

Morfologia, Pandemia e 3D

Leonardo Souza Lobo^{1,2}; Orlando Nelson Grillo^{1,3} & Sergio Alex Kugland de Azevedo^{1,4}

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Museu Nacional (MN), Departamento de Geologia e Paleontologia (DGP). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5212-4230>. E-mail: leoloboo@gmail.com

³ ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3677-7335>. E-mail: ongrillo@mn.ufrj.br

⁴ ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3472-5806>. E-mail: sazevedo@mn.ufrj.br

Resumo. A pandemia da COVID-19 impõe grande restrição de acesso à informação morfológica contida em coleções científicas, comprometendo o andamento de pesquisas. Mesmo não sendo o primeiro evento a causar restrições de acesso, sem dúvida, é o de maior amplitude global. Com base nisso, discutimos os entraves do acesso à informação e apresentamos a tecnologia 3D como uma importante ferramenta na criação de rotas que mitiguem os efeitos de futuras restrições. Em uma esfera global, observam-se iniciativas de integração interinstitucional e redes internacionais que visam facilitar e difundir a implementação de ferramentas e técnicas de digitalização a fim de facilitar o acesso às diversas informações biológicas. Entretanto, quando falamos em tecnologias 3D nos países da América Latina, como bem se observa no Brasil, falta esse tipo de avanço, havendo apenas iniciativas isoladas, de alguns laboratórios e centros de pesquisa que implementam ferramentas de digitalização, mas, muitas vezes, como uso experimental. Além disso, fatos recentes, como o incêndio do Museu Nacional e a restrição de mobilidade imposta pela pandemia da COVID-19, reforçam a necessidade e urgência de se discutir sobre virtualização das coleções de história natural em território nacional. Nesse sentido, recomendamos a fotogrametria como tecnologia mais acessível e versátil, que poderia ser rapidamente implementada nos procedimentos curatoriais. Além disso, definimos critérios para estabelecer prioridades de virtualização do acervo. A virtualização de espécimes tipo é uma tarefa inevitável e necessária para garantir seu acesso e a expansão de sua salvaguarda, conforme estabelecido pelo ICZN, e devem, portanto, ser considerados como alta prioridade, seguidos de espécimes de referência, que são frequentemente acessados. Finalmente, para garantir que a América Latina avance para níveis similares aos observados em outros continentes, é importante o estabelecimento de uma rede colaborativa de museus e demais instituições de pesquisa.

Palavras-Chave. Morfologia; Curadoria; Virtualização; Coleções de História Natural.

Abstract. Morphology, Pandemic, and 3D. The COVID-19 pandemic imposes the biggest restrictions on access to morphological information housed in scientific collections, compromising the progress of scientific research. Even though it is not the first event to impose restrictions on access, it is undoubtedly the most global in range. Based on this, we discuss the barriers to access information and we show 3D technology as an important tool to create routes to mitigate the effects of future restrictions. In a global sphere, there are initiatives of inter-institutional integration and international networks focused on facilitating and disseminate the implementation of digitization tools and techniques to facilitate access to diverse biological information. Notwithstanding, when we speak in 3D technology in Latin American countries, as is well noted in Brazil, this type of progress is lacking, with only isolated initiatives from some laboratories and research centers that implement 3D digitization tools, but often as experimental uses. Moreover, recent events, such as the Museu Nacional fire and the mobility restriction imposed by the COVID-19 pandemic, reinforce the need and urgency to discuss the virtualization of natural history collections in the national territory. In this sense, we recommend photogrammetry as a more accessible and versatile technology, which could be quickly implemented in curatorial procedures. We, also, have defined criteria to establish priorities for virtualizing the collection. The virtualization of the type specimens is an inevitable and necessary task to ensure their access and expansion of their safe preservation, as established by the ICZN, and should therefore be considered as a high priority, followed by reference specimens, which are frequently accessed. Finally, to ensure Latin America advances to levels similar to those observed in other continents, it is important to establish a collaborative network of museums and other research institutions.

Keywords. Morphology, Curation, Virtualization, Natural History Collections.

Arq. Zool., 52(2): 33-40, 2021

<http://doi.org/10.11606/2176-7793/2021.52.02>

<http://www.revistas.usp.br/azmz>

ISSN On-Line: 2176-7793

ISSN Printed: 0066-7870

ISNI: 0000-0004-0384-1825

Edited by: Carlos José Einicker Lamas

Received: 04/07/2020

Accepted: 26/02/2021

Published: 01/06/2021



INTRODUÇÃO

Iniciativas e discussões sobre a digitalização de dados em coleções científicas são habituais desde a década de 90 (OECD, 1999). Normalmente, essas iniciativas envolvem a digitalização e disponibilização de metadados que podem ou não ser acompanhados de imagens bidimensionais. Entretanto, esses dados nem sempre são suficientes para pesquisas que envolvem Morfologia – o estudo da forma biológica –, que está presente em todos os projetos de pesquisa da Biologia que visam avaliar hipóteses sobre diversidade, evolução, ocupação de nicho ecológico, dimorfismo sexual, dentre outras questões. Em áreas como a zoologia e paleontologia acaba sendo necessário o acesso, usualmente de forma física, à informação espacial, forma e métrica, do conjunto de objetos que são foco do estudo.

Situações que tornam impossível esse acesso direto aos exemplares, como a que ocorre devido às restrições de mobilidade advindas pela pandemia ocasionada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), reforçam a necessidade de se ter outras formas de acesso ao objeto da pesquisa. Em muitos casos, o acesso a um modelo digital tridimensional dos exemplares pode permitir que o pesquisador obtenha a informação de que necessita para sua pesquisa sem a necessidade de acessar fisicamente os exemplares. Nesse sentido, o foco da presente contribuição circunda a temática do uso de tecnologias tridimensionais para a digitalização de exemplares de coleções científicas, que data do início dos anos 2000, como é o caso do Brasil, em que teve início a partir de 2002 (Grillo *et al.*, 2020).

