

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MONOGRAFIA

**Uso da tecnologia digital para divulgação de conhecimentos e
materiais geológicos**

Trabalho de Formatura: 22/14

Fabio Shunji Yamazaki

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Aparecida Del Lama

Coorientador: Carlos Eduardo Manjon Mazoca

São Paulo – SP

Dezembro/2022

RESUMO

Devido à importância que os meios digitais passaram a ter na sociedade contemporânea, este projeto busca a pesquisa e desenvolvimento da digitalização/virtualização 3D parcial do acervo do Museu de Geociências da Universidade de São Paulo, a partir da técnica de fotogrametria por Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS), a elaboração de um caminhamento virtual no Instituto de Geociências no modelo *Street View* do Google, e sugerir a criação de conteúdos a partir dos modelos digitais tridimensionais gerados. A partir da digitalização do acervo do museu, pode-se expandir de forma exponencial o potencial de comunicação entre as instituições e a sociedade, e assim promover a divulgação de conhecimentos e materiais que envolvem as geociências, além de tornar esses conteúdos mais acessíveis ao público. Com o progressivo avanço tecnológico, as tecnologias passam a ser cada vez mais acessíveis e eficientes, e viabilizam a elaboração deste tipo de projeto, na qual foram utilizados equipamentos e ferramentas de relativo baixo custo (se comparado aos equivalentes industriais), mas que, segundo os resultados gerados, demonstraram alto grau qualitativo e satisfatórios para a sua proposta. O principal produto desta pesquisa consiste em uma coleção 3D virtual abrangente, composta principalmente de rochas, mas também envolvendo outros materiais geológicos, que está disponível online.

ABSTRACT

Due to the importance that digital media has in our contemporary society, this project aims to research and develop a 3D digitization/virtualization of part of the Geosciences Museum collection using photogrammetry by the Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS) technique, develop a virtual tour of the Geosciences Institute based on Google's Street View, and suggest content creation for the three-dimensional digital models generated. With the digitization of a museum's collection, the potential for communication between institutions and society can be expanded exponentially, thus promoting the dissemination of knowledge and materials involving geosciences, in addition to making these contents more accessible. The progressive technological advancement has been making technologies increasingly accessible and efficient, which makes possible the development of this type of project using relatively low-cost equipment and tools (compared to their industrial equivalents). In spite of the inexpensiveness of the project, the proposal demonstrated high-quality and satisfactory results. The main product of this research consists of a comprehensive virtual 3D collection composed mainly of rocks, but also involving other geological materials, which is available online.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. METAS E OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	7
5. RESULTADOS OBTIDOS	8
5.1. GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS DO ACERVO DO MUSEU DE GEOCIÊNCIAS DO IGC-USP	8
5.2. CAMINHAMENTO VIRTUAL PELO IGC-USP	26
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	27
6.1. PROBLEMAS ENFRENTADOS DURANTE O PROCESSO DE GERAÇÃO DOS MODELOS 3D	28
6.1.1. <i>Propriedades dos materiais</i>	28
6.1.2. <i>Ajuste de foco da câmera e definição das fotos</i>	29
6.1.3. <i>Plano de fundo colorido</i>	31
6.2. SUGESTÕES DE CRIAÇÃO DE CONTEÚDOS A PARTIR DOS MODELOS 3D GERADOS	33
7. CONCLUSÕES	40
8. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

“Uso da tecnologia digital para divulgação de materiais e conhecimentos geológicos” é um projeto que consiste em pesquisa e desenvolvimento que visa empregar de forma inovadora ferramentas computacionais para a divulgação de conhecimento, incluindo materiais, que envolvem as Geociências.

Devido à importância que os meios digitais passaram a ter na sociedade contemporânea, explorar esses meios para abranger o potencial de comunicação e divulgação das geociências passa a ser algo fundamental. Por isso, neste projeto foi proposta a virtualização (ou digitalização) 3D de algumas amostras do acervo do Museu de Geociências do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), para fomentar a criação de um acervo digital que poderá ser utilizado para a divulgação desses materiais em diversos meios de comunicação, a criação de novos conteúdos a partir desses modelos digitais, promover a utilização desses modelos para fins acadêmicos, e a possibilidade de criação de uma vitrine virtual no *site* oficial do museu disponível para visitação (exposição virtual). Também foi proposta, de forma exploratória, a elaboração de um caminhamento virtual (no modelo Street View do Google) pelo IGc-USP.

As digitalizações 3D foram feitas a partir da captura de fotos do objeto de interesse e da aplicação da técnica de fotogrametria por Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS). O SfM-MVS, lançado no ano de 2006, foi uma grande inovação no campo da fotogrametria e na geração de modelos tridimensionais digitais, pois permitiu que diversos processos que antes precisavam ser feitos de forma manual passassem a ser automatizados (Carrivick et al., 2016). Com essa inovação, simulando movimentos a partir do conjunto de fotos, o computador passa a ter a capacidade de reconstruir a geometria tridimensional do objeto automaticamente (Charquero Ballester, 2016). A tecnologia de SfM-MVS também facilitou o processo de captura de fotos, pois sem esta, o processo de fotogrametria demandava mais tempo e experiência por parte de quem empregava a técnica. Assim, a partir de 2006, a fotogrametria por SfM-MVS torna-se uma ferramenta acessível até para pessoas sem nenhuma experiência da técnica, ou que dispunham de tecnologias menos estruturadas e controladas. Vale destacar que ainda assim   necessário bastante cuidado, prática e aprendizagem durante as capturas das fotos, já que se tratam das informações mais importantes do processo de digitalização 3D, como será visto mais adiante.

A necessidade de renovação nas formas de divulgação, criação de conteúdo, e na forma de transmitir o conhecimento, vem aumentando exponencialmente, tendo como um dos principais fatores o progressivo avanço tecnológico, que, ao mesmo tempo, começa a trazer soluções para facilitar esse processo de mudança. As tecnologias que foram utilizadas para o projeto, tais como as ferramentas, equipamentos e técnicas, passaram a ser mais acessíveis. Equipamentos de alto desempenho, os quais somente eram acessíveis para uso profissional, começam a chegar ao alcance do indivíduo comum para um uso doméstico e/ou pessoal. Técnicas e ferramentas podem ser moldadas e adaptadas para servirem a diversos contextos recriando máquinas industriais para uso pessoal e automatizando pequenos projetos em meio residencial. *Softwares* com preços acessíveis, ou até mesmo gratuitos, estão disponíveis e são capazes de produzir resultados de alta qualidade e aplicabilidade.

A digitalização do conteúdo museológico, que é o foco principal deste trabalho, pode expandir de forma exponencial o potencial de comunicação entre museus e sociedade, pois quando um objeto é digitalizado, além de possibilitar a valorização do acervo museológico, o objeto da coleção torna-se, então, capaz de transpor sua singularidade para alcançar distâncias além das geográficas, levando para o público o conhecimento para valorização e conscientização de salvaguardar o acervo (Alencastro, 2018). Além disso, apenas havendo a disponibilidade deste tipo de conteúdo, pode se tornar um subsídio e incentivo para permitir eventuais inovações para projetos futuros, seja no âmbito educacional, acadêmico ou de empreendimento. Materiais digitalizados e tridimensionais oferecem aos geocientistas uma forma de criar uma documentação mais rica e abrangente do mundo real e permite disponibilizar essa documentação para um público ainda maior (Apopei et al., 2021).

A elaboração de um caminhamento virtual pelo Instituto também se aplica nas justificativas supracitadas, mas tem seu foco principal no âmbito da divulgação e democratização do espaço. Permitir uma visitação “virtual” em qualquer lugar e a qualquer momento, desde que conectado à *Internet* e com um dispositivo para acessá-la, fazem do IGc-USP um local mais acessível e possibilita uma maior familiarização com o local. Além disso, tal conteúdo pode ser utilizado para incentivar visitas presenciais ao local, além de auxiliar futuros ingressantes dos cursos oferecidos pelo Instituto.

2. METAS E OBJETIVOS

O projeto consiste na pesquisa e desenvolvimento da digitalização/virtualização 3D parcial do acervo do Museu de Geociências do IGc-USP, a partir de técnica de fotogrametria por Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS), baseada em realidade virtual 3D; elaboração de um caminhamento virtual pelo IGc-USP no modelo Street View do Google;

analisar e explorar os resultados, tendo em vista a sua comunicabilidade frente à sociedade e de sua viabilidade de produção; e sugerir possíveis usos, na área de divulgação e educação, dos materiais digitalizados produzidos neste trabalho.

A partir da digitalização/virtualização 3D, espera-se tornar o acervo do Museu de Geociências mais acessível ao público e trazer mais segurança para estes materiais, já que estariam disponíveis também em forma virtual, além de física, e possibilitando diferentes atividades educativas, maior disponibilidade e alcance para as pesquisas e maior conhecimento do acervo do museu. Além disso, a partir das demais atividades, espera-se incentivar e ampliar as formas de divulgação das geociências como um todo.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

A fotogrametria é uma ciência aplicada, pois requer conhecimentos básicos de iluminação, configuração da câmera, e um pouco de ótica, para a retirada de fotografias a partir de diferentes angulações e aproximações. Tudo isso varia de acordo com os detalhes da peça que se pretende fotografar (Gomide, 2022). A técnica de fotogrametria por SfM-MVS representou um grande avanço no campo da fotogrametria, em particular para aplicações nas Geociências, sendo inicialmente, e até os dias atuais, focada principalmente nas áreas de estudo da Geomorfologia e Geofísica, devido a sua forma econômica, eficaz e flexível para reconstruir topografias complexas (Westoby et al., 2012). No entanto, as novas tecnologias têm sido gradualmente introduzidas em diferentes setores da conservação da geodiversidade e do patrimônio geológico. Modelagem 3D de geossítios a partir da técnica de fotogrametria por SfM-MVS já são estudados e realizados para desenvolver formas inovadoras para a sua representação e interpretação (Cayla, 2014). Estes recursos digitais, assim como os que foram desenvolvidos neste trabalho, podem se enquadrar tanto em projetos educacionais, seja para a divulgação do patrimônio geológico ou utilização didática, como o turismo (Mazoca et al., 2018).

Além disso, atualmente observa-se uma maior acessibilidade no uso de tecnologias no geral, sendo possível desenvolver diversos recursos de interpretação em Geociências a partir de ferramentas gratuitas (Mazoca et al., 2017), sem adição de custos, e assim, eliminando riscos financeiros ou limitação de orçamentos para os projetos, viabilizando e ampliando o estudo de novos recursos e de inovações no ramo. No entanto, o desenvolvimento destes recursos, deve ser feito com cautela, e antes de sua produção deve-se ter objetivos claros e noção de seu público alvo, pois, apesar das tecnologias serem capazes de ajudar e facilitar processos em muitos aspectos, também podem acabar sendo

uma ferramenta pouco atrativa e não familiar, e o recurso acabar ficando em desuso ou até ficar “ultrapassado” rapidamente (Barton et al., 2014).

A crise da COVID-19, que afetou a nossa sociedade em 2020, também destacou a importância da disponibilidade de materiais digitais na educação como um todo, assim como nas Geociências. Atualmente é possível encontrar diversos materiais geológicos na *Internet* de forma inovadora. Diversas instituições e pesquisadores estão aplicando esforços para um processo de digitalização de conteúdos geológicos para a geração de modelos digitais tridimensionais de materiais geológicos para exibição e divulgação virtual. Um exemplo é o Museu de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Iași, na Romênia, que possui uma grande coleção virtual 3D de rochas e minerais, disponíveis na plataforma Sketchfab (<https://sketchfab.com/MineralogyPetrographyMuseum>) (Apopei et al., 2021). Outro exemplo é a pesquisadora Sara Carena, cientista/professora sênior em Geologia na Universidade Luís Maximiliano de Munique, e que possui a sua própria coleção de modelos geológicos 3D também disponíveis na plataforma Sketchfab (<https://sketchfab.com/saracarena1>).

A partir do uso da *Internet*, com seus recursos multimidiáticos e hipertexto, e a tecnologia de imagens e bits, é possível transformar qualquer conteúdo em um recurso de divulgação. A partir dela, por exemplo, permite-se a criação e a representação de um objeto museológico em acervos digitais, e assim, levar as exposições para pessoas que outrora jamais teriam acesso a elas na forma física (Oliveira, 2007). Permite-se potencializar o acesso aos museus de forma mais ampla, e também cria-se a oportunidade dos museus de se reinventarem e inovarem nesse ambiente. Isso porque as ações museológicas dos museus, exercidas através da *Internet*, podem ser muito mais dinâmicas, têm maior liberdade criativa e podem alcançar um público muito maior (Henriques, 2004). Assim, explorar o uso da *Internet*, a partir da elaboração de um museu geológico virtual, pode potencializar a conservação do patrimônio geológico ex-situ, e a divulgação das Geociências de forma geral.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para este trabalho são uma câmera fotográfica profissional (Nikon D7000, tipo DSLR, com lente 18-55mm), um mini estúdio fotográfico (Mini Studio Pop 45) com opções de fundo de diversas cores, uma câmera fotográfica 360 (Insta360 One X2), e um computador de bom desempenho e com acesso ao *software* Agisoft Metashape.

Também foram utilizados diversos materiais improvisados para serem utilizados como suporte das amostras, flanelas coloridas para “camuflar” esses suportes, uma lâmpada

fluorescente para aprimorar a iluminação do mini estúdio, e uma base giratória improvisada (feita a partir de rolamento, placa de madeira e papelão).

As metodologias utilizadas são técnicas de fotografia, por meio de regulagem manual da captura de fotos como controle de luminosidade e foco, velocidade do obturador, abertura da lente, ISO, balanço de branco e formato de captura; Fotogrametria por Structure from Motion–Multi-View Stereo (SfM-MVS) de minerais e rochas (Apopei et al., 2021); métodos, técnicas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento da virtualização 3D (Gomide, 2022); técnicas de digitalização 3D faça-você-mesmo (Alencastro, 2018); geração de modelos 3D a partir de fotos utilizando o Agisoft PhotoScan¹ (*Generate a 3D model from photos using Agisoft PhotoScan – TDA Digital*) e; desenvolvimento *web* a partir das linguagens HTML, CSS e JavaScript, para elaboração de um rascunho do *site* do Museu de Geociências exibindo a exposição virtual das amostras digitalizadas.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Geração de modelos digitais tridimensionais do acervo do Museu de Geociências do IGc-USP

Inicialmente foram feitos testes de digitalização 3D de algumas pequenas amostras (menores que 0,5 metro) do Museu de Geociências sem a utilização de estúdio fotográfico, sendo as capturas de imagens realizadas a partir da movimentação em torno das amostras, que eram posicionadas em uma mesa com espaço livre em todo o seu entorno. Os resultados desses testes acabaram não gerando produtos satisfatórios, sendo os principais fatores a baixa luminosidade do local de captura e a câmera utilizada (smartphone convencional modelo Doogee V20). Além disso, o processo de captura de imagens nesse tipo de técnica sem utilização de estúdio acaba sendo um processo bastante trabalhoso, rigoroso e que necessita de bastante tempo para cada amostra. Apesar de que, se realizado de forma correta, a digitalização feita desta forma tem capacidade de produzir resultados interessantes. Houve então a necessidade da utilização de um estúdio fotográfico, pois este oferece uma facilidade no controle da iluminação sobre a amostra, e principalmente por proporcionar um aumento exponencial na eficiência das capturas de foto, pois não é mais necessário ficar se movimentando em torno da amostra para obtenção das fotos. Assim, as digitalizações 3D produzidas neste trabalho foram feitas principalmente em laboratório no IGc-USP com a utilização do Mini Studio Pop 45, com a configuração do ambiente de captura apresentado na Figura 01. O estúdio somente não foi utilizado para amostras na qual suas dimensões

¹ Antecessor do Agisoft MetaShape

ultrapassam os requisitos do estúdio. Além da utilização do estúdio, também foi disponibilizado uma câmera fotográfica profissional (tipo DSLR, modelo Nikon D7000) para a realização de todas as capturas.

