

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

Museômica: museus e coleções biológicas como base de dados, uma abordagem a partir da Museologia

Lucas George Wendt

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12755>

Submetido em: 2025-07-23

Postado em: 2025-09-11 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

Museômica: museus e coleções biológicas como base de dados, uma abordagem a partir da Museologia¹

Lucas George Wendt²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4901-6826>

Resumo: Nas últimas décadas, os museus de ciências naturais passaram a ser compreendidos como bases de dados científicos, para além das funções que já cumprem social e cientificamente. Esse reposicionamento está na base da Museômica, um campo emergente que articula conceitos e técnicas da Bioinformática e da Genômica para tratar coleções biológicas como biobancos e fontes de dados aplicáveis à pesquisa científica contemporânea. Este artigo tem como objetivo discutir teoricamente o conceito de museômica, analisando seus fundamentos, suas relações com os museus e apresentando exemplos concretos de aplicação. Trata-se de um estudo teórico, qualitativo, de abordagem exploratória, baseado em revisão de literatura nacional e internacional sobre museômica. Os resultados apontam que a museômica viabiliza a extração de dados genéticos de espécimes históricos preservados em museus, contribuindo para a resolução de questões taxonômicas, reconstrução de filogenias, investigação da biodiversidade extinta e monitoramento de mudanças ambientais. Casos concretos envolvendo o uso de tecnologias genômicas de nova geração (NGS) demonstram o impacto da museômica sobre diferentes áreas das Ciências Biológicas. Conclui-se que a museômica amplia o campo de atuação da Museologia, desafiando-a a incorporar referências informacionais, genéticas e computacionais em suas práticas. Ao mesmo tempo, propõe-se o fortalecimento de pesquisas interdisciplinares que articulem museus, dados e ciências da vida, consolidando a museômica como um subcampo capaz de ampliar o papel dos museus na produção e circulação do conhecimento científico.

Palavras-chave: Museômica. Museologia. Coleções biológicas. Museus de ciências. Biodiversidade.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente digitalização de acervos, coleções e documentos museológicos ampliou a capacidade de armazenamento, processamento e circulação das informações produzidas e preservadas pelos museus, especialmente os espaços dedicados às ciências biológicas. Esse movimento tem sido impulsionado pela convergência entre a ciência da informação, os dados museológicos, a bioinformática e, mais recentemente, pela museômica — um campo emergente que compreende os museus como bases de dados (ou biobancos). Inspirada nos desdobramentos da genômica e das práticas abertas de ciência, a

¹ Ao final deste texto encontra-se uma versão traduzida para o Inglês / At the end of this text you will find an English translated version.

² Mestre em Ciência da Informação pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação - PPGCIN da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (2024). Mestrando em Museologia e Patrimônio pelo Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio - PPGMusPa da UFRGS. Especialista em Comunicação Institucional pela Faculdade de Desenvolvimento do Rio Grande do Sul - Fadergs (2021). Bacharel em Biblioteconomia pela Universidade de Caxias do Sul - UCS (2021). Bacharel em Jornalismo pela Universidade do Vale do Taquari - Univates (2017). Acadêmico de Arquivologia no Centro Universitário Leonardo da Vinci (Uniassevi).

museômica propõe uma nova função para os museus, considerando-os, sim, como espaços de coleta, guarda e exibição, assim como ambientes de dados e informação.

Historicamente, os museus foram concebidos como instituições voltadas à conservação de objetos materiais que testemunham diferentes tempos, saberes e culturas. Contudo, com o avanço das tecnologias digitais, o museu passa a ser, cada vez mais, um espaço de *transdução* informacional, no qual objetos, documentos e registros são transformados em dados e utilizados em contextos outros daqueles da coleta. Além disso, compõem esse arcabouço de possibilidades relacionadas aos dados, as fotografias, as descrições textuais, as coordenadas geográficas, os históricos de conservação, os dados taxonômicos, os metadados relacionais dos objetos museológicos digitalizados. Neste nexo, os próprios objetos salvaguardados são compreendidos como impregnados de dados.

Assim, o museu já não opera somente sobre objetos, mas sobre conjuntos de dados que representam, organizam e fazem significar esses objetos em novos contextos. O que se observa é o surgimento de uma nova camada semântica sobre os acervos, potencializada por bancos de dados digitais, sistemas integrados de gestão de coleções e protocolos interoperáveis e, no caso da museômica, a genética. Esse fenômeno exige da Museologia um novo aparato teórico e metodológico, capaz de lidar com a crescente complexidade dos dados museológicos diretos e indiretos sobre os quais ela própria incide.

Nesse sentido, este artigo busca refletir, sob uma perspectiva teórica, sobre o conceito de museômica, analisando os museus como bases de dados a partir de referenciais da Museologia contemporânea, da Ciência da Informação e das Ciências Biológicas. A intenção é propor caminhos para o fortalecimento de uma museologia informacional (ou museologia de dados), da qual entende-se que a museômica faça parte, capaz de responder aos desafios da gestão, curadoria e circulação de biodados em ambientes museológicos, especialmente os digitais. Este tema é praticamente inexplorado na literatura científica em Português, no campo da Museologia, do Patrimônio e, mesmo, das Ciências Biológicas, sendo também encontrados poucos referenciais na literatura estrangeira.

Este trabalho tem como objetivo principal discutir teoricamente o conceito de museômica, a partir da compreensão dos museus e coleções de ciências naturais como bases de dados, além de apresentar exemplos consolidados na literatura científica de emprego deste conceito à produção de conhecimento a partir daquilo que se integra às coleções e ao museu. São objetivos científicos a) analisar os fundamentos teóricos que sustentam a museômica como campo emergente; b) refletir sobre as relações dos museus com esse campo; e c) apresentar exemplos da aplicação da museômica.

Trata-se de um estudo de natureza teórica, qualitativo, com abordagem exploratória. A metodologia baseia-se na revisão de literatura internacional sobre museômica e coleções biológicas.

RESULTADOS

Esta seção está estruturada em referenciais teóricos que auxiliam a entender a Museômica e suas relações com as coleções biológicas; após, apresentamos exemplos de aplicação da técnica museômica a exemplares de coleções biológicas; e, por fim, aproximamos os conceitos de na Museômica e Museologia.

Entendendo a museômica e suas relações com as coleções biológicas

Os primeiros museus derivam das coleções particulares, dos gabinetes de curiosidades, das câmaras das maravilhas e das coleções principescas, reunidas ao longo dos séculos XV ao XVII. Essa gênese diversa logo levou a primeira tipologia de museu que se consolidou: os museus de história natural. Na época, a História Natural - essencialmente descritiva e ordenadora - compreendia o que hoje são os domínios científicos autônomos da Geologia, da Zoologia e da Botânica, por exemplo. Um pouco mais a frente no desenvolvimento histórico das ciências voltadas ao que é natural, esses campos são incluídos no bojo das Ciências Naturais, que têm escopo mais ampliado que a História Natural, bem como novas agendas de pesquisa. Junto de si, esse fenômeno vê nascer também os museus de ciências naturais, conceito compreendido como mais moderno e mais adequado àquilo que antes era entendido como História Natural. Todo esse desenvolvimento acontece sem que haja explicitamente uma coordenação partindo de um agente. É natural e envolve diferentes movimentos científicos em diferentes domínios.

A Museologia como uma disciplina científica articulada tem seu surgimento nos entre os anos 1970 e 1980. Segundo Sofka (2016) o termo "museologia" já era conhecido e amplamente utilizado pelos profissionais da área. Sua origem remonta à década de 1880, quando apareceu no periódico *Zeitschrift für Museologie und Antkvitätenkunde*, publicado em Dresden, na Alemanha. Em 1883, o editor da revista apresentou o estudo *Die Museologie als Fach wissenschaft*, no qual defendia a museologia como um campo científico. No entanto, o conceito não se consolidou amplamente. Muitos o rejeitaram, enquanto outros o entendiam apenas como uma prática aplicada nos museus (Sofka, 2016). Naturalmente, sabe-se que um

campo não se constitui enquanto ele mesmo apenas com a alcunha de um nome, é necessário que existam os agentes - pessoas e instituições das mais diversas - e a vontade da reivindicação de lugar para si que, no caso da Museologia é o museu, definido como

[...] uma instituição permanente, sem fins lucrativos e ao serviço da sociedade que pesquisa, coleciona, conserva, interpreta e expõe o patrimônio material e imaterial. Abertos ao público, acessíveis e inclusivos, os museus fomentam a diversidade e a sustentabilidade. Com a participação das comunidades, os museus funcionam e comunicam de forma ética e profissional, proporcionando experiências diversas para educação, fruição, reflexão e partilha de conhecimentos (ICOM, 2022, texto digital).