NECESSIDADE DE DESLOCAMENTO, PANDEMIA E A RESTRIÇÃO DE MOVIMENTO

A diversidade biológica é comumente salvaguardada em instituições de pesquisa, universidades e museus de história natural. Sendo que as informações morfológicas às quais os pesquisadores acessam, muito frequentemente, extrapolam limites geopolíticos. E, a depender do contexto histórico do país em que essas instituições estão inseridas, salvaguardam não apenas informações sobre a diversidade de seu país, mas também de outros países que tenham sido colônias históricas ou alvos de expedições pelos seus pesquisadores. O exemplo clássico, e considerado a primeira expedição científica moderna, é a expedição de 1799 feita pela fragata espanhola Pizarro aos territórios hispânicos no novo mundo (colônias espanholas na América do Sul e América Central), na qual estava o naturalista Alexander von Humboldt, que, por não ser espanhol, teve que negociar sua participação na expedição se propondo a documentar a geografia e coletar exemplares da fauna, flora e de minerais das localidades que visitou (Wulf, 2016). Destaca-se também a viagem do naturalista britânico Charles Darwin a bordo do navio HMS Beagle à América do Sul, Oceano Pacífico, Oceania e África, entre 1831 e 1836, que culminou no envio de diversos espécimes para Inglaterra (Darwin, 2006). Vale ressaltar que, antes e após tais expedições, exempla-

res eram comumente coletados e depositados em instituições dos países que financiavam tais incursões.

Além desse contexto histórico de criação e acumulação das coleções científicas ao redor do mundo, também é sempre importante frisar que a distribuição geográfica de ocorrência das espécies não obedece a limites geopolíticos. Sendo assim, há uma necessidade intrínseca de deslocamento para o desenvolvimento de pesquisas morfológicas, o que, de um modo geral, nunca representou um problema generalizado para os pesquisadores. Não até antes de 2020.

No fim do ano de 2019, dissemina-se pelo mundo o novo coronavírus (SARS-CoV-2), que resultou no surgimento de uma pandemia no primeiro semestre do ano de 2020. Como uma forma de conter sua disseminação, medidas de restrições no funcionamento da sociedade como um todo foram tomadas, fechando-se fronteiras, afetando drasticamente o deslocamento das pessoas (Peeri *et al.*, 2020). Além desse cenário geral, há dois fatores que o deixam mais complexo. O primeiro foi a propagação desse vírus, que resultou em datas distintas para o surgimento dos primeiros casos em cada país e região do mundo e, conseqüentemente, em momentos de picos de contágio distintos. O segundo é a autonomia e independência dos países em implementar ou não políticas de saúde pública enérgicas e eficazes no combate à propagação deste vírus na população, levando alguns países a impor maiores restrições à entrada de pessoas que venham de regiões específicas que não estejam contendo a pandemia de forma adequada. Logo, mesmo sem haver ainda uma quantidade adequada de vacina ou de medicamentos que combatam a pandemia de um modo geral, o cenário global é um mosaico de cenários epidemiológicos distintos. Tal situação implica em políticas de restrição heterogêneas para distintas populações, como é refletido em relatos de pesquisadores (Yeager, 2020). Contudo, este cenário de fechamento de fronteiras e restrição de deslocamento não é algo inédito. Outras situações, mesmo que distintas da atual, já ocorreram na história, como, por exemplo, as Guerras Napoleônicas do fim do século XVIII e início do século XIX, que impediram o naturalista Georges Cuvier, pai da Paleontologia, de estudar as coleções zoológicas e paleontológicas britânicas para suas pesquisas (Faria, 2010; Kolbert, 2013).

Além das restrições de deslocamento do passado e do presente, existe a possibilidade de ocorrência de futuras pandemias com potencial de novas restrições (Cyranoski, 2020). Este cenário nos leva a promover e avançar na discussão já existente sobre o acesso à informação morfológica de forma remota ou com o mínimo de deslocamento possível, da mesma forma como vem ocorrendo discussões sobre o manejo e conservação de coleções científicas em tempos de pandemia (Red Naturalia, 2020).

TIPOS DE DADOS A SEREM DISPONIBILIZADOS

A disponibilização de informações sobre os espécimes em meios digitais pode ser feita em diferentes níveis, assim, atendendo a situações diversas.

O primeiro nível, mais comum, de disponibilização de dados corresponde aos metadados (informações associadas ao espécime, como localidade, tempo geológico, profundidade, ano da coleta, dentre outros). Diversas instituições de pesquisa no mundo todo vêm digitalizando metadados de suas coleções e muitas delas disponibilizam parte dos dados em repositórios online. Alguns exemplos no Brasil são os catálogos do Museu Paraense Emílio Goeldi (Cunha, 2015), da Fundação Oswaldo Cruz (Portela, 2015) e a iniciativa de integração nacional de dados e informações em biodiversidade feita pelo Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR), que conta, no momento, com 308 coleções cadastradas.

Num segundo nível, temos os metadados acompanhados de fotos bidimensionais em ângulos diversos de grupos taxonômicos, sendo a plataforma MorphoBank um grande esforço em andamento (O'Leary et al., 2001). Um exemplo importante no Brasil é o projeto *species-Link* (Sistema de Informação Distribuído para Coleções Biológicas: a Integração do Species Analyst e do SinBiota (FAPESP), processo FAPESP 2001/02175-5), que compreende a criação de um banco de dados referente a metadados e fotografias (SPLink, 2021). Tendo iniciado com 40 coleções, o projeto *speciesLink*, atualmente, compreende mais de 500, sendo que a inserção de dados aumentou cerca de 40% no último ano, período relativo à restrição de acesso as coleções (SPLink, 2021).