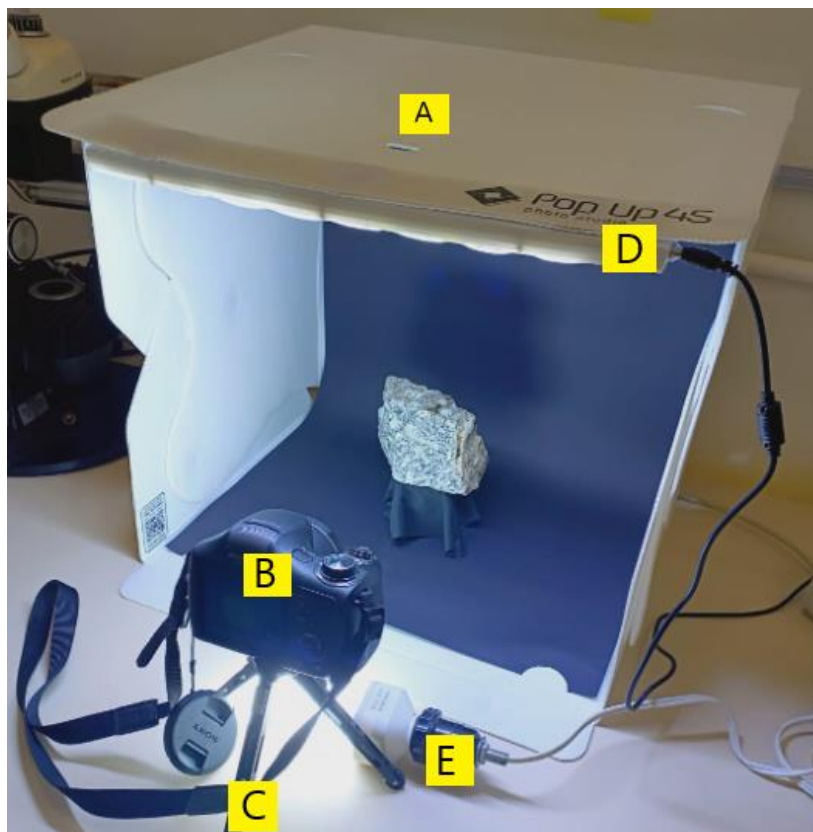


Figura 01. Configuração para as sessões fotográficas a partir do uso de estúdio fotográfico: (A) Mini Studio Pop Up 45; (B) câmera fotográfica; (C) tripé de mesa; (D) iluminação superior; (E) iluminação inferior.

Foi realizado um total de 36 modelos digitais 3D, sendo 34 deles com a utilização do estúdio e 02 sem a utilização deste. No processo de captura de fotos com o estúdio foi utilizada tanto a iluminação já inclusa na estrutura (iluminação superior) (Figura 01D), quanto uma lâmpada fluorescente adicional (iluminação inferior) (Figura 01E), uma câmera profissional posicionada em tripé em frente ao estúdio (Figuras 01B e 01C) com disparador remoto, suportes improvisados para as amostras de diferentes tamanhos, além de posteriormente ter sido fabricada uma base giratória.

O processo de captura de fotos inicia-se com o posicionamento das amostras sobre um suporte no interior do estúdio. Esta amostra é então rotacionada (no eixo Z) enquanto as capturas são realizadas. As rotações são feitas principalmente de forma intuitiva, mas geralmente respeitando em torno de 20° graus entre cada captura, totalizando em média 18 capturas por seção. Para que as capturas abranjam toda a superfície da amostra, são

modelo dentro do *software*, a qualidade do modelo 3D gerado é principalmente influenciada pela qualidade das fotos capturadas inicialmente.

Para as duas amostras em que não foi utilizado o estúdio, que são referentes a réplicas de fósseis (crânios) e que possuem dimensões maiores (chegam até 1 metro de comprimento), a captura de fotos foi feita em seu suporte/expositório original e dentro do próprio museu, sem necessidade de nenhum desmonte ou estrutura específica. Os crânios foram posicionados em um local amplo e permitindo que todo o seu entorno estivesse livre em aproximadamente 2 metros. As fotos eram tiradas ao redor dos crânios, também buscando respeitar um intervalo de 20° entre elas. Nesse tipo de técnica, devido ao fato de não ser utilizado um estúdio capaz de diminuir as variações das condições do ambiente e das instabilidades das capturas devido à constante movimentação, faz-se necessária a realização de um maior número de sessões de fotos em torno do objeto de interesse, com variação nos ângulos de incidência da câmera sobre o objeto e também sobre diferentes distâncias, para compensar e garantir um melhor resultado na digitalização. Vale ressaltar que, como os objetos digitalizados eram referentes a crânios, estes possuem muitas cavidades internas nas quais fotos tiradas somente da superfície externa não conseguem abranger a totalidade da superfície do objeto, portanto, também fez-se necessária a realização de capturas de suas porções internas. Após tiradas as fotos, o processo de geração do modelo digital 3D dentro do Agisoft Metashape segue as mesmas etapas supracitadas no parágrafo anterior, diferindo-se apenas por algumas subetapas devido a particularidades entre capturas feitas com ou sem estúdio fotográfico.

A principal diferença nas etapas do processo de digitalização pelo Agisoft Metashape com a utilização de estúdio fotográfico ou não, é que, como o estúdio possui um fundo de coloração uniforme, é possível definir, a partir da ferramenta de máscara de fundo (*background mask*) do *software*, o que o programa deveria reconhecer como sendo o fundo do estúdio a partir de uma foto tirada desta, sem o objeto que desejamos digitalizar (Figura 03). Assim, o programa passa a reconhecer o que seria parte do fundo do estúdio e o que não é (que no caso seria a amostra em si) em uma foto, e a partir disso, consegue desconsiderar da foto o fundo do estúdio e deixar somente o objeto de interesse (Figura 04), tornando as fotos ainda mais limpas de informações ou referências externas indesejadas. Fato que não é possível ao realizar as capturas feitas sem estúdio fotográfico, no caso dos crânios, pois em todas as fotos é exibido um ambiente de fundo com aspecto muito diferente (Figura 05).



Figura 03. Foto tirada apenas do fundo do estúdio, sem a amostra, para ser utilizada pela ferramenta de máscara de fundo (*background mask*).

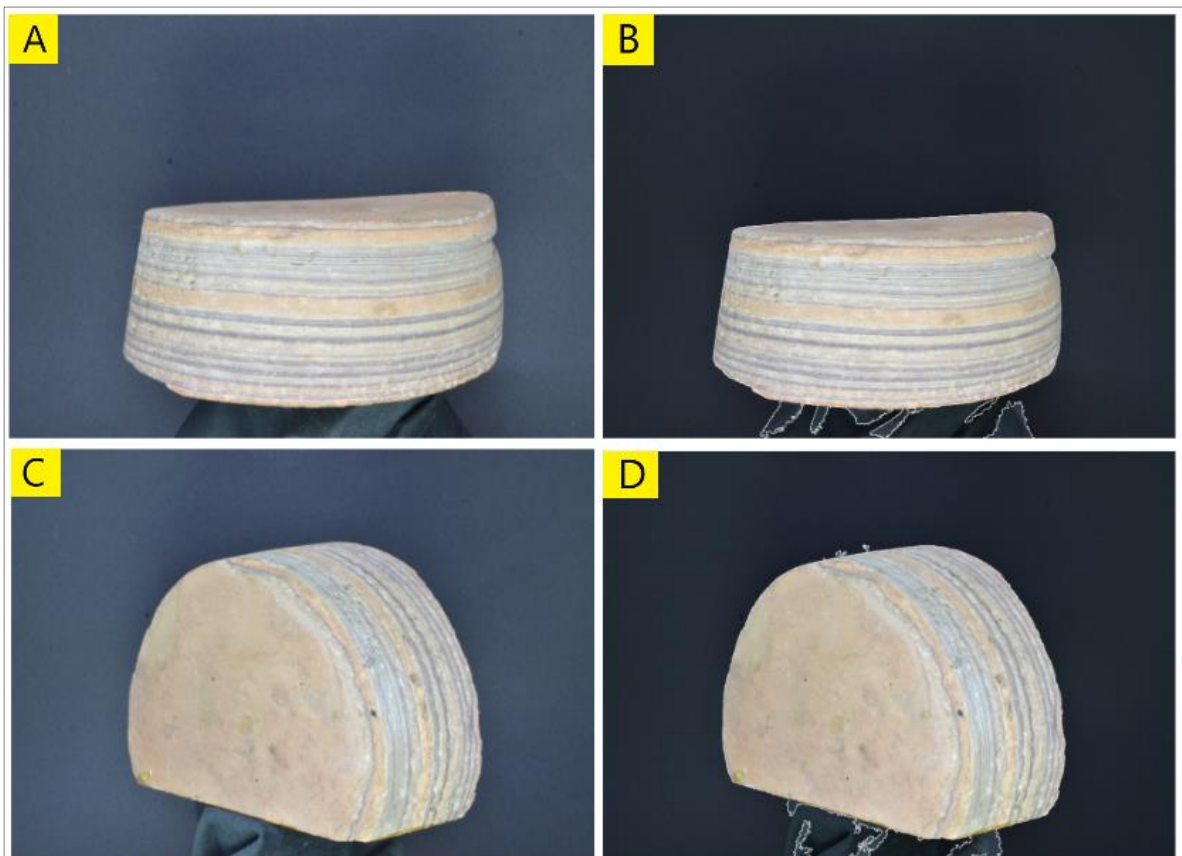


Figura 04. A e C) Fotos da amostra original; B e D): fotos da amostra após a aplicação da ferramenta de máscara de fundo. Nota-se que o fundo do estúdio nestas figuras ficou com uma aparência mais escura, pois está representado no programa como uma área selecionada pela máscara, e que será desconsiderada durante o processo de geração do modelo 3D.



Figura 05. Capturas feitas sem estúdio fotográfico. Nota-se a diferença do ambiente de fundo das fotos, fator que impossibilita a utilização de máscaras de fundo.

A seguir serão apresentados todos os resultados das digitalizações 3D realizadas neste trabalho. Será apresentado um total de 32 (trinta e duas) amostras de rochas, sendo 8 (oito) da coleção de rochas sedimentares, 12 (doze) de ígneas e 11 (onze) de metamórficas. Também será apresentado 1 (uma) amostra de fóssil, 2 (duas) réplicas de fósseis, 1 (um) espeleotema e 1 (um) mineral. Todas as digitalizações foram postadas na plataforma Sketchfab (<https://sketchfab.com/geohereditas>) a partir da conta do GeoHereditas (Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo), que é um grupo de pesquisa sediado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc/USP) que busca promover práticas em Geoconservação em diversas regiões do Brasil.

Entre as rochas sedimentares, as amostras digitalizadas foram um Arenito silicificado (Figura 06), Arenito com laminação por migração de ondas (Figura 07), Arenito fino e siltitos intercalados com estratificação plano-paralela (Figura 08), Calcário com brecha intraformacional (Figura 09), Conglomerado basal oligomítico (Figura 10), Brecha intraformacional em calcário (Figura 11), Gipsito fibroso (Figura 12) e Ritmito com lentes laminadas de arenito (Figura 13). Entre as rochas ígneas, digitalizou-se uma amostra de Basalto maciço (Figura 14), Biotita granito porfiróide (Figura 15), Carbonatito (Figura 16), Chibinito (Figura 17), Gabro (Figura 18), Granito (Figura 19), Granito porfiroide (Figura 20), Granito Rapakivi (Figura 21), Obsidiana (Figura 22), Pegmatito (Figura 23), Pegmatito de nefelina sienito (Figura 24) e Tonalito (Figura 25). Entre as metamórficas, foram digitalizados Biotita gnaisse granodiorítico bandado e dobrado (Figura 26), Filito crenulado (Figura 27), Gnaisse tonalítico Sete Voltas (Figura 28), Granada-quartzo-biotita xisto (Figura 29), Itabirito (Figura 30), Lápis-lazúli (Figura 31), Mármore calcítico (Figura 32), Mármore e Metamarga dobrados (Figura 33), Migmatito dobrado (Figura 34), Quartzito (Figura 35) e Quartzomuscovita-biotita xisto (Figura 36).

Já a amostra digitalizada de fósil é referente a um peixe da Bacia do Araripe (Figura 37), as réplicas de fósseis são referentes a um crânio de Alossauro (*Allosaurus Fragilis*) (Figura 38) e de Postosuchus (*Postosuchus kirkpatricki*) (Figura 39), sendo estas duas as únicas digitalizações aqui apresentadas nas quais não foi utilizado estúdio fotográfico. Também foram gerados modelos digitais de uma amostra de espeleotema referente à Estalagmite de aragonita com coraloides (Figura 40) e uma amostra de mineral referente a Água azul (Figura 41).

