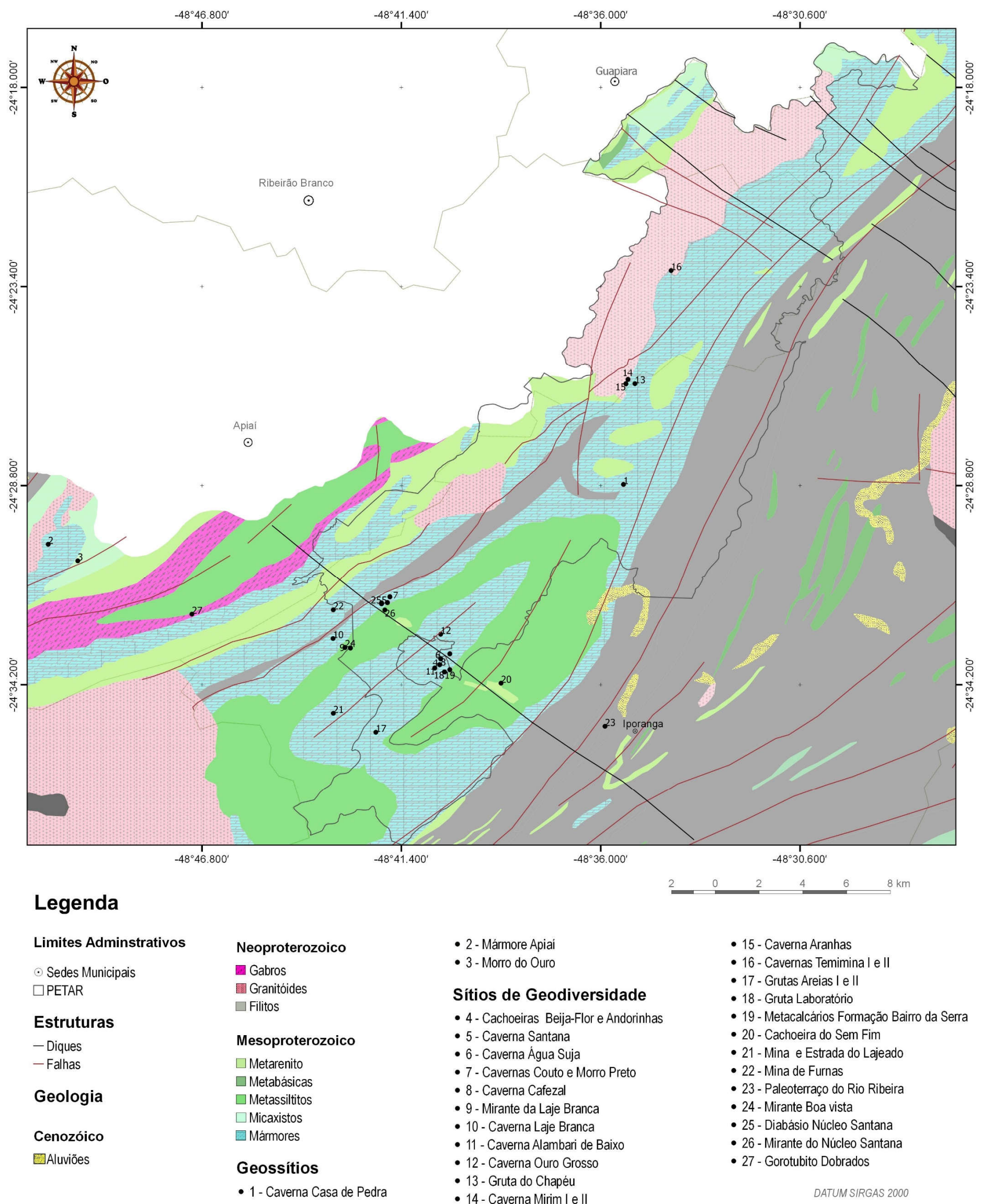


Figura 14. Mapa geológico com a localização dos sítios geológicos na região de estudo.