Um terceiro nível de disponibilização de dados poderia ser atribuído ao movimento mais atual de criação, manutenção e expansão de repositórios on-line de modelos tridimensionais de espécimes (Davies et al., 2017). É importante ressaltar que a produção de modelos tridimensionais digitais normalmente é feita para atender a projetos específicos de pesquisa, diferindo, portanto, das iniciativas citadas nos parágrafos anteriores, que visam disponibilizar bases de dados completas de acervos. Entretanto, algumas instituições vêm fazendo um processo intenso de digitalização tridimensional de seus acervos, a exemplo do Smithsonian Institution (Estados Unidos da América), através de seu *3D Program*, ramificação do *Digitization Program Office* (Alba, 2018), o Museu de La Plata (Argentina), que conta com o *Laboratorio de escaneo e impresión 3D* (Ruella et al., 2017), e o Projeto Megafauna 3D (Uruguai) (Batallés et al., 2018), que reúne acervos de diferentes coleções do país, mas há muitos outros exemplos (Adams et al., 2015). Vale salientar que a criação de repositórios de modelos tridimensionais também se amplia em um sentido mais geral, com a criação de plataformas que contêm perfis institucionais, pessoais e ligados a empresas de design gráfico para games, como é o caso do site Sketchfab (Sketchfab Team, 2020).

A INCORPORAÇÃO DE TÉCNICAS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS AOS ESTUDOS MORFOLÓGICOS

Nas últimas décadas, os estudos morfológicos têm implementado técnicas digitais tridimensionais de modelagem e virtualização, assim transferindo a informação anatômica para o ambiente virtual (Davies et al., 2017).

Esta implementação teve o intuito inicial de refinar a avaliação das variáveis espaciais, forma e métricas, e, conseqüentemente, produzir informações mais precisas para as análises de processos como evolução morfológica e mobilidade biomecânica dos objetos de estudo (Azevedo et al., 2010). A partir disso, alguns laboratórios de pesquisa adequaram técnicas como, por exemplo, escaneamento tridimensional, tomografia e modelagem computacional para as pesquisas morfológicas. Quando comparamos grupos taxonômicos, vale ressaltar que abordagens tridimensionais para conservação da informação biológica têm um maior impacto curatorial nas coleções animais, já que a maior parte da informação curatorial das plantas é armazenada em forma de exsiccatas, as quais tem natureza bidimensional. Contudo, tal fato não diminui a importância de estudos tridimensionais sobre plantas, como por exemplo, os realizados por Ebner et al. (2013) e Oliveira et al. (2019).

Parte da adequação das técnicas tridimensionais e desenvolvimento de metodologias ainda está em progresso e, também, ainda está sendo absorvidas pelos pesquisadores que desenvolvem estudos na linha de pesquisa morfológica, o que ocasiona um cenário heterogêneo sobre o conhecimento geral e a aplicação destas metodologias à tal linha de pesquisa. Assim, há laboratórios de pesquisa com características distintas: enquanto alguns focam na experimentação de técnicas novas para futuras aplicações, outros focam na aplicação de técnicas já estabelecidas para produção de conhecimento sistemático. Laboratórios que desenvolvem esses tipos de pesquisa já contam com toda a infraestrutura e *know-how* para realizar a virtualização de objetos das coleções científicas de uma forma mais sistemática ou sob demanda. Todavia, uma grande parte dos centros de pesquisa nacionais ainda não começaram a incorporar tais técnicas às pesquisas em desenvolvimento e, portanto, são locais onde não há a possibilidade de virtualização de um objeto.

Em um cenário de normalidade social, tais estágios distintos de desenvolvimento tecnológico normalmente não impactam nas pesquisas que circundam a linha morfológica. Contudo, com as restrições implementadas para mitigar a pandemia, totalmente adequadas, o desenvolvimento de conhecimento nesta linha de ciência fica comprometido visto que depende, basicamente, do acesso aos dados para ser feita adequadamente.

Nesta restrição de deslocamento momentânea, a situação do acesso à informação morfológica se torna problemática a médio e longo prazos, acarretando a estagnação parcial da pesquisa nacional e internacional, especialmente para aqueles que tem prazos, como os pós-graduandos. Nesta situação, que não foi a única na história e, provavelmente, não será a última, os promulgadores e gestores de políticas públicas necessitam criar formas de acesso à informação. Assim, nós advogamos que promover a adequação das coleções à tecnologia já disponível seria o caminho mais adequado e eficaz a curto prazo para se estabelecer o acesso, virtual, à informação morfológica. Tal adequação deve, inclusive, ser vista como uma forma de se satisfazer à função institucional

de preservação e acesso à informação das coleções científicas (Carvalho, 2010).

A política de disponibilização digital dos dados morfológicos é anterior ao avanço do uso das técnicas de virtualização. Sendo assim, é natural a complementação dessas informações com dados espaciais. Por exemplo, a plataforma Morphobank já disponibilizava fotografias e informações sobre espécimes depositados em coleções científicas nos Estados Unidos da América (O'Leary et al., 2001). Isto é algo que está relativamente avançado na América do Norte e Europa, onde há inúmeras plataformas e propostas de regulamentos para disponibilização dos modelos virtuais (Davies et al., 2017). Contudo, salienta-se que, mesmo avançado, o cenário de digitalização e virtualização das coleções ainda é heterogêneo (Hedrick et al., 2020). A realidade do Brasil, por outro lado, é contraditória e bastante distinta dos centros de conhecimento pontuados acima: enquanto há centros de pesquisa com laboratórios de experimentação e aplicação de tecnologias tridimensionais que já realizam publicações utilizando tais métodos há mais de uma década (Werner & Lopes, 2009), não há incentivo nem discussões sobre a aplicação destes conjuntos de técnicas de forma ampla para salvaguardar e disponibilizar, de modo remoto, os exemplares tombados nas coleções científicas. Logo, a tendência é que se forme um abismo metodológico entre o Brasil e os países que atualizam suas práticas.

