

# A Ciência Cidadã como Abordagem Promissora para o Monitoramento de Cavernas em Áreas Protegidas

Gabrielle Abreu Nunes <sup>I</sup>

Victor Eduardo Lima Ranieri <sup>II</sup>

**Resumo:** As cavernas possuem um elevado valor turístico devido à sua geologia e biodiversidade únicas, o que torna o monitoramento contínuo essencial para a preservação de seus serviços ecossistêmicos. Este artigo teve como objetivo avaliar o potencial da ciência cidadã no monitoramento ambiental de cavernas em Unidades de Conservação, buscando envolver diversos atores na conservação desses ambientes. A pesquisa, qualitativa e inédita para esse contexto, utilizou a metodologia de revisão bibliográfica e questionários direcionados a especialistas de quatro Parques Estaduais do Vale do Ribeira (SP). Foram analisados 60 artigos internacionais e coletadas as respostas de 20 pesquisadores da região. Através de uma Análise de Conteúdo, foram identificadas 17 boas práticas, 20 desafios e 13 indicadores de monitoramento participativo para o uso público em cavernas. Os resultados permitiram identificar possíveis lacunas de pesquisa e propor direcionamentos para futuras aplicações dessa abordagem em ambientes subterrâneos.

<sup>I</sup> Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.

**Palavras-chave:** Áreas protegidas; monitoramento participativo; ambientes subterrâneos; uso público; parques.

São Paulo. Vol. 28, 2025

*Artigo Original*

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc01841vu28L4AO>

## Introdução

As Unidades de Conservação (UCs) são áreas protegidas essenciais para preservar características naturais e culturais de um ambiente, particularmente diante da ocupação desordenada da terra e do uso predatório dos recursos naturais (BENSUSAN, 2009). Para assegurar sua efetiva proteção, a Lei 9.985/2000 exige que cada UC disponha de um plano de manejo, documento que orienta ações de gestão, pesquisa e monitoramento (BRASIL, 2000). Esse monitoramento é fundamental para enfrentar desafios como ameaças à biodiversidade, recursos financeiros limitados e a escassez de profissionais qualificados.

O uso público em UCs engloba atividades que permitem à sociedade acessar e usufruir dessas áreas de forma controlada e planejada (BRASIL, 2000). Esse uso promove a aproximação da população com a natureza, incentivando a conservação e oferecendo oportunidades de aprendizado e engajamento. As atividades variam de recreativas a científicas e educativas (MMA, 2005). O aumento da visitação, especialmente em parques, exige diretrizes que garantam a conservação como prioridade (VALLEJO, 2013).

No Estado de São Paulo, há 60 Unidades de Conservação registradas como Parques (MMA/CNUC, 2020). Essa categoria de UC é crucial para as estratégias de conservação e exemplifica os desafios de gestão decorrentes da histórica separação entre sociedade e natureza (IRVING; MATOS, 2006). Tal fato se deve pelos parques possuírem a finalidade de conciliar a proteção integral da flora, fauna e belezas cênicas com a utilização da área para fins educativos, turísticos e científicos (BRASIL, 2000).

Segundo o banco de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBIO, 2018), no estado de São Paulo, apenas oito parques estaduais possuem cavernas registradas no banco de dados: PE Intervalles, PE Turístico do Alto do Ribeira, PE Ilha do Cardoso, PE Serra do Mar, PE Caverna do Diabo, PE Carlos Botelho e PE Rio Turvo. A maior concentração de cavernas fica no Vale do Ribeira, região que abriga um dos mais importantes remanescentes da Mata Atlântica, tombado como Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO.

Uma problemática referente à deficiência no monitoramento ambiental nesses ambientes tem sido alertada há tempos. Trajano e Bichuette (2006) já apontavam a urgência em definir formas mais eficientes de monitoramento para atingir seus objetivos de conservação. Segundo as mesmas autoras, esses ambientes são frágeis e delicados, com ecossistemas únicos, que podem exercer um importante papel no armazenamento estratégico de água, como a recarga de aquíferos, registros arqueológicos e geológicos. Sua proteção depende de ações de conservação tanto do entorno dessas cavidades, como do ambiente interno (TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

A implementação de programas participativos de monitoramento ambiental em Unidades de Conservação (UCs) tem se mostrado eficaz para engajar a sociedade na conservação da biodiversidade e promover o diálogo sobre a importância das áreas protegidas (ORTEGA-ÁLVAREZ et al., 2017; DANIELSEN et al., 2009).

No Brasil, já foram registradas 275 iniciativas de ciência cidadã na plataforma Cívica, que reúne e categoriza projetos de participação pública na produção científica (CÍVICA, 2025). Esses dados evidenciam o crescimento da prática no país, apesar de desafios estruturais e de governança já discutidos por Queiroz-Souza et al. (2023), como a sustentabilidade dos projetos, a articulação com políticas públicas e a inclusão social nas ações participativas.

A ciência cidadã deve ser compreendida de forma ampla, abrangendo uma variedade de parcerias entre cientistas e interessados na ciência, visando à produção compartilhada de conhecimentos baseados na prática científica e na integração com outros saberes (RBCC, 2023). Nunes et al. (2023) descrevem essa abordagem como um termo guarda-chuva em áreas protegidas, englobando exemplos que vão desde a observação de aves, que atrai visitantes do mundo todo, até a observação de mamíferos, invertebrados e paisagens (MAMEDE; BENITES; ALHO, 2017).

Além de contribuir para a coleta de dados, a ciência cidadã se destaca por engajar o público na conservação de espécies ameaçadas, equilibrando educação, gestão ambiental, pesquisa e desenvolvimento social (FREITAG, 2016; NUNES et al., 2023). Dada o seu potencial e a falta de estudos sobre a sua aplicação em ambientes subterrâneos, este artigo propõe explorar as potencialidades do monitoramento ambiental de cavernas em UCs, fundamentando-se nos princípios da ciência cidadã.

## Metodologia

A metodologia consistiu em uma primeira etapa de revisão bibliográfica nas plataformas SciVerse Scopus e Web of Science, escolhidas por sua abrangência e relevância na indexação de artigos científicos. A revisão englobou o período de 2009 a 2019, utilizando inicialmente as palavras-chave que incluíam a intersecção de termos relacionados à ciência cidadã e ambientes cavernícolas. No entanto, não foram encontrados artigos que abordassem a ciência cidadã no contexto de cavernas, evidenciando a escassez de estudos nessa área e o caráter único deste trabalho. Em seguida, foi realizada uma nova busca excluindo os termos referentes às cavernas ("cave\*" OR "underground environments\*"), fixando a equação de busca em: ("citizen science" OR "community-based monitoring") AND ("protected area\*" OR "natural heritage\*").

Os critérios de elegibilidade incluíram: 1) idioma, restringindo a busca a artigos em português, inglês ou espanhol para assegurar a compreensão e análise dos textos; 2) área do conhecimento, limitando a seleção a documentos das áreas ambiental e/ou social, devido à natureza interdisciplinar do tema; 3) acesso, considerando apenas artigos de acesso aberto ou disponíveis através do portal de periódicos da CAPES, garantindo a acessibilidade para análise; e 4) relevância, selecionando apenas documentos que apresentassem contribuições claras sobre boas práticas e obstáculos da ciência cidadã.