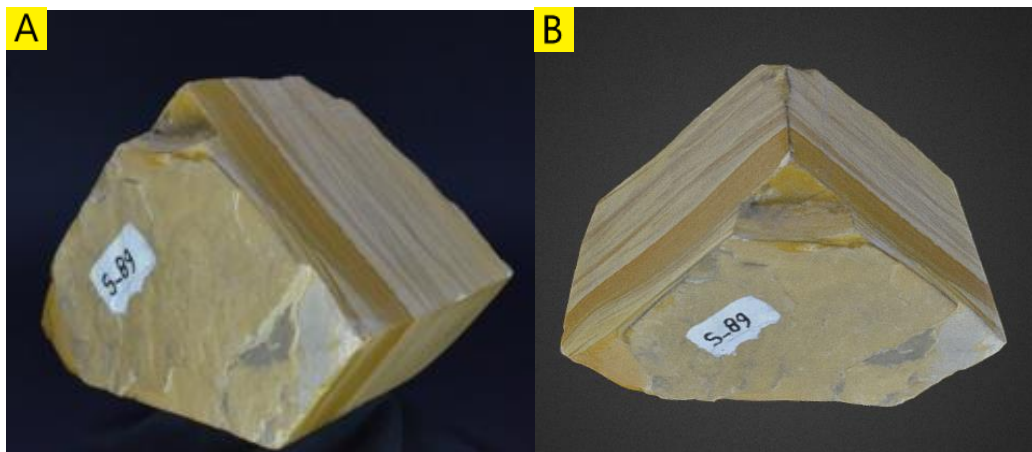


Figura 06 – A) Foto do Arenito silicificado; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA8Qp>).

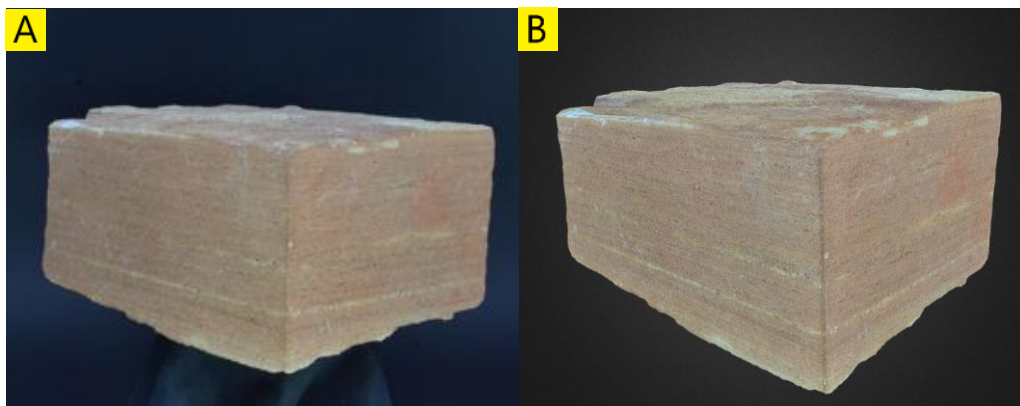


Figura 07 – A) Foto do Arenito com laminação por migração de ondas; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9vZ>).

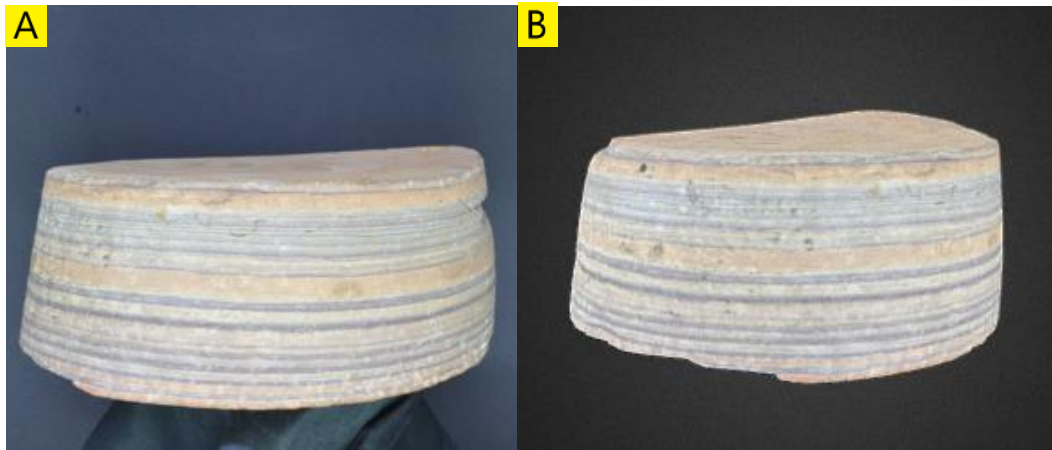


Figura 08 – A) Foto do Arenito fino e siltito intercalados com estratificação plano-paralela; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wg>).

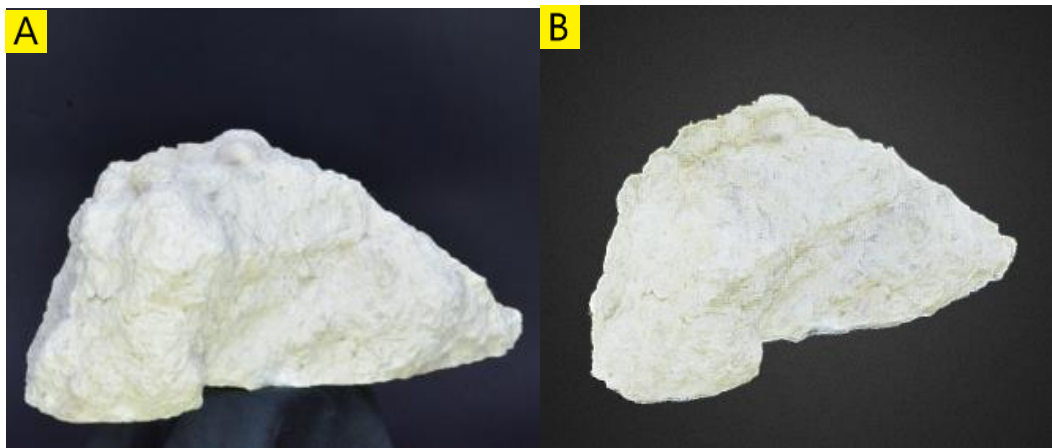


Figura 09 – A) Foto do Calcário com brecha intraformacional; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozAPU>).

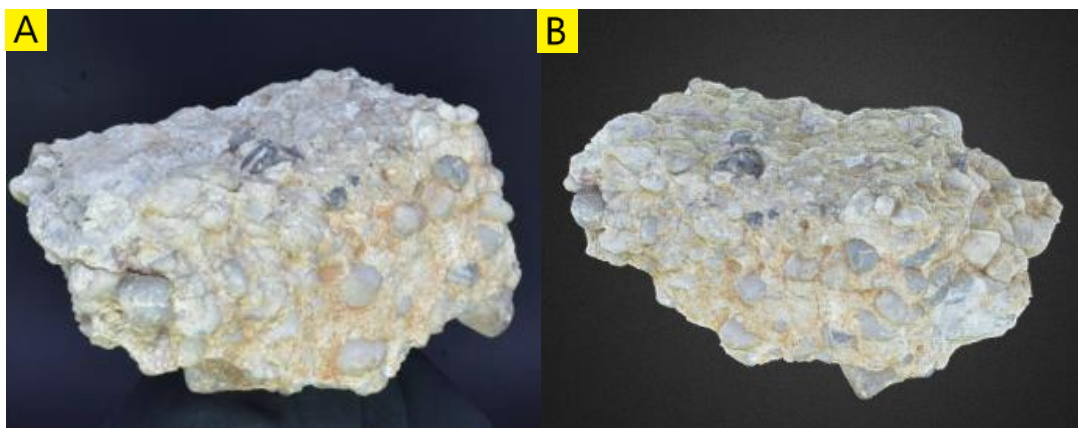


Figura 10 – A) Foto do Conglomerado basal oligomítico; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9ws>).

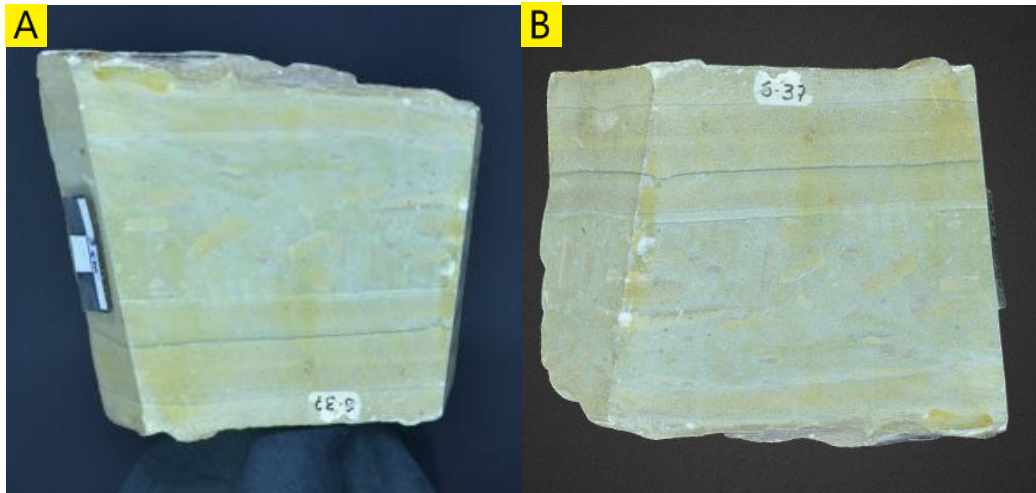


Figura 11 – A) Foto da Brecha intraformacional em calcário; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9w9>).

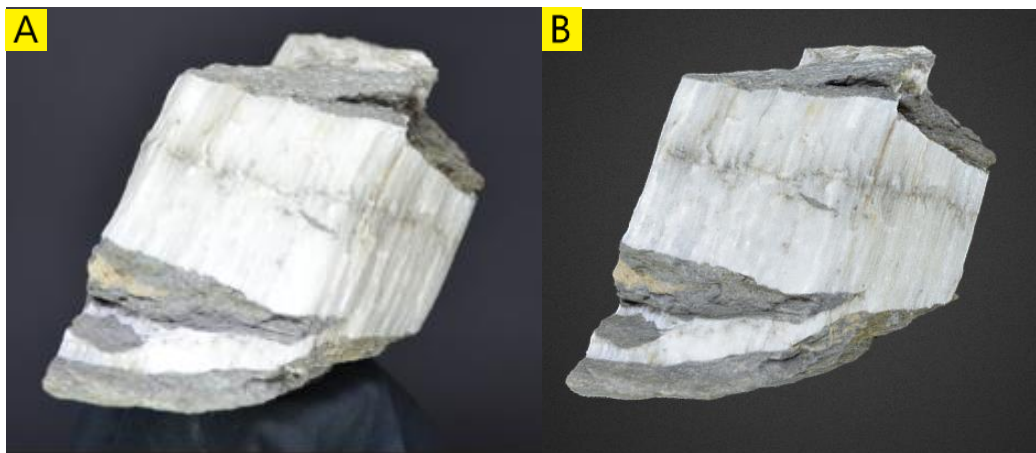


Figura 12 – A) Foto do Gipsito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA8SK>).

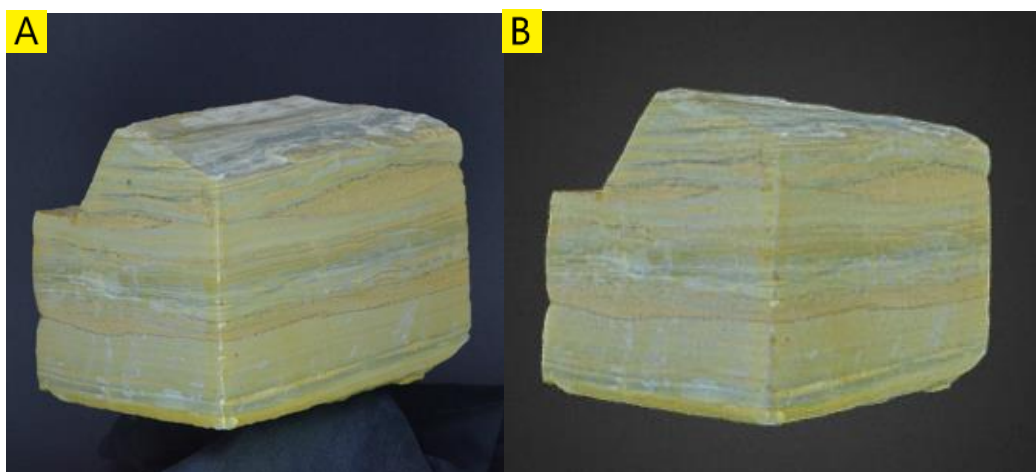


Figura 13 – A) Foto do Ritmito com lentes laminadas de arenito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wE>).

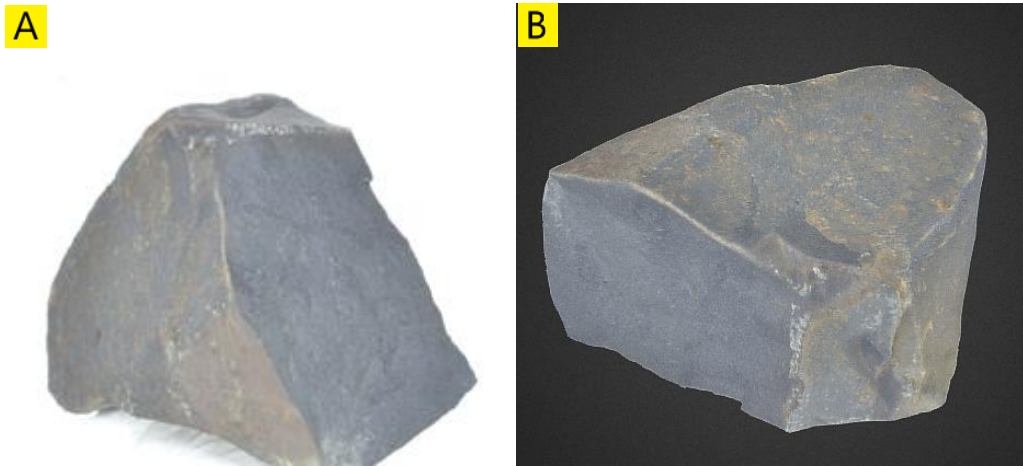


Figura 14 – A) Foto do Basalto; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oApnE>).

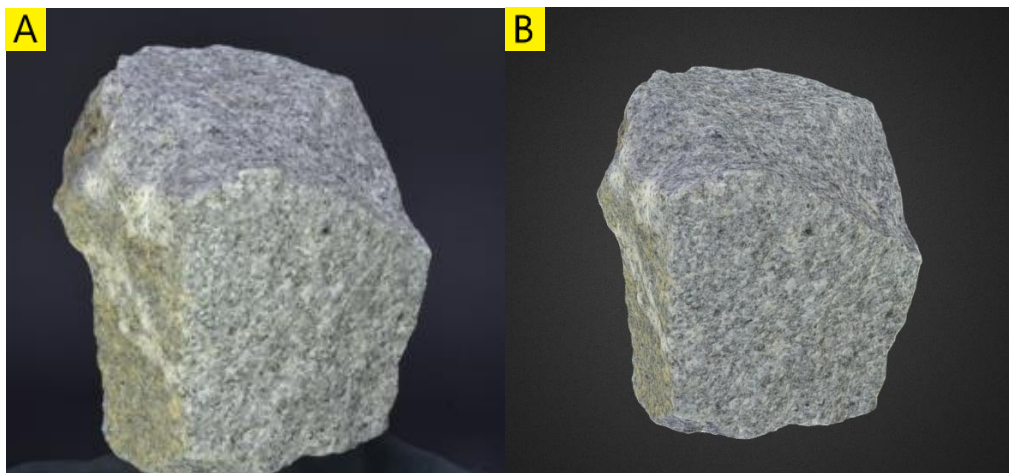


Figura 15 – A) Foto do Biotita granito porfiroide; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozZQp>).