Nesta definição, alguns pontos nos chamam a atenção. O museu é entendido com uma instituição que “pesquisa, coleciona, conserva, interpreta [...]” (entre outros aspectos); os museus fortalecem a percepção da (bio)diversidade (no caso dos espaços que abrigam coleções de ciências naturais), sendo importantes também para a “[...] reflexão e partilha de conhecimentos”.

O extrato apresentado é a nova definição de museu, aprovada pelo Conselho Internacional de Museus (ICOM) em 2022. De forma geral, conectando a reflexão aqui proposta, o ICOM reconhece explicitamente o papel dos museus como instituições dinâmicas e comprometidas com a pesquisa, a conservação e a interpretação de seus acervos, enfatizando também seu potencial para promover a reflexão crítica e a partilha de saberes.

No caso dos museus de ciências naturais, que abrigam coleções biológicas, compreende-se que essa definição reforça uma dimensão basilar: a dessas coleções como fontes de dados científicos (bases de dados, de certa forma). Neste âmbito, espécimes biológicos preservados em museus são registros materiais da biodiversidade, servindo como referências documentais para pesquisas taxonômicas, ecológicas, evolutivas e ambientais em tempos outros além daquele momento em que foram escolhidas como representantes de uma realidade e, assim, foram acondicionadas em dado acervo.

As coleções biológicas mantidas por museus respondem à ciência, a do passado, a do presente, e a do porvir: são instrumentos para a produção e a validação do conhecimento científico. Cada exemplar armazenado carrega consigo informações a serem inferidas pelo sujeito percorridos sobre tempo, espaço, ambiente e forma — dados que, reunidos e organizados em sistemas informatizados, constituem bancos de dados sobre a diversidade da vida. E, mais do que isso, a partir de análises mais modernas, em camadas não tangíveis a um primeiro momento, podem revelar ainda mais aos diferentes domínios da ciência implicados na compreensão das formas em que a vida existiu ao longo do tempo. As coleções de

biologia, portanto, ganham destaque como fontes de preservação da biodiversidade, mas também como dispositivos para a produção da nova informação científica.

Cumprе destacar de que é importante essa breve digressão para situar três aspectos em nossa discussão: a) a recenticidade do campo científico da Museologia e a importância de uma área que consiga se derivar para outros subdomínios no futuro, o que entende-se que esteja acontecendo agora com a Museômica; b) o entendimento de museus, a partir de suas coleções, no contexto da Biologia, podem ser entendidos como base dados e, por extensão, fonte de informação; e c) o fato de as ciências como a Biologia (derivada da História Natural e, depois, das Ciências Naturais), área da qual muitas vezes a Museologia é compreendida como auxiliar, é muito anterior enquanto campo. Essas duas diferentes periodizações levam a um encontro que frutifica na Museômica.

A Museômica emerge, então, como campo híbrido, articulando conceitos da Museologia, da Bioinformática, da ciência da informação e mesmo da ciência de dados. Seu foco está na organização, integração e análise de grandes volumes de dados provenientes dos museus, com ênfase na preservação digital, acessibilidade e reuso dos dados por múltiplas comunidades de interesse. Embora o termo ainda não tenha uma definição consolidada na literatura científica, pode-se entendê-lo como a prática de tratar acervos museológicos como fontes de dados científicos.

A Museômica parte da percepção da riqueza dos dados disponíveis nas coleções de história natural, atuando na intersecção entre a ciência dos museus - a Museologia - e a ciência dos genes - a Genômica -, dando nova vida novos sentidos às coleções de história natural prospectadas ao longo dos séculos e disseminadas em todo o mundo (Strijk *et al.*, 2020). Por meio dela, o foco concentra-se na extração e análise de DNA de espécimes de museus, tratando efetivamente os museus de história natural como biobancos diversos com grande potencial de pesquisa (Call, Twort, Espeland, Wahlberg, 2024). Quando se aplicam técnicas genômicas a espécimes preservados, a museômica permite que os pesquisadores de diferentes áreas de interesse gerem informações sobre biodiversidade e dados de sequência genética que, de outra forma, poderiam ser inacessíveis (Nakazato, Jinbo, 2022).

Entende-se que a importância da museômica reside na sua capacidade de expandir os horizontes de pesquisa para além das amostras contemporâneas, oferecendo acesso a táxons raros, difíceis de coletar ou até mesmo extintos (Call, Twort, Espeland, Wahlberg, 2024). Cada espécime de museu preserva potencialmente um registro genético que pode iluminar a história evolutiva de sua espécie, fornecendo dados que seriam impossíveis de obter apenas com amostras modernas (Brutto, 2023). Esta nova abordagem surge como uma ferramenta

para a pesquisa em biodiversidade, ampliando o escopo de questões científicas que podem ser investigadas (Cilli *et al.*, 2023; Twort, Minet, Wheat, Wahlberg, 2020).

O termo "museômica" ("*museomics*", em Inglês) foi criado por Stephan Schuster (especialista em genômica) e Webb Miller (bioinformático), por volta de 2009, referindo-se especificamente à análise em larga escala do conteúdo de DNA de coleções de museus (Fong *et al.*, 2023). Embora estudos genéticos de espécimes de museus tenham sido conduzidos antes do surgimento dessa terminologia formal, a introdução da "museômica" como um campo distinto ressalta a importância científica dos espécimes de museus na pesquisa biológica (Fong *et al.*, 2023), de forma que essa terminologia deu reconhecimento a uma área de estudo que aproveitou espécimes preservados como recursos para investigação genética.

As coleções de história natural representam arquivos vastos e sempre insubstituíveis de informações biológicas que constituem a espinha dorsal da pesquisa museômica e de boa parte das pesquisas realizadas nas diferentes Ciências Biológicas. Essas coleções fornecem um registro incomparável da biodiversidade da Terra, documentando a diversidade de formas de vida, a dinâmica dos ecossistemas e os processos evolutivos que moldaram nosso planeta ao longo de milhões de anos (Card *et al.*, 2021; Hammerle *et al.*, 2024). Por meio da aplicação de técnicas genômicas a espécimes preservados, os museus deixaram de ser repositórios tradicionais e se tornaram valiosos depósitos para estudos baseados em DNA em uma ampla gama de tópicos de biodiversidade (Queiroz *et al.*, 2023).

Nesse aspecto, a integração de tecnologias genômicas com coleções museológicas tradicionais criou oportunidades ímpares para a investigação científica. Por exemplo, técnicas de sequenciamento de DNA, adaptadas especificamente para espécimes antigos ou históricos, os pesquisadores podem reconstruir genomas e abordar questões em Ecologia e Biologia Evolutiva (Hammerle *et al.*, 2024). Essa é uma capacidade que tem aprimorado particularmente a pesquisa sobre organismos extintos, por exemplo, Miller *et al.* (2008) e o impacto da atividade antropogênica na biodiversidade, áreas onde amostras contemporâneas não estão disponíveis ou são insuficientes (Card *et al.*, 2021).

Percebe-se que a Museômica vem conquistando espaço, inclusive com a fundação de periódico científico específico para publicações neste domínio. A Natural History Collections and Museomics (NHCM)³ é uma revista internacional dedicada a fomentar o intercâmbio acadêmico, a inovação e a pesquisa interdisciplinar na área de coleções de história natural. É apoiada pelo Consórcio de Instalações Taxonômicas Europeias (CETAF) e pelas Biocoleções

³ Disponível em: <https://nhcm.pensoft.net/>.

Digitalizadas Integradas (iDigBio), promovendo a colaboração entre profissionais de museus, pesquisadores, educadores e entusiastas. Sua missão principal é aprofundar a compreensão e a relevância social da história natural por meio do compartilhamento de conhecimento, melhores práticas e perspectivas críticas. A NHCM valoriza contribuições de diversas disciplinas, como taxonomia, conservação, educação, ética e museologia, e incentiva submissões que explorem o papel evolutivo das coleções na ciência, cultura e engajamento público.