ANEXO 5

FICHA DE QUANTIFICAÇÃO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS_ GEOSIT_ CPRM (2017)

VALOR CIENTÍFICO

A1 - REPRESENTATIVIDADE	Pontuação
O local de interesse é o melhor exemplo, atualmente conhecido, na área de trabalho, para ilustrar elementos ou processos, relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	4
O local de interesse é um bom exemplo para ilustrar elementos ou processos relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	2
O local de interesse ilustra razoavelmente elementos ou processos relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	1
Não se aplica	0
A2 - LOCAL-TIPO	
O local de interesse é reconhecido como holotratótipo ou unidade litodêmica nos léxicos estratigráficos do Brasil e da Amazônia Legal ou documentos similares, ou é a fonte de um holótipo, neótipo ou lectótipo registrado em publicações científicas de acordo com o código (ICZN, ICBN ou ICN) vigente na época de descrição e cadastrado na Base de Dados Paleo da CPRM ou bases similares, ou é um sítio de referência IMA	4
O local de interesse é reconhecido, na área de trabalho, como local-tipo secundário, sendo a fonte de um parastratótipo, unidade litodêmica ou de um parátipo	2
O local de interesse é reconhecido, na área de trabalho, como um dos locais-tipo secundário, sendo a fonte de um ou mais parastratótipo, unidades litodêmicas, parátipo ou sintipo	1
Não se aplica	0
A3 - CONHECIMENTO CIENTÍFICO	
Existem artigos sobre o local de interesse em livro, revistas científicas internacionais, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	4
Existem artigos sobre o local de interesse em revistas científicas nacionais, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	2
Existem resumos apresentados sobre o local de interesse em anais de eventos científicos ou em relatórios inéditos, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	1
Não se aplica	0
A4 - INTEGRIDADE	
Os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) estão muito bem preservados	4
O local de interesse não está muito bem preservado, mas os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) ainda estão preservados	2

O local de interesse tem problemas de preservação e os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) estão alterados ou modificados	1
Não se aplica	0
A5 - DIVERSIDADE GEOLÓGICA	
Local de interesse com 5 ou mais tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	4
Local de interesse com 3 ou 4 tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	2
Local de interesse com 1 ou 2 tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	1
Não se aplica	0
A6 - RARIDADE	
O local de interesse é a única ocorrência deste tipo na área de estudo (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	4
Existem, na área de estudos, 2-3 exemplos de locais semelhantes (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	2
Existem, na área de estudos, 4-5 exemplos de locais semelhantes (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	1
Não se aplica	0
A7 - LIMITAÇÕES DE USO	
Não existem limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, etc.) para realizar amostragem ou trabalho de campo	4
É possível fazer amostragem ou trabalho de campo depois de ultrapassar as limitações existentes	2
A realização de amostragem ou trabalho de campo é muito difícil de ser conseguida devido à existência de limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, etc.)	1
Não se aplica	0

RISCO DE DEGRADAÇÃO

B1 - DETERIORAÇÃO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS	Pontuação
Possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos	4
Possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos	3
Possibilidade de deterioração dos elementos geológicos secundários	2
Existem reduzidas possibilidades de deterioração dos elementos geológicos secundários	1
Não se aplica	0
B2 - PROXIMIDADE A ÁREAS/ ATIVIDADES COM POTENCIAL PARA CAUSAR DEGRADAÇÃO	
Local de interesse situado a menos de 100 m de área/atividade com potencial para causar degradação	4

Local de interesse situado a menos de 500 m de área/atividade com potencial para causar degradação	3
Local de interesse situado a menos de 1000 m de área/atividade com potencial para causar degradação	2
Local de interesse situado a mais de 1000 m de área/atividade com potencial para causar degradação	1
Não se aplica	0
B3 - PROTEÇÃO LEGAL	
Local de interesse situado numa área sem proteção legal nem controle de acesso	4
Local de interesse situado numa área sem proteção legal, mas com controle de acesso	3
Local de interesse situado numa área com proteção legal, mas sem controle de acesso	2
Local de interesse situado numa área com proteção legal e com controle de acesso	1
Não se aplica	0
B4 - ACESSIBILIDADE	
Local de interesse situado a menos de 100 m de uma estrada asfaltada com local para estacionamento de veículos	4
Local de interesse situado a menos de 500 m de uma estrada asfaltada	3
Local de interesse acessível por veículo em estrada não asfaltada	2
Local de interesse sem acesso direto por estrada, mas situado a menos de 1 km de uma estrada acessível por veículos	1
Não se aplica	0
B5 - DENSIDADE POPULACIONAL	
Local de interesse localizado num município com mais de 1000 habitantes por km ²	4
Local de interesse localizado num município com mais de 250 -1000 habitantes por km ²	3
Local de interesse localizado num município com mais de 100 -250 habitantes por km ²	2
Local de interesse localizado num município com menos de 100 habitantes por km ²	1
Não se aplica	0

