

HUMBOLDTIAN SHORTFALLS NA GEOBIODIVERSIDADE MARINHA: OS PLANOS DE AÇÃO NACIONAL PARA A CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO PODEM REDUZIR AS SUAS CAUSAS?

HUMBOLDTIAN SHORTFALLS IN MARINE GEOBIODIVERSITY: CAN NATIONAL ACTION PLANS FOR THE CONSERVATION OF ENDANGERED SPECIES REDUCE THEIR CAUSES?

RESUMO

Geobiodiversidade é uma nova abordagem sistemática da história natural, cujos princípios científicos fundamentais foram previamente utilizados pelo naturalista alemão Alexander von Humboldt. Na Visão de Humboldt da Natureza, os processos naturais nunca poderiam ser entendidos em fatias ou pedaços, pois dependem essencialmente da observação, da interrelação de todas as ciências físicas e do uso preferencial de métodos quantitativos para coletar dados. Entretanto, em escala global, ainda há elevada discrepância entre o número de espécies identificadas e o número de espécies existentes (*Linnean shortfalls*), bem como uma ausência de relevante informação filogenética (*Darwinian shortfalls*). A geodiversidade marinha também sofre de generalizada escassez de dados básicos, que ainda são modestamente interrelacionados com a conservação da biodiversidade, o que, neste trabalho, foi denominado de *Humboldtian shortfalls*. Neste artigo, nós contextualizamos a principal estratégia de conservação de espécies ameaçadas do Brasil, os Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção (PANs), em um cenário carente de informações científicas interdisciplinares e, adicionalmente, oferecemos sugestões para implementar modelos de gestão e de pesquisa mais integrados aos modernos conceitos da geobiodiversidade.

Palavras-Chave: Humboldt. Conservação. Biogeografia. Sistema Costeiro-Marinho. Antropoceno.

ABSTRACT

Geobiodiversity is a new systematic approach to natural history, whose fundamental principles of its scientific approach have come from the German naturalist Alexander von Humboldt. In Humboldt's View of Nature, natural processes could never be understood in slices or pieces, because they depend essentially on observation, on the interrelation of all the physical sciences, and on the preferential use of quantitative methods to collect the data. However, on a global scale, there is still a high discrepancy between the number of identified species and the number of existing species (*Linnean shortfalls*), as well as an absence of relevant phylogenetic information (*Darwinian shortfalls*). Marine geodiversity also suffers from widespread scarcity of basic data, which are still modestly interrelated with biodiversity conservation, which in this paper has been termed *Humboldtian shortfalls*. In this article, we contextualize the main conservation strategy for threatened species in Brazil, the National Action Plans for the Conservation of Endangered Species (NAPs), in a scenario lacking interdisciplinary scientific information, and additionally offer suggestions to implement management and research models more integrated with modern concepts of geobiodiversity.

Keywords: Humboldt. Conservation. Biogeography. Coastal-Marine System. Anthropocene.

 Orione Álvares-Da-Silva¹
 Marius Nils Müller²

1 – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBio, Brasil.

2 – Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, PE, Brasil.

Correspondência: orione.silva@icmbio.gov.br

Recebido em: 28-09-2021

Aprovado em: 06-12-2021



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.



INTRODUÇÃO

Cientistas continuam revisitando as antigas trilhas percorridas pelos Naturalistas, até mesmo em uma época em que a humanidade está próxima de realizar a sua mais longa viagem interplanetária. Diversos grupos de cientistas na Europa, Ásia e Américas estão aderindo à Visão de Humboldt da Natureza, que objetiva promover o aumento da abordagem científica integrativa em oposição a uma ciência monotônica e pouco interdisciplinar. Esta abordagem é ainda mais relevante para a conservação dos ambientes marinhos, onde a generalizada falta de informações dos atributos da geodiversidade e da biodiversidade limitam a aplicação de métodos comparativos e de análises multivariadas.

Secularmente, as nações desenvolvidas do hemisfério norte, mantem investimentos contínuos em ciência e tecnologia orientados para alicerçar o conhecimento sobre o mar, iniciando pela necessidade de delimitação das fronteiras marítimas. No Brasil, somente no final de 2019 foi descrito e delimitado o Sistema Costeiro-Marinho (SCM), o que suprimiu o inadequado termo “bioma marinho”. Contudo, ainda resta muito a conhecer sobre os padrões espaciais e temporais da biota do SCM. É essencial categorizar o estado da conservação das espécies e identificar melhores estratégias para sua efetiva proteção no Antropoceno. Neste artigo, nós contextualizamos o papel dos Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção (PANs) marinhos em um cenário carente de informações científicas interdisciplinares e oferecemos sugestões para implementar modelos de gestão e de pesquisa mais integrados aos modernos conceitos da geobiodiversidade.

Humboldt e geobiodiversidade

Alexander von Humboldt, naturalista e explorador, viajou extensivamente produzindo coleções zoobotânicas e de minerais, além de realizar importantes observações geológicas, oceanográficas e astronômicas. Suas contribuições levaram a fundação de estudos geomagnéticos, monitoramento meteorológico e da moderna biogeografia, além de ser a primeira pessoa a pensar e discutir sobre as mudanças climáticas induzidas por humanos (WULF, 2015).