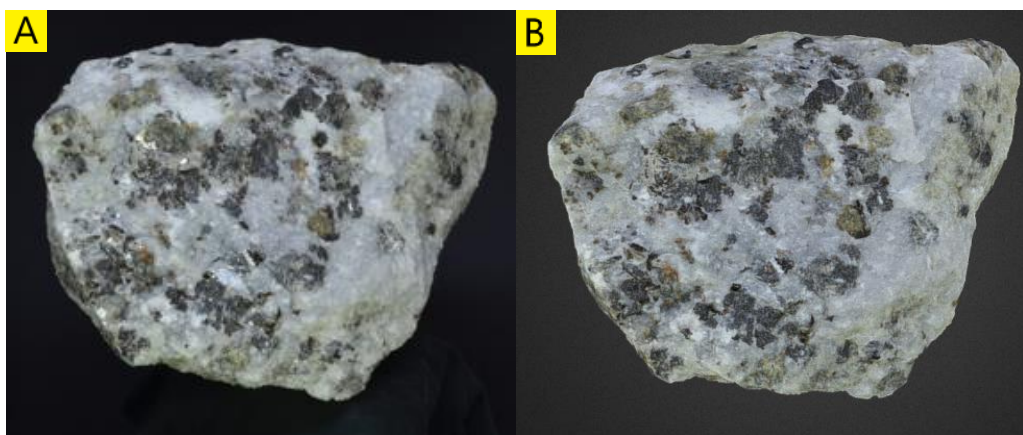


Figura 16 – A) Foto do Carbonatito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wG>).

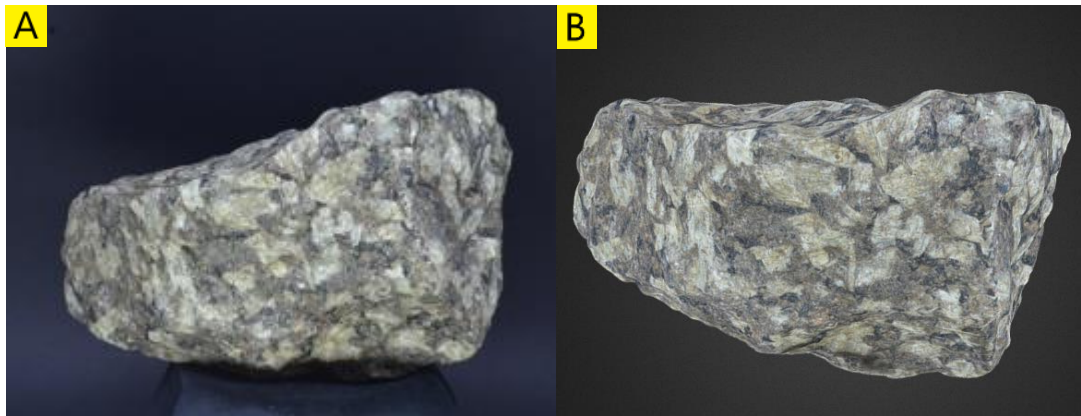


Figura 17 – A) Foto do Chibinito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wI>).

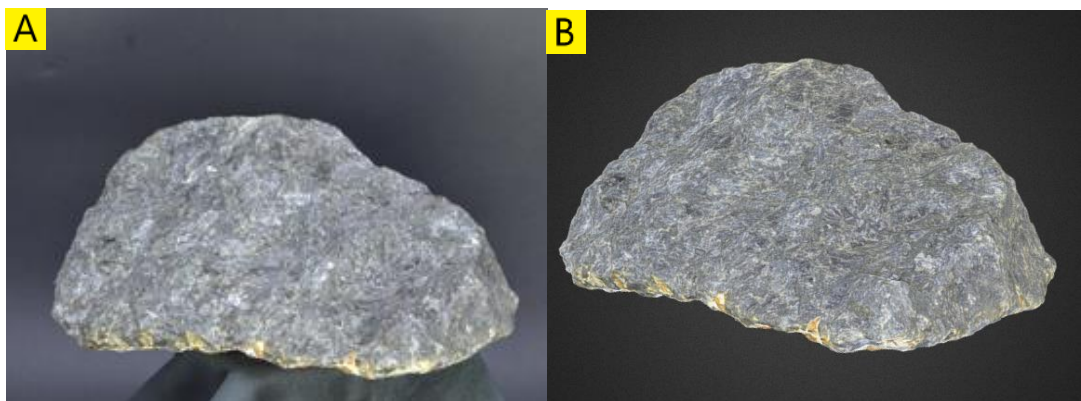


Figura 18 – A) Foto do Gabro; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wK>).

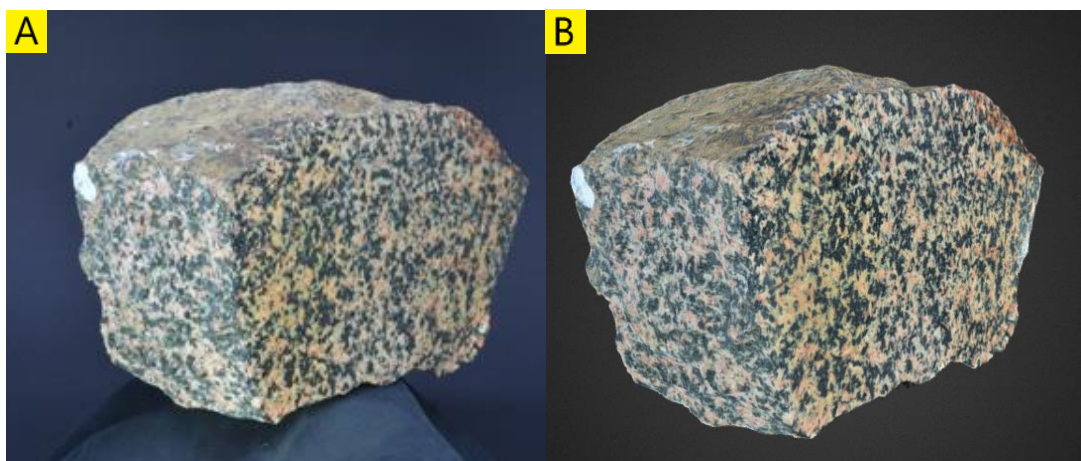


Figura 19 – A) Foto do Granito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wL>).

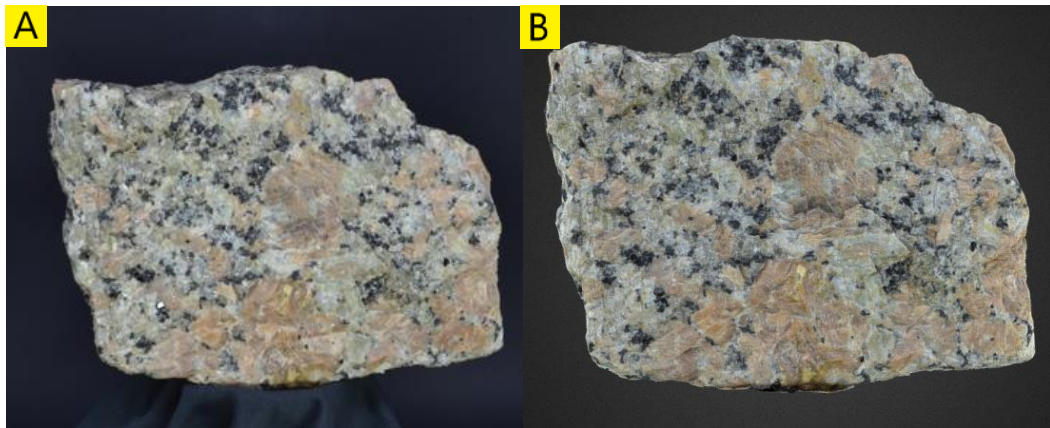


Figura 20 – A) Foto do Granito porfiroide; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wM>).

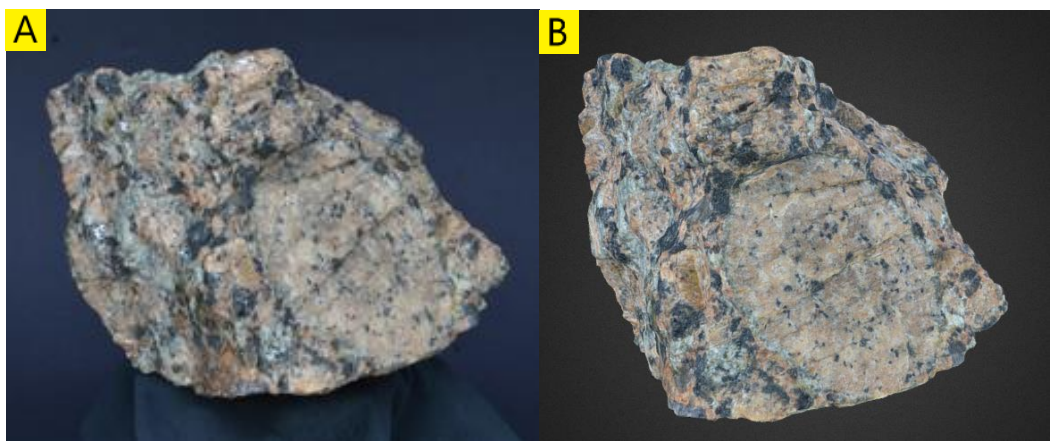


Figura 21 – A) Foto do Granito Rapakivi; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wN>).

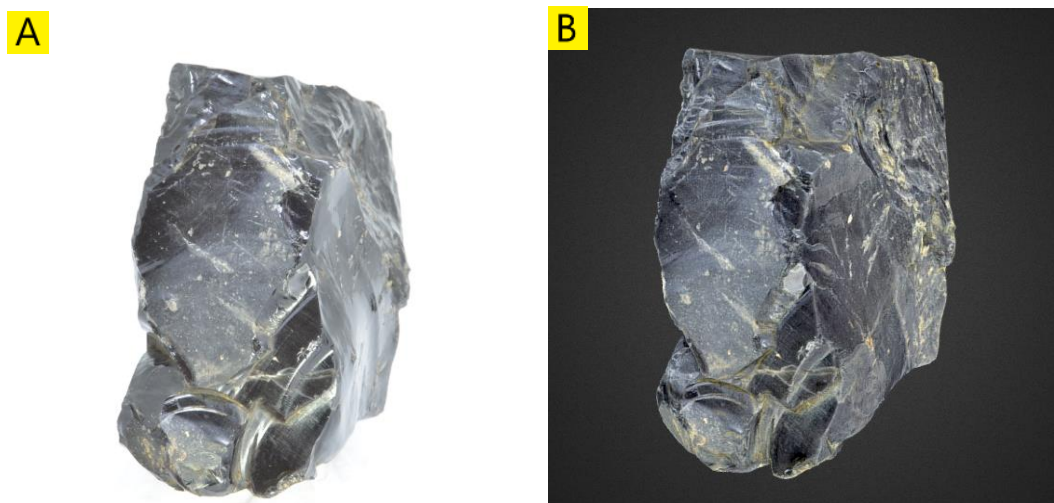


Figura 22 – A) Foto da Obsidiana; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wO>).

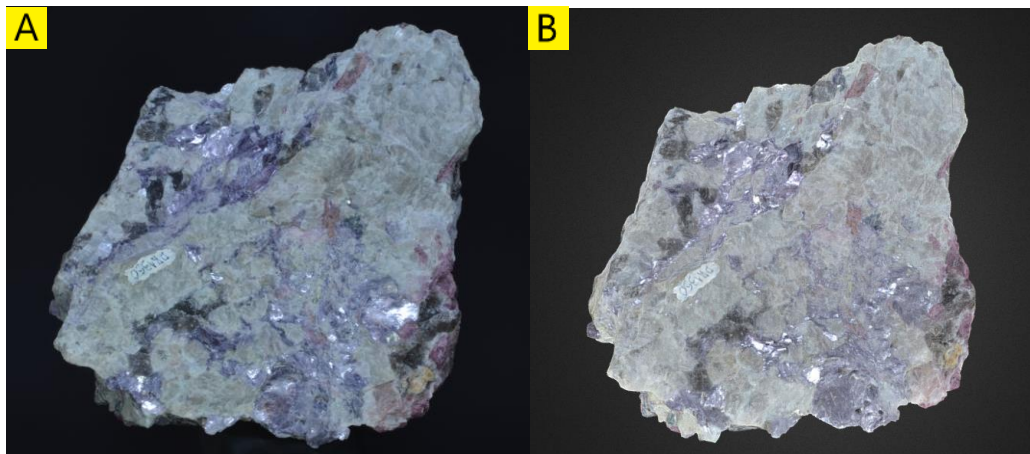


Figura 23 – A) Foto do Pegmatito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wQ>).



Figura 24 – A) Foto do Pegmatito de nefelina sienito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9wR>).

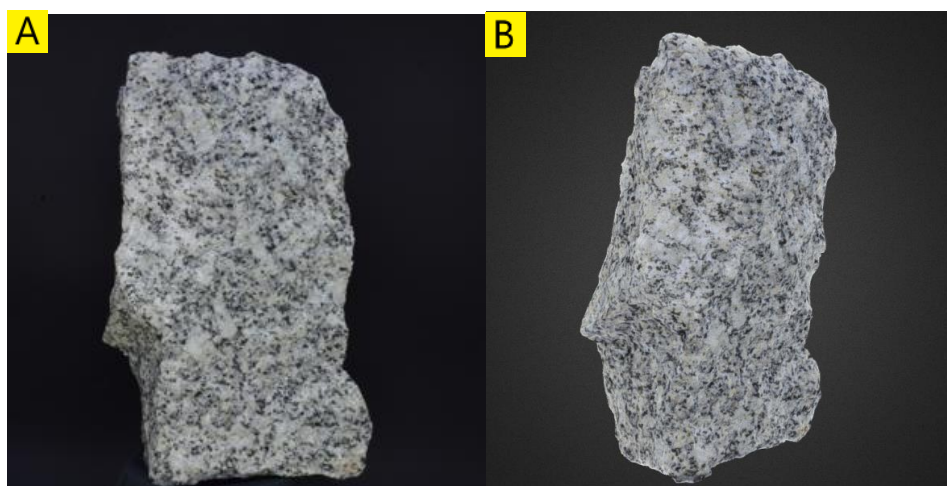


Figura 25 – A) Foto do Tonalito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozAQ9>).