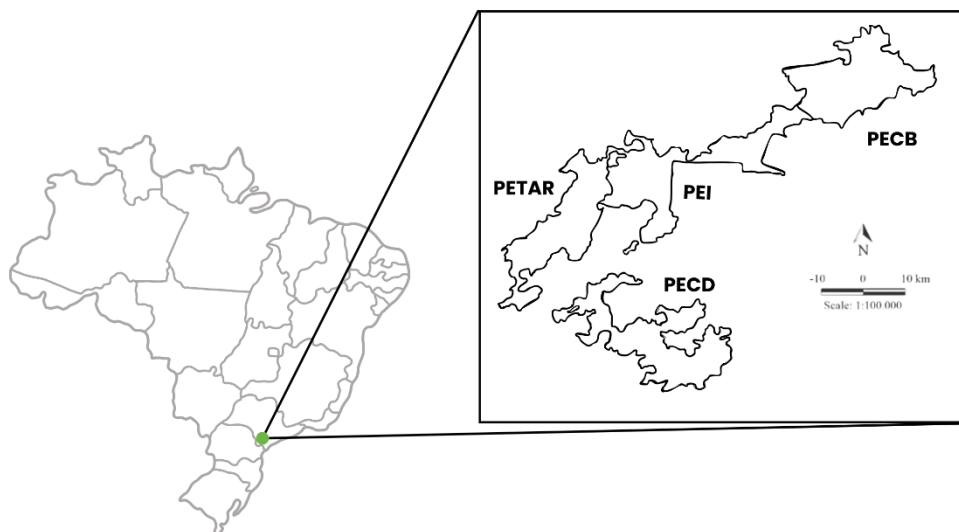
Os resultados foram submetidos a uma Análise de Conteúdo, uma técnica que explora explicitamente o texto para extrair indicadores que suportem inferências (BARDIN,

2011). As etapas incluíram uma pré-análise (organização), exploração do material (codificação e categorização), tratamento dos resultados, seguido de inferência e interpretação. Utilizando este método, os dados foram categorizados em Boas Práticas e Desafios, com subcategorias relacionadas a dimensões da aplicação da ciência cidadã em áreas protegidas no mundo: Comunidade, Governança, Pesquisa, Gestão e Economia.

A fim de compreender a aplicabilidade da ciência cidadã no monitoramento de cavernas protegidas no Brasil, escolhemos o Vale do Ribeira como área de estudo devido à sua singularidade. Localizado no estado de São Paulo, essa região é notável pela presença de diversas comunidades quilombolas e indígenas que mantêm vivas suas tradições culturais e modos de vida ancestrais. Além disso, o Vale do Ribeira contém o maior trecho contínuo de Mata Atlântica preservada no país, o que o torna um refúgio significativo tanto para a biodiversidade quanto para a espeleologia.

Com base na importância ecológica e cultural da região, foi realizado um levantamento dos indicadores de uso público contidos nos planos de manejo dos quatro principais parques estaduais da região que possuem cavernas abertas à visitação: Parque Estadual de Intervales, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, Parque Estadual Caverna do Diabo e Parque Estadual Carlos Botelho (Figura 1). Esse levantamento visou identificar quais indicadores poderiam ser monitorados por cidadãos comuns, promovendo a participação ativa da comunidade na conservação desses valiosos ambientes naturais.

**Figura 1. Localização dos Parques do Vale do Ribeira selecionados neste estudo, São Paulo: Parque Estadual Turístico Alto do Ribeira (PETAR), Parque Estadual de Intervales (PEI), Parque Estadual Carlos Botelho (PECB), Parque Estadual Caverna do Diabo**



Fonte: Os autores, 2025.

A etapa final consolidou os dados da revisão de literatura e dos planos de manejo para fundamentar a elaboração de um questionário online com questões semiabertas, organizadas em seções sobre desafios, boas práticas e recomendações. O objetivo foi avaliar a aplicabilidade dessa abordagem em cavernas protegidas paulistas. Esse questionário foi enviado a 40 especialistas atuantes na região do Vale do Ribeira (Figura 1), selecionados por meio de uma busca no site da Sociedade Brasileira de Espeleologia, utilizando como critério grupos cadastrados no Estado de São Paulo. De acordo com Gil (1999), o questionário é uma técnica de investigação eficaz, pois permite alcançar muitas pessoas, reduzir custos, garantir o anonimato das respostas e proporcionar flexibilidade na resposta, sem a influência direta do entrevistador. Este método foi aprovado pelo Comitê de Ética na Plataforma Brasil (CAAE: 30608820.2.0000.5390).

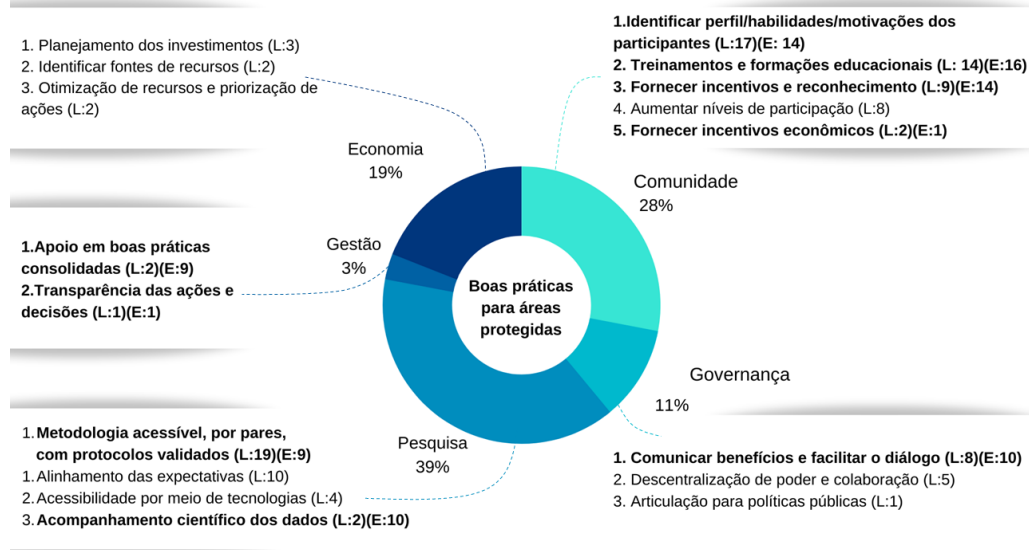
## **Resultados e Discussão**

O conjunto de resultados obtidos oferece um panorama abrangente sobre os desafios e as potencialidades da aplicação da ciência cidadã no monitoramento de cavernas. A revisão bibliográfica identificou 300 artigos, dos quais 60 foram selecionados e analisados de acordo com critérios definidos. A análise dos planos de manejo destacou os desafios e indicadores específicos para a região do Vale do Ribeira. Além disso, os questionários enviados a 40 pesquisadores de instituições brasileiras obtiveram 20 respostas, representando um retorno de 50% do total. Apesar dessa taxa de resposta, esta pesquisa qualitativa inédita se mostra relevante, pois preenche lacunas importantes na temática abordada.

### **Boas práticas da ciência cidadã em ambientes cavernícolas**

A fim de compreender as melhores práticas metodológicas adequadas para a realidade socioambiental da área de estudo, este tópico apresenta os resultados da literatura em conjunto com as respostas dos pesquisadores para a seguinte pergunta semiaberta: “Dentre as boas práticas identificadas na literatura, quais delas você considera importante durante o processo de implementação de um programa de monitoramento baseado em ciência cidadã?”. Como resultado, foram identificadas 17 recomendações provenientes da revisão, das quais 9 foram reafirmadas pelos especialistas consultados (Figura 2).