Na Visão de Humboldt (HUMBOLDT, 1850/2011), a natureza está interconectada em escala global determinando padrões que nunca poderiam ser

entendidos em fatias ou pedaços. Os princípios fundamentais de sua abordagem científica influenciaram Charles Darwin e foram baseados na importância da observação, na interrelação de todas as ciências físicas e no uso preferencial de métodos quantitativos para coletar dados. Na sua obra *Kosmos* (palavra ressuscitada do Grego antigo), um tratado escrito em multi-volumes, publicado a partir de 1845, Humboldt unificou diversos ramos do conhecimento científico e, por isso, foi comparado a Aristóteles. Este notável filósofo grego foi fundador de uma escola denominada Liceu, onde as pesquisas interdisciplinares fundamentavam a formação acadêmica.

Atualmente, a expansão da Visão de Humboldt tem levado a uma nova abordagem sistemática da história natural denominada geobiodiversidade (MOSBRUGGER *et al.*, 2018). Nela está implícito o conceito que os padrões dinâmicos da biodiversidade estão alicerçados na complexidade morfológica e topográfica da paisagem, bem como na quantidade e na sazonalidade energética dos ecossistemas, pois este conjunto de fatores tem um papel chave para a diversidade de habitat em múltiplas escalas (EDDY *et al.*, 2020; MUELLNER-RIEHL *et al.*, 2019). Assim, a análise sistêmica dos componentes geodiversidade e biodiversidade revela a perspectiva histórica, pois liga o fluxo evolutivo natural das biotas ao regime de perturbação antrópica, o que possibilita prever e gerir os futuros desafios da sustentabilidade ambiental (PĂTRU-STUPARIU *et al.*, 2017).

O martelo de Hēphaistos e a conservação da geobiodiversidade no Antropoceno

Desde a formação da Terra, há 4,6 bilhões de anos, os processos geológicos estão moldando continuamente a sua superfície. Na mitologia Grega, estes processos eram atribuídos a *Hēphaistos* (em Grego) ou *Hephaestus* (em Latim), o deus ferreiro, pois, enquanto mantinha suas forjas aquecidas, dirigia a atividade dos vulcões e combinava os minerais.

Na Escala Geológica do Tempo, o éon Hadeano (Hades, é tio de Hēphaistos) é a base na escala fundamental para expressar a história da Terra. Já no Archeano (4 – 2,5 bilhões de anos), estruturas orgânicas estavam em desenvolvimento no mar e marcaram o início da vida na Terra. As plantas vasculares somente ocuparam as porções emersas a partir da metade do Siluriano (443 - 419 milhões de anos) e, com isso, deram início aos ecossistemas terrestres mais complexos. Subsequentemente, a interação entre

ecossistemas marinhos e terrestres tornou-se parte central da evolução de toda a biosfera e do estabelecimento da geobiodiversidade global (SHEN; ZHOU, 2010).

Todo este processo dinâmico e interativo deixou notáveis registros na Escala Geológica do Tempo, indicados pelos grandes eventos macroevolutivos e pelas mudanças biogeográficas, os quais foram permeados por intrigantes ciclos de extinções em massa seguidos por radiação explosiva (BARNOSKY *et al.*, 2011).

A geobiodiversidade foi moldada continuamente, através do tempo geológico, respondendo a perturbações físicas ao ambiente e à ação da seleção natural (KUFFNER; TOTH, 2016). Os registros cronoestratigráficos da Terra, indicam que o processo evolutivo das espécies têm resiliência a perturbações extremas causada por mudanças ambientais, que ocorreram ao longo da escala de tempo profundo (REPCHECK, 2003; WILKINSON, 2005). Neste contexto, as mudanças ambientais foram circunstanciadas por, mas não somente, pelas variações orbitais do planeta (ROE, 2006), pelas variações no nível eustático dos oceanos e pela reconfiguração continental das placas tectônicas (CRAMERI *et al.*, 2018; GALBRAITH *et al.*, 2013; LIU; GOFF; AUSTIN, 2017). Com isso, períodos de vulcanismo intenso e glaciações caracterizaram os períodos Neoproterozóico – Cambriano, Permiano – Triássico e Cretáceo – Paleogene. Contudo, a resiliência das biotas da Terra iria enfrentar um novo desafio vindo do processo evolutivo dos mamíferos no Plioceno – Pleistoceno: o gênero *Homo*.

O clima global e os ciclos biogeoquímicos da Terra nunca haviam experimentado um desequilíbrio intenso causado por uma única espécie. A temática mobilizou a comunidade científica, durante os primeiros quinze anos do século atual (FINNEY, 2014; WATERS *et al.*, 2014). Então, em 2016, a *Subcommission on Quaternary Stratigraphy*, da *International Commission on Stratigraphy*, apresentou a proposta de atualização da *International Chronostratigraphic Chart* (COHEN *et al.*, 2020), pois diversos cientistas (WATERS *et al.*, 2016) indicaram que uma nova época geológica estava em curso, o Antropoceno. Atualmente, este termo é amplamente utilizado na literatura científica (LEWIS; MASLIN, 2015; RIPPLE *et al.*, 2019; THOMAS, 2013), embora não conste oficialmente como unidade Cronoestratigráfica do Quaternário.