Além disso, a virtualização dos objetos salvaguardados pelas coleções científicas deve ser vista como tendência para diminuir a manipulação e proteger a informação dos materiais, aspecto também já discutido em outros países (Rourk, 2019). Nesse sentido, este é outro ponto que mostra a necessidade urgente de adequação das coleções científicas brasileiras às técnicas de virtualização, visto que, em menos de uma década, pelo menos quatro instituições de grande relevância para estudos morfológicos, sofreram com incêndios. O Instituto Butantan sofreu um incêndio em 2010, o qual acarretou a perda de 450 mil exemplares de aracnídeos e 85 mil exemplares de serpentes (Warrell et al., 2010). O Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais sofreu um incêndio em 2013, o qual afetou toda a exposição que continha taxidermias e esqueletos de animais vivos e réplicas dos fósseis depositados na coleção científica (comunicação pessoal Castor Cartelle). O Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro sofreu um incêndio em 2018 e, até o momento o levantamento do material perdido ainda não foi finalizado pela instituição devido à magnitude do evento e das coleções afetadas, bem como pelo fato de as inúmeras coleções outrora depositadas no Palácio terem naturezas distintas (como pode ser visto em Banco Safra, 2007). Contudo, a fim de caracterizar a dimensão geral a Sociedade Brasileira de Zoologia e o Museu Nacional divulgaram uma perspectiva geral das coleções zoológicas (SBZ, 2018). O Museu de História Natural da Universidade Federal de Minas Gerais sofreu um incêndio em 2020, também não havendo ainda um levantamento oficial da instituição. Entretanto, foi divulgado que nos prédios

afetados pelo incêndio havia exemplares referentes às coleções de Antropologia, Arqueologia, Paleontologia e Zoologia (Mega, 2020).

Nesse contexto, podemos resumir em cinco pontos a importância da implementação da virtualização nas coleções científicas morfológicas:

1. É uma tendência mundial, logo é a nova forma visual de comunicação das publicações científicas;
2. Possibilita testar hipóteses de forma mais refinada, utilizando o componente virtual para, por exemplo, recriar cenários biomecânicos e aplicar modelos estatísticos;
3. Protege parte do valor científico dos exemplares ao reter a informação espacial dissociada do objeto físico;
4. Permite a reprodução da informação espacial de forma verossímil, se tornando uma etapa curatorial, assim diminuindo a quantidade de vezes que o exemplar é manipulado e permitindo que réplicas fiéis do exemplar sejam replicadas por outras instituições;
5. Mitiga a problemática atual à restrição de deslocamento dos pesquisadores para a execução dos seus estudos.

PROPOSTA

Considerando a necessidade de uma ampla implementação da virtualização dos exemplares físicos salvaguardados nas coleções brasileiras, nos propusemos a começar a discussão acerca das possibilidades mais plausíveis para a implementação dessas técnicas de uma forma ampla. Assim, propomos: técnicas, estratégias para estabelecer prioridades de virtualização, e possibilidades de financiamento.

Técnicas

Há inúmeras técnicas para virtualização 3D de objetos, por exemplo tomografia computadorizada de raios-X, escaneamento tridimensional por escâneres de superfície e estereofotogrametria (ou, simplesmente, fotogrametria). Todas essas técnicas têm vantagens e desvantagens e se aplicam a distintos objetivos, já amplamente discutidos (Boehler & Marbs, 2004; Mallison, 2011; Mallison & Wings, 2014; Otero et al., 2020).

Devido à complexidade dos objetos em questão e à quantidade de informação morfológica que carregam tanto em sua superfície quanto em seu interior, recomendamos sempre que possível, que se realize a virtualização dos exemplares através de tomografia computadorizada de raios-X, já que é a técnica que permite obter informação espacial externa e interna do objeto. A maioria dos equipamentos atende muito bem à digitalização detalhada de exemplares pequenos, com poucos centímetros, como insetos e espécimes botânicos (no caso de microtomógrafos) e de exemplares maiores (utilizando-se tomógrafos médicos, por exemplo). Contudo,

essa técnica nem sempre está facilmente disponível e acessível e a aquisição dos equipamentos e infraestrutura para seu funcionamento representa um investimento elevado. Além disso, a aplicação desse método demanda um tempo elevado para cada exemplar, de forma que, dependendo do tamanho do acervo, pode ser inviável empregá-lo de forma ampla.

Nesse sentido, as outras duas técnicas representam alternativas mais viáveis, embora estejam limitadas a digitalizar apenas a morfologia externa dos objetos. No caso do escaneamento tridimensional, embora o custo do investimento necessário seja menor, há ainda a necessidade de se adquirir um equipamento caro, que nem sempre atende a todas as situações (cada modelo de equipamento está adaptado para digitalizar objetos de dimensões distintas e com diferentes níveis de precisão e acurácia) e que, normalmente é pouco móvel, impondo limitações a seu uso. Assim, a fotogrametria torna-se a técnica mais adequada para que seja amplamente implementada nas coleções científicas por dois fatores: menor custo e maior versatilidade.

Consideramos que o custo é menor para virtualizar objetos via fotogrametria pois são necessários, basicamente, uma câmera fotográfica, boa iluminação (não necessariamente advinda de um equipamento), um computador com um bom desempenho gráfico (que é um requisito para qualquer uma das tecnologias acima citadas) e o software específico. Praticamente todas as coleções científicas têm um equipamento fotográfico adequado a registrar com detalhes os materiais que ali estão salvaguardados. Assim, o investimento necessário para a implementação da metodologia estaria, basicamente, na aquisição de um computador adequado e do software.