POTENCIAL USO TURÍSTICO E EDUCATIVO

C1 - VULNERABILIDADE	Pontuação
Os elementos geológicos do local de interesse não apresentam possibilidade de deterioração por atividade antrópica	4
Possibilidade de deterioração dos elementos geológicos secundários por atividade antrópica	3
Possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos por atividade antrópica	2

Possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos por atividade antrópica	1
Não se aplica	0
C2 - ACESSIBILIDADE	
Local de interesse situado a menos de 100 m de uma estrada asfaltada com local para estacionamento de veículos	4
Local de interesse situado a menos de 500 m de uma estrada asfaltada	3
Local de interesse acessível por veículo em estrada não asfaltada	2
Local de interesse sem acesso direto por estrada, mas situado a menos de 1 km de uma estrada acessível por veículo	1
Não se aplica	0
C3 - LIMITAÇÕES AO USO	
O local de interesse não tem limitações para ser usado por estudantes e turistas	4
O local de interesse pode ser usado por estudantes e turistas, mas apenas ocasionalmente	3
O local de interesse pode ser usado por estudantes e turistas, mas só depois de ultrapassar certas limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, marés, inundações, etc.)	2
O uso por estudantes e turistas é muito difícil de conseguir devido à dificuldade de ultrapassar certas limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, marés, inundações, etc)	1
Não se aplica	0
C4 - SEGURANÇA	
Local de interesse com infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimões, etc.) e rede de comunicações móveis a menos e situado a menos de 10 km de serviços de socorro	4
Local de interesse com infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimões, etc.) e rede de comunicações móveis a menos e situado a menos de 25 km de serviços de socorro	3
Local de interesse sem infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimões, etc.) mas com rede de comunicações móveis a menos e situado a menos de 50 km de serviços de socorro	2
Local de interesse sem infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimões, etc.) nem rede de comunicações móveis a menos e situado a menos de 50 km de serviços de socorro	1
Não se aplica	0
C5 - LOGÍSTICA	
Existem alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 15 km do local de interesse	4
Existem alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 50 km do local de interesse	3
Existem alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 100 km do local de interesse	2
Existem alojamentos para grupos de 25 pessoas a menos de 50 km do local de interesse	1

Não se aplica	0
C6 - DENSIDADE POPULACIONAL	
Local de interesse localizado num município com mais de 1000 habitantes por km ²	4
Local de interesse localizado num município com mais de 250 -1000 habitantes por km ²	3
Local de interesse localizado num município com mais de 100 -250 habitantes por km ²	2
Local de interesse localizado num município com menos de 100 habitantes por km ²	1
Não se aplica	0
C7 - ASSOCIAÇÃO COM OUTROS VALORES	
Existem diversos valores ecológicos e culturais a menos de 10 km do local de interesse	4
Existem diversos valores ecológicos e culturais a menos de 20 km do local de interesse	3
Existe um valor ecológico e um valor cultural a menos de 20 km do local de interesse	2
Existe um valor ecológico ou um valor cultural a menos de 20 km do local de interesse	1
Não se aplica	0
C8 - BELEZA CÊNICA	
Local de interesse habitualmente usado em campanhas turísticas do país, mostrando aspectos geológicos	4
Local de interesse ocasionalmente usado em campanhas turísticas do país, mostrando aspectos geológicos	3
Local de interesse habitualmente usado em campanhas turísticas locais, mostrando aspectos geológicos	2
Local de interesse ocasionalmente usado em campanhas turísticas locais, mostrando aspectos geológicos	1
Não se aplica	0
C9 - SINGULARIDADE	
Ocorrência de aspectos únicos e raros no país	4
Ocorrência de aspectos únicos e raros no estado	3
Ocorrência de aspectos únicos e raros na região	2
Ocorrência de aspectos comuns em várias regiões do país	1
Não se aplica	0
C10 - CONDIÇÕES DE OBSERVAÇÃO	
A observação de todos os elementos geológicos é feita em boas condições	4
Existem obstáculos que tornam difícil a observação de alguns elementos geológicos	3
Existem obstáculos que tornam difícil a observação dos principais elementos geológicos	2
Existem obstáculos que praticamente impossibilitam a observação dos principais elementos geológicos	1