Na última década, consolidou-se a premissa que o ordenamento de redes de áreas protegidas, englobando ambientes heterogêneos, são a melhor estratégia para a proteção

da geobiodiversidade no Antropoceno (BERTZKY *et al.*, 2012; UNEP-WCMC; IUCN; NGS, 2018). Entretanto, a efetividade desta estratégia depende de conhecimento científico, quanto as complexas relações de causa-efeito entre a geodiversidade e a biodiversidade (SHEN; ZHOU, 2010). Assim, planos de manejo de áreas protegidas do sistema costeiro-marinho podem ser considerados mais difíceis de implementar, quando comparados a planos de manejo de áreas protegidas de ambientes terrestres. Uma das razões (FOLEY *et al.*, 2010), é o nível discrepante do conhecimento científico, o qual é bem mais consolidado, para ambientes terrestres (COSTELLO; CHAUDHARY, 2017; PIMM *et al.*, 2014).

Em ambientes marinhos, grupos de pesquisa sugerem, inicialmente, determinar a complexidade topográfica e a influência dos processos geológicos (BADGLEY *et al.*, 2017) e direcionar as investigações para as bases evolutivas da geobiodiversidade marinha, em uma abordagem de múltiplas escalas espacial e temporal (LECOURS *et al.*, 2016; MISIUK; LECOURS; BELL, 2018).

O mapeamento e a classificação padronizada de geohabitat marinhos encontra limitações, mas tem sido priorizado globalmente (HARRIS *et al.*, 2014). No Brasil, atualmente, o mais amplo levantamento de dados da heterogeneidade topográfica do leito marinho, por sonificação (*multibeam* e *singlebeam*), está em execução pelo Programa de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira – LEPLAC (MARINHA DO BRASIL, 2020), que tem o objetivo primário de mapear o fundo marinho além dos limites da Zona Econômica Exclusiva – ZEE. Há também levantamentos batimétricos, por sonificação e por satélite, de larga escala espacial, que foram coordenados pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – Programa ReviZEE (MMA, 2009) e pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2013). Instituições acadêmicas, normalmente realizam estudos para determinar o gradiente topográfico em áreas próximas da costa e em microescala (< 50 km²). Em todos estes exemplos, com exceção do LEPLAC, os dados brutos estão dispersos e indisponíveis para multiusuários, e não há uma ação coordenada para priorizar levantamentos batimétricos sistemáticos nas áreas protegidas.

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo – Cartas SAO indicam que as pesquisas científicas do componente biótico, raramente são desenvolvidas em

profundidades superiores a 20 metros (BRASIL, 2004; MALLMANN *et al.*, 2011; MMA, 2012). Além disso, os mapas revelam a escassez de dados sistemáticos dos componentes bióticos e abióticos, imediatamente além da linha de costa.

Heterogeneidade ambiental e Humboldtian shortfalls

A origem do conceito de heterogeneidade em ecologia, no século XIX, é atribuída a Humboldt (SPARROW, 1999). No mar profundo (65% da superfície global), parâmetros relacionados à heterogeneidade ambiental como a distribuição e a diversidade da fauna dos ecossistemas são escassamente conhecidas (SAEEDI *et al.*, 2019).

Em escala global, a riqueza de espécies e a produtividade de ecossistemas naturais terrestres estão positivamente relacionados e crescem em direção ao equador. Uma das razões, é atribuída a maior amplitude do gradiente ambiental, com mais refúgio e mais espaço adequado para as espécies (GILLMAN *et al.*, 2015; PEREIRA, 2016). Alternativamente, o gradiente da riqueza de espécies marinhas segue um padrão bimodal relacionado à temperatura e a disponibilidade de *habitat* (CHAUDHARY; SAEEDI; COSTELLO, 2016) e a produtividade é caracterizada pela forte sazonalidade e pela variação geográfica de larga escala espacial (SIGMAN; HAIN, 2012).

Atualmente, estima-se que um terço do número total de espécies marinhas existentes ainda não foram descobertas (APPELTANS *et al.*, 2012; COSTELLO; CHAUDHARY, 2017). A elevada discrepância entre o número de espécies identificadas e o número de espécies existentes é referenciada na biogeografia como *Linnean shortfalls* (LOMOLINO, 2001), assim como, a ausência de relevante informação filogenética, para a maioria dos organismos, é denominada *Darwinian shortfalls* (DINIZ-FILHO *et al.*, 2013). Na mesma escala global, a geodiversidade marinha também sofre de generalizada escassez de dados básicos (e.g. mapeamento de *geohabitat* da plataforma), que ainda são modestamente interrelacionados com a conservação da biodiversidade, o que, neste trabalho, foi denominado de *Humboldtian shortfalls*.