Com relação à versatilidade, precisamos considerar que, enquanto a tomografia computadorizada está restrita a objetos relativamente pequenos e o escaneamento tridimensional normalmente requer equipamentos distintos para cada tamanho de objeto, a fotogrametria pode ser aplicada aos mais distintos tamanhos de objetos, bastando, principalmente, que a câmera disponha de lentes adequadas, embora possa ser necessário contar com equipamentos adicionais em casos extremos. Por exemplo, a digitalização de pequenos insetos, embora possível de ser feita de forma manual, idealmente requer um sistema automatizado para controle da câmera (Ströbel et al., 2018). Já a digitalização de grandes monumentos, como foi o caso do Cristo Redentor do Rio de Janeiro, requer o uso de câmeras acopladas a drones (Santos et al., 2019). Nesse contexto, a adequação da fotogrametria pode ser feita praticamente sem aquisição de equipamentos especiais, salvo em casos extremos.

Embora não permita a obtenção de dados internos dos objetos, como ocorre com a tomografia computadorizada, a fotogrametria permite gerar um modelo de superfície desses objetos, que já atendem a uma grande gama de estudos de morfologia, além de obter, também, dados sobre a textura do objeto, característica também importante no processo de salvaguarda curatorial. Com base nisso e nas vantagens acima enumeradas, consideramos que essa é a técnica de mais fácil adaptação à

estrutura já existentes nas coleções (Mallison & Wings, 2014; Otero et al., 2020).

Métodos como escaneamento 3D e fotogrametria normalmente demandam menos de uma hora para obtenção dos dados brutos, mas isso varia muito dependendo do tipo de equipamento e do nível de detalhe requerido. Além disso, ambos os métodos requerem que se dedique mais algumas horas para processamento dos dados até gerar o modelo 3D final. Características dos exemplares como tamanho, textura, complexidade da forma e fragilidade, dentre outros aspectos, também influenciam no tempo necessário para obter e processar os dados, podendo estender para dias a etapa de processamento. Assim, o processo como um todo é demorado se considerarmos que cada exemplar demandará de várias horas a alguns dias de trabalho, sendo muito difícil apresentar uma estimativa média de tempo dado o número de variáveis envolvidas. O Smithsonian Institution, por exemplo, que conta com um acervo de 155 milhões de itens, estima que demoraria mais de 300 anos para digitalizar toda sua coleção se fosse possível processar um exemplar por minuto, ininterruptamente (Smithsonian Institution, 2021). Mesmo no caso de coleções menores e considerando tempos mais realistas de processamento de cada exemplar, digitalizar a coleção completa pode levar muitas décadas. Por isso, se o objetivo é digitalizar o acervo como um todo de forma sistemática, é importante traçar estratégias de prioridade (que serão discutidas no próximo tópico) e considerar que, qualquer que seja o método de digitalização 3D escolhido, o ideal é a dedicação integral de, pelo menos, um profissional especializado/capacitado. O importante é que cada instituição possa criar um núcleo de digitalização 3D básico que possa dar início ao longo processo de digitalização de suas coleções.

Estratégias para estabelecer prioridades de virtualização

Normalmente os exemplares de uma coleção científica podem ser agrupados em distintas categorias prioritárias, de forma que a própria composição da coleção e a necessidade de acesso aos diferentes exemplares permitirá que os curadores determinem as prioridades. Como orientação, consideramos quatro categorias distintas para os exemplares:

1. Exemplares tipo: são os exemplares base para caracterizar espécies e devem, portanto, ter acesso amplo. Se assumirmos o ICZN (Código Internacional de Nomenclatura Zoológica) (ICZN, 1999) como base para boas práticas curatoriais, o Artigo 72 Recomendação F enumera ações para Responsabilidade Institucional em relação aos tipos, especificamente: executar todos os passos necessários para sua preservação (Item 2) e torná-los acessíveis para estudo (Item 3). Logo, a partir das inovações tecnológicas que possibilitam uma melhor caracterização virtual dos exemplares, espera-se que a virtualização seja algo automático na cura-

- doria dos exemplares tipos, já que tal fato permitiria salvaguardar a informação geométrica e disponibilizá-la mais facilmente para estudo. Inclusive, ajudando na problemática de designação de neótipos em decorrência de destruição ou perda de espécimes tipos.
2. Espécimes de referência: são os exemplares que costumam ser acessados com frequência, seja por serem mais completos, por estarem em bom estado de preservação e conservação, ou por contarem com características evolutivas que os tornam relevantes para diversos estudos. Essa categoria inclui exemplares que foram utilizados em redescrições, revisões ou descrições adicionais para completar o conhecimento acerca de uma espécie, podendo incluir espécimes recentemente coletados e descritos.
 3. Espécimes sendo estudados: são exemplares que se enquadram em algumas das categorias anteriores, porém que estão sob processo investigativo, sendo, normalmente, exemplares de acesso restrito. As categorias 1 e 2 são consideradas de maior prioridade, já que são exemplares publicados e utilizados como referência para todo um conjunto de estudos, inclusive extrapolando para outros estudos além dos morfológicos, mas que normalmente não necessitam de modelos virtuais. Observa-se, em algumas áreas de estudo, como na paleontologia de vertebrados, uma tendência crescente de publicar descrições de novos exemplares ou revisões já acompanhados de um modelo virtual tridimensional. Essa tendência pode ser observada, por exemplo, nos trabalhos associados ao banco de dados do MorphoMuseum (Lebrun & Orliac, 2016). Essa prática deveria ser adotada como normal para a categoria 3 visando diminuir, ao longo do tempo, a demanda por digitalização das demais categorias.
 4. Demais espécimes: são considerados de baixa prioridade. Contudo, após as demandas de alta prioridade terem sido atendidas, sugerimos que se mantenha um processo ativo de virtualização dos espécimes remanescentes das coleções, no intuito de ter toda a informação adequada a essa nova possibilidade de salvaguarda e disponibilização da informação, com acesso de forma mais fácil e ágil.