Não se aplica	0
C11 - POTENCIAL DIDÁTICO	
Ocorrências de elementos geológicos que são ensinados em todos os níveis de ensino	4
Ocorrências de elementos geológicos que são ensinados nas escolas de ensino básico	3
Ocorrências de elementos geológicos que são ensinados nas escolas de ensino secundário	2
Ocorrências de elementos geológicos que são ensinados no ensino superior	1
Não se aplica	0
C12 - DIVERSIDADE GEOLÓGICA	
Ocorrem mais de 5 tipos de elementos da geodiversidade (mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	4
Ocorrem mais de 3 ou 4 tipos de elementos da geodiversidade	3
Ocorrem mais de 2 tipos de elementos da geodiversidade	2
Ocorre apenas 1 tipo de elementos da geodiversidade	1
Não se aplica	0
C13 - POTENCIAL PARA DIVULGAÇÃO	
Ocorrência de elementos geológicos que são evidentes e perceptíveis para todos tipos de público	4
O público necessita de algum conhecimento geológico para entender os elementos geológicos que ocorrem no sítio	3
O público necessita de bons conhecimentos geológicos para entender os elementos geológicos que ocorrem no sítio	2
Os elementos geológicos que ocorrem no sítio apenas são evidentes e perceptíveis que quem possui graduação em geociências	1
Não se aplica	0
C14 - NÍVEL ECONÔMICO	
Local de interesse localizado num município com pelo menos o dobro do IDH que se verifica no estado	4
Local de interesse localizado num município com IDH superior ao que se verifica no estado	3
Local de interesse localizado num município com IDH igual ao que se verifica no estado	2
Local de interesse localizado num município com IDH inferior ao que se verifica no estado	1
Não se aplica	0
C15 - PROXIMIDADE A ZONAS RECREATIVAS	
Local de interesse localizado a menos de 5 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	4
Local de interesse localizado a menos de 10 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	3
Local de interesse localizado a menos de 15 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	2

Local de interesse localizado a menos de 20 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	1
Não se aplica	0

Adaptado de:

BRILHA, José (2015) Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, Review Article, DOI:10.1007/s12371-014-0139-3, jan.2015. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/270876577>.

Referências Bibliográficas:

BRILHA, José (2005) Patrimônio Geológico e Geoconservação: A Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. Palmage Editores.

GARCIA-CORTÉS et al. (2009) Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España

ANEXO 6

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS_GEOSSIT 2017

Local-tipo - Área de exposição (ou testemunho de sondagem ou mina) que constitui uma parte essencial do estabelecimento de uma unidade estratigráfica formal. É o local geográfico específico em que está localizado o estratótipo de uma unidade estratigráfica acamadada. O nome também inclui o local onde a unidade foi descrita e/ou nomeada originalmente. Quando as unidades forem compostas de rochas ígneas ou metamórficas não-acamadadas, o local-tipo é o local geográfico específico onde a unidade foi definida originalmente (Guia Estratigráfico Internacional).

Área-tipo ou região-tipo - É a área geográfica ou região que compreende o estratótipo ou local-tipo de uma unidade ou limite estratigráfico (Guia Estratigráfico Internacional).

Estratótipo (seção-tipo) - É uma sucessão de estratos específica com limites bem definidos, usados como referência e na caracterização de unidades estratigráficas (como por exemplo: limites estratigráficos, andares, períodos, entre outros). Para esta sucessão estratigráfica ascender a estratótipo tem que ser aprovado por comitês autorizados de correlação geológica (Guia Estratigráfico Internacional).

Holostratótipo é o estratótipo que foi inicialmente designado na primeira definição de uma unidade ou limite.

Parastratótipo é um complemento da definição de holostratótipo, ou seja, para além de definir o holostratótipo, define-se um ou mais parastratótipos, e que normalmente estão localizados dentro da área-tipo, ou seja vem completar a informação já obtida.