Limites marítimos e a geobiodiversidade marinha

No site Seabed2030 Project (https://www.gebco.net/about_us/seabed2030_project/), afirma-se que “*we know more about the shape of the surface of Mars than we do about that of our global seafloor*”.

Contando com a infraestrutura e tecnologias atuais, o prazo estimado para ter disponível um bom mapa do relevo oceânico é de 700 anos, conforme indicações da *General Bathymetric Chart of the Oceans* – GEBCO, no que pese o atual investimento e contribuições de diversas instituições internacionais (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2020/).

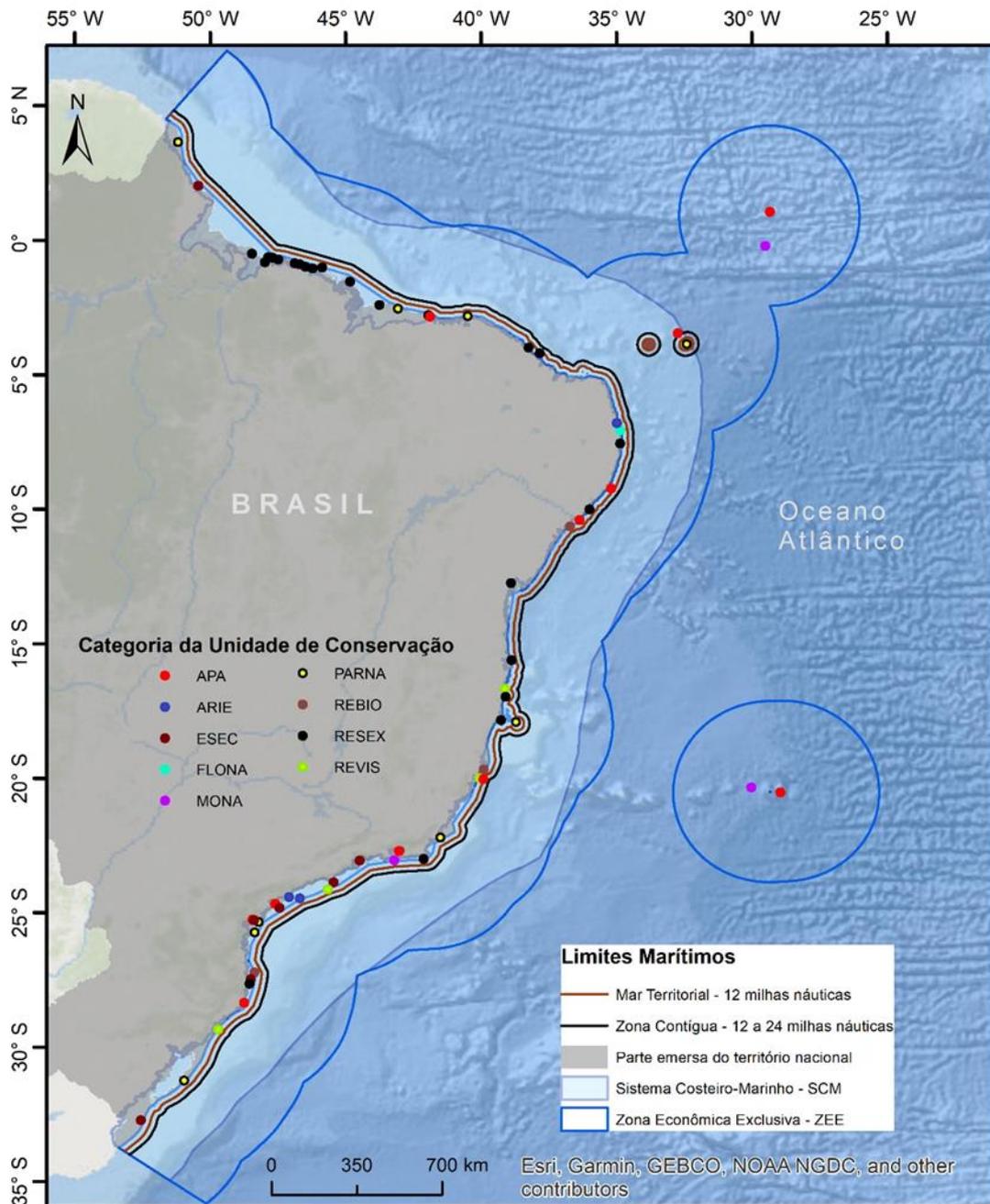
Desta forma, em escala global, o limitado conhecimento da geomorfometria do fundo oceânico e as dificuldades técnicas para alcançar uma definição precisa dos limites marítimos (NOAA, 2021), permanecem desafiando a aquisição, a organização e a aplicação de dados espaciais orientados tanto para as atividades do comércio internacional, quanto para a conservação dos ambientes marinhos.

A Figura 1 mostra a extensa Zona Econômica Exclusiva – ZEE do Brasil (também denominada de Amazônia Azul) e indica a existência de 63 unidades de conservação federais inseridas nos limites marítimos do Sistema Costeiro-Marinho (SCM), o qual foi recentemente descrito e delimitado (IBGE, 2019).