A revista aceita uma ampla gama de tipos de artigos, incluindo pesquisa original, revisões, artigos metodológicos, estudos de caso, cartas e artigos de opinião. Os principais tópicos incluem inovações em taxonomia e museológica, métodos de curadoria e digitalização de coleções, aplicações de IA na identificação de espécies, coletômica e ferramentas de software para gestão de coleções.

O NHCM também apresenta discussões sobre história institucional, procedência de coleções, políticas de museus, design de exposições, educação, ética, práticas de liderança, marcos legais e o impacto social das coleções. É dada atenção especial aos usos interdisciplinares e aplicados de coleções — como biomimética e pesquisa farmacêutica —, ao mesmo tempo em que se defende o reconhecimento, a sustentabilidade e o investimento estratégico em recursos de história natural.

Exemplos de aplicação da técnica museológica a exemplares de coleções biológicas

A literatura científica aponta que o desenvolvimento da museológica como um campo científico viável tem sido fundamentalmente impulsionado por inovações tecnológicas que superam os desafios de trabalhar com DNA degradado de espécimes preservados. As tecnologias de sequenciamento de nova geração (NGS) têm sido particularmente importantes neste contexto, pois podem utilizar com eficácia o DNA curto e fragmentado, normalmente extraído de materiais históricos, contornando os obstáculos enfrentados ao usar os métodos tradicionais de sequenciamento de Sanger (ou método de terminação de cadeia, técnica para determinar a sequência de nucleotídeos em uma molécula de DNA). Esta vantagem torna os estudos moleculares de espécimes históricos mais eficientes (He *et al.*, 2024; Rizzi *et al.*, 2012; Raxworthy *et al.*, 2021; Holmquist *et al.*, 2024).

A evolução do campo da genômica aplicada à *naturalia* progride de inicialmente produzir apenas fragmentos minúsculos de DNA histórico (o hDNA), frequentemente derivados de genes mitocondriais, para agora, mais recentemente, permitir o sequenciamento

de genomas de forma completa (Prasetyo *et al.*, 2024). Assim sendo, as abordagens neste campo permitem aos pesquisadores sequenciar centenas a milhares de *loci* de todo o genoma usando DNA histórico (Pauli *et al.*, 2024), o que, por sua vez, significa uma grande mudança de paradigma na utilização de espécimes de coleções de história natural para pesquisas em sistemática e biologia evolutiva.

O trabalho em herbários e em coleções botânicas é outro elemento que tem se beneficiado desses avanços técnicos. À medida que os pesquisadores superaram as dificuldades na extração de DNA de alta qualidade de materiais vegetais históricos e desenvolveram métodos especializados de alto rendimento, incluindo conjuntos de sondas personalizados como o Angiosperms353 (um kit de ferramentas em código aberto para pesquisa filogenômica colaborativa em plantas com flores), amostras de herbário estão sendo utilizadas em estudos genômicos em diversas escalas, desde níveis populacionais até filogenéticos (Rønsted, Grace, Carine, 2020; Johnson *et al.*, 2018; Kuzmina *et al.*, 2017). Essas melhorias metodológicas permitiram novas interpretações filogenéticas sobre espécies extintas, por exemplo (Heberling, 2021; Zedane *et al.*, 2016), e detecção de mudanças genéticas em espécies introduzidas à medida que se espalham por paisagens ao longo de décadas ou séculos (Heberling, 2021; Vandepitte, 2014).

O impacto dessas tecnologias se estende a várias aplicações, incluindo a investigação da genômica populacional histórica, a colocação filogeneticamente de linhagens crípticas e a delimitação de espécies crípticas⁴ (He *et al.*, 2024; Hind *et al.*, 2015; Kanda *et al.*, 2015; McCormack, Tsai, Faircloth, 2015). Em alguns casos, pesquisadores sequenciaram com sucesso espécimes com mais de cem anos de idade, permitindo a reconstrução de relações evolutivas e a estimativa de tempos de divergência para vários táxons (Gippoliti, 2024; Guschanski *et al.*, 2013), o que permite a cientistas extrair dados moleculares de espécimes preservados em museus, que muitas vezes são amostras únicas ou tipos nomenclaturais, elementos importantes para resolver questões científicas que, de outra forma, permaneceriam sem resposta (Dong *et al.*, 2024).

É importante, neste texto, apresentar uma relação de estudos que têm empregado a museômica como método, uma vez que esta oferece inúmeras aplicações práticas nas Ciências Biológicas, com pesquisadores aproveitando espécimes históricos para abordar questões que a amostragem contemporânea por si só não consegue responder. Por exemplo: resolução de relações taxonômicas complexas e posições filogenéticas de espécies raras,

⁴ Refere-se a espécies que são morfologicamente muito semelhantes, ao ponto de serem indistinguíveis, mas que são geneticamente diferentes e reprodutivamente isoladas.

difíceis de coletar ou extintas (Call *et al.*, 2021; Landry *et al.*, 2023); recuperando de *loci* nucleares de espécimes com mais de um século para reconstruir relações evolutivas (Call *et al.*, 2021); determinação de afiliações taxonômicas de táxons pouco conhecidos, como os gorgulhos⁵ cicadáceos australianos, por meio da geração de filogenias moleculares a partir de espécimes de museu (Hsiao *et al.*, 2023); resolução da classificação taxonômica de espécies conhecidas apenas por espécimes preservados, permitindo a inclusão de espécimes intratáveis em estudos evolutivos mais amplos (Bernstein *et al.*, 2023; Bernstein, Ruane, 2022); detectando assinaturas genéticas de declínio populacional, endogamia e flutuações históricas no tamanho da população (Irestedt *et al.*, 2022; Dussex, von Seth, Robertson, Dalén, 2018); investigando relações filogenéticas de espécies extintas e reconstruindo sua história evolutiva (Irestedt *et al.*, 2022); estudando invasões de elementos transponíveis e seu impacto na evolução do genoma nos últimos dois séculos (Strunov *et al.*, 2023; Scarpa, Pianezza, Wierzbicki, Kofler, 2023); geração de mitogenomas (genoma mitocondrial) completos e *loci* nucleares para táxons em toda a sua área de distribuição para resolver questões biogeográficas (Barthe *et al.*, 2024).

Outros exemplos incluem o exame de padrões de variação em genes imunológicos ao longo do tempo para entender a coevolução hospedeiro-patógeno (Vinkler *et al.*, 2023; Irestedt *et al.*, 2022; Krause-Kyora *et al.*, 2018); investigar amostras históricas para observar a adaptação de patógenos e o desenvolvimento de resistência do hospedeiro, conforme demonstrado em estudos de resistência à mixomatose em coelhos europeus (Vinkler *et al.*, 2023; Alves *et al.*, 2019); caracterização de comunidades microbianas associadas a espécimes preservados para compreender as relações hospedeiro-micróbio ao longo do tempo (Madison, LaBumard, Woodhams, 2023); aplicação da museômica para estudar aspectos ecológicos e evolutivos de microbiomas a partir de espécimes históricos (Madison, LaBumard, Woodhams, 2023); integrar a museômica com a eco-informática para desenvolver um conhecimento mais abrangente das respostas das espécies às mudanças ambientais ao longo do tempo (Nygaard *et al.*, 2022); usando espécimes históricos para orientar os esforços de monitoramento da conservação por meio da compreensão dos comportamentos das espécies em relação a forças externas (Nygaard *et al.*, 2022); Aproveitando coleções de história natural e conhecimento interdisciplinar para promover a ciência da conservação e desenvolver abordagens inovadoras para a preservação de espécies (Blair, 2023).

⁵ Os gorgulhos, conhecidos como carunchos, são besouros. Neste caso refere-se a um grupo de animais encontrados nas plantas cicadáceas da Austrália.

Essas diversas aplicações - embora não se baseiam numa pesquisa exaustiva em torno do uso da museômica - demonstram como esse campo transformou coleções de história natural de repositórios em recursos de caráter mais dinâmico para investigação científica, permitindo aos pesquisadores testar novas hipóteses e revisitar as estabelecidas com novas evidências (Call *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2025; Staats *et al.*, 2013).