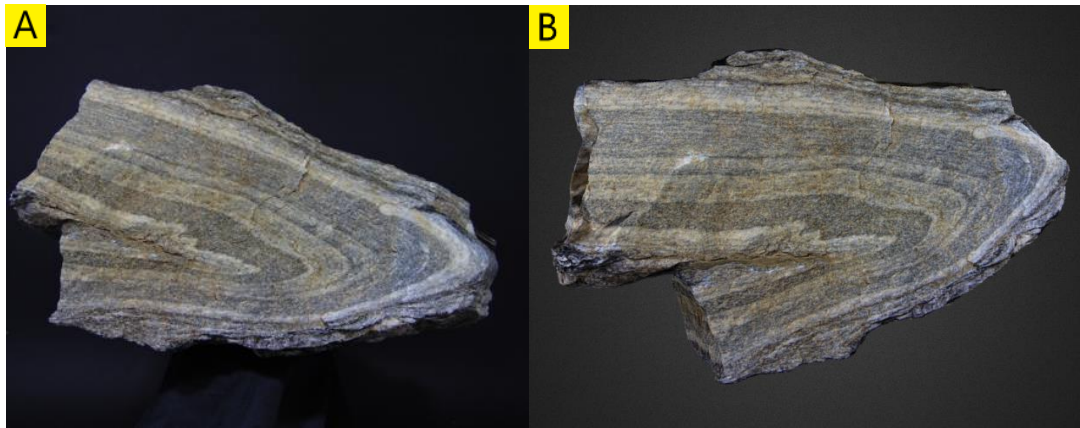


Figura 26 – A) Foto do Biotita gnaiss granodiorítico bandado e dobrado; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozZQg>).



Figura 27 – A) Foto do Filito crenulado; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozATt>).

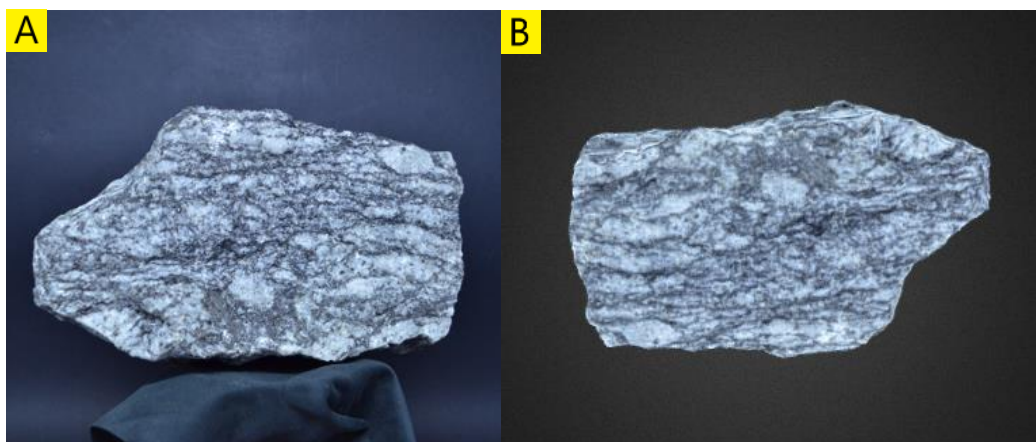


Figura 28 – A) Foto do Gnaiss tonalítico Sete Voltas; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozATM>).



Figura 29 – A) Foto do Granada-quartzo-biotita xisto; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozZQ7>).

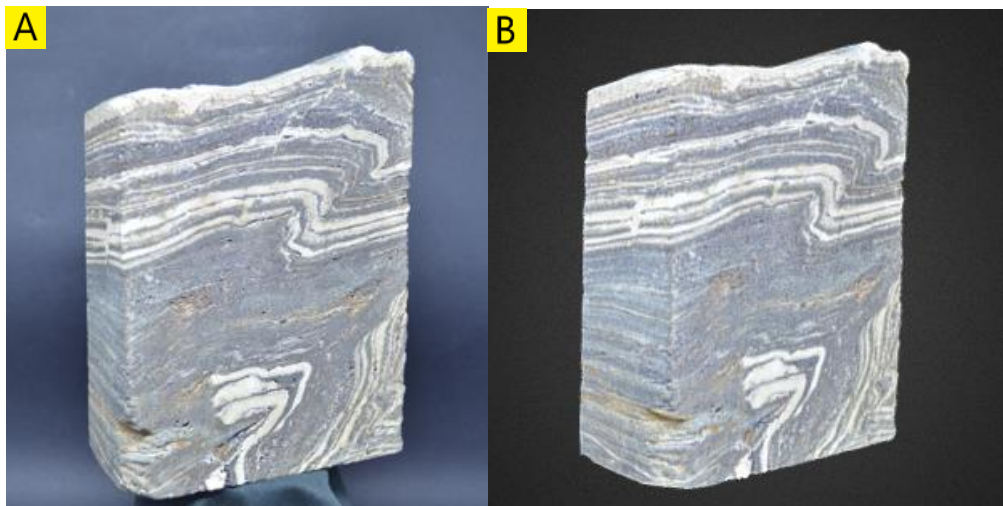


Figura 30 – A) Foto do Itabirito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozAUr>).

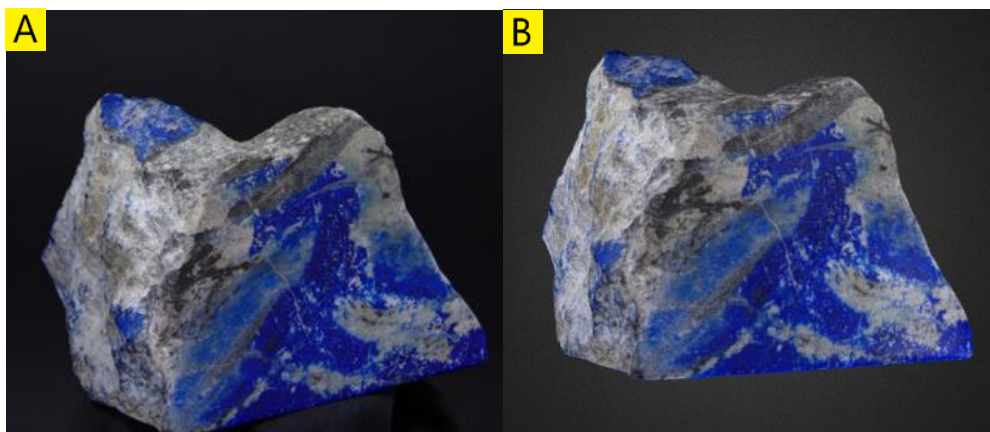


Figura 31 – A) Foto do Lápis-lazúli; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozAUE>).



Figura 32 – A) Foto do Mármore calcítico; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozARB>).

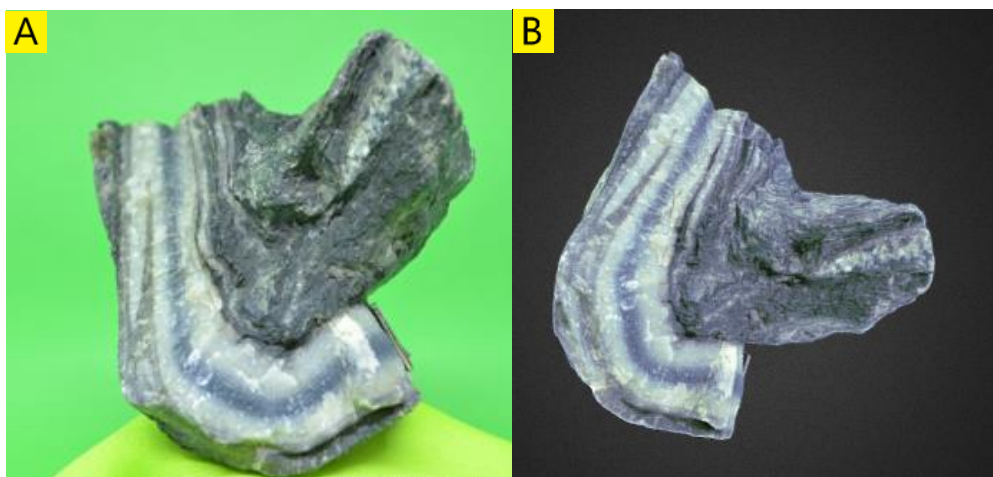


Figura 33 – A) Foto do Mármore e Metamarga dobrados; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9x7>).

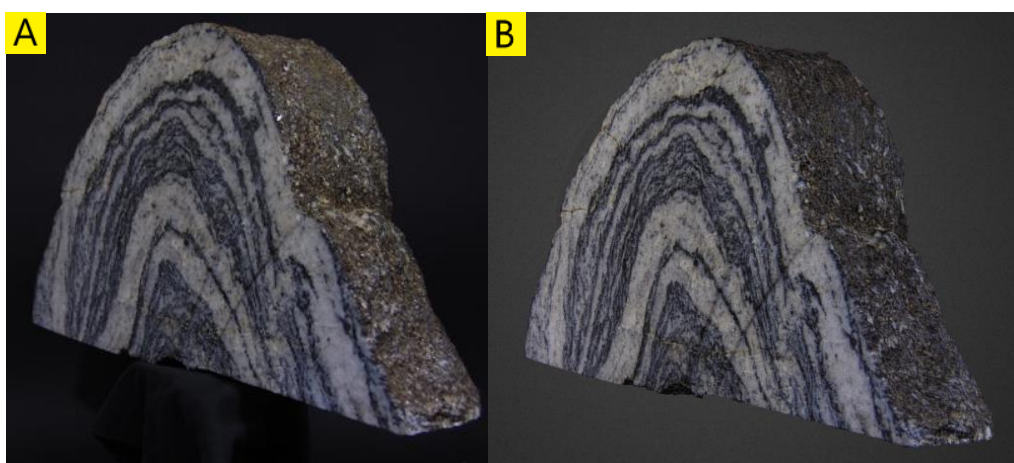


Figura 34 – A) Foto do Migmatito dobrado; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9xr>).

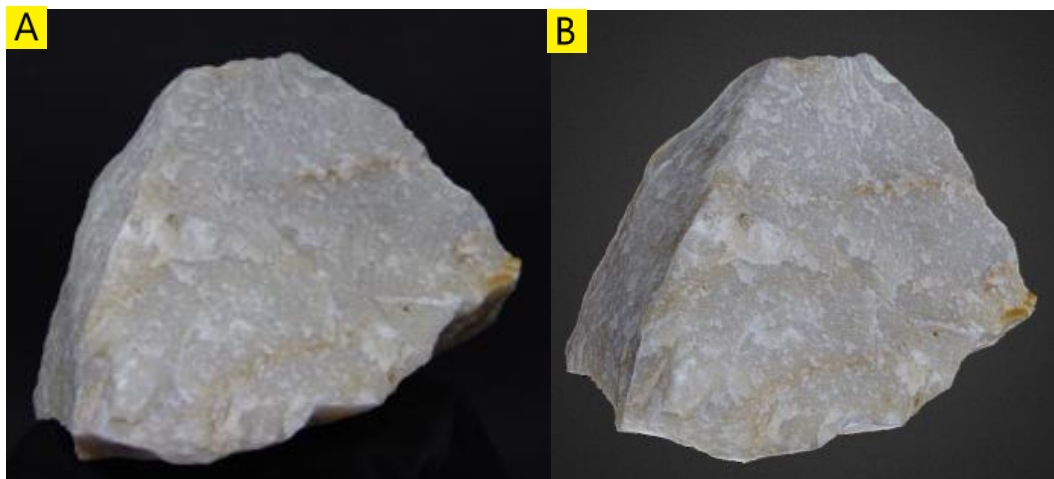


Figura 35 – A) Foto do Quartzito; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozTQJ>).



Figura 36 – A) Foto do Quartzo-muscovita-biotita xisto; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/ozAUn>).



Figura 37 – A) Foto do fóssil de peixe da Bacia do Araripe; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9xt>).



Figura 38 – A) Foto do crânio de Alossauro; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oAsqo>).

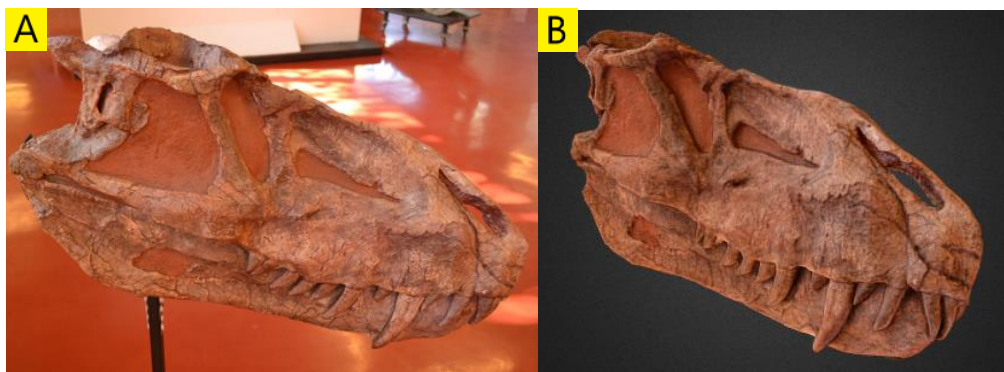


Figura 39 – A) Foto do crânio de Postosuchus; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oAtUP>).

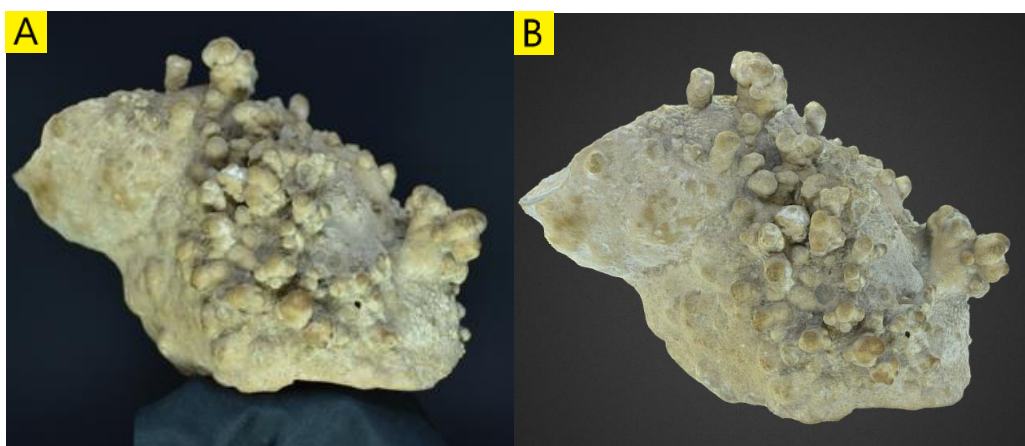


Figura 40 – A) Foto da Estalagmite de aragonita com coraloídes; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9xu>).