A Figura 1 indica que 4 unidades de conservação federais marinhas ficaram excluídas dos limites do SCM: a APA e a MONA do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (situadas na zona equatorial) e a APA e a MONA do Arquipélago de Trindade e Martim Vaz e Monte Columbia (situadas próximas ao paralelo 20° S). O SCM está totalmente inserido na ZEE, engloba a maior parte das Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (BRASIL, 2018) e sobrepõe parcialmente com a área da Província Marinha Atlântico Sudoeste Tropical (SPALDING *et al.*, 2007).

Figura 1. Unidades de conservação federais do Sistema Costeiro-Marinho do Brasil. Os pontos indicam a posição do centroide da área da unidade de conservação. As siglas referem-se à categoria da unidade de conservação no Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC: APA – Área de Proteção Ambiental; ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico; ESEC – Estação Ecológica; FLONA –

Floresta Nacional; MONA – Monumento Natural; PARNA – Parque Nacional; REBIO – Reserva Biológica; RESEX – Reserva Extrativista; REVIS – Refúgio de Vida Silvestre.



Fonte de dados: ICMBio, 2021, BRASIL, 2021; ArcGis Basemap.

Areas Beyond National Jurisdiction (ABNJ), são aquelas situadas em alto mar, além da ZEE das nações, e por isso dependem de concordância internacional para a criação de áreas protegidas (UNITED NATIONS, 2020), como é o caso das duas unidades de conservação do Arquipélago de Trindade. A definição de estratégias de conservação

da diversidade biológica na ABNJ não é trivial, pois é um tema pouco conhecido por cientistas e tomadores de decisão (SUTHERLAND *et al.*, 2018), apesar da sua importância para a conservação da biodiversidade global (SELIG *et al.*, 2014).

A Figura 1 destaca dois aspectos importantes para a geobiodiversidade marinha do Brasil: a ampla fronteira marítima, situada dentro da produtiva e biodiversa faixa intertropical, e a existência de uma rede de unidades de áreas protegidas costeiro-marinhas, relativamente bem distribuída.

A rede de unidades de conservação do SMC abriga, na sua parte continental, tipos de vegetação que caracterizam 4 biomas (IBGE, 2019): Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Adicionalmente, a variação longitudinal da fronteira marítima englobou diferentes tipos de ecossistemas, os quais acumulam diferentes atributos geofísicos e bioquímicos (C. DE LEO; PUIG, 2018), que caracterizam o elevado gradiente de profundidade entre a província nerítica (até 200m de profundidade) e o oceano profundo.

Humboldtian shortfalls na perspectiva dos Planos de Ação Nacional

Os Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção – PANs são a mais importante estratégia de gestão para a conservação e recuperação de espécies ameaçadas no Brasil (LINS *et al.*, 2018). Os planos contemplam a participação multilateral e são coordenados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, um órgão federal que administra mais de 1,7 milhões de km² de áreas protegidas, em sua maior parte marinha (ICMBIO, 2020). Considerando o cumprimento integral das metas institucionais (BRASIL, 2020), o ICMBio concluirá, até 2022, a avaliação do estado de conservação de mais de 15 mil espécies da fauna brasileira.

Contudo, apesar do notável esforço do ICMBio e de várias instituições científicas, há um destacado *Humboldtian shortfalls* no ambiente marinho, que pode ser minimizado com o redirecionamento das prioridades de pesquisa e com a criação de novos PANs. Entre os atuais 71 PANs, 14 estão orientados diretamente para ambientes e espécies marinhas (ICMBIO, 2021), conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Planos de Ação Nacional Marinhos

| Nome do Plano de Ação Nacional | Abrangência taxonômica | Abrangência geográfica |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Albatrozes e Petréis | Intraclasse | Bioma |
| Aves Limícolas Migratórias | Intraclasse | Nacional |
| Aves Marinhas | Intraclasse | Bioma |
| Peixe-boi Marinho | Monoespecífico | Específico (distribuição da espécie) |
| Tubarões | Intraclasse | Bioma |
| Corais | Multiclasse | Ecosistema |
| Lagoas do Sul | Multiclasse | Ecosistema |
| Grandes Cetáceos e Pinípedes | Multiclasse | Bioma |
| Pequenos Cetáceos | Intraclasse | Específico (distribuição da espécie) |
| Toninha | Monoespecífico | Específico (distribuição da espécie) |
| Sirênios | Intraclasse | Específico (distribuição da espécie) |
| Cetáceos Marinhos | Intraclasse | Bioma |
| Manguezal | Multiclasse | Ecosistema |
| Tartarugas Marinhas | Intraclasse | Bioma |

Fonte: ICMBio, 2021

Um pouco mais de dois terços dos PANs marinhos têm uma abrangência taxonômica monoespecífica ou intraclasse, enquanto PANs orientados mais diretamente a ambientes (e.g. Corais, Manguezal, Lagoas do Sul) abrangem multiclases. Estes últimos, entretanto, tem uma abrangência geográfica mais limitada, normalmente indicada por ecossistemas, enquanto os demais PANs são compatíveis com escalas espaciais mais abrangentes, como biomas.