Holótipo – exemplar único, designado ou indicado como espécime-tipo de um táxon nominal do grupo da espécie, por ocasião da publicação original

Parátipo - todo espécime de uma série-tipo além do holótipo.

Neótipo - exemplar único designado como o espécime-tipo de um táxon nominal do grupo da espécie, nos casos em que o holótipo, lectótipo e todos os parátipos, paralectótipos ou sítipos, foram perdidos ou destruídos.

Sítipo - cada exemplar de uma série-tipo da qual não se designou holótipo.

Lectótipo - um, dentre vários sítipos, designado como o espécime-tipo de um táxon nominal do grupo da espécie. Essa designação é feita somente quando o autor original não designou um holótipo. Unidade litodêmica - Massa(s) rochosa(s) definida por características próprias distintas das rochas associadas, tais como corpos intrusivos, zonas tectonizadas com deformações e/ou metamorfismos típicos, e que, apesar de não seguir as regras da sucessão ou superposição de camadas das unidades litoestratigráficas, pode ser delimitada e estratigraficamente mapeada por essas suas características próprias.

Distinguem-se as seguintes unidades litodêmicas:

- **Litodema:** é a unidade fundamental na classificação litodêmica. O litodema inclui rochas ígneas, deformadas ou metamórficas de alto grau, geralmente não são tabulares devendo ser mapeável em superfície ou em subsuperfície. Unidades hierarquicamente inferiores ao litodema são consideradas informais.
- **Suíte** (suíte intrusiva, suite plutônica, suite metamórfica) é a unidade litodêmica imediatamente superior ao litodema.

Ela é formada por dois ou mais litodemas associados de uma mesma classe (ex. plutônico, metamórfico). A suite é comparável à categoria de grupo da unidade litoestratigráfica.

- **Supersuíte** é a unidade imediatamente acima da hierarquia da suite. Ela compreenderá duas ou mais suítes.
- **Complexo** é a reunião ou mistura de duas ou mais classes genéticas (ex. ígneas, metamórficas). O nome complexo pode ser dado a estruturas altamente complicadas ou não tão complicadas.

ICZN – International Code of Zoological Nomenclature

ICBN - International Code of Botanical Nomenclature

ICN - International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)

IMA -International Mineralogical Association

ANEXO 7

Descrição resumida dos principais geoindicadores propostos. Modificado de <http://www.lgt.lt/geoin/>. (Fonte: Hirai e Augusto Filho, 2008)

Geoindicador	Variações detetáveis	Parâmetros	Ambiente aplicável	Característica do monitoramento*	Limitações
Erosão de solos e sedimentos	Estabilidades de taludes, nível de saturação, uso do solo, topografia, clima, permeabilidade do solo, cobertura vegetal, contaminação.	Taxa de erosão, movimentos do solo, quantidade de sedimentos, qualidade da água, profundidade de corpos de água, luminosidade.	Em qualquer área na superfície terrestre, em especial onde há perturbações por alguma razão e áreas com inclinações acentuadas, cobertas por solo ou sedimentos.	A identificação das erosões pode ser feita por técnicas padronizadas (uso de estacas, fotografias de pontos de referência). A taxa de erosão pode ser determinada por meio de modelos numéricos. A escala de aplicação é desde a bacia hidrográfica a continental. A frequência de medição depende das condições locais e dos parâmetros a serem mensurados.	Irregularidade de distribuição no tempo e no espaço da erosão impede a sua representação a partir de um sítio particular, remetendo a vários monitoramentos, o que limita a validade dos dados obtidos.
Qualidade do solo	Processos físicos, químicos e biológicos no solo, risco de erosões, uso do solo, clima, composição atmosférica, contaminação.	Taxa de erosões, Características químicas e físicas do solo.	Em quaisquer áreas, mas com maior ênfase em áreas agrícolas e desflorestadas.	Em regiões não perturbadas e perturbadas com o objetivo de comparar os dados em cada local. Medições de variáveis de qualidade química (pH, conteúdo de matéria orgânica, relação de sódio absorvido, capacidade de	Necessidade de instalar vários sítios de monitoramento, uma vez que as propriedades do solo variam amplamente tanto vertical quanto horizontalmente, dificultando a obtenção de uma amostra