Museômica, Museologia e coleções biológicas: aproximações

A museômica abre uma via de complementaridade à atuação da Museologia, particularmente quando se trata da valorização e reinterpretação das coleções científicas de origem biológicas. Tradicionalmente compreendidas como repositórios materiais e patrimoniais, as coleções de história natural e biológicas no geral são ressignificadas pela museômica como bancos de dados biológicos, o que amplia, compreende-se, o entendimento museológico sobre o valor informacional do acervo.

É um movimento que pode incitar os museus a repensarem suas práticas de documentação, conservação e mediação como ações voltadas à preservação física e à educação, divulgação científica, assim como também como estratégias para viabilizar a pesquisa científica de ponta. Em termos teóricos, a Museologia é desafiada a integrar conceitos de bioinformática, eco-informática e gestão de dados à sua base epistemológica e tratamento técnico do material com o que se relaciona, de forma a reafirmar seu papel como um campo transdisciplinar voltado à mediação entre objetos, conhecimento e sociedade.

Inegavelmente é uma articulação que traz benefícios recíprocos (tanto à Museologia quanto à Museômica e seus profissionais). Do ponto de vista da Museômica, os museus fornecem infraestrutura, critérios curatoriais, registros históricos e metadados para a contextualização espacial e temporal dos espécimes — elementos que enriquecem a interpretação genética, ampliam o escopo das investigações evolutivas e fazem parte da prática em museus.

Já para os museus e seus profissionais, compreender as coleções como fontes de dados e informação propicia novas possibilidades de inserção institucional em redes globais de pesquisa, aumenta a relevância científica das coleções e fortalece sua legitimidade social como instituições produtoras de conhecimento, o que é muito importante para distanciar a opinião pública da percepção de que museus são instituições estáticas no tempo. Isso implica em uma reorientação do olhar museológico sobre as coleções científicas, que passam a ser entendidas não apenas como objetos de memória ou de representação da biodiversidade, mas

como arquivos genômicos capazes de fornecer dados decisivos para o monitoramento da biodiversidade, a previsão de mudanças ecológicas e a formulação de políticas públicas ambientais.

No plano prático, essa reconfiguração exige que os museus de ciência invistam na digitalização e interoperabilidade de seus acervos, na qualificação técnica de seus quadros e no diálogo ético com as demandas da pesquisa genética e genômica. Ao mesmo tempo, impõe reflexões museológicas sobre os limites e riscos da amostragem destrutiva aos materiais, o acesso desigual às tecnologias de análise genômica e as responsabilidades sociais associadas à gestão de dados biológicos sensíveis. Os profissionais da área da Museologia também precisam estar melhor preparados para compreender o papel das coleções como biobancos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão proposta neste trabalho buscou evidenciar o potencial da Museômica como um campo emergente que reposiciona os museus — especialmente os de ciências naturais — como infraestruturas para a produção, curadoria e circulação de dados científicos, escopo ainda pouco explorado na literatura científica do campo da Museologia no Brasil. De certa maneira, a Museômica amplia o escopo epistemológico da Museologia, relacionando-a ainda mais com as Ciências da Vida, e a conecta com áreas científicas de desenvolvimento mais recente nas Ciências da Vida, como a Bioinformática e a Genômica.

A análise demonstrou que a museômica opera em múltiplas camadas: desde documentação museológica até a extração de dados genéticos de espécimes históricos, sendo uma abordagem que oferece novas possibilidades para a compreensão da biodiversidade, da evolução biológica e dos impactos ambientais antrópicos ao longo do tempo. Os exemplos práticos apresentados na literatura científica mostram como técnicas genômicas aplicadas a coleções museológicas vêm contribuindo para resolver questões taxonômicas complexas, investigar espécies extintas, identificar adaptações ecológicas e enriquecer a ciência da conservação.

Para a Museologia, essa perspectiva representa um duplo desafio: de um lado, aprofundar seu envolvimento com tecnologias emergentes e métodos analíticos voltados à gestão e ao uso de dados oriundos de suas coleções; de outro, garantir que tais práticas não comprometam os valores culturais, éticos e contextuais associados aos acervos. A museômica, nesse sentido, não substitui os modos tradicionais de abordagem museológica,

mas os complementa com novas camadas interpretativas e técnicas voltadas à produção de conhecimento científico.

Diante do cenário apresentado, torna-se importante o estímulo a pesquisas interdisciplinares que explorem de forma mais sistemática as interfaces entre museus, dados biológicos e tecnologias da informação e os campos relacionados onde atuam os profissionais que, na prática, já desenvolvem essas conexões. É preciso consolidar referenciais teóricos e metodológicos que possibilitem o avanço da Museômica enquanto subcampo legítimo e integrador - das Ciências Biológicas? da Museologia -, capaz de responder às exigências contemporâneas da ciência aberta, da preservação da biodiversidade e da mediação entre conhecimento científico e sociedade. Tal esforço exige o envolvimento de museólogos, biólogos, cientistas da informação, bioinformatas e gestores de acervos e coleções, assim como o fortalecimento de redes de colaboração institucional e científica.

CONFLITO DE INTERESSES

O autor certifica que não há conflito de interesses envolvidos na concepção e execução deste texto.

[Versão em Inglês/English version]

Museomics: museums and biological collections as a database, an approach based on Museology

Lucas George Wendt⁶

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4901-6826>

Abstract: In recent decades, natural science museums have come to be understood as scientific databases, beyond the social and scientific functions they already fulfill. This repositioning underlies Museomics, an emerging field that combines concepts and techniques from Bioinformatics and Genomics to treat biological collections as biobanks and data sources applicable to contemporary scientific research. This article aims to theoretically discuss the concept of museomics, analyzing its foundations, its relationship with museums, and presenting concrete examples of its application. This is a theoretical, qualitative, exploratory study based on a review of national and international literature on museomics. The results indicate that museomics enables the

⁶ Master's in Information Science from the Graduate Program in Information Science - PPGCIN at the Federal University of Rio Grande do Sul - UFRGS (2024). Master's student in Museology and Heritage at the Graduate Program in Museology and Heritage - PPGMusPa at UFRGS. Specialist in Institutional Communication at the Faculty of Development of Rio Grande do Sul - Fadergs (2021). BA in Library Science from the University of Caxias do Sul - UCS (2021). BA in Journalism from the University of Vale do Taquari - Univates (2017). Archivology student at the Leonardo da Vinci University Center (Uniasselvi).

extraction of genetic data from historical specimens preserved in museums, contributing to the resolution of taxonomic questions, the reconstruction of phylogenies, the investigation of extinct biodiversity, and the monitoring of environmental changes. Concrete cases involving the use of next-generation genomic technologies (NGS) demonstrate the impact of museomics on different areas of the Biological Sciences. The conclusion is that museomics broadens the scope of museology, challenging it to incorporate informational, genetic, and computational frameworks into its practices. At the same time, the proposal is to strengthen interdisciplinary research that articulates museums, data, and life sciences, consolidating museomics as a subfield capable of expanding the role of museums in the production and circulation of scientific knowledge.

Keywords: Museomics. Museology. Biological collections. Science museums. Biodiversity.

INTRODUCTION

In recent decades, the growing digitization of museum collections and documents has increased the capacity for storing, processing and circulating the information produced and preserved by museums, especially those dedicated to the biological sciences. This movement has been driven by the convergence of information science, museum data, bioinformatics and, more recently, museomics - an emerging field that understands museums as databases (or biobanks). Inspired by the developments in genomics and open science practices, museomics proposes a new role for museums, considering them as collection, storage and exhibition spaces, as well as data and information environments.

Historically, museums have been conceived as institutions dedicated to preserving material objects that bear witness to different times, knowledge and cultures. However, with the advance of digital technologies, the museum is increasingly becoming a space for information *transduction*, in which objects, documents and records are transformed into data and used in contexts other than those in which they were collected. This framework of data-related possibilities also includes photographs, textual descriptions, geographical coordinates, conservation histories, taxonomic data and relational metadata for digitized museum objects. In this nexus, the safeguarded objects themselves are understood to be impregnated with data.