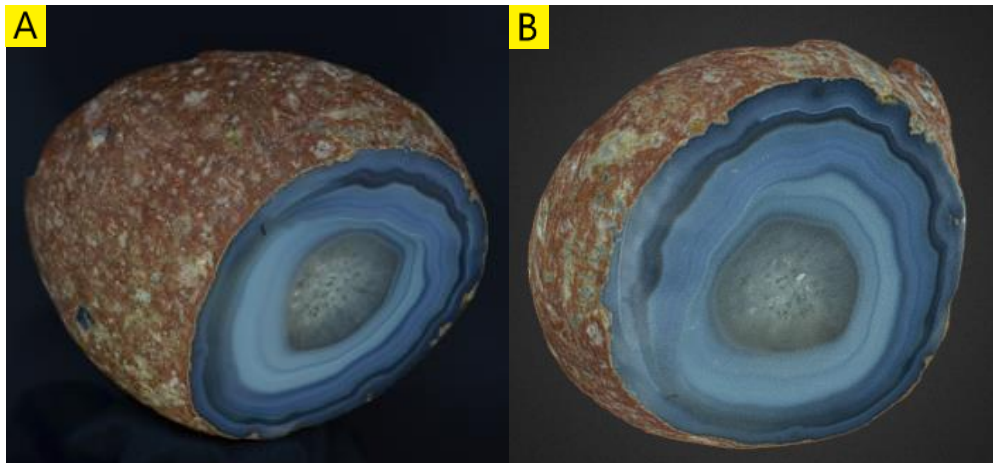


Figura 41 – A) Foto da Ágata azul; B) resultado da digitalização 3D, publicado na plataforma Sketchfab (<https://skfb.ly/oA9xv>).

5.2. Caminhamento virtual pelo IGc-USP

Foi elaborado um caminhamento virtual pelo IGc-USP, no modelo do Google Street View, a partir de capturas de fotos em 360°. Para a sua elaboração foi utilizada uma câmera fotográfica 360 (Insta360 One X2) e o aplicativo Panoskin (<https://www.panoskin.com>). O seu acesso pode ser feito através do próprio Google Maps, com a ferramenta do Street View sobre o IGc. A Figura 42 apresenta a rota contemplada pelo caminhamento virtual, sendo os círculos vermelhos rotulados referente a localização das fotos 360° e as linhas azuis as conexões entre cada foto. Seu objetivo é possibilitar uma experiência de visita para qualquer pessoa com acesso a internet, expandindo esse espaço para um ambiente além do físico, e possibilitando que pessoas que nunca visitaram o local de fazer uma primeira visita e poder adquirir alguma familiaridade. Desta forma, no caminhamento virtual foram contempladas somente as áreas mais comuns do IGc, e que totalizaram um total de 61 fotos capturadas.



Figura 42 – Rota do caminhamento virtual pelo Instituto de Geociências com prévias de algumas das fotos (acesso ao caminhamento virtual: <https://maps.app.goo.gl/9miqQ2Ls96wE8stn6>).

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstraram modelos virtualizados com altíssimo grau de detalhe em relação ao objeto original sendo perfeitamente adequados para a exibição em exposições virtuais.

É importante pontuar que, a partir das capturas das fotos utilizando-se de uma câmera profissional, um melhor entendimento das técnicas de fotogrametria por Structure from Motion–Multi-View Stereo (SfM-MVS) e das ferramentas do *software* utilizado, houve uma grande melhora nos resultados em relação às digitalizações experimentais realizadas nas fases iniciais do projeto. Assim, foi possível aprimorar continuamente os resultados obtidos ao longo de todo o trabalho.

Destaca-se também que, com a utilização do estúdio fotográfico, foi possível obter capturas sempre bastante uniformes e livres de outros objetos além das amostras, nas quais também influenciou drasticamente a qualidade das digitalizações, além de um grande aumento na eficiência do processo de captura de imagens, elevando assim, tanto

qualitativamente quanto quantitativamente, o potencial da geração de modelos digitais 3D de objetos do acervo do museu que respeitam os requisitos do estúdio.

Em relação ao caminhamento virtual pelo Instituto de Geociências produzido a partir de fotos 360°, devido a facilidade de acesso por qualquer pessoa, pois necessita apenas de acesso a *Internet* e está disponível diretamente no Google Maps, este pode servir como uma ferramenta de democratização do instituto, possibilitando pessoas ao redor de todo mundo realizar uma visitação. Pode incentivar visitas presenciais, pois, diversas atrações, tanto temporárias quanto permanentes, podem ser observadas no caminhamento. Pode também ser uma ferramenta importante para pessoas interessadas em ingressar nos cursos oferecidos pelo Instituto de conhecerem o local previamente e de se familiarizar com onde futuramente iriam frequentar.

6.1. Problemas enfrentados durante o processo de geração dos modelos 3D

6.1.1. Propriedades dos materiais

É importante destacar que, apesar de várias rochas apresentarem propriedades que produzem bastante reflexo, tanto naturalmente quanto a partir de produtos que são aplicados para a sua preservação, e que é considerado uma característica negativa para o processo de digitalização 3D a partir da fotogrametria, foi possível obter resultados muito satisfatórios e com pouca diferença na qualidade em relação às digitalizações de materiais opacos, e que, com isso, até o momento não se criou uma limitação para a digitalização de materiais com esse tipo de propriedade. A Figura 43 apresenta o grau de confiança do *software* Agisoft Metashape para a geração das malhas tridimensionais de duas amostras. Quanto menor o grau de confiança, mais dificuldade o Metashape apresenta para gerar o modelo 3D. Na figura, nota-se que, apesar da Obsidiana apresentar um brilho completamente vítreo e que apresenta muita reflexividade, a sua malha 3D apresenta um grau de confiança bastante similar ao do Basalto, que possui uma superfície opaca.

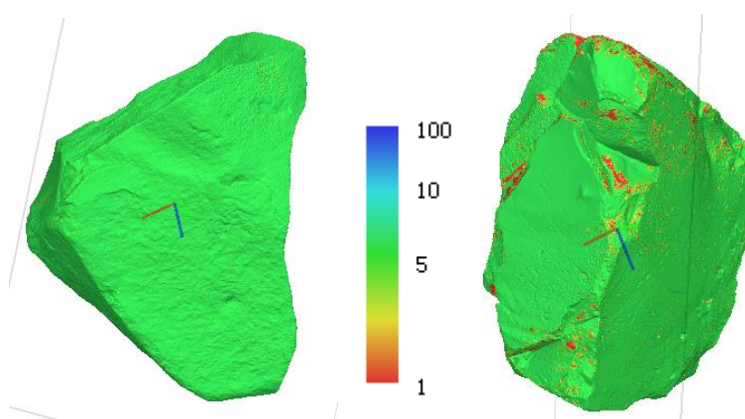


Figura 43. Grau de confiança do Metashape para geração das malhas 3D do Basalto (à esquerda) e da Obsidiana (à direita). Na legenda o valor 1 refere-se a um grau de confiança mais baixo (vermelho) e o valor 100 o mais alto (azul).

No entanto, em relação às características translúcidas/transparentes observaram-se alguns detalhes no processo de digitalização da Ágata que chamam a atenção e que podem alertar futuros problemas para a digitalização de objetos com esses tipos de propriedades. Na Figura 44, a área do modelo que é exibida deveria apresentar uma superfície completamente lisa, condizente com o objeto original, no entanto, a superfície gerada acabou apresentando diversos sulcos e irregularidades, consequência de problemas causados pela propriedade translúcida que pode ter sido mal interpretada pelo Metashape. Além disso, destaca-se o baixo grau de confiança que essa região da amostra apresentou durante a geração do modelo 3D.

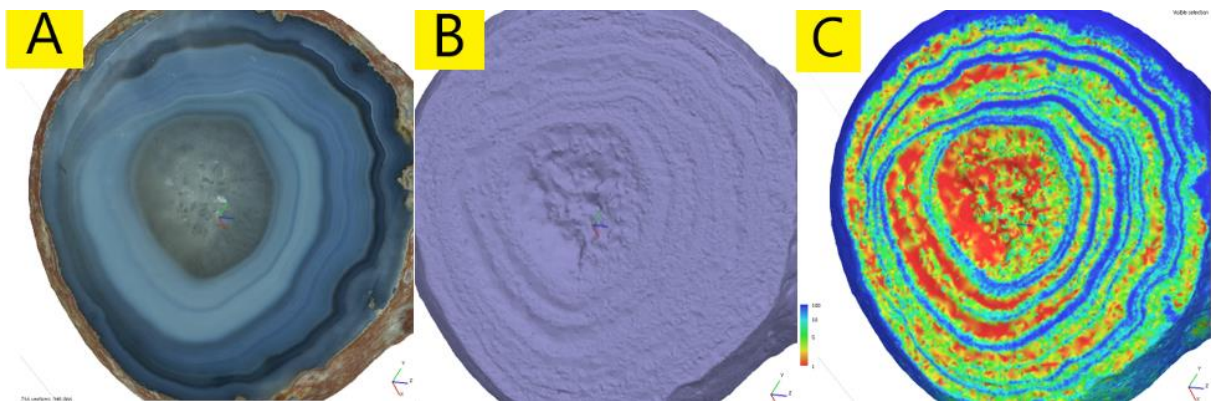


Figura 44. Representações do modelo digitalizado da Ágata. A) malha digital texturizada (colorida); B) malha digital sem textura, sendo exibido somente a superfície do modelo; C) grau de confiança da malha digital.

6.1.2. Ajuste de foco da câmera e definição das fotos

Outro problema presenciado durante as digitalizações é em relação ao foco das capturas fotográficas. Como as amostras são objetos tridimensionais e quase sempre possuem uma superfície irregular, no momento de cada captura é sempre necessário ajustar o foco da câmera. Além disso, é preciso ficar atento para qual região da amostra queremos concentrar o foco, para obter o máximo de definição. Sendo assim, se focamos em determinadas regiões da amostra, conseqüentemente outras regiões, mais distantes, ou mais próximas, podem acabar perdendo bastante definição (Figura 45), e isso pode impactar drasticamente na qualidade final da digitalização. A partir da Figura 46, é possível observar problemas na definição de parte do modelo 3D da amostra Granada-quartzo-biotita xisto. Isso ocorreu devido à falta de definição nas fotos dessa porção da amostra e que acabou sendo reproduzida na geração do modelo 3D.



Figura 45 – Foto da amostra Granada-quartzo-biotita xisto. Delimitada em verde a região de foco da captura que apresenta maior definição de detalhes e em vermelho região fora do foco da captura, apresentando baixa definição.



Figura 46 – Região do modelo 3D do Granada-quartzo-biotita xisto que apresenta baixo nível de detalhamento devido à baixa definição das fotos nessa porção da amostra.

Vale destacar que, para que o problema supracitado possa ser corrigido, é necessário apenas a captura de fotos adicionais na região onde foi observado falta de definição no modelo 3D, e a geração de um novo modelo com estas novas capturas inseridas no processo. No entanto, esse tipo de problema pode ser bastante recorrente e a captura de fotos adicionais nem sempre será um processo viável. Portanto, a melhor forma de ser evitado seria por meio da regulagem manual do foco da câmera com o aumento de sua profundidade de campo, para permitir encaixar o objeto inteiro na extensão da área de nitidez da foto, permitindo uma boa definição geral em toda a sua superfície, mesmo que isso acarrete em uma sutil limitação da definição máxima do objeto e do modelo 3D.

6.1.3. Plano de fundo colorido

Outro problema também presenciado durante as digitalizações é em relação à cor de fundo escolhida para o estúdio fotográfico. Dependendo da coloração geral que uma amostra apresenta, é importante que a escolha da cor de fundo do estúdio seja diferente para evitar que a amostra fique “camuflada” ou que a ferramenta de máscara de fundo acabe selecionando parte dela devido à semelhança de cor entre o fundo e a amostra (Figura 47).

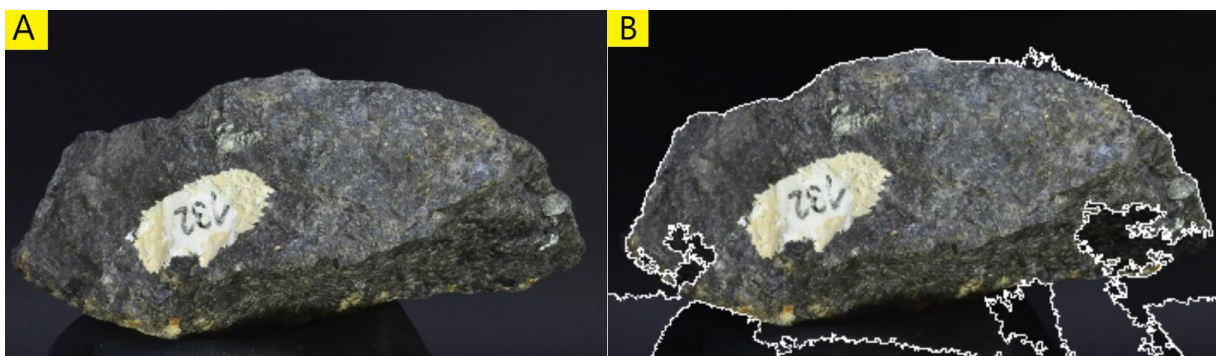


Figura 47. A) Foto do Gabro, que possui uma coloração mais escura, e um fundo de cor preto; B) aplicação da máscara de fundo, com a máscara selecionando parte da rocha devido a semelhança de cor entre o fundo e a amostra, mesmo sendo utilizado um valor de baixa de tolerância² nesta ferramenta.

Para evitar o problema acima foi necessário a não utilização da máscara de fundo e mesmo assim foi possível gerar um modelo 3D de alta qualidade. Outra solução seria a utilização de fundos coloridos, mas que deve ser usado com cuidado, pois, dependendo da

² Quanto menor o valor de tolerância da ferramenta de máscara de fundo, mais restrita é a sua seleção. Ou seja, mesmo com baixa tolerância, algumas porções da amostra ainda possuem cor muito semelhantes a do fundo e por isso são selecionadas pela máscara.

amostra, estas podem acabar refletindo a cor do fundo e influenciando na coloração do modelo digital gerado. No caso da Figura 48, foi gerado o modelo 3D do Mármore e Metamarga dobrados, no qual foi utilizado um fundo de coloração verde e que acabou resultando em modelo 3D com uma coloração esverdeada (Figura 49), não condizente com a sua coloração original.