**Figura 2. Boas práticas levantadas baseadas na revisão bibliográfica e nas respostas dos questionários. Em “(...)” se encontra o número de vezes que uma boa prática foi citada por “L” = literatura da revisão e posteriormente pelos “E” = especialistas consultados, linhas em negrito.**



Fonte: Os autores, 2025.

O acompanhamento científico dos dados em um monitoramento baseado em ciência cidadã foi uma das principais preocupações expressas pelos respondentes do questionário. Em uma das respostas, um participante destacou: “Se ocorrer de forma organizada, coletiva e, na maioria das vezes, com a participação de pesquisadores, não vejo por que a ciência cidadã não seria uma boa ideia”. Essa recomendação é especialmente relevante para ambientes sensíveis, como as cavernas, em estudos preliminares (TOOMEY *et al.*, 2009; TRIMBOLI; TOOMEY, 2016).

Alguns especialistas sugeriram em suas respostas que seria vantajoso vincular os projetos de ciência cidadã a instituições que desenvolvem pesquisa ou atividades de educação espeleológica. A inclusão de universidades pode trazer benefícios significativos, como garantir a robustez científica e otimizar recursos (STEGER *et al.*, 2017). Além disso, segundo Volten *et al.* (2018), instituições acadêmicas podem apoiar essas iniciativas com suas habilidades profissionais, infraestrutura existente, redes interdisciplinares e plataformas de ciência cidadã.

No quesito acesso e transparência dos dados, a ciência cidadã pode ser vista como parte do movimento da ciência aberta, que inclui o livre acesso à publicação, software de código aberto e padrões de dados abertos. Nesse sentido, um especialista trouxe que “as instituições e seus pesquisadores que executam projetos de C.C. devem ser incentivados a aderir a práticas abertas”. Além disso, a total transparência dos objetivos da

pesquisa, protocolo de pesquisa e técnicas de análise garantem a confiança dos cidadãos participantes e a documentação completa da qualidade e reprodutibilidade dos resultados (BROWN *et al.*, 2018).

Quanto às metodologias para assegurar a qualidade e confiabilidade dos dados, a literatura aponta que aspectos como estabelecer protocolos bem definidos para cada etapa, ter um controle na coleta dos dados e garantir a robustez estatística, são primordiais no delineamento do projeto (TORNEY *et al.*, 2019). Contudo, a certificação dos métodos junto à especialistas se faz necessária em locais sensíveis (BIRD *et al.*, 2013), como o caso de ambientes cavernícolas. Aspectos como envolver muitos indivíduos poderá levar a uma diminuição da precisão nas medições, como na identificação ou contagem de espécies. Além disso, fontes de viés podem estar presentes nos dados, como a subdetecção de espécies ou distribuição não aleatória do esforço (NEWMAN *et al.*, 2011).

A literatura e os especialistas enfatizaram a importância de garantir que a coleta de dados inclua a participação de indivíduos com diferentes perfis. Bird *et al.* (2013) ressaltam que a colaboração entre estatísticos e voluntários é fundamental para compreender as possíveis limitações da amostragem, o que pode envolver um processo de tentativa e erro. Dada a ampla variedade de abordagens de modelagem disponíveis, é crucial identificar as lacunas nos conjuntos de dados, entender como eles impactam a pesquisa em questão e, então, escolher o método mais adequado para enfrentá-los (BIRD *et al.*, 2013).

Em termos de minimização de vieses, foi recomendado por um especialista: “é vital registrar dados sobre aspectos do ambiente ou execução de pesquisas que provavelmente influenciarão os resultados”. Bird *et al.* (2013) destacam que, embora os procedimentos de coleta de dados sejam padronizados, a verdadeira uniformidade na amostragem é improvável. Em casos que a subjetividade de medição é um problema potencial, é importante considerar meios de coletar dados que irão permitir a caracterização, validação ou modelagem hierárquica que permita corrigir ou explicar tal viés (BIRD *et al.*, 2013; FREIWALD *et al.*, 2018). Um exemplo seria incluir reamostragens de áreas com informações conhecidas, usando conjuntos de dados de treinamento ou realizando pesquisas com vários observadores.

Também foi apontado no questionário por um especialista: “Acredito que a ciência cidadã pode contribuir para a conservação das cavidades ao criar junto aos moradores das proximidades a consciência da importância da conservação das cavidades. Várias cavidades possuem os seus guardiões, instruir essas pessoas é uma maneira de ajudar a preservar o patrimônio espeleológico. E o turismo, com o treinamento de monitores locais, sempre pode ser uma ótima opção de fazer um uso sustentável do ambiente e manter as cavernas intactas, ao mesmo tempo em que são fonte de renda para as comunidades locais. A exemplo do Petar, onde os guias são treinados e conscientizados para a conservação, não só das cavernas, mas de todo ecossistema ali presente. E tiram de lá grande parte de seu sustento através do turismo.”

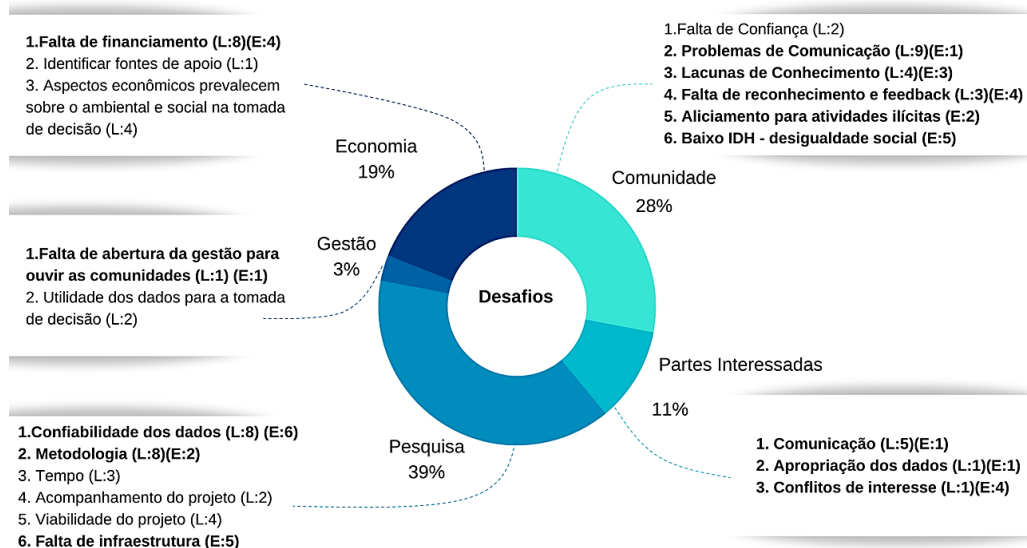
Por fim, o item “Avaliar como os programas de ciência cidadã são percebidos pelos próprios participantes” foi um aspecto bastante contemplado nas respostas dos questionários, ainda que muitas vezes esquecidos no planejamento. O feedback não só

das metodologias, mas das experiências e expectativas dos participantes são igualmente importantes para a continuidade do monitoramento, direcionando para possíveis aprimoramentos (KOSS *et al.*, 2009).