Thus, the museum no longer operates solely on objects, but on sets of data that represent, organize and give meaning to these objects in new contexts. What we are seeing is the emergence of a new semantic layer on collections, enhanced by digital databases, integrated collection management systems and interoperable protocols and, in the case of museomics, genetics. This phenomenon demands a new theoretical and methodological apparatus from Museology, capable of dealing with the growing complexity of the direct and indirect museological data on which it itself is affected.

In this sense, this article seeks to reflect, from a theoretical perspective, on the concept of museomics, analyzing museums as databases based on references from contemporary Museology, Information Science and Biological Sciences. The intention is to propose ways of strengthening an informational museology (or data museology), of which museomics is understood to be a part, capable of responding to the challenges of managing, curating and circulating biodata in museum environments, especially digital ones. This topic is practically unexplored in the scientific literature in Portuguese, in the field of Museology, Heritage and even Biological Sciences, and there are also few references in foreign literature.

The main objective of this work is to theoretically discuss the concept of museomics, based on an understanding of museums and natural science collections as databases, as well as to present consolidated examples in the scientific literature of the use of this concept in the production of knowledge based on what is integrated into collections and museums. The scientific objectives are a) to analyze the theoretical foundations that support museomics as an emerging field; b) to reflect on the relationship between museums and this field; and c) to present examples of the application of museomics.

This is a theoretical, qualitative study with an exploratory approach. The methodology is based on a review of international literature on museomics and biological collections.

RESULTS

This section is structured around theoretical references that help to understand Museomics and its relationship with biological collections; then we present examples of the application of the museomics technique to specimens from biological collections; and finally, we bring together the concepts of Museomics and Museology.

Understanding museomics and its relationship with biological collections

The first museums derive from private collections, cabinets of curiosities, chambers of wonders and princely collections, gathered over the course of the 15th to 17th centuries. This diverse genesis soon led to the first consolidated museum typology: natural history museums. At the time, Natural History - essentially descriptive and orderly - comprised what today are the autonomous scientific domains of Geology, Zoology and Botany, for example. A little further on in the historical development of the natural sciences, these fields are included in the Natural Sciences, which have a broader scope than Natural History, as well as

new research agendas. This phenomenon also saw the birth of natural science museums, a concept seen as more modern and better suited to what used to be understood as Natural History. All of this development is taking place without any explicit coordination on the part of one agent. It is natural and involves different scientific movements in different fields.

Museology as an articulated scientific discipline emerged between the 1970s and 1980s. According to Sofka (2016), the term "museology" was already known and widely used by professionals in the field. Its origins date back to the 1880s, when it appeared in the journal *Zeitschrift für Museologie und Antkvitätenkunde*, published in Dresden, Germany. In 1883, the editor of the journal presented the study *Die Museologie als Fachwissenschaft*, in which he defended museology as a scientific field. However, the concept was not widely consolidated. Many rejected it, while others understood it only as a practice applied in museums (Sofka, 2016). Of course, it is known that a field does not constitute itself with just a name; there must be agents - people and institutions of all kinds - and the will to claim a place for itself, which, in the case of Museology, is the museum, defined as

[...] a permanent, non-profit institution at the service of society that researches, collects, conserves, interprets and exhibits material and immaterial heritage. Open to the public, accessible and inclusive, museums foster diversity and sustainability. With the participation of communities, museums operate and communicate in an ethical and professional manner, providing diverse experiences for education, enjoyment, reflection and the sharing of knowledge (ICOM, 2022, digital text).

In this definition, some points catch our attention. The museum is understood as an institution that "researches, collects, conserves, interprets [...]" (among other aspects); museums strengthen the perception of (bio)diversity (in the case of spaces that house natural science collections), and are also important for "[...] reflection and the sharing of knowledge".

The excerpt presented is the new definition of a museum, approved by the International Council of Museums (ICOM) in 2022. In general, connecting the reflection proposed here, ICOM explicitly recognizes the role of museums as dynamic institutions committed to research, conservation and interpretation of their collections, while also emphasizing their potential to promote critical reflection and the sharing of knowledge.

In the case of natural science museums, which house biological collections, it is understood that this definition reinforces a basic dimension: that of these collections as sources of scientific data (databases, in a way). In this context, biological specimens preserved in museums are material records of biodiversity, serving as documentary references for taxonomic, ecological, evolutionary and environmental research at times other than the

moment when they were chosen as representatives of a reality and were thus stored in a given collection.

The biological collections kept by museums respond to science, past, present and future: they are instruments for the production and validation of scientific knowledge. Each specimen stored carries with it information to be inferred by the subject about time, space, environment and form - data that, gathered and organized in computerized systems, constitute databases on the diversity of life. What's more, through more modern analysis, in layers that are not tangible at first, they can reveal even more to the different fields of science involved in understanding the ways in which life has existed over time. Biology collections, therefore, gain prominence as sources for preserving biodiversity, but also as devices for producing new scientific information.

This brief digression is important to situate three aspects in our discussion: a) the recentness of the scientific field of Museology and the importance of an area that can branch out into other subdomains in the future, which is understood to be happening now with Museomics; b) the understanding of museums, from their collections, in the context of Biology, can be understood as a database and, by extension, a source of information; and c) the fact that sciences such as Biology (derived from Natural History and then Natural Sciences), an area of which Museology is often understood as an auxiliary, is much earlier as a field. These two different periodizations lead to a meeting that bears fruit in Museomics.

Museomics then emerges as a hybrid field, combining concepts from Museology, Bioinformatics, Information Science and even Data Science. Its focus is on the organization, integration and analysis of large volumes of data from museums, with an emphasis on digital preservation, accessibility and reuse of data by multiple communities of interest. Although the term does not yet have a consolidated definition in scientific literature, it can be understood as the practice of treating museum collections as sources of scientific data.

Museomics starts from the perception of the wealth of data available in natural history collections, acting at the intersection between the science of museums - Museology - and the science of genes - Genomics -, giving new life and new meanings to natural history collections that have been prospected over the centuries and disseminated throughout the world (Strijk *et al.*, 2020). It focuses on extracting and analyzing DNA from museum specimens, effectively treating natural history museums as diverse biobanks with great research potential (Call, Twort, Espeland, Wahlberg, 2024). When genomic techniques are applied to preserved specimens, museomics allows researchers from different areas of interest

to generate biodiversity information and genetic sequence data that might otherwise be inaccessible (Nakazato, Jinbo, 2022).

It is understood that the importance of museomics lies in its ability to expand research horizons beyond contemporary samples, offering access to rare, hard-to-collect or even extinct taxa (Call, Twort, Espeland, Wahlberg, 2024). Each museum specimen potentially preserves a genetic record that can shed light on the evolutionary history of its species, providing data that would be impossible to obtain with modern samples alone (Brutto, 2023). This new approach has emerged as a tool for biodiversity research, broadening the scope of scientific questions that can be investigated (Cilli *et al.*, 2023; Twort, Minet, Wheat, Wahlberg, 2020).

The term "museomics" was coined by Stephan Schuster (a genomics expert) and Webb Miller (a bioinformatician) around 2009, referring specifically to the large-scale analysis of the DNA content of museum collections (Fong *et al.*, 2023). Although genetic studies of museum specimens had been conducted before the emergence of this formal terminology, the introduction of "museomics" as a distinct field underscores the scientific importance of museum specimens in biological research (Fong *et al.*, 2023), so this terminology gave recognition to an area of study that took advantage of preserved specimens as resources for genetic research.

Natural history collections represent vast and always irreplaceable archives of biological information that form the backbone of museum research and much of the research carried out in the different biological sciences. These collections provide an unparalleled record of the Earth's biodiversity, documenting the diversity of life forms, the dynamics of ecosystems and the evolutionary processes that have shaped our planet over millions of years (Card *et al.*, 2021; Hammerle *et al.*, 2024). By applying genomic techniques to preserved specimens, museums have ceased to be traditional repositories and have become valuable repositories for DNA-based studies on a wide range of biodiversity topics (Queiroz *et al.*, 2023).

The integration of genomic technologies with traditional museum collections has created unique opportunities for scientific research. For example, DNA sequencing techniques, specifically adapted for ancient or historical specimens, allow researchers to reconstruct genomes and address questions in ecology and evolutionary biology (Hammerle *et al.*, 2024). This is a capability that has particularly enhanced research into extinct organisms, e.g. Miller *et al.* (2008) and the impact of anthropogenic activity on biodiversity, areas where contemporary samples are unavailable or insufficient (Card *et al.*, 2021).