É importante considerar que a priorização acima proposta tem como foco viabilizar a continuidade de pesquisas que dependem de dados morfológicos. Entretanto, outros critérios importantes devem ser considerados, como já discutido por Hedrick *et al.* (2020), com destaque para espécimes em risco de degradação e espécimes que representam espécies ou habitats em risco de extinção.

Possibilidades de financiamento

A formulação de editais de fomento via agências estatais como Capes e CNPq é a forma mais simples de fomentar essa adequação técnica e tecnológica, como já ocorreu através de editais anteriores (CAPES, Chamada MCTI/CNPq Nº 23/2011, Apoio Técnico para Fortalecimento da Paleontologia). Outra possibilidade,

mas não excludente da criação de editais, é a criação de uma rede colaborativa de museus e coleções científicas para criação de um órgão intermuseus que fomente a estabilização dessas técnicas nas coleções científicas e dê suporte para sua manutenção e seu desenvolvimento. Esta possibilidade da rede de museus pode ser estendida do âmbito nacional para o âmbito continental, da mesma forma como vem ocorrendo na Europa através da comissão SYNTHESYS+ (2019). Nesse contexto, é vital que a criação de equipamento de baixo custo esteja no centro inicial dos esforços; tal proposta parece ser uma tendência atual, como demonstram exemplos em Bäumlér *et al.* (2020) e Otero *et al.* (2020). Contudo, também é necessária a capacitação de profissionais para exercer tais funções. Fundamental também, é a necessidade de que as instituições de pesquisa envolvidas implementem em suas políticas de coleções procedimentos e regulamentos que tratem da questão da virtualização de exemplares, tal como já ocorre, por exemplo, em coleções do American Museum of Natural History (2020a, 2020b).

Todas essas necessidades poderiam ser coordenadas e orientadas pelo órgão intermuseus, que seria alimentado por iniciativas individuais ou colaborativas que desenvolvem as técnicas e equipamentos, assim como já é feito com iniciativas de digitalização de exemplares nos Estados Unidos da América há quase uma década, através da National Science Foundation's Advancing Digitization of Biodiversity Collections, que coordena projetos com essa temática específica (Gropp, 2019).

CONCLUSÃO

Embora já fosse necessária uma adequação tecnológica nas coleções científicas, a pandemia decorrente do novo coronavírus (SARS-CoV-2) deixou mais clara essa necessidade. Além da adequação do modo de publicação e comunicação de resultados científicos, a utilização das tecnologias tridimensionais de virtualização promove a salvaguarda da informação geométrica e visual, em concordância com a projeção das melhores práticas de curadoria recomendadas pelo ICZN (1999), além de promover o acesso remoto dos pesquisadores aos objetos de estudo depositados nas coleções científicas. Assim, pondo em consideração fatos atuais, como o incêndio do Museu Nacional, deixar de virtualizar e de disponibilizar informações dos espécimes salvaguardados pelas instituições nacionais só aumenta o risco de as mesmas serem perdidas. Por fim, tendências para digitalizações mais tradicionais, que necessitam ser realizadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, juntamente com a tendência discutida nesta contribuição, caracterizam um novo ambiente de acesso à informação científica das Coleções de História Natural. Nesse contexto, vale pontuar que há uma discussão sobre uma ampliação da compreensão do público-alvo que acessará esse novo ambiente de informações virtuais (Lendemér *et al.*, 2020), a ebulição dessa discussão nos mostra que a democratização do acesso a esse tipo de informação pode ressignificar o valor dessas coleções.

AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos a todos os médicos e cientistas que tem se esforçado para salvar vidas no meio da pandemia, mesmo, na contramão de posturas políticas que tomam o descrédito à ciência como forma de governar. Também agradecemos as sugestões dos revisores e ao editor. O primeiro autor agradece ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

L.S.L. concebeu a ideia, participou ativamente da elaboração do texto, revisou e aprovou a versão final do artigo. O.N.G. concebeu a ideia, participou ativamente da elaboração do texto, revisou e aprovou a versão final do artigo. S.A.K.A. concebeu a ideia, participou ativamente da elaboração do texto, revisou e aprovou a versão final do artigo.