### Desafios para a adoção da ciência cidadã no monitoramento ambiental

Em uma pergunta semiaberta, os pesquisadores foram questionados: “Quais desafios relacionados às comunidades locais poderiam, em sua opinião, inviabilizar um projeto de Ciência Cidadã em Parques Estaduais?”. A análise de conteúdo da revisão bibliográfica e das respostas dos questionários revelou 20 cenários desafiadores, dos quais 3 representaram novos obstáculos intrinsecamente ligadas à realidade socioeconômica local (Figura 3). Os desafios inéditos apontados nas respostas incluíram: (i) aliciamento por parte do crime organizado; (ii) baixo IDH da região, com suas vulnerabilidades sociais e econômicas; (iii) disponibilidade limitada de infraestrutura tecnológica para coleta e transmissão de dados.

**Figura 3. Porcentagem de desafios levantados na revisão bibliográfica e respostas dos questionários. Em “(.)” se encontra o número de vezes que uma boa prática foi citada por “L” = literatura da revisão e posteriormente pelos “E” = especialistas consultados, linhas em negrito.**



Fonte: Os autores, 2025.

Segundo os dados do Pnud (2019), a região do vale do Ribeira apresenta um dos piores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado, com uma média de 0,711, abaixo da média estadual (0,783) e nacional (0,769). Assim, o desestímulo às atividades ilícitas precisaria vir acompanhado de ações de fiscalização e oferta de oportunidades às comunidades locais.

Os respondentes do questionário apontam que a visitação nos Parques cumpre um duplo papel de combate a irregularidades: “a presença de monitores ambientais, espeleólogos e visitantes na área protegida contribui para inibir a ação de caçadores e extratores de palmito, bem como auxilia no trabalho das equipes de fiscalização, concomitante a geração de recursos financeiros”. Esta possibilidade tem potencial para dinamizar a economia da região, empregando, direta ou indiretamente, parte significativa da força de trabalho hoje absorvida em atividades predatórias (SÃO PAULO, 2010a).

Os conflitos de interesse e as dificuldades de comunicação repercutem nas relações que as comunidades possam ter com os tomadores de decisão, sejam gestores ou pesquisadores. Um respondente especialista relatou que “Principalmente questões relacionadas ao baixo IDH da região, acarretam conflitos de interesse entre comunidades e UCs, além de baixa escolaridade e analfabetismo científico”. Tais desafios são importantes de serem identificados previamente, pois irão demandar um maior esforço dos planejadores do monitoramento na fase de delineamento. Oficinas e diálogos abertos com a população local podem auxiliar nessas problemáticas, bem como a compreender as motivações abordadas no tópico anterior.

Outros apontamentos do questionário correspondem ao acompanhamento científico do projeto referente a confiabilidade dos dados coletados. Segundo um dos participantes do questionário uma grande questão seria “Como fazer com que os mesmos potenciais beneficiários do turismo em cavernas colem dados confiáveis sobre o impacto do turismo em cavernas? Será que estas pessoas não tenderão sempre a minimizar os impactos negativos em seus dados coletados?”. Para minimizar os possíveis vieses nos dados coletados e conferir uma confiabilidade ao monitoramento, é recomendável a adoção de uma manutenção rigorosa da metodologia escolhida para o monitoramento, tal como o acompanhamento periódico por especialistas (BARNARD *et al.*, 2017; KAYS *et al.*, 2017; FLESCHE *et al.*, 2017).

A falta de infraestrutura para a coleta e transmissão de dados é destacada na literatura como uma área crítica que requer melhorias urgentes (MILLER-RUSHING; PRIMACK, 2008; KOBORI *et al.*, 2019; MCKINLEY *et al.*, 2017). Garantir suporte adequado para essas atividades pode ser fundamental, considerando que o uso de tecnologias na conservação de recursos naturais tem se mostrado essencial para uma gestão eficiente e para promover a inclusão social em outros países. No entanto, em um contexto de unidades de conservação, isso pode representar um desafio, já que essas áreas no Brasil enfrentam um dos menores níveis de investimento no mundo (MEDEIROS, 2011).

### **Indicadores de monitoramento ambiental das atividades de uso público**

Este tópico aborda o levantamento dos indicadores de impacto de visitação contidos nos planos de manejo dos quatro Parques do Vale do Ribeira e a consulta feita aos especialistas, por meio de uma pergunta semiaberta, sobre quais indicadores poderiam ser monitorados por cidadãos comuns. As respostas foram classificadas com base no princípio de que um indicador deve definir condições específicas, ser verificável, replicável, objetivo e confiável (MANNING, 1999), permitindo uma comparação entre os indicadores

definidos pelas Unidades de Conservação e as sugestões dos especialistas.

Os Parques Estaduais selecionados (PEI, PECD, PETAR e PECB) possuem, em seus respectivos planos de manejo, programas de monitoramento baseados na seleção de indicadores específicos para avaliar os impactos da visitação. Os programas incluem metodologias de verificação em campo, frequência de monitoramento e outras estratégias de ação. Esses indicadores são geralmente divididos em quatro categorias: Sociais ou Antrópicos, Bióticos, Físicos ou Abióticos e, no caso do Parque Estadual de Intervalos, há também a categoria de indicadores climáticos.

A análise das respostas totalizou 6 indicadores sociais, 4 bióticos, 8 físicos e 4 do clima, passíveis de serem monitorados por cientistas cidadãos (Quadro 1). As respostas que não se enquadraram nos requisitos de um bom indicador de Manning (1999) foram agrupados em “Não Classificáveis”, como: “Área de entorno das cavidades e uso delas; Estado de conservação das cavernas e entorno”; “Estado da trilha”; “Ocorrência de incêndios nos entornos das cavidades”; “Denúncia de práticas ilegais”; “Denúncia de depredação”; “Atividade minerária e a ação de algumas indústrias que emitem particulados”; “Ambiente cavernícola em geral”; “Alterações antrópicas óbvias”; “Modificações no terreno”; “Controle da degradação ambiental”; “acessibilidade”; “fotomonitoramento”.

**Quadro 1. Respostas sobre os potenciais indicadores de impactos do uso público passíveis de serem monitorados por qualquer cidadão e a presença de tais indicadores nos Planos de Manejo.**

| Indicadores trazidos nas respostas dos questionários | Respostas                                  | Indicadores nos Planos de Manejo |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| Social                                               | Lixo                                       | ✓                                |
|                                                      | Danos à Infraestrutura                     | ✓                                |
| Biótico                                              | Alteração da composição da fauna           | ✓                                |
|                                                      | Alteração do comportamento de qui-rópteros | ✓                                |
|                                                      | Cobertura vegetal do entorno               |                                  |
| Físico                                               | Qualidade da água                          | ✓                                |
|                                                      | Suspensão de material particulado          | ✓                                |
|                                                      | Manchas nas paredes                        | ✓                                |
|                                                      | Danos a espeleotemas                       |                                  |
|                                                      | Nível de corpos d’água                     | ✓                                |
| Climático.                                           | Temperatura                                | ✓                                |
|                                                      | Umidade Relativa                           | ✓                                |
|                                                      | Variáveis Climáticas                       |                                  |

Fonte: Os autores, 2025.

O fotomonitoramento é apresentado em todos os planos de manejo consultados, como um indicador a ser acompanhado nos programas de monitoramento. Contudo, destacamos que ele está mais relacionado a um método do que um possível indicador em si, não se enquadrando na definição e nem características que um bom indicador de impactos de uso público precisa apresentar.