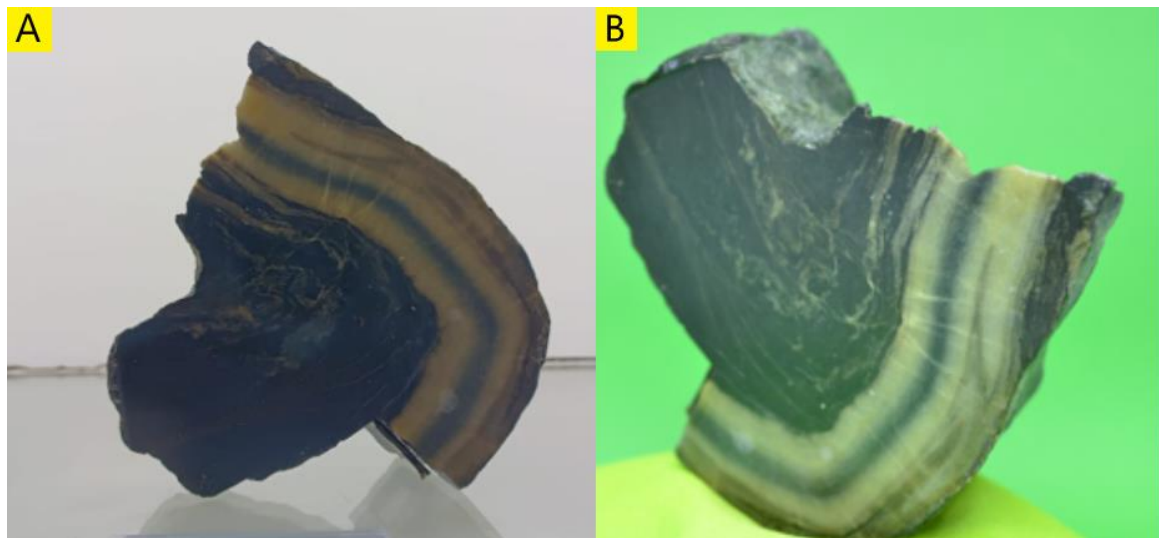


Figura 48 – A) Foto da amostra de Mármore e Metamarga dobrados na sua cor original; B) foto da amostra em fundo verde, já sendo observado a influência da reflexão da cor do fundo sobre a amostra.

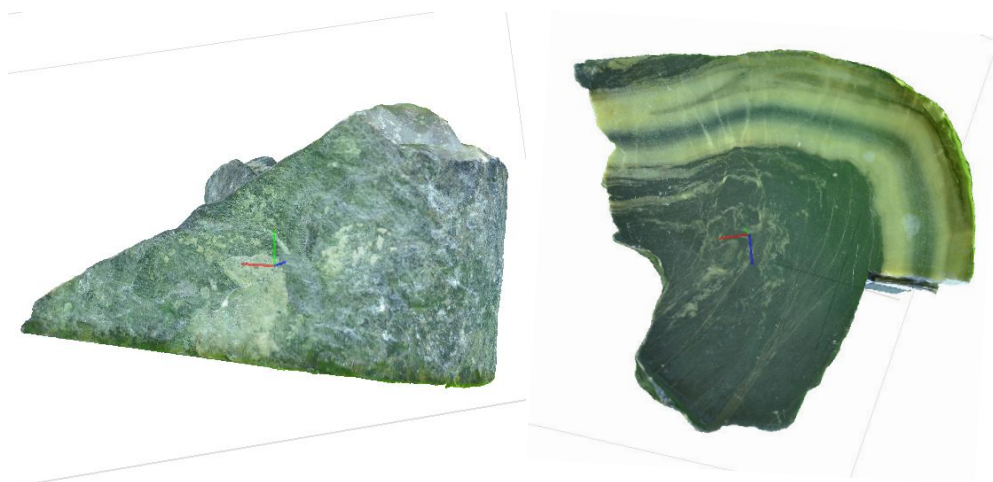


Figura 49 – Imagens do modelo 3D do Mármore e Metamarga dobrados. Destaca-se a coloração esverdeada apresentada pelo modelo.

Portanto, para evitar esse tipo de problema, o ideal é utilizar fundos de colorações mais neutras, principalmente os fundos de cores preto e branco, pois estes, mesmo que o objeto apresente-se bastante reflexivo, não trará drásticas alterações na coloração do modelo gerado.

6.2. Sugestões de criação de conteúdos a partir dos modelos 3D gerados

Com a disponibilidade dos modelos digitais tridimensionais, abre-se uma gama de possibilidades para a criação de conteúdos de divulgação e exposições a partir deles. No entanto, primordialmente, destaca-se a importância apenas pela disponibilidade deste tipo de material, que, além de possibilitar a valorização do acervo museológico, torna-o mais acessível e seguro. Dessa forma, sugere-se primeiramente uma contínua expansão do acervo virtual, com a produção e atualização dos modelos digitais. Outro fator importante é a facilitação do acesso a esse tipo de conteúdo. Não basta estarem somente disponíveis, é necessário um esforço para que a sua disponibilidade seja divulgada e para que as pessoas acessem o conteúdo de fato e tirem proveito dele. Portanto é sugerida também a criação de uma seção no *site* oficial do Museu de Geociências para a exibição do acervo/exposição virtual. A partir de um projeto paralelo já em andamento, referente a atualização do *site* oficial do museu, foi possível obter um *layout* deste novo *site*, e assim criar um rascunho de um acervo/exposição virtual que seria exibido no portal (Figura 50). Recomenda-se uma exposição simples e categorizada, funcionando como uma base de dados para consultas e visualizações rápidas, pois o acervo virtual deve ser a base, ou o ponto de partida, para a criação de outros conteúdos mais interativos e inovadores.

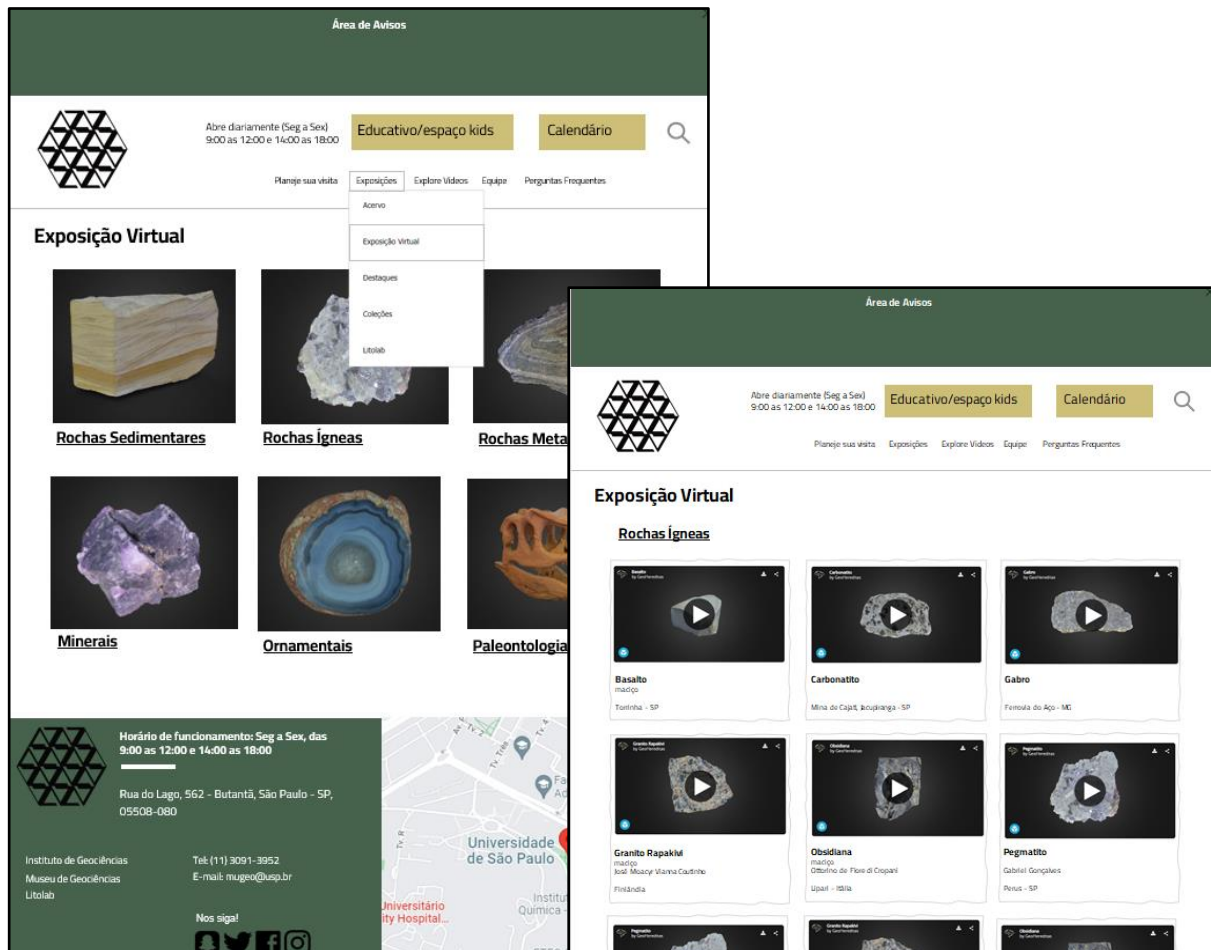


Figura 50 – Rascunhos do *site* atualizado do Museu de Geociências, acessando a seção de Exposição Virtual no portal.

Uma forma de contribuição e integração dos modelos 3D gerados neste trabalho já foi discutida e estruturada para complementar um projeto paralelo de criação de um *tour* virtual interativo realizado no Museu de Geociências. A elaboração deste projeto traz inspirações dos *tours* virtuais disponíveis para o Museu do Louvre (Figura 51) ou do Museu Nacional de História Natural de Washington (Figura 52) e que possuem dinâmica semelhante aos passeios virtuais realizados pelo GeoHereditas (Figura 53). Um rascunho do *tour* virtual no Museu de Geociências foi elaborado para representar como será feita essa contribuição, sendo a partir da exibição interativa dos modelos 3D durante o passeio (Figura 54).

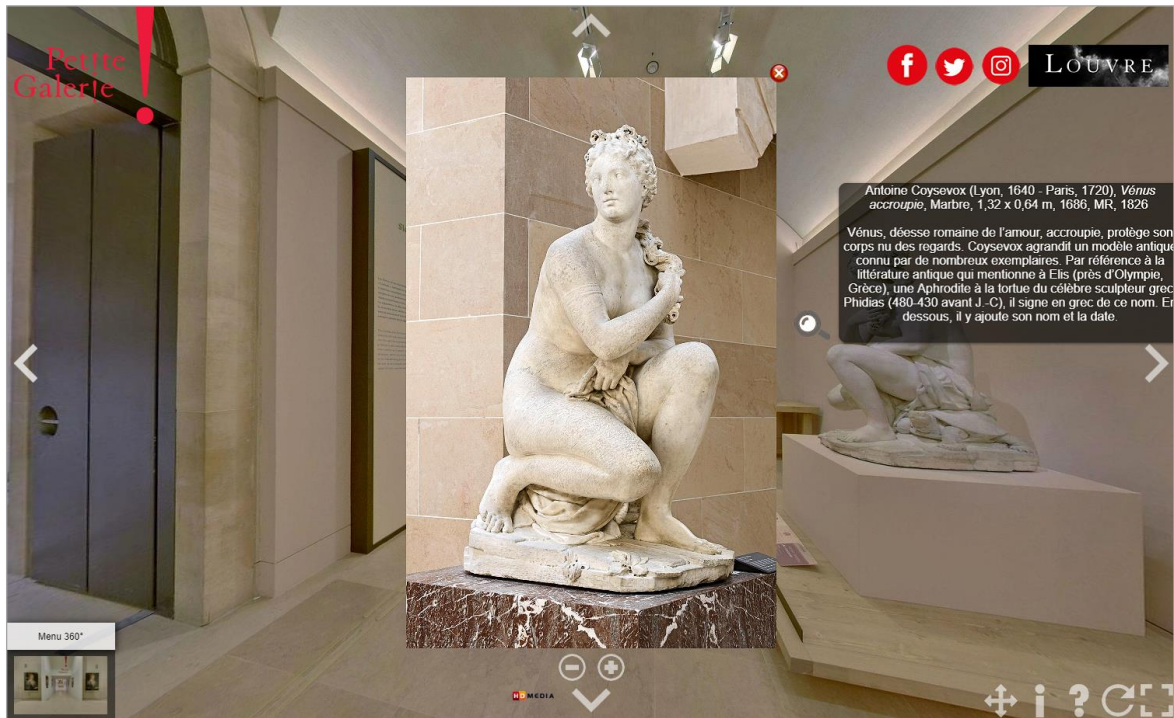


Figura 51 – Tour virtual interativo do Museu do Louvre (*The Advent Of The Artist*), disponível em seu site oficial (<https://www.louvre.fr/en/online-tours>).