A comunidade científica e a rede de unidades de conservação do SNUC, podem otimizar os resultados da conservação marinha, se desenvolverem modelos de gestão e de pesquisa mais integrados aos modernos conceitos da geobiodiversidade e da Visão de Humboldt.

Por exemplo, descritores geofísicos qualitativos e quantitativos de macro e mesoescala (> 50km²), representados pelos dados geomagnéticos, sísmica, composição sedimentar e batimetria podem ser selecionados e utilizados para a investigação da geodiversidade marinha. Dados da biodiversidade e de descritores geofísicos de microescala podem ser adquiridos por mergulhadores técnicos, através do registro de imagens dos principais grupos bióticos, da coleta de amostras de sedimentos e de medições geomorfométricas diretas das estruturas geológicas subaquáticas. Os dados, preferencialmente quantitativos, necessariamente, precisam ser organizados em um SIG (Sistema de Informação Geográfica), estruturado em uma plataforma (e.g. ArcGis) que

possibilite integrar à linguagem computacional R, para a execução de análises da geomorfometria, análises espaciais em múltiplas escalas e análises estatística multivariada. Desta forma, diversos descritores relacionados ao padrão espacial da geobiodiversidade (e.g. conectividade, fragmentação, morfologia, topografia) podem ser acessados e interconectados durante as análises, para testar hipóteses e entender os processos ecológicos subjacentes. Igualmente importante: aderir a política de compartilhamento de dados brutos, através de bases de livre acesso (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2020).

O Portal Brasileiro de Dados Abertos, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (e.g. BDiA) e o ICMBio (e.g. SisMonitora) já detêm a infraestrutura e as tecnologias necessárias para centralizar e distribuir dados científicos. Contudo, precisam adotar rotinas mais objetivas e simplificadas para o processo de aquisição de novos dados, validação e posterior acesso pelo usuário final, similar ao que ocorre em bases internacionais, como, por exemplo, a SEANOE – *Sea Scientific Open Data Publication* (veja um exemplo em <https://doi.org/10.17882/61553>).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento do SCM é um importante avanço para futuras análises da geobiodiversidade marinha. Sua delimitação utilizou atributos geofísicos, geomorfológicos e bióticos específicos dos ambientes costeiros e marinhos, deixando o termo bioma exclusivamente para os tipos de vegetação contíguos e identificáveis no continente. Contudo, futuras revisões dos limites marinhos precisarão considerar a atual exclusão de áreas protegidas existentes.

Outro aspecto igualmente importante no SCM, sob a Visão de Humboldt, é o imensurável patrimônio cultural associado a rede de unidades de conservação. O conhecimento nativo está particularmente representado nas unidades da categoria de uso sustentável da biodiversidade, como ARIE, APA, FLONA e RESEX que representam 59% do total. Apenas um exemplo: segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, o território nacional abriga a maior diversidade mundial de tipos de embarcações movidas a vela e a remo (BRASIL, 2009).

Os PANs não devem consolidar a ideia equivocada, e muito frequente, que as espécies ou grupos taxonômicos são unidades independentes ou isoladas na complexa definição da estratégia de gestão para a conservação da biodiversidade. Pelo contrário, é impressionante e inspirador o trabalho dos PAN de avaliar milhares de espécies, em uma escala continental e em uma zona global de elevada biodiversidade. Contudo, é ainda necessário um esforço extra para integrar efetivamente os dados da biodiversidade com a geodiversidade. Certamente Humboldt olharia, no atual cenário do Antropoceno, para uma rede de unidades de conservação já consolidada e não pouparia esforços para sistematizar um projeto piloto, ou talvez um novo PAN marinho, especialmente desenhado para explorar a sua geobiodiversidade, sob uma perspectiva científica integrada. A estrutura administrativa e financeira para isso já existe (MMA, 2020).

Finalmente, seria importante que os tomadores de decisão considerassem a possibilidade de reduzir as causas do *Humboldtian shortfalls*. Isto poderia ocorrer através de diretrizes governamentais que favoreçam integrar, nas principais ações conservacionistas, o conceito interdisciplinar da geobiodiversidade, pois esta abordagem é capaz de articular o ceticismo do método científico com a história natural orquestrada por Hēphaistos e seu martelo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Gilberto Sales, do Centro TAMAR, e aos professores Antonio Barbosa e Osvaldo Correia-Filho, do Departamento de Geologia da UFPE, pelas produtivas discussões que antecederam este manuscrito. Os autores agradecem, especialmente, a dois revisores anônimos, pelas valiosas contribuições e comentários construtivos. Nosso trabalho na plataforma continental da Paraíba, apoiado pela Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (grant number 1044-20152) e pelo ICMBio, nos ajudou a entender melhor o *Humboldtian shortfalls* na meso e microescalas espaciais.