Segundo o documento “Roteiro metodológico para o manejo de impactos de visitação” do ICMBio (2014), o grupo de indicadores sociais são aqueles medem a influência do conjunto de atividades de visitação da UC em seu contexto social, permitindo verificar qual o impacto que a visitação promove em termos econômicos, culturais, de comportamento da população e de dinâmica espacial.

Além do monitoramento do lixo e dos danos à infraestrutura, mencionados tanto nos planos de manejo quanto pelos especialistas, alguns estudos têm analisado o comportamento dos turistas e suas preferências por meio de fotos postadas nas principais redes sociais, como Instagram, Facebook e Flickr (PICKERING *et al.*, 2020). O conteúdo das imagens e tags relacionadas ao local ou a atividade realizada tem se mostrado uma fonte capaz de fornecer grande volume de dados de forma complementar à pesquisa tradicional, bem como identificar comportamentos danosos para o meio ambiente e para quem visita as áreas.

Para a gestão de áreas protegidas, abordagens desse tipo também tem auxiliado em como trabalhar a comunicação com turistas visando o atendimento às normas de segurança (PICKERING *et al.*, 2020). Apesar de promissor, o uso de tecnologias no âmbito dos princípios da ciência cidadã (ECSA, 2015) demanda a integração dos não-cientistas na coleta desses dados, de modo que o voluntário saiba que suas hashtags, informações e fotos estão sendo utilizadas para o monitoramento e educação ambiental.

Dentre os diversos indicadores monitorados por não-cientistas, aqueles relativos aos fatores bióticos e físicos são as que mais vem sendo estudadas no mundo (EITZEL *et al.*, 2015; KOBORI *et al.*, 2018). Destaca-se a alteração na composição da macrofauna através de métodos de presença e ausência de espécies com voluntários treinados ou fotomonitoramento (CONRAD; HICHEY, 2011; THIEL *et al.*, 2014; LEONG; KYLE, 2014; BENJAMINS *et al.*, 2018). Evidenciado tanto nos planos de manejo quanto pelas respostas dos questionários, este indicador é passível de ser acompanhado por voluntários, desde que possua metodologias de coleta de dados bem definidas.

A cobertura vegetal no entorno próximo da caverna também é um indicador possível de ser monitorado por não-cientistas, por exemplo, ao longo da trilha. Embora não apareça nos planos de manejo, a cobertura vegetal do entorno pode influenciar em aspectos que vão desde o aporte de sedimentos para dentro da caverna, proteção do solo e dos recursos hídricos, bem como pode contribuir para o bem-estar e lazer dos visitantes, amenizando condições climáticas adversas (SILVERIO, 2014).

O aporte de sedimentos ocorre toda vez que solo ou sedimento é transportado para dentro da caverna pelos calçados dos visitantes. Fato que é mais recorrente nas áreas de entrada da caverna e a quantidade de material transportado pode variar de acordo com as condições de drenagem e tipo de solo da trilha que dá acesso às cavidades (TOOMEY,

2009). Existem casos em que é possível observar a presença de solo transportado ao longo de todo o percurso aberto à visitação (MARRA, 2001). Esse processo pode acarretar algumas consequências como aceleração da dissolução das rochas carbonáticas por meio da acidificação resultante do processo de decomposição, como também pode modificar a teia alimentar do ambiente interno, ainda que cavernas sejam geralmente estáveis em relação ao montante de matéria orgânica presente em seu interior (MARRA, 2001; TOOMEY, 2009; ZANATTO *et al.*, 2019). Considerando que esse material é transportado na maioria das vezes pelos próprios visitantes, incluí-los no monitoramento pode trazer benefícios consideráveis.

Como citado anteriormente, os indicadores físicos são bem estabelecidos tanto para o monitoramento convencional em cavernas quanto para o modelo baseado na ciência cidadã. Para “qualidade da água” e “nível da água”, apontados nos planos de manejo e pelos especialistas de espeleologia, podemos citar o exemplo de pesquisadores do México que monitoraram na costa caribenha, a qualidade das águas subterrâneas do sistema cárstico local por intermédio de estudantes, professores, mergulhadores e outros comunitários. No exemplo mexicano, foram utilizados fotografias, questionários, coleta de amostras e oficinas com as partes interessadas a fim de identificar uma gestão sustentável para os recursos hídricos da região (SCHILLER *et al.*, 2019).

Ainda que a literatura sobre ciência cidadã no monitoramento para cavernas seja incipiente, algumas metodologias utilizadas no ambiente externo podem ser adaptadas para o meio hipógeo (TOOMEY *et al.*, 2009; TRIMBOLI *et al.*, 2016). Este é o caso de indicadores como (i) suspensão de material particulado (ii) alterações em espeleotemas e (iii) erosão. Esses três indicadores são de fácil observação e identificação, passíveis de serem monitorado por cientistas-cidadãos através de anotações, questionários ou fotografias, de forma conjunta a ações educativas.

A suspensão de material particulado, diretamente associado à visitação e aplicável aos ambientes secos da caverna, caracteriza-se pela ocorrência da suspensão de partículas de solo e o depósito de material particulado sobre espeleotemas e paredes da caverna. A suspensão desse material ocorre com a passagem de visitantes, que ao longo do tempo passa a se acumular nos espeleotemas alterando sua cor e possivelmente, a composição dessas formações (MARRA, 2001; TOOMEY *et al.*, 2009).

Para os espeleotemas devem ser considerados o seu escurecimento e das paredes das cavernas, provocado pelo contato direto das mãos e calçados sujos dos visitantes com essas formações (MARRA, 2001). A causa está associada principalmente à falta de equipamentos facilitadores, fazendo com que os visitantes as utilizem como apoio ao caminhar. Já no caso do indicador de Erosão, o pisoteamento dessas regiões faz com que as margens dos rios cedam, gerando turbidez das águas e em casos extremos, a iniciação de processos de assoreamento do leito dos rios. Na maioria dos casos, esse fato pode conferir efeito negativo sobre a fauna aquática prejudicada com o material em suspensão (SÃO PAULO, 2010a). Segundo Marra (2001), as instruções nesses casos deve ser o direcionamento dos visitantes para evitar as margens dos rios.

Outra categoria de indicadores existente são os de clima ou de meio físico. A aná-

lise dos parâmetros do ambiente cavernícola e sua correlação com as possíveis alterações potencialmente causadoras de danos ambientais é uma ferramenta importante para o planejamento e principalmente para o monitoramento do uso público em cavernas, tal como orientar o nível de uso que este ambiente suporta (SÃO PAULO, 2010; MARRA, 2001).

Geralmente, as condições climáticas no interior de cavernas possuem características diferenciadas daquelas existentes no ambiente externo. O monitoramento do clima do entorno tem como principal propósito auxiliar nas atividades de uso público da caverna, e não está associado diretamente aos impactos causados pela visitação (SÃO PAULO, 2010a; SÃO PAULO, 2010b), por exemplo, a ocorrência de enchentes que apresentam um fator de risco aos visitantes de áreas restritas, especialmente em cavernas com drenagem perene (CIGNA, 2004). As cheias também trazem impactos cíclicos em cavernas e à fauna troglomórfica, por isso é recomendável o monitoramento da probabilidade de uma cheia intensa (MARRA, 2001; CIGNA, 2004).