Museomics has been gaining ground, including the founding of a scientific journal specifically for publications in this field. Natural History Collections and Museomics (NHCM)⁷ is an international journal dedicated to fostering academic exchange, innovation, and interdisciplinary research in the field of natural history collections. It is updated by the Consortium of European Taxonomic Facilities (CETAF) and the Integrated Digitized Biocollections (iDigBio), fostering collaboration among museum professionals, researchers, educators, and enthusiasts. Its primary mission is to deepen the understanding and social relevance of natural history through better sharing of knowledge, practices, and critical perspectives. NHCM values contributions from diverse disciplines, such as taxonomy, conservation, education, ethics, and museology, and encourages submissions that explore the evolving role of collections in science, culture, and public engagement.

The journal accepts a wide range of article types, including original research, reviews, methodological articles, case studies, letters, and opinion pieces. Key topics include innovations in taxonomy and museomics, collection curation and digitization methods, AI applications in species identification, colectomics, and software methods for collection management.

The NHCM also features discussions on institutional history, collection provenance, museum policies, exhibition design, education, ethics, leadership practices, legal frameworks, and the social impact of collections. Special attention is given to interdisciplinary and applied uses of collections—such as biomimetics and pharmaceutical research—while advocating for the recognition, sustainability, and strategic investment in natural history resources.

Examples of the application of museomic techniques to biological collections

The scientific literature points out that the development of museomics as a viable scientific field has been fundamentally driven by technological innovations that overcome the challenges of working with degraded DNA from preserved specimens. Next-generation sequencing (NGS) technologies have been particularly important in this context, as they can effectively utilize the short, fragmented DNA usually extracted from historical materials, bypassing the obstacles faced when using traditional Sanger sequencing methods (or chain termination method, a technique for determining the sequence of nucleotides in a DNA

⁷ Available at: <https://nhcm.pensoft.net/>.

molecule). This advantage makes molecular studies of historical specimens more efficient (He *et al.*, 2024; Rizzi *et al.*, 2012; Raxworthy *et al.*, 2021; Holmquist *et al.*, 2024).

The evolution of the field of genomics applied to *naturalia* has progressed from initially producing only tiny fragments of historical DNA (hDNA), often derived from mitochondrial genes, to now, more recently, allowing genomes to be sequenced in their entirety (Prasetyo *et al.*, 2024). Thus, approaches in this field allow researchers to sequence hundreds to thousands of *loci* from the entire genome using historical DNA (Pauli *et al.*, 2024), which in turn means a major paradigm shift in the use of specimens from natural history collections for research in systematics and evolutionary biology.

Work in herbaria and botanical collections is another element that has benefited from these technical advances. As researchers have overcome the difficulties in extracting high-quality DNA from historical plant materials and developed specialized high-throughput methods, including custom probe sets such as Angiosperms353 (an open-source toolkit for collaborative phylogenomic research on flowering plants), herbarium samples are being used in genomic studies at a variety of scales, from population to phylogenetic levels (Rønsted, Grace, Carine, 2020; Johnson *et al.*, 2018; Kuzmina *et al.*, 2017). These methodological improvements have enabled new phylogenetic interpretations of extinct species, for example (Heberling, 2021; Zedane *et al.*, 2016), and the detection of genetic changes in introduced species as they spread across landscapes over decades or centuries (Heberling, 2021; Vandepitte, 2014).

The impact of these technologies extends to various applications, including the investigation of historical population genomics, the phylogenetic placement of cryptic lineages and the delimitation of cryptic species⁸ (He *et al.*, 2024; Hind *et al.*, 2015; Kanda *et al.*, 2015; McCormack, Tsai, Faircloth, 2015). In some cases, researchers have successfully sequenced specimens more than a hundred years old, allowing the reconstruction of evolutionary relationships and the estimation of divergence times for various taxa (Gippoliti, 2024; Guschanski *et al.*, 2013), which allows scientists to extract molecular data from specimens preserved in museums, which are often unique samples or nomenclatural types, important elements for solving scientific questions that would otherwise remain unanswered (Dong *et al.*, 2024).

⁸ It refers to species that are morphologically very similar, to the point of being indistinguishable, but which are genetically different and reproductively isolated.

It is important, in this text, to present a list of studies that have employed museomics as a method, since it offers numerous practical applications in the Biological Sciences, with researchers taking advantage of historical specimens to address questions that contemporary sampling alone cannot answer. For example: resolving complex taxonomic relationships and phylogenetic positions of rare, hard-to-collect or extinct species (Call *et al.*, 2021; Landry *et al.*, 2023); recovering nuclear *loci* from specimens more than a century old to reconstruct evolutionary relationships (Call *et al.*, 2021); determining the taxonomic affiliations of little-known taxa, such as the Australian cycad weevils⁹, by generating molecular phylogenies from museum specimens (Hsiao *et al.*, 2023); resolving the taxonomic classification of species known only from preserved specimens, allowing intractable specimens to be included in broader evolutionary studies (Bernstein *et al.*, 2023; Bernstein, Ruane, 2022); detecting genetic signatures of population decline, inbreeding and historical fluctuations in population size (Irestedt *et al.*, 2022; Dussex, von Seth, Robertson, Dalén, 2018); investigating phylogenetic relationships of extinct species and reconstructing their evolutionary history (Irestedt *et al.*, 2022); studying transposable element invasions and their impact on genome evolution over the last two centuries (Strunov *et al.*, 2023; Scarpa, Pianezza, Wierzbicki, Kofler, 2023); generating complete mitogenomes (mitochondrial genome) and nuclear *loci* for taxa across their entire range to resolve biogeographical questions (Barthe *et al.*, 2024).

Other examples include examining patterns of variation in immune genes over time to understand host-pathogen coevolution (Vinkler *et al.*, 2023; Irestedt *et al.*, 2022; Krause-Kyora *et al.*, 2018); investigating historical samples to observe pathogen adaptation and the development of host resistance, as demonstrated in studies of myxomatosis resistance in European rabbits (Vinkler *et al.*, 2023; Alves *et al.*, 2019); characterization of microbial communities associated with preserved specimens to understand host-microbe relationships over time (Madison, LaBumbard, Woodhams, 2023); application of museomics to study ecological and evolutionary aspects of microbiomes from historical specimens (Madison, LaBumbard, Woodhams, 2023); integrating museomics with eco-informatics to develop a more comprehensive knowledge of species' responses to environmental changes over time (Nygaard *et al.*, 2022); using historical specimens to guide conservation monitoring efforts by understanding species' behaviors in relation to external forces (Nygaard *et al.*, 2022); harnessing natural history collections and interdisciplinary knowledge to promote

⁹ Weevils, known as beetles, are beetles. In this case it refers to a group of animals found on Australian cycad plants.

conservation science and develop innovative approaches to species preservation (Blair, 2023).

These diverse applications - although not based on exhaustive research into the use of museomics - demonstrate how this field has transformed natural history collections from repositories into more dynamic resources for scientific investigation, allowing researchers to test new hypotheses and revisit established ones with new evidence (Call *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2025; Staats *et al.*, 2013).

Museomics, Museology and biological collections: approaches

Museomics opens up a path of complementarity to the work of Museology, particularly when it comes to valuing and reinterpreting scientific collections of biological origin. Traditionally understood as material and heritage repositories, natural history and biological collections in general are re-signified by museomics as biological databases, which broadens the museological understanding of the informational value of the collection.

This is a movement that could encourage museums to rethink their documentation, conservation and mediation practices as actions aimed at physical preservation and education, scientific dissemination, as well as strategies to enable cutting-edge scientific research. In theoretical terms, Museology is challenged to integrate concepts of bioinformatics, eco-informatics and data management into its epistemological basis and technical treatment of the material it relates to, in order to reaffirm its role as a transdisciplinary field focused on mediation between objects, knowledge and society.

It is undeniably an articulation that brings reciprocal benefits (both to Museology and to Museomics and its professionals). From the point of view of Museomics, museums provide infrastructure, curatorial criteria, historical records and metadata for the spatial and temporal contextualization of specimens - elements that enrich genetic interpretation, broaden the scope of evolutionary research and are part of museum practice.