REFERÊNCIAS

APPELTANS, W. *et al.* The magnitude of global marine species diversity. **Current Biology**, [s. l.], v. 22, n. 23, p. 2189–2202, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.036>

- BADGLEY, C. *et al.* Biodiversity and Topographic Complexity: Modern and Geohistorical Perspectives. **Trends in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 211–226, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.010>
- BARNOSKY, A. D. *et al.* Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? [s. l.], p. 1–7, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- BERTZKY, B. *et al.* **Protected Planet Report 2012: Tracking progress towards global targets for protected areas**. [S. l.]: IUCN, Gland, Switzerland and UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 2012.
- BRASIL. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das bacias marítimas do Ceará e Potiguar**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- BRASIL. **Portaria Nº 463, de 18 de dezembro de 2018**. [S. l.], 2018. Available at: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/55881195/do1-2018-12-19-portaria-n-463-de-18-de-dezembro-de-2018-55880954. Acesso em: 9 out. 2020.
- BRASIL. **Portaria Nº 523, de 30 de setembro de 2020 - DOU - Imprensa Nacional**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-523-de-30-de-setembro-de-2020-281064042>. Acesso em: 14 out. 2020.
- BRASIL. **Projeto Barcos do Brasil**. Brasília, DF: IPHAN, 2009.
- C. DE LEO, F.; PUIG, P. Bridging the gap between the shallow and deep oceans: The key role of submarine canyons. **Progress in Oceanography**, [s. l.], v. 169, n. xxxx, p. 1–5, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.08.006>
- CHAUDHARY, C.; SAEEDI, H.; COSTELLO, M. J. Bimodality of Latitudinal Gradients in Marine Species Richness. **Trends in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 670–676, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.06.001>
- COHEN, K. M. *et al.* International Chronostratigraphic Chart. *In*: 2020. **The ICS International Chronostratigraphic Chart**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 199–204. Available at: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-04.pdf>
- COSTELLO, M. J.; CHAUDHARY, C. Marine Biodiversity, Biogeography, Deep-Sea Gradients, and Conservation. **Current Biology**, [s. l.], v. 27, n. 11, p. R511–R527, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.060>
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Batimetria**. [S. l.], 2013. Available at: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Marinha/Projeto-Batimetria-3224.html>.
- CRAMERI, F. *et al.* The dynamic life of an oceanic plate. **Tectonophysics**, [s. l.], p. #pagerange#, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.016>
- DINIZ-FILHO, J. A. F. *et al.* Darwinian shortfalls in biodiversity conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 28, n. 12, p. 689–695, 2013.
- EDDY, T. D. *et al.* Energy Flow Through Marine Ecosystems: Confronting Transfer Efficiency. **Trends in Ecology & Evolution**, [s. l.], v. xx, n. xx, p. 1–11, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.09.006>

- FINNEY, S. C. The “Anthropocene” as a ratified unit in the ICS international chronostratigraphic chart: Fundamental issues that must be addressed by the task group. **Geological Society Special Publication**, [s. l.], v. 395, n. 1, p. 23–28, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1144/SP395.9>
- FOLEY, M. M. *et al.* Guiding ecological principles for marine spatial planning. **Marine Policy**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 955–966, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.02.001>
- GALBRAITH, E. D. *et al.* The acceleration of oceanic denitrification during deglacial warming. **Nature**, [s. l.], v. 6, p. 579–584, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1038/ngeo1832>
- GILLMAN, L. N. *et al.* Latitude, productivity and species richness. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 107–117, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1111/geb.12245>
- HARRIS, P. T. *et al.* Geomorphology of the oceans. **Marine Geology**, [s. l.], v. 352, p. 4–24, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>
- HUMBOLDT, A. **Views of Nature: Or Contemplations on the Sublime Phenomena of Creation (Cambridge Library Collection - Earth Science)**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139095983>
- IBGE. **Biomás e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: [s. n.], 2019. Available at: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>
- ICMBIO. **Painel Corporativo**. [S. l.], 2020. Available at: http://qv.icmbio.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc2.htm?document=painel_corporativo_6476.qvw&host=Local&anonymous=true. Acesso em: 14 out. 2020.
- ICMBIO. **Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção - PAN**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan>. Acesso em: 27 set. 2021.
- KUFFNER, I. B.; TOTH, L. T. A geological perspective on the degradation and conservation of western Atlantic coral reefs. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 706–715, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1111/cobi.12725>
- LECOURS, V. *et al.* A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 20, n. 8, p. 3207–3244, 2016. Available at: <https://doi.org/10.5194/hess-20-3207-2016>
- LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. **Nature**, [s. l.], v. 519, n. 7542, p. 171–180, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature14258>
- LINS, A. C. R. *et al.* **Guia para Gestão de Planos de Ação Nacional para a Conservação das Espécies Ameaçadas de Extinção: PAN - Elabore - Monitore - Avalie**. 1ªed. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade / Ministério do Meio Ambiente, 2018.
- LIU, S.; GOFF, J. A.; AUSTIN, J. A. Seismic morphology and infilling structure of the buried channel system beneath the inner shelf off western Long Island, New York: Accessing clues to palaeo-estuarine and coastal processes. **Marine Geology**, [s. l.], v. 387, p. 12–30, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.03.004>