No quesito fluxo hídrico, impactos negativos do uso público no ambiente externo podem afetar as cavernas em termos de redução dos volumes de água no epicarste. Nesse sentido, diversos estudos têm utilizado monitoramento por foto ou vídeo dos visitantes do volume hídrico, aplicando palavras-chaves relacionadas ao objeto do monitoramento nas plataformas digitais. (KAYS *et al.*, 2015; SWANSON *et al.*, 2016; BENJAMINS *et al.*, 2018).

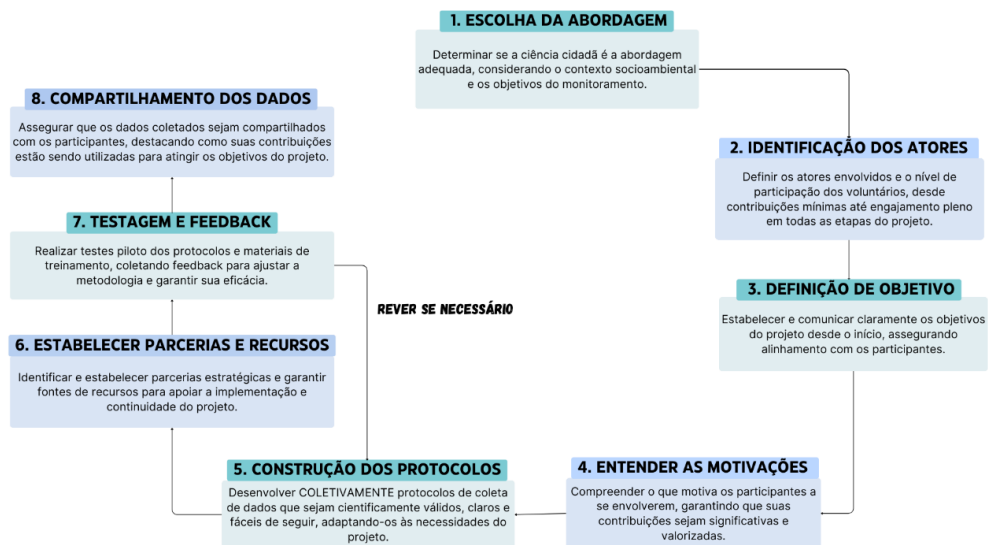
Outro ponto de destaque é a necessidade de avaliar o grau de relevância de cada cavidade, pois algumas cavernas possibilitam receber apenas o turismo de aventura ou somente atividades de pesquisa. Em alguns casos, como o de ocorrência de espécies endêmicas, a literatura e os especialistas consultados sugerem que a visitação deve ser proibida e que a abordagem da ciência cidadã não deve ser aplicada.

Por fim, o monitoramento realizado por cidadãos comuns deve ser restrito a locais onde o acesso ao público já é permitido (ECSA, 2015). Dessa forma, os planejadores devem estruturar projetos considerando quais tipos de dados são mais apropriados para serem coletados por diferentes grupos de participantes, como turistas, guias, estudantes, entre outros.

### Recomendações práticas

Este tópico tem por finalidade abarcar direcionamentos práticos baseados no conteúdo da revisão bibliográfica sistemática e das respostas contempladas nos questionários. Tais recomendações são voltadas aos planejadores ou tomadores de decisão, de modo a orientar aspectos necessários para o desenvolvimento de um projeto de ciência cidadã no contexto de cavernas em áreas protegidas (Figura 4).

**Figura 4. Recomendações baseadas nas respostas dos questionários e revisão bibliográfica, indicando uma ordem de etapas a serem seguidas em projetos de ciência cidadã**



Fonte: Os autores, 2025.

A definição da abordagem de ciência cidadã antes da escolha dos métodos a serem aplicados é fundamental. Essa fase envolve a determinação dos níveis de participação dos voluntários em um projeto, considerando os diferentes modelos disponíveis (BONNEY *et al.*, 2009; SHIRK *et al.*, 2012; DANIELSEN *et al.*, 2009). Por exemplo, nas observações finais do questionário, alguns pesquisadores recomendaram um maior envolvimento dos voluntários nas fases iniciais dos projetos de ciência cidadã, desde que esse maior engajamento seja cuidadosamente planejado a longo prazo e inclua uma aproximação estratégica entre os tomadores de decisão e as comunidades locais do Vale do Ribeira.

Da mesma forma, os objetivos do projeto precisam ser claramente definidos e comunicados desde o início (EITZEL, 2015; CONRAD; HICHEY, 2011). Recomenda-se que a questão central do monitoramento seja algo que desperte o interesse das pessoas, considerando que a motivação para participar geralmente está ligada à vontade de contribuir para uma causa significativa (LEONG; KYLE, 2014).

A metodologia deve incluir protocolos claros e cientificamente válidos, com critérios que garantam a confiabilidade de dados (ROQUE *et al.*, 2018). Ao mesmo tempo, esses protocolos precisam ser simples e de fácil execução, especialmente considerando que muitos participantes podem não ter formação científica prévia (FLESCH *et al.*, 2017).

Na implementação de um projeto de ciência cidadã em Unidades de Conservação, é fundamental priorizar ações de acordo com os recursos disponíveis e escolher cuidadosamente as etapas em que os participantes serão incorporados, visando maximizar

a eficácia e o impacto do projeto (TRIMBOLI; TOOMEY, 2016). Embora acessíveis, esses projetos não são isentos de custos e requerem recursos para materiais, treinamento e suporte contínuo (THIEL *et al.*, 2014; LARSON *et al.*, 2016; KOBORI *et al.*, 2018).

O Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira oferece exemplos de iniciativas nacionais que podem servir como referência, especialmente para integrar dados coletados em projetos de maior escala. Colaborações com universidades podem otimizar os recursos e ampliar a relevância das pesquisas realizadas.

Entre os temas abordados, muitos projetos de ciência cidadã se concentram nos recursos naturais. No entanto, questões relacionadas aos aspectos culturais dos ambientes cavernícolas também podem ser levantadas, como o monitoramento de impactos sobre pinturas rupestres nas paredes das cavernas. O uso de documentação fotográfica para monitorar mudanças nos recursos culturais é uma solução viável e já utilizada em outros contextos (TRIMBOLI; TOOMEY, 2016). Esses registros fotográficos permitem a comparação direta e a observação de alterações que possam ter ocorrido ao longo do tempo.

Uma etapa importante no desenvolvimento de um projeto de ciência cidadã é a testagem dos protocolos de pesquisa, formulários e materiais de treinamento para garantir que a metodologia seja adequada e compreensível para todos os participantes (CONRAD; HICHEY, 2011; SHUMBA *et al.*, 2018). Realizar um piloto permite ajustar os elementos antes da implementação completa do projeto. Além disso, a avaliação deve ser um processo contínuo, tanto em termos de qualidade dos dados quanto da experiência dos participantes. Incluir todos os envolvidos no processo de avaliação assegura que diferentes perspectivas sejam consideradas, permitindo melhorias que atendam de forma mais eficaz aos objetivos do monitoramento.

Por fim, o compartilhamento de dados é igualmente fundamental. As recomendações enfatizam a importância de informar os participantes, sempre que possível, sobre como seus dados estão sendo utilizados e quais são os resultados alcançados pelo projeto. Essa prática reforça o valor de sua contribuição e sublinha a importância dos esforços dedicados (BARNARD *et al.*, 2017; HU *et al.*, 2017).