As for museums and their professionals, understanding collections as sources of data and information opens up new possibilities for institutional inclusion in global research networks, increases the scientific relevance of collections and strengthens their social legitimacy as knowledge-producing institutions, which is very important in distancing public opinion from the perception that museums are static institutions in time. This implies a reorientation of the museological view of scientific collections, which are now understood not only as objects of memory or representation of biodiversity, but as genomic archives

capable of providing decisive data for monitoring biodiversity, predicting ecological changes and formulating public environmental policies.

On a practical level, this reconfiguration requires science museums to invest in the digitization and interoperability of their collections, in the technical qualification of their staff and in ethical dialogue with the demands of genetic and genomic research. At the same time, it requires museological reflection on the limits and risks of destructive sampling of materials, unequal access to genomic analysis technologies and the social responsibilities associated with the management of sensitive biological data. Museology professionals also need to be better prepared to understand the role of collections as biobanks.

FINAL CONSIDERATIONS

The discussion proposed in this paper sought to highlight the potential of Museomics as an emerging field that repositions museums - especially natural science museums - as infrastructures for the production, curation and circulation of scientific data, a scope that is still little explored in the scientific literature of the field of Museology in Brazil. In a way, Museomics broadens the epistemological scope of Museology, linking it even more closely to the Life Sciences, and connects it to more recently developed scientific areas in the Life Sciences, such as Bioinformatics and Genomics.

The analysis showed that museomics operates on multiple layers: from museum documentation to the extraction of genetic data from historical specimens, and is an approach that offers new possibilities for understanding biodiversity, biological evolution and anthropogenic environmental impacts over time. The practical examples presented in scientific literature show how genomic techniques applied to museum collections have contributed to solving complex taxonomic questions, investigating extinct species, identifying ecological adaptations and enriching conservation science.

For Museology, this perspective represents a double challenge: on the one hand, to deepen its involvement with emerging technologies and analytical methods aimed at managing and using data from its collections; on the other, to ensure that such practices do not compromise the cultural, ethical and contextual values associated with the collections. In this sense, museomics does not replace traditional museological approaches, but complements them with new interpretative and technical layers aimed at producing scientific knowledge.

Given this scenario, it is important to encourage interdisciplinary research that more systematically explores the interfaces between museums, biological data and information technologies and the related fields where professionals who already develop these connections in practice work. It is necessary to consolidate theoretical and methodological references that will enable Museomics to advance as a legitimate and integrating subfield - of the Biological Sciences? of Museology - capable of responding to the contemporary demands of open science, the preservation of biodiversity and mediation between scientific knowledge and society. This effort requires the involvement of museologists, biologists, information scientists, bioinformaticians and collections managers, as well as the strengthening of institutional and scientific collaboration networks.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

ALVES, Joel M. *et al.* Parallel adaptation of rabbit populations to Myxoma virus. **Science**, v. 363, n. 6433, p. 1319-1326, 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aau7285>. Acesso em: 23 jul. 2025.

BERNSTEIN, Justin M. *et al.* Phylogenomics of fresh and formalin specimens resolves the systematics of Old World mud snakes (Serpentes: Homalopsidae) and expands biogeographic inference. **Bulletin of the Society of Systematic Biologists**, 2023. Disponível em: <https://par.nsf.gov/biblio/10488404>. Acesso em: 23 jul. 2025.

BERNSTEIN, Justin M.; RUANE, Sara. Maximizing molecular data from low-quality fluid-preserved specimens in natural history collections. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 893088, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2022.893088/full>. Acesso em: 23 jul. 2025.

BLAIR, Mary E. Conservation museomics. **Conservation Biology**, v. 38, n. 3, 2024. Disponível em: https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A4%3A2028372/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A177533339&crl=c&link_origin=scholar.google.com.br. Acesso em: 23 jul. 2025.

BRUTTO, Sabrina Lo. Zoological checklists: From natural history museums to ecosystems. **Diversity**, v. 15, n. 6, p. 741, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/6/741>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CALL, Elsa *et al.* Museomics: phylogenomics of the moth family Epicopeiidae (Lepidoptera) using target enrichment. **Insect Systematics and Diversity**, v. 5, n. 2, p. 6, 2021. Disponível em: <https://academic.oup.com/isd/article-abstract/5/2/6/6244279>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CALL, Elsa *et al.* One Method to Sequence Them All? Comparison between Whole-Genome Sequencing (WGS) and Target Enrichment (TE) of museum specimens from the moth families Epicopeiidae and Sematuridae (Lepidoptera). **BioRxiv**, p. 2023.08.21.553699, 2023.

Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.08.21.553699.abstract>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CARD, Daren C. *et al.* Museum genomics. **Annual Review of Genetics**, v. 55, n. 1, p. 633-659, 2021. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-genet-071719-020506>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CILLI, Elisabetta *et al.* Museomics provides insights into conservation and education: The instance of an African lion specimen from the Museum of Zoology “Pietro Doderlein”. **Diversity**, v. 15, n. 1, p. 87, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/1/87>. Acesso em: 23 jul. 2025.

DONG, Jiajia *et al.* Museomics allows comparative analyses of mitochondrial genomes in the family Gryllidae (Insecta, Orthoptera) and confirms its phylogenetic relationships. **PeerJ**, v. 12, p. e17734, 2024. Disponível em: <https://peerj.com/articles/17734/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

DUSSEX, Nicolas *et al.* Full mitogenomes in the critically endangered kākāpō reveal major post-glacial and anthropogenic effects on neutral genetic diversity. **Genes**, v. 9, n. 4, p. 220, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4425/9/4/220>. Acesso em: 23 jul. 2025.

FONG, Jonathan J. *et al.* Recent advances in museomics: revolutionizing biodiversity research. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1188172, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2023.1188172/full>. Acesso em: 23 jul. 2025.

GIPPOLITI, Spartaco. Four hundred years of studying and collecting African mammals: a review of Italian contributions to African mammalogy. **Journal of Vertebrate Biology**, v. 73, n. 23110, p. 23110.1-13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25225/jvb.23110>. Acesso em: 23 jul. 2025.

GUSCHANSKI, Katerina *et al.* Next-generation museomics disentangles one of the largest primate radiations. **Systematic Biology**, v. 62, n. 4, p. 539-554, 2013. Disponível em: <https://journals.aai.org/sysbio/article/62/4/539/1611933>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HÄMMERLE, Michelle *et al.* Screening great ape museum specimens for DNA viruses. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 29806, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-80780-w>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HE, Shilin *et al.* Museomics, molecular phylogeny and systematic revision of the Eurepini crickets (Orthoptera: Gryllidae: Eneopterinae), with description of two new genera. **Systematic Entomology**, v. 49, n. 3, p. 389-411, 2024. Disponível em: <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/syen.12622>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HEBERLING, J. Mason. Herbaria as big data sources of plant traits. **International Journal of Plant Sciences**, v. 183, n. 2, p. 87-118, 2022. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/717623>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HIND, Katharine R. *et al.* Resolving cryptic species of *Bossiella* (Corallinales, Rhodophyta) using contemporary and historical DNA. **American Journal of Botany**, v. 102, n. 11, p. 1912-1930, 2015. Disponível em: <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.3732/ajb.1500308>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HOLMQUIST, Anna *et al.* Towards Large-Scale Museomics Projects: A Cost-Effective and High-Throughput Extraction Method for Obtaining Historical DNA From Museum Insect Specimens. **Molecular Ecology Resources**, p. e14117, 2024. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1755-0998.14117?casa_token=ObuoYmk2VGMAAAAA:6vRQKvpm4egNdwS_hsgiBfW8D94FciMs_Zn-_eY2c7YMLABTLSDxEC47D5RLB2j3aGEcZINj5IHQcKI. Acesso em: 23 jul. 2025.

HSIAO, Yun *et al.* Museomics unveil systematics, diversity and evolution of Australian cycad-pollinating weevils. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 290, n. 2008, p. 20231385, 2023. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspb.2023.1385>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ICOM Brasil. Nova Definição de Museus, 2022, doc. eletr. Disponível em: https://www.icom.org.br/?page_id=2173. Acesso em: 23 jul. 2025.