- LOMOLINO, M. V. Elevation gradients of species-density: Historical and prospective views. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 3–13, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>
- MALLMANN, D. L. B. *et al.* **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo do litoral de Pernambuco**. Recife, PE: Liceu Ed., 2011. *E-book*.
- MARINHA DO BRASIL. **Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.marinha.mil.br/secirm/leplac>. Acesso em: 17 out. 2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano de Dados Abertos: 2021/2022**. Brasília, DF: Departamento de Gestão Estratégica, 2020.
- MISIUK, B.; LECOOURS, V.; BELL, T. A multiscale approach to mapping seabed sediments. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1–24, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193647>
- MMA. **Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima da Bahia**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente / IBAMA, 2012.
- MMA. **Programa ReviZEE - Série de documentos**. [S. l.], 2009. Available at: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/programa-revizee/item/7605.html>. Acesso em: 17 out. 2020.
- MMA. **Projeto GEF-Mar**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/programas-e-projetos/projeto-gef-mar>. Acesso em: 22 out. 2020.
- MOSBRUGGER, V. *et al.* Cenozoic evolution of geo-biodiversity in the Tibeto-Himalayan Region. *In*: HOORN, C.; PERRIGIO, A.; ANTONELLI, A. (org.). **Mountains, climate, and biodiversity**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2018. p. 429–448.
- MUELLNER-RIEHL, A. N. *et al.* Origins of global mountain plant biodiversity: Testing the ‘mountain-geobiodiversity hypothesis’. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 46, n. 12, p. 2826–2838, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1111/jbi.13715>
- NOAA. **Mapping Marine Boundaries and Statutes**. [S. l.], 2021. Available at: <https://noaa.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=e0f1e7b9f3754b879c6950c8f0805de1>. Acesso em: 24 set. 2021.
- PĂTRU-STUPARIU, I. *et al.* Integrating geo-biodiversity features in the analysis of landscape patterns. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 80, n. August 2016, p. 363–375, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.010>
- PEREIRA, H. M. A latitudinal gradient for genetic diversity. **Science**, [s. l.], v. 353, n. 6307, p. 1494–1495, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.aah6730>
- PIMM, S. L. *et al.* The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, [s. l.], v. 344, n. 6187, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1246752>
- REPCHECK, J. **The Man Who Found Time: James Hutton and the Discovery of the Earth’s Antiquity**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2003.
- RIPPLE, W. J. *et al.* Are we eating the world’s megafauna to extinction? **Conservation Letters**, [s. l.], p. 1–10, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1111/conl.12627>

- ROE, G. In defense of Milankovitch. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 33, n. 24, p. 1–5, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1029/2006GL027817>
- SAEEDI, H. *et al.* Global marine biodiversity in the context of achieving the Aichi Targets: Ways forward and addressing data gaps. **PeerJ**, [s. l.], v. 2019, n. 10, p. 1–17, 2019. Available at: <https://doi.org/10.7717/peerj.7221>
- SELIG, E. R. *et al.* Global Priorities for Marine Biodiversity Conservation. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–11, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082898>
- SHEN, S. Z.; ZHOU, Z. H. Evolution of marine and terrestrial geobiodiversity in the history of the earth. **Science China Earth Sciences**, [s. l.], v. 53, n. 12, p. 1747–1749, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4077-x>
- SIGMAN, D. M.; HAIN, M. P. The Biological Productivity of the Ocean. **Nature Education Knowledge**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 21, 2012. Available at: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-biological-productivity-of-the-ocean-70631104/#>
- SPALDING, M. D. *et al.* Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. **BioScience**, [s. l.], v. 57, n. 7, p. 573–583, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1641/b570707>. Acesso em: 14 ago. 2020.
- SPARROW, A. D. A heterogeneity of heterogeneities. **Trends in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 422–423, 1999. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01735-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01735-8)
- SUTHERLAND, W. J. *et al.* A 2018 Horizon Scan of Emerging Issues for Global Conservation and Biological Diversity. **Trends in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 47–58, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.11.006>
- THOMAS, C. D. The Anthropocene could raise biological diversity. **Nature**, [s. l.], v. 502, n. 7469, p. 7, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1038/502007a>
- UNEP-WCMC; IUCN; NGS. **Protected Planet Report 2018**. Gland, Switzerland; and Washington, D.C., USA: UNEP-WCMC, IUCN and NGS: Cambridge UK, 2018.
- UNITED NATIONS. **Oceans and Law of the Sea**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.un.org/Depts/los/index.htm>. Acesso em: 23 out. 2020.
- WATERS, C. N. *et al.* A Stratigraphical Basis for the Anthropocene. *In*: 2014, London. **Geological Society, London**. London: The Geological Society of London, 2014. p. 23–28.
- WATERS, C. N. *et al.* The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**, [s. l.], v. 351, n. 6269, p. 1–10, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.aad2622>
- WILKINSON, B. H. Humans as geologic agents: A deep-time perspective. **Geology**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 161–164, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1130/G21108.1>
- WULF, A. **The Invention of Nature: Alexander Von Humboldt's new world**. 1^aed. New York, NY: Alfred A. Knopf, 2015.