				troca e saturação de cátions) e de variáveis físicas (textura, capacidade de retenção de água, tamanho e estabilidade de agregados). Escala de aplicação local a regional. Frequência da medição varia de 1 a 10 anos dependendo das condições locais.	representativa da área.
Geoindicador	Variações detetáveis	Parâmetros	Ambiente aplicável	Característica do monitoramento*	Limitações
Escorregamentos e avalanches	Estabilidade do talude, risco de movimentos de massa, uso do solo, grau de saturação, umidade, cobertura vegetal, precipitação, temperatura.	Inclinação do talude, ocorrência de falhas e rupturas. Solo, vegetação.	Taludes abruptos, suaves a médios, taludes junto a corpos de água. Áreas com presença de rocha fraturada, argila e silte que podem se liquefazer. Solos.	Monitoramento a ser instalado nos topos das áreas com escorregamento. Medição da evolução de rupturas, subsidências e elevações do terreno e de ruídos com averiguação em profundidade. Complementação dos dados com fotos aéreas e a observação da cobertura vegetal Escala de aplicação meso escalar a continental. Frequência da medição dependente da ruptura e da deformação do terreno sendo	Quantidade elevada de dados envolvidos. As rupturas podem ocorrer segundos antes do processo ou muito antes. Dificuldade na análise de fotos aéreas e imagens de satélites, em função de fatores como interpretação, resolução, custo, etc.

				intensificada na ocorrência de deflagradores (chuva intensa, atividades humanas).	
Carstificação	Química e fluxo de águas subterrâneas, composição atmosférica, clima, cobertura vegetal, uso do solo, contaminação, risco de ocorrência de subsidências e colapsos. Resistência do terreno.	Qualidade de águas. Nível de água, permeabilidade e porosidade, sentido de fluxo das águas.	Terrenos carbonáticos de áreas úmidas de qualquer clima. Regiões áridas.	Medição em cavernas para a análise de qualidade de água, direção de fluxo (por meio de traçadores), permeabilidade de aquíferos cársticos, caracterização mineralógica e geoquímica. Frequência de monitoramento contínuo dada a mudança drástica na qualidade da água e do meio, com inundações repentinas dos sistemas cársticos (caverna).	Caráter repentino de mudança na qualidade da água e ocorrência de dissolução de rochas. Necessidade de conhecimento do movimento de águas subterrâneas que controlam as feições em superfície. Pequeno período de duração das feições em razão de sua instabilidade.
Geoindicador	Variações detetáveis	Parâmetros	Ambiente aplicável	Característica do monitoramento*	Limitações

Sequência e composição de sedimentos	Ocorrência de deslizamentos e erosões, remoção de sedimentos da superfície, uso do solo, topografia, clima, deposição.	Humidificação. Conteúdo mineral. Elemento principal. Elementos-traço. Isótopos geoquímicos estáveis. Poluentes específicos, sílica biogênica. Restos de fósseis.	Onde a água permite o acúmulo de sedimentos (lagos, lagoas, açudes, fiordes, baías). Apesar da sua utilidade, depósitos de rios apresentam imprecisões relacionadas com a localização, exceto nas curvas de rios meândricos e aqueles abandonados.	Em áreas de topografia baixa que permite escoamento mais lento e a deposição de sedimentos, depósitos em lagos sem saídas (endorreicos) (armazenam os sedimentos provenientes da bacia de drenagem). Informações das condições climáticas do passado podem ser identificadas por meio de análise de sedimentos presentes no interior de gelos. Uso de isótopos para a datação e de ondas acústicas para a avaliação da sequência de sedimentos. Escala de aplicação regional a global. Frequência mínima de medição de 5 anos, podendo ser menor dependendo da taxa de deposição.	Dificuldade de coleta, preservação e entalhamento cronológico dos sedimentos. Possibilidade de dados do passado dependentes do grau de deposição e de conservação dos sedimentos. Sistemas abertos tendem a sofrer influências de outros processos e de organismos.
--------------------------------------	--	--	--	---	---

* Escala de aplicação segue o padrão da ecologia: local (0 a 1 km), paisagístico (1 a 10 km), meso escalar (10 a 100 km), regional (100 a 1000 km) e continental (1000 a 10000 km).