IRESTEDT, Martin *et al.* A guide to avian museomics: Insights gained from resequencing hundreds of avian study skins. **Molecular Ecology Resources**, v. 22, n. 7, p. 2672-2684, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1755-0998.13660>. Acesso em: 23 jul. 2025.

JOHNSON, Matthew G. *et al.* A universal probe set for targeted sequencing of 353 nuclear genes from any flowering plant designed using k-medoids clustering. **Systematic Biology**, v. 68, n. 4, p. 594-606, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Steven-Dodsworth/publication/326193056_A_Universal_Probe_Set_for_Targeted_Sequencing_of_353_Nuclear_Genes_from_Any_Flowering_Plant_Designed_Using_k-medoids_Clustering/links/5b40f2be0f7e9bb59b143647/A-Universal-Probe-Set-for-Targeted-Sequencing-of-353-Nuclear-Genes-from-Any-Flowering-Plant-Designed-Using-k-medoids-Clustering.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

KANDA, Kojun *et al.* Successful recovery of nuclear protein-coding genes from small insects in museums using Illumina sequencing. **PLoS One**, v. 10, n. 12, p. e0143929, 2015. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0143929>. Acesso em: 23 jul. 2025.

KRAUSE-KYORA, Ben *et al.* Ancient DNA study reveals HLA susceptibility locus for leprosy in medieval Europeans. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1569, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-03857-x>. Acesso em: 23 jul. 2025.

KUZMINA, Maria L. *et al.* Using herbarium-derived DNAs to assemble a large-scale DNA barcode library for the vascular plants of Canada. **Applications in Plant Sciences**, v. 5, n. 12, p. 1700079, 2017. Disponível em:

<https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.3732/apps.1700079>. Acesso em: 23 jul. 2025.

LANDRY, Bernard *et al.* The identity of *Argyrialacteella* (Fabricius, 1794)(Lepidoptera, Pyraloidea, Crambinae), synonyms, and related species revealed by morphology and DNA capture in type specimens. **ZooKeys**, v. 1146, p. 1, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10208364/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MADISON, Joseph D.; LABUMBARD, Brandon C.; WOODHAMS, Douglas C. Shotgun metagenomics captures more microbial diversity than targeted 16S rRNA gene sequencing for field specimens and preserved museum specimens. **Plos One**, v. 18, n. 9, p. e0291540, 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0291540>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MCCORMACK, John E.; TSAI, Whitney LE; FAIRCLOTH, Brant C. Sequence capture of ultraconserved elements from bird museum specimens. **Molecular Ecology Resources**, v. 16, n. 5, p. 1189-1203, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1755-0998.12466>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MILLER, Webb *et al.* Sequencing the nuclear genome of the extinct woolly mammoth. **Nature**, v. 456, n. 7220, p. 387-390, 2008. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nature07446&casa_token=2Vk9LIKfeCcAAAAA:qQrfou5IMc8a39PC-2p_Kiirv91B8mDirvPGheQQTbaApW16ZDiMly4tWCUZJReMNGYYhfdZ08vKge2. Acesso em: 23 jul. 2025.

NAKAZATO, Takeru; JINBO, Utsugi. Cross-sectional use of barcode of life data system and GenBank as DNA barcoding databases for the advancement of museomics. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 966605, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2022.966605/full>. Acesso em: 23 jul. 2025.

NYGAARD, Malene *et al.* Spatiotemporal monitoring of the rare northern dragonhead (*Dracocephalum ruyschiana*, Lamiaceae)—SNP genotyping and environmental niche modeling herbarium specimens. **Ecology and Evolution**, v. 12, n. 8, p. e9187, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ece3.9187>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PAULI, Marie T. *et al.* Museomics of *Carabus* giant ground beetles shows an Oligocene origin and in situ alpine diversification. **Peer Community Journal**, v. 4, 2024. Disponível em: <https://peercommunityjournal.org/articles/10.24072/pcjournal.445/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PRASETYO, Andhika P. *et al.* A review of sharks museomic: Management and conservation insight from shark and ray specimens from museum collection. In: **BIO Web of Conferences**. EDP Sciences, 2024. p. 08001. Disponível em: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2024/31/bioconf_eis2024_08001/bioconf_eis2024_08001.html. Acesso em: 23 jul. 2025.

QUEIROZ, Victor de *et al.* DNA extracted from museum specimens of the 19th century provides a taxonomic resolution on the identity of the characid fish *Psalidodon*

jequitinhonhae (Ostariophysi: Characiformes). **Neotropical Ichthyology**, v. 21, n. 04, p. e230094, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ni/a/vkypZDyLMthm6tCXRJtDg9N/?lang=en>. Acesso em: 23 jul. 2025.

RAXWORTHY, Christopher J.; SMITH, Brian Tilston. Mining museums for historical DNA: advances and challenges in museomics. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 11, p. 1049-1060, 2021. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(21\)00214-7](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(21)00214-7). Acesso em: 23 jul. 2025.

RIZZI, Ermanno *et al.* Ancient DNA studies: new perspectives on old samples. **Genetics Selection Evolution**, v. 44, n. 1, p. 21, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/1297-9686-44-21>. Acesso em: 23 jul. 2025.

RØNSTED, Nina; GRACE, Olwen M.; CARINE, Mark A. Integrative and translational uses of herbarium collections across time, space, and species. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1319, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.01319/full>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SCARPA, Almorò *et al.* Genomes of historical specimens reveal multiple invasions of LTR retrotransposons in *Drosophila melanogaster* during the 19th century. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 121, n. 15, p. e2313866121, 2024. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2313866121>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SOFKA, Vinos. Minha aventureosa vida com o ICOFOM, a Museologia, os museólogos e os anti-museólogos, com especial referência ao ICOFOM Study Series. **Revista Museologia e Patrimônio**, v.9, n.1, 2016. p.153-194. Disponível em: <http://200.156.20.26/index.php/ppgpmus/article/download/517/494>. Acesso em: 23 jul. 2025.

STAATS, Martijn *et al.* Genomic treasure troves: complete genome sequencing of herbarium and insect museum specimens. **PloS One**, v. 8, n. 7, p. e69189, 2013. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0069189>. Acesso em: 23 jul. 2025.

STRIJK, Joeri S. *et al.* Museomics for reconstructing historical floristic exchanges: Divergence of stone oaks across Wallacea. **PLoS One**, v. 15, n. 5, p. e0232936, 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0232936>. Acesso em: 23 jul. 2025.

STRUNOV, Anton *et al.* Historic museum samples provide evidence for a recent replacement of *Wolbachia* types in European *Drosophila melanogaster*. **Molecular Biology and Evolution**, v. 40, n. 12, p. msad258, 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/mbe/article-pdf/doi/10.1093/molbev/msad258/54913146/msad258.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.

TWORT, Victoria G. *et al.* Museomics of a rare taxon: placing Whalleyanidae in the Lepidoptera Tree of Life. **Systematic Entomology**, v. 46, n. 4, p. 926-937, 2021. Disponível em: <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/syen.12503>. Acesso em: 23 jul. 2025.

VANDEPITTE, Katrien *et al.* Rapid genetic adaptation precedes the spread of an exotic plant species. **Molecular Ecology**, v. 23, n. 9, p. 2157-2164, 2014. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mec.12683?casa_token=mkeKW_4eRIwAAA:AAA:X2SRhMjaEAJhb3QI8e46MpQ9n4av3gUInR00JuAKZ3iv7JTDoQVwhvOyUdJEreECUvbpkgYTwu7QLCE. Acesso em: 23 jul. 2025.

VINKLER, Michal *et al.* Understanding the evolution of immune genes in jawed vertebrates. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 36, n. 6, p. 847-873, 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/jeb/article-abstract/36/6/847/7576949>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ZEDANE, Loubab *et al.* Museomics illuminate the history of an extinct, paleoendemic plant lineage (Hesperelaea, Oleaceae) known from an 1875 collection from Guadalupe Island, Mexico. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 117, n. 1, p. 44-57, 2016. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-abstract/117/1/44/2440216>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ZHU, Yao-Wei *et al.* A comparison and evaluation of strategies for bulk sequencing of mitogenomes from museum collections. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 3, p. 530-545, 2025. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/2041-210X.14495>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CONFLICT OF INTEREST

The author certifies that there is no conflict of interest involved in the conception and execution of this text.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.