REFERÊNCIAS

- Adams, J.W.; Olah, A.; McCurry, M.R. & Potze, S. 2015. Surface model and tomographic archive of fossil primate and other mammal holotype and paratype specimens of the Ditsong National Museum of Natural History, Pretoria, South Africa. *PLoS ONE*, 10(10): e0139800. DOI
- Alba, M. 2018. *3D Scanning the Past at the Smithsonian*. Disponível: <https://www.engineering.com/story/3d-scanning-the-past-at-the-smithsonian>. Acesso: 25/02/2021.
- American Museum of Natural History. 2020a. *Herpetology, 3D Scanning policy*. Disponível: <https://www.amnh.org/research/vertebrate-zoology/herpetology/3d-scanning-policy>. Acesso: 17/09/2020.
- American Museum of Natural History. 2020b. *Paleontology, 3D Scanning*. Disponível: <https://www.amnh.org/research/paleontology/loans/3d-scanning>. Acesso: 17/09/2020.
- Azevedo, S.A.K.; Carvalho, L.B. & Santos, D.D. 2010. Metodologias digitais aplicadas ao estudo de Vertebrados. In: Carvalho, I.S. (Ed.). *Paleontologia: conceitos e métodos*. 3. ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência. p. 445-450.
- Banco Safra S.A. 2007. *O Museu Nacional*. São Paulo, Banco Safra. 359p.
- Batallés, M.; Costoya, G.; Tambusso, P.S.; Varela, L. & Fariña, R.A. 2018. Megafauna 3D: fossil digitalization for education, outreach and research. *Paleontological Virtual Congress*, 1º. p. 43. DOI
- Bäumler, F.; Koehnsen, A.; Tramsen, H.T.; Gorb, S.N. & Büsse, S. 2020. Illuminating nature's beauty: modular, scalable and low-cost LED dome illumination system using 3D-printing technology. *Scientific Reports*, 10(1): 12172.
- Boehler, W. & Marbs, A. 2004. 3d Scanning and Photogrammetry for Heritage Recording: a comparison. In: Brandt, S.A. (Ed.). *Geoinformatics 2004: International Conference on Geoinformatics*, 12ª. *Proceedings*. Suécia, University of Gälve. p. 291-298.
- Carvalho, I.S. 2010. Curadoria Paleontologia. In: Carvalho, I.S. (Ed.). *Paleontologia: Conceitos e Métodos*, 3. ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, p. 373-386.
- Cunha, J. 2015. *Informatizando dados sobre a biodiversidade*. Disponível: <https://www.museu-goeldi.br/noticias/informatizando-dados-sobre-a-biodiversidade>. Acesso: 25/02/2021.
- Cyranski, D. 2020. *Profile of a killer: the complex biology powering the coronavirus pandemic*. Disponível: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01315-7>. Acesso: 17/09/2020.
- Darwin, C. 2006. *O diário do Beagle*. Curitiba, Editora UFPR.
- Davies, T.G.; Rahman, I.A.; Lautenschlager, S.; Cunningham, J.A.; Asher, R.J.; Barrett, P.M.; Bates, K.T.; Bengtson, S.; Benson, R.B.J.; Boyer, D.M.; Braga, J.; Bright, J.A.; Claessens, L.P.A.M.; Cox, P.G.; Dong, X. Evans, A.R.; Falkingham, P.L.; Friedman, M.; Garwood, R.J.; Goswami, A.; Hutchinson, J.R.; Jeffery, N.S.; Johanson, Z.; Lebrun, R.; Martínez-Pérez, C.; Marugán-Lóbon, J.; O'Higgins, P.M.; Metscher, B.; Orliac, M.; Rowe, T.B.; Rücklin, M.; Sánchez-Villagra, M.R.; Shubin, N.H.; Smith, S.Y.; Starck, J.M.; Stringer, C.; Summers, A.P.; Sutton, M.D.; Walsh, S.A.; Weisbecker, V.; Witmer, L.M.; Wroe, S.; Yin, Z.; Rayfield, E.J. & Donoghue, P.C. 2017. Open data and digital morphology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284: 20170194.
- Ebner, M.; Roth-Nebelsick, A.; Miranda, T.; Santos, J.J.R.; Belmonte, S.L.R.; Kuroki, I.H.C. & Kuroki, I.R. 2013. Bromélias. In: Lopes, J. Brancaglioni, A.; Azevedo, S.A.; Werner, H. (Eds.). *Tecnologias 3D: Desvendando o passado, modelando o futuro*. Rio de Janeiro, Editora Lexikon. p. 133-139.
- Faria, F.F.A. 2010. *Georges Cuvier e a instauração da Paleontologia como Ciência*. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- Grillo, O.N.; Lobo, L.S. & Azevedo, S. 2020. *LAPID: Using 3D to Recover Heritage Lost in a Fire*. Disponível: <https://sketchfab.com/blogs/community/lapid-using-3d-to-recover-heritage-lost-in-a-fire>. Acesso: 17/09/2020.
- Gropp, R.E. 2019. Extending biodiversity specimens: a Science agenda. *BioScience*, 69(3): 159.
- Hedrick, B.P.; Heberling, J.M.; Meineke, E.K.; Turner, K.G.; Grassa, C.J.; Park, D.S.; Kennedy, J.; Clarke, J.A.; Cook, J.A.; Blackburn, D.C.; Edwards, S.V. & Davis, C.C. 2020. Digitization and the future of natural history collections. *BioScience*, 70(3): 243-251.
- International Commission on Zoological Nomenclature (ICZN). 1999. *International Code of Zoological Nomenclature*. 4. Ed. London, International Trust for Zoological Nomenclature. 306p. Disponível: <https://www.iczn.org/the-code/the-international-code-of-zoological-nomenclature/the-code-online>. Acesso: 17/09/2020.
- Kolbert, E. 2013. *The mastodon's molar*. Disponível: <https://www.newyorker.com/magazine/2013/12/16/the-lost-world-2>. Acesso: 17/09/2020.
- Lebrun, R. & Orliac, M.J. 2016. MorphoMuseum: An online platform for publication and storage of virtual specimens. *The Paleontological Society Papers*, 22: 183-195.
- Lendemer, J.; Thiers, B.; Monfils, A.; Zaspel, J.; Ellwood, E.R.; Bentley, A.; Levan, K.; Bates, J.; Jennings, D.; Contreras, D.; Lagomarsino, L.; Mabee, P.; Ford, L.S.; Guralnick, R.; Groop, R.E.; Revelez, M.; Cobb, N.; Seltmann, K. & Aime, C. 2020. The Extended Specimen Network: A Strategy to Enhance US Biodiversity Collections, Promote Research and Education. *BioScience*, 70: 23-30.
- Mallison, H. 2011. Digitizing Methods for Paleontology: Applications, Benefits, and Limitations. In: Elewa, A.M.T. (Ed.). *Computational Paleontology*. Berlin, Springer. p. 7-43.
- Mallison, H. & Wings, O. 2014. Photogrammetry in paleontology – a practical guide. *Journal of Paleontological Techniques*, 12: 1-31.
- Mega, E.R. 2020. Second Brazilian museum fire in two years reignites calls for reform. *Nature*, 583(7815): 175-176. DOI
- O'Leary, M.; Caira, J. & Novacek, M. 2001. *MorphoBank*. Disponível: <https://morphobank.org/themes/default/graphics/articles/morphobank-workshop-report.pdf>. Acesso: 17/09/2020.
- Oliveira, L.A.; Menezes, L.; Carvalho, E.; Alencar, E.; Lopes, J.; Parcionick, S.; Augusto, K.S.; Maurício, M.H.P. & Ribeiro, G. 2019. Food for tomorrow. In: Lopes, J.; Azevedo, S.A.; Werner, H. & Brancaglioni, A. (Eds.). *Seen Unseen: 3D visualization*. Rio de Janeiro, Editora Grupo Rio Books. p. 112-119.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 1999. *Final Report OECD Megascience Forum Working Group on Biological Informatics*.