## Conclusões

Este trabalho abarcou a compreensão das boas práticas internacionais e a perspectiva dos pesquisadores em relação à aplicação da ciência cidadã no contexto socioeconômico e ambiental das cavernas paulistas. As respostas do questionário revelaram aspectos inéditos que não estavam presentes na literatura internacional, incluindo recomendações específicas para projetos nessa temática, desafios relacionados a conflitos de interesse e atividades ilícitas em UCs, além de 13 indicadores de monitoramento ambiental que podem ser monitorados por cientistas cidadãos em cavernas abertas à visitação.

Este estudo preliminar ofereceu um panorama para a implementação de monitoramentos em cavernas, fundamentados nos princípios da ciência cidadã e alinhados às necessidades identificadas nos planos de manejo dos Parques Estaduais do Vale do Ribeira (SP). No entanto, destaca-se a necessidade de mais estudos sobre a eficácia das

metodologias de ciência cidadã em ambientes subterrâneos, assim como de estratégias para superar os desafios identificados. Espera-se que os resultados apresentados sirvam como base para novas pesquisas nessa área, ampliando o conhecimento e a aplicação da ciência cidadã na conservação ambiental, promovendo maior engajamento social e aprimorando a coleta de dados em projetos de monitoramento.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## Referências

- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70. 2011.
- BARNARD, P.; ALTWEGG, R.; EBRAHIM, I.; UNDERHILL, L.G. Early warning systems for biodiversity in southern Africa – How much can citizen science mitigate imperfect data?. **Biological Conservation**. p. 208. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.011>
- BENJAMINS, S. J. et al. Evaluating the potential of photo-identification as a monitoring tool for flapper skate (*Dipturus intermedius*). **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 28, n. 6: p. 1360–73. 2018.
- BENSUSAN, N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, p. 176. 2009.
- BIRD, Tomas J. et al. Statistical solutions for error and bias in global citizen science datasets. **Biological Conservation**. v. 173, p. 144-154, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.037>
- BONNEY, R. et al. Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. **Bioscience**. v. 59. p. 977–984. 2009.
- BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, 19 de julho de 2000. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)
- BROWN, E. D.; WILLIAMS, B. K. The potential for citizen science to produce reliable and useful information in ecology. **Conservation Biology**. v. 33, n. 3, p. 561-569. 2018. <https://doi.org/10.1111/cobi.13223>
- CIGNA, A. A. Climate of caves. In: J. Gunn, **Encyclopedia of caves and karst science**. London: Taylor & Francis. p. 467-475. 2004.
- CONRAD, C.C.; HILCHEY, K. G. A review of citizen science and community-based environ-

mental monitoring: issues and opportunities. **Environmental monitoring and assessment**. v. 176. p. 273-291. 2010.

DANIELSEN, F. et al. Local participation in natural resource monitoring: a characterization of approaches. **Conservation Biology**. v. 23. n.1. p. 31-42. 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01063.x>

EITZEL, M. V. et al. Citizen science terminology matters: Exploring key terms. **Citizen science: Theory and practice**. v. 2, n. 1, 2017.

ECSA. European Citizen Science Association. **Dez princípios da ciência cidadã**. 2015. Acesso em: 05 set 2020. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>

FREITAG, A. A typology for strategies to connect citizen science and management. **Environmental monitoring and assessment**. v. 188, n. 9, p. 519, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5513-y>

FREIWALD, J. et al. Citizen science monitoring of marine protected areas: case studies and recommendations for integration into monitoring programs. **Marine Ecology**, v. 39. 2018. <https://doi.org/10.1111/maec.12470>

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 200p. 2011.

HU, R. et al. A bird's view of new conservation hotspots in China. **Biological Conservation**. v. 211, p. 47-55. 2017.

ICMBIO. **Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro**. Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas. Brasília. 2018.

ICMBIO. **Roteiro metodológico para o manejo de impactos de visitação**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2014.

IRVING, M. de A.; MATOS, K. Gestão de parques nacionais no Brasil: projetando desafios para a implementação do Plano Nacional Estratégico de Áreas Protegidas. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 89-96, 2006. <https://floram.org/article/588e2214e710ab87018b4640/pdf/floram-13-2-89.pdf>

KAYS, R. et al. Does hunting or hiking affect wildlife communities in protected areas?. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 1, p. 242-252, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12700>

KOBORI, H.; ELLWOOD, E.R.; MILLER-RUSHING, A.J.; SAKURAI, R. **Citizen Science. Encyclopedia of Ecology**. Elsevier, n. 1. p. 529-535. 2019.

KOSS, R. S. et al. An evaluation of Sea Search as a citizen science programme in Marine Protected Areas. **Pacific Conservation Biology**. v. 15, n. 2, p. 116-127. 2009. <https://doi.org/10.1071/PC090116>

LARSON, L.R.; CONWAY, A.L.; HERNANDEZ, S.M.; CARROLL, J.P. Human-wildlife Con-

flict, Conservation Attitudes, and a Potential Role for Citizen Science in Sierra Leone, Africa. **Conservation and Society**. v. 14, n. 3. p. 205–17. 2016.

LEONG, K. M.; KYLE, G. T. Engaging Park stewards through biodiversity discovery: Social outcomes of participation in bioblitzes. **Park Sci**. v. 31, p. 106-111. 2014.

MAMEDE, S.; BENITES, M.; ALHO, C. J. R. Ciência Cidadã e sua contribuição na proteção e conservação da biodiversidade na reserva da biosfera do Pantanal. **Revista brasileira de educação ambiental**. Revbea, São Paulo. v. 12, n. 4, p. 153-164. 2017. <https://doi.org/10.34024/revbea.2017.v12.2473>

MANNING, R. E. **Studies in Outdoor Recreation**. Search and research for satisfaction. Oregon State University Press, Corvallis. p. 374. 1999.

MARRA, R. J. C. **Espeleo Turismo: Planejamento e Manejo de Cavernas**. Brasília: Editora WD Ambiental. 2001.

MCKINLEY, D. C. et al. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. **Biological Conservation**. v. 208, p. 15-28. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>

MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F.; PAVESE, H. B.; ARAÚJO, F. F. S. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Sumário Executivo**. Brasília: UNEP-WCMC, p. 44. 2011. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3494>

MILLER-RUSHING, A. et al. Parks use phenology to improve management and communicate climate change. **Park Sci**, v. 28, p. 61-67, 2011. <http://www.nature.nps.gov/ParkScience/index.cfm?ArticleID=514&Page=1>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro nacional de unidades de conservação**, 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico da visitação em parques nacionais e estaduais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2005.

NEWMAN, G.; GRAHAM, J.; CRALL, A.; LAITURI, M. The art and science of multiscale citizen science support. **Ecological Informatics**. v. 6, n. 3, p. 217-227. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.03.002>

NUNES, G. A., PEGLER, G. F., & RANIERI, V. E. L. O engajamento público na pesquisa científica em Áreas Protegidas: da pesquisa à gestão. **Revista Brasileira De Ecoturismo**, v. 16, n. 4. 2023. <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2023.v16.14314>

ORTEGA-ÁLVAREZ, R., et al. 2016. Community-Based Monitoring and Protected Areas: Towards an Inclusive Model. **Sustainable Development** v. 25, p. 200, 2017. <https://doi.org/10.1002/sd.1646>

PICKERING, C. et al. Using social media images and text to examine how tourists view and value the highest mountain in Australia. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, p. 29.