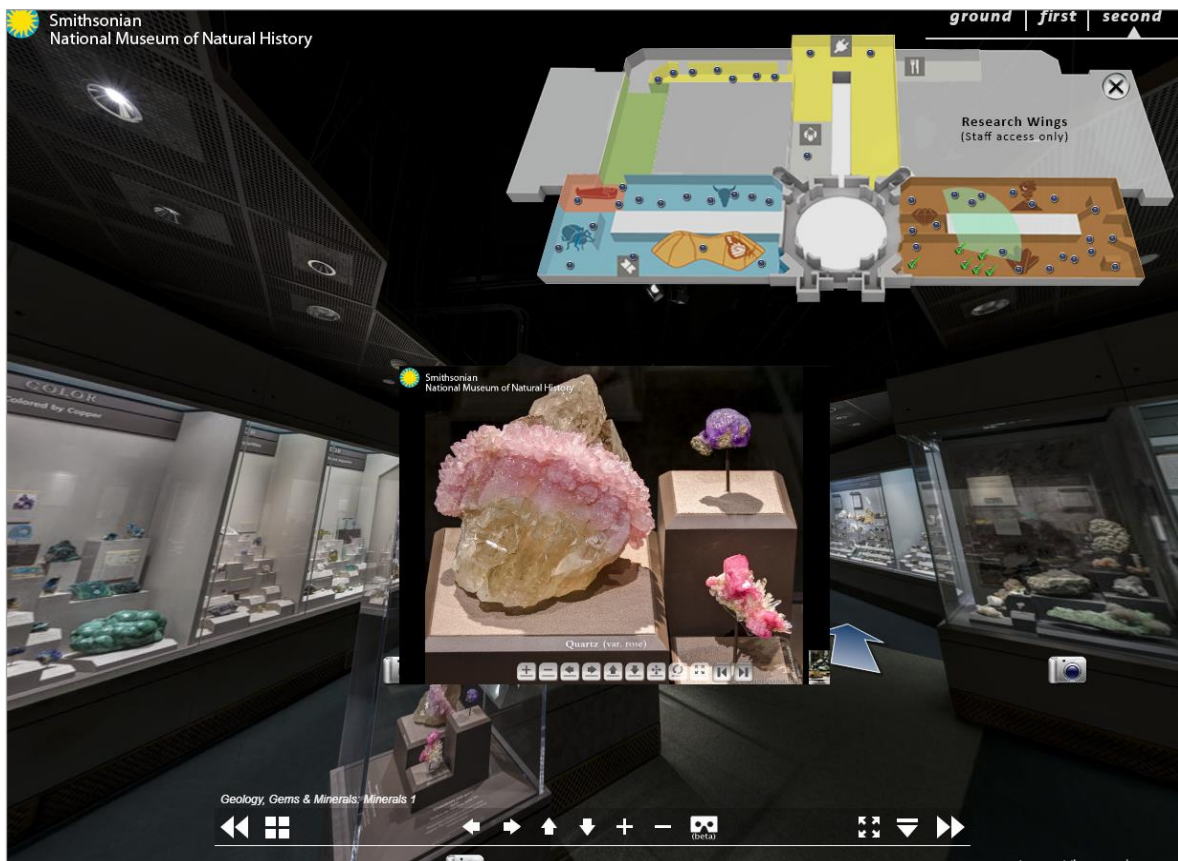


Figura 52 – Tour virtual interativo do Museu Nacional de História Natural (*Permanent Exhibits*), disponível em seu site oficial (<https://naturalhistory.si.edu/visit/virtual-tour>).

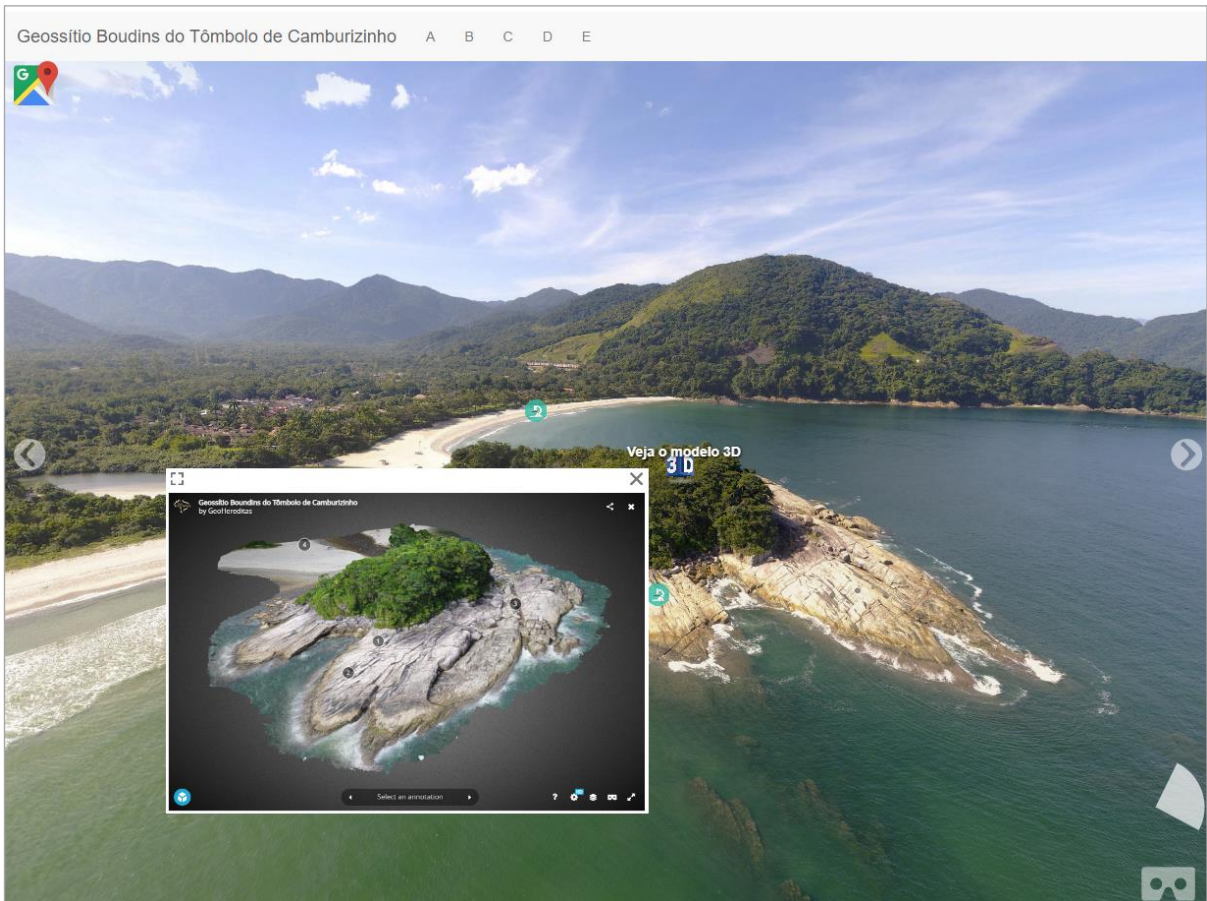


Figura 53 – Passeio virtual interativo no geossítio Boudins do Tómbolo de Camburizinho, disponível no *site* do GeoHereditas (<https://geohereditas.igc.usp.br/passeios-virtuais/>). Vale destacar que é possível interagir com modelos 3D neste passeio, assim como em outros passeios disponíveis no *site* do GeoHereditas.

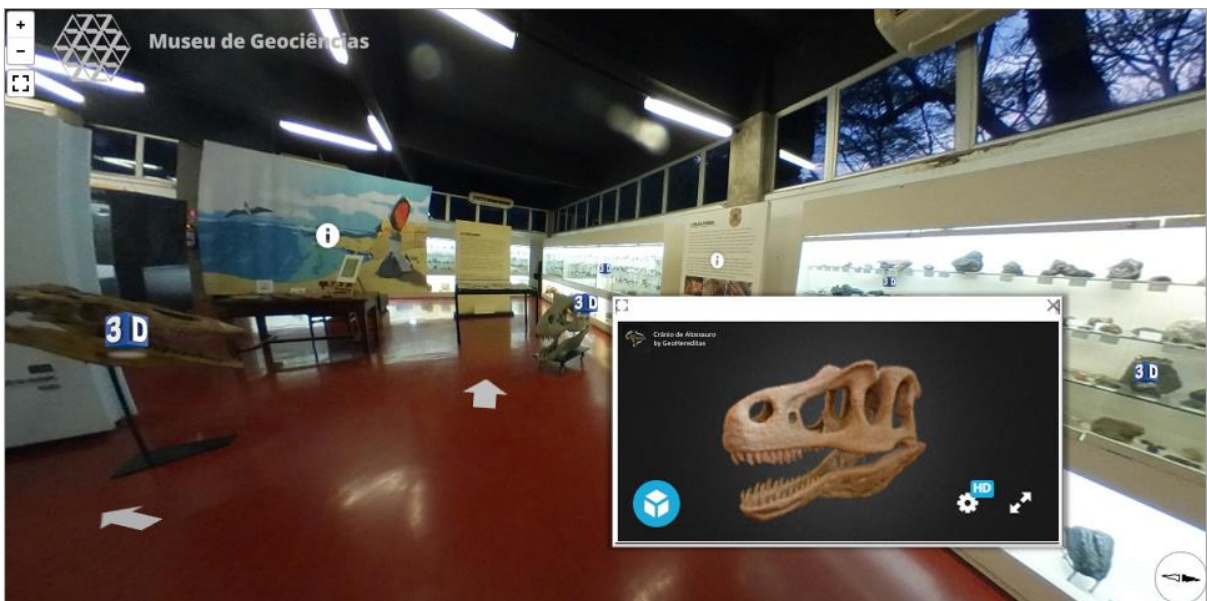


Figura 54 – Rascunho do *tour* virtual interativo pelo Museu de Geociências com integração e exibição de modelos 3D.

A melhoria contínua dos materiais disponíveis no ensino a distância deve ser uma tarefa para todas as instituições, na qual a sua urgência foi evidenciada e agravada durante a pandemia de COVID-19 que se iniciou no ano de 2020. O uso de material digital no âmbito das Geociências já é notável e oferece diversos benefícios para o aprendizado da disciplina. Um grande exemplo é o projeto Virtual Microscope (<https://www.virtualmicroscope.org>) que tem como proposta que seus usuários possam examinar e explorar minerais e características microscópicas de rochas no âmbito virtual. Os modelos digitais tridimensionais também podem oferecer uma maneira inovadora para o aprendizado de Geologia, tal como reconhecer diferentes minerais e rochas, propriedades, texturas, etc. (Apopei et al., 2021). Exemplos desse tipo de utilização são observados nas Figuras 55 e 56. Com esses exemplos é possível se inspirar para a criação de conteúdos educacionais a partir dos modelos 3D aqui gerados, como observado na Figura 57.

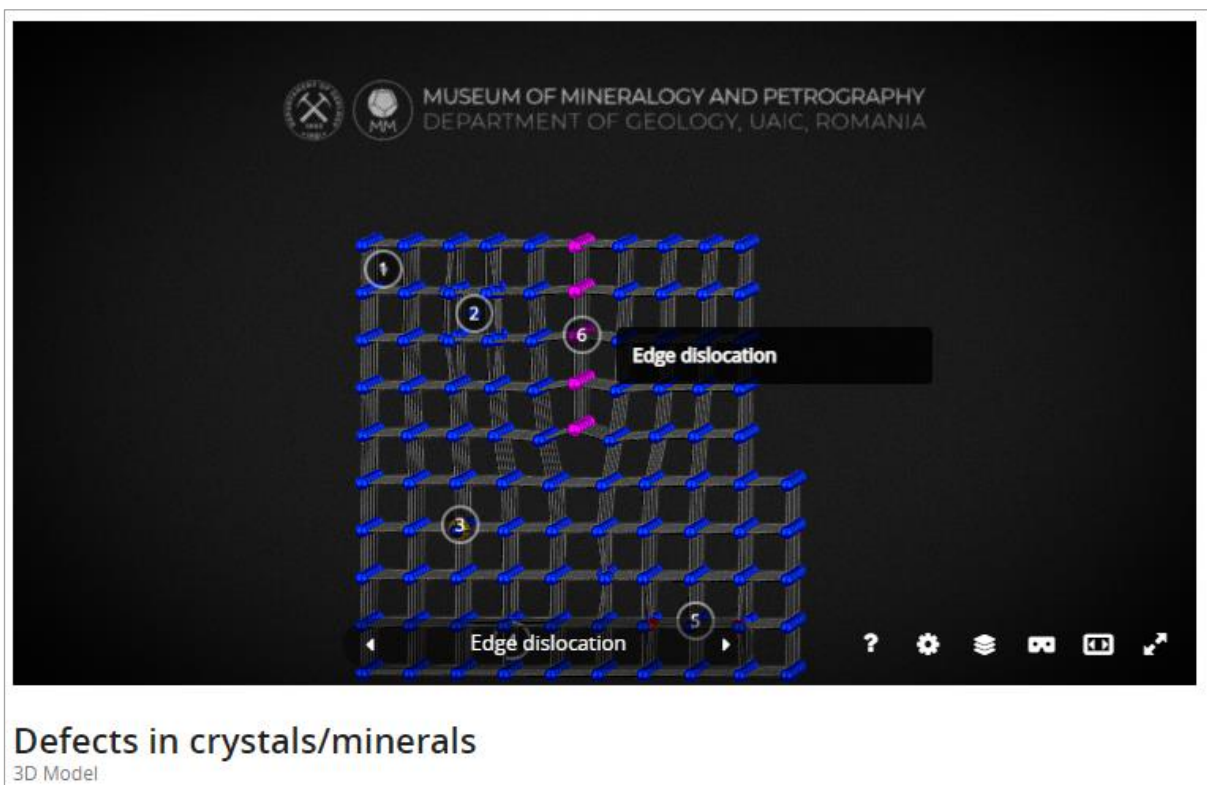


Figura 55 – Utilização de modelo 3D para uso didático pelo Museu de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Iași, na Romênia (<https://skfb.ly/o8UMr>).

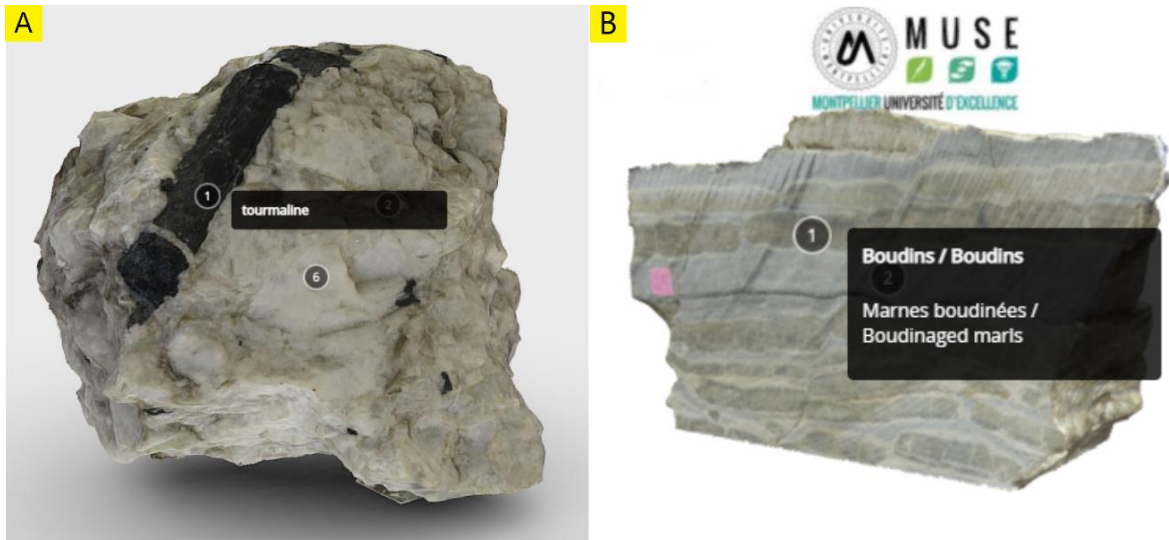


Figura 56 – A) Modelo 3D de um pegmatito com identificação de minerais (<https://skfb.ly/opPpN>, Sara Carena);
 B) modelo 3D de uma amostra de boudinage, com identificação de estruturas (<https://skfb.ly/ooqQZ>,
 Universidade de Montpellier, França).