- OECD, Paris. Disponível: <http://www.oecd.org/science/inno/2105199.pdf>. Acesso: 22/02/2021.
- Otero, A.; Moreno, A.P.; Falkingham, P.L.; Cassini, G.; Ruella, A.; Militello, M. & Toledo, N. 2020. Three-dimensional image surface acquisition in vertebrate paleontology: a review of principal techniques. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 20(1): 1-14.
- Peeri, N.C.; Shrestha, N.; Rahman, M.S.; Zaki, R.; Tan, Z.; Bibi, S.; Baghbanzadeh, M. Aghamohammadi, N.; Zhang, W. & Haque, U. 2020. The SARS, MERS and novel coronavirus (COVID-19) epidemics, the newest and biggest global health threats: what lessons have we learned? *International Journal of Epidemiology*, 49(3): 717-726.
- Portela, G. 2015. Fiocruz investe na digitalização para ampliar acesso ao seu patrimônio. Disponível: <https://portal.fiocruz.br/noticia/fiocruz-investe-na-digitalizacao-para-ampliar-acesso-ao-seu-patrimonio>. Acesso: 25/02/2021.
- Red Naturalia. 2020. *El desafío de cuidar las Colecciones de Ciencias Naturales en tempos de pandemia*. Disponível: http://www.lillo.org.ar/prensa/noticias/2020/08/webinars-colecciones?fbclid=IwAR20XECPltBHwtTskk9KiEvwo8zL13AA_9XCdKWCFY2DXV_X6ipMK510MmM. Acesso: 17/09/2020.
- Rourk, W. 2019. 3D Cultural Heritage Informatics: Applications to 3D Data Curation. In: Grayburn, J.; Lischer-Katz, Golubiewski-Davis, K. & Ikeshoji-Orlati, V. (Eds.). *3D/VR in the Academic Library: Emerging Practices and Trends*. Arlington, Council on Library and Information Resources. p. 24-38.
- Ruella, A.; Acosta-Hospitaleche, C.; Gelfo, J.N.; Tonni, E.P. & Ametrano, S. 2017. Potencialidades del nuevo laboratorio de escaneo e impresión 3D de la División Paleontología de Vertebrados del Museo de La Plata. *16^{avas} Jornadas de Educación*, 26-27.
- Santos, C.; Lopes, J.; Magalhães, C.; Blaylock, A.; Díaz, J. & Bruni, S. 2019. Rescuing the beauty of a Brazilian symbol. In: Lopes, J.; Azevedo, S.A.; Werner, H. & Brancaglioni, A. (Eds.). *Seen Unseen: 3D visualization*. Rio de Janeiro, Editora Grupo Rio Books. p. 50-55.
- Sketchfab Team. 2020. *About Sketchfab: enter new dimensions*. Disponível: <https://sketchfab.com>. Acesso: 17/09/2020.
- Smithsonian Institution. 2021. *3D Program*. Disponível: <https://3d.si.edu/about>. Acesso: 25/02/2021.
- Sociedade Brasileira de Zoologia (SBZ). 2018. SBZ e Museu Nacional: juntos na reconstrução do acervo biológico! Disponível: <http://sbzoologia.org.br/blog/66-sbz-e-museu-nacional-juntos-na-reconstrucao-do-acervo-biologico.php>. Acessado em 22/02/2021.
- speciesLink (SPLink). 2021. Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA) – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Disponível: <http://www.splink.org.br>. Acesso: 20/02/2021.
- Ströbel, B.; Schmelzle, S.; Blüthgen, N. & Heethoff, M. 2018. An automated device for the digitization and 3D modelling of insects, combining extended-depth-of-field and all-side multi-view imaging. *ZooKeys*, 759: 1-27.
- Synthesis of Systematic Resources (SYNTHESYS+). 2019. *Synthesis of Systematic Resource: a DiSSCo Project*. Disponível: <https://www.synthesys.info>. Acesso: 17/09/2020.
- Warrell, D.A.; Theakston, R.D.G. & Wüster, W. 2010. Destruction of the collection of reptiles and arthropods at Butantan Institute: a view from the United Kingdom. *The Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 16(4): 534-536.
- Werner, H. & Lopes, J. 2009. *Tecnologias 3D: Paleontologia, Arqueologia, Fetologia*. Rio de Janeiro, Revinter.
- Wulf, A. 2016. *A invenção da natureza: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt*. São Paulo, Editora Planeta do Brasil.
- Yeager, A. 2020. *How the COVID-19 pandemic has affected field research*. Disponível: <https://www.the-scientist.com/news-opinion/how-the-covid-19-pandemic-has-affected-field-research-67841>. Acesso: 17/09/2020.