2020.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (ONU). **Relatório de Desenvolvimento Humano**, 2019. (acessado em Jan/2022). <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/presscenter/articles/2019/pnud-apresentarelatorio-de-desenvolvimento-humano-2019-com-dado.html>

QUEIROZ-SOUZA, L. A. et al. **Challenges and opportunities for citizen science in Brazil**. *Citizen Science: Theory and Practice*, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2023. <https://doi.org/10.5334/cstp.521>

RBCC. **Marcos e princípios orientadores da atuação da RBCC**, 2023. (acessado em Jun/2024). [https://www.rbcc.org.br/images/documentos%20de%20gestao/Documento%20orientador%20do%20sistema%20de%20Governanca%20da%20RBCC\\_2023.pdf](https://www.rbcc.org.br/images/documentos%20de%20gestao/Documento%20orientador%20do%20sistema%20de%20Governanca%20da%20RBCC_2023.pdf)

ROQUE, F. O. et al. A network of monitoring networks for evaluating biodiversity conservation effectiveness in Brazilian protected areas. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 177-185, 2018

SÃO PAULO/SMA. Instituto Florestal (IF). **Plano de Manejo Espeleológico do Parque Estadual Carlos Botelho**. São Paulo, 2008.

SÃO PAULO/SMA. Instituto Florestal (IF). **Plano de Manejo Espeleológico do Parque Estadual Intervalles**. São Paulo, 2010a.

SÃO PAULO/SMA. Instituto Florestal (IF). **Plano de Manejo Espeleológico do Parque Estadual Turístico Alto do Ribeira**. São Paulo, 2010b.

SÃO PAULO/SMA. Instituto Florestal (IF). **Plano de Manejo Espeleológico do Parque Estadual Caverna do Diabo**. São Paulo, 2010c.

SILVERIO, Marcos Otavio. **Atuação da arquitetura no uso público de cavernas. Conceitos, métodos e estratégias para ocupação**. Caverna do Diabo, SP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2014.

SHIRK, J.L. et al. Public participation in scientific research: A framework for deliberate design. **Ecology and Society**. v.17, p. 29. 2012.

STEGER, C.; BUTT, B.; HOOTEN, M. B. Safari Science: assessing the reliability of citizen science data for wildlife surveys. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 6, p. 2053-2062, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12921>

THIEL, M. et al. Citizen scientists and marine research: volunteer participants, their contributions, and projection for the future. In: HUGHES, R. N.; HUGHES, D. J.; SMITH, I. P. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, Volume 52, v. 52, p. 257-314. 2014.

TORNEY, C. J. et al. A comparison of deep learning and citizen science techniques for counting wildlife in aerial survey images. **Methods in Ecology and Evolution**. v. 10, n. 6, p. 779-787. 2019. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13165>

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia Subterrânea - Introdução**. 1. ed. São Paulo, SP: Redespeleo Brasil, v. 1, p. 92. 2006.

TRIMBOLI, S. R. Citizen Science at Mammoth Cave National Park: Integrating Research and Education. Mammoth Cave Research Symposia. **Western Kentucky University TopSCHOLAR**. v 11. 2016. [https://digitalcommons.wku.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1145&context=mc\\_research\\_symp](https://digitalcommons.wku.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1145&context=mc_research_symp)

TRIMBOLI, S. R.; TOOMEY, R. S. Developing a Citizen Science Program that Supports Your Park's Resource Management and Monitoring Needs. **Engagement, Education, and Expectations: The Future of Parks and Protected Areas**. Ed. Hancock, Michigan. V. 17. 2016. <http://www.georgewright.org/1517trimboli.pdf>

VALLEJO, L. R. Uso público em áreas protegidas: atores, impactos, diretrizes de planejamento e gestão. **Revista Eletrônica Anais Uso Público em Unidades de Conservação**., v. 1, n. 1, p. 13-26. 2013. <https://doi.org/10.47977/2318-2148.2013.v1n1p13>

VOLTEN, H. et al. Enhancing National Environmental Monitoring through Local Citizen Science. In **Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy**, edited by Hecker Susanne, Haklay Muki, Bowser Anne, Makuch Zen, Vogel Johannes, and Bonn Aletta, London: UCL Press, p. 337-52. 2018.

ZANATTO, et al. Avaliação rápida de impactos em cavernas turísticas do Parque Estadual de Terra Ronca, Goiás, Brasil. *Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana De Geografia Física E Ambiente*, v. 1, n. 2, p. 83–100. 2019. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2178>

**Gabrielle Abreu Nunes**

✉ gabinunes.bio@gmail.com; gabinunes.bio@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4362-5126>

**Victor Eduardo Lima Ranieri**

✉ vranieri@sc.usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9203-5037>

**Editor Responsável**

Pedro Roberto Jacobi

**Editor Associado**

Rylanneive Teixeira

**Submetido em:** 20/11/2023

**Aceito em:** 15/01/2025

2025;28:e00184

### **Declaração de disponibilidade de dados:**

Os autores declaram que todos os dados utilizados neste estudo estão disponíveis publicamente na dissertação de mestrado defendida na Universidade de São Paulo (USP), acessível no repositório digital da USP: <https://doi.org/10.11606/D.18.2021.tde-17052021-165155>

# La ciencia ciudadana como enfoque prometedor para el monitoreo de cuevas en áreas protegidas

Gabrielle Abreu Nunes  
Victor Eduardo Lima Ranieri

**Resumen:** Las cuevas tienen un alto valor turístico debido a su geología y biodiversidad únicas, lo que hace que el monitoreo continuo sea esencial para la preservación de sus servicios ecosistémicos. Este artículo tuvo como objetivo evaluar el potencial de la ciencia ciudadana en el monitoreo ambiental de cuevas en Unidades de Conservación, buscando involucrar a diversos actores en la conservación de estos entornos. La investigación, cualitativa e inédita para este contexto, utilizó una metodología de revisión bibliográfica y cuestionarios dirigidos a especialistas de cuatro Parques Estatales en la región del Valle del Ribeira (SP). Se analizaron 60 artículos internacionales y se recopilieron las respuestas de 20 investigadores de la región. A través de un Análisis de Contenido, se identificaron 17 buenas prácticas, 20 desafíos y 13 indicadores de monitoreo participativo para el uso público en cuevas. Los resultados permitieron identificar posibles lagunas de investigación y proponer directrices para futuras aplicaciones de este enfoque en entornos subterráneos.

**Palabras-clave:** Áreas protegidas; monitoreo participativo; entornos subterráneos; uso público; parques.

São Paulo. Vol. 28, 2025

*Artículo original*

# Citizen science as a promising approach for cave monitoring in protected areas

Gabrielle Abreu Nunes  
Victor Eduardo Lima Ranieri

**Abstract:** Caves hold significant tourist value due to their unique geology and biodiversity, making continuous monitoring essential for the preservation of their ecosystem services. This article aimed to assess the potential of citizen science in the environmental monitoring of caves within Protected Areas, with the goal of involving various stakeholders in the conservation of these environments. The research, qualitative and novel for this context, employed a methodology of literature review and questionnaires directed at experts from four State Parks in the Vale do Ribeira area (SP). Sixty international articles were analyzed, and responses from 20 researchers in the region were collected. Through Content Analysis, 17 best practices, 20 challenges, and 13 participatory monitoring indicators for public use in caves were identified. The results allowed for the identification of potential research gaps and the proposal of guidelines for future application of this approach in subterranean environments.

São Paulo. Vol. 28, 2025

*Original Article*

**Keywords:** Protected areas; participatory monitoring; underground environments; public use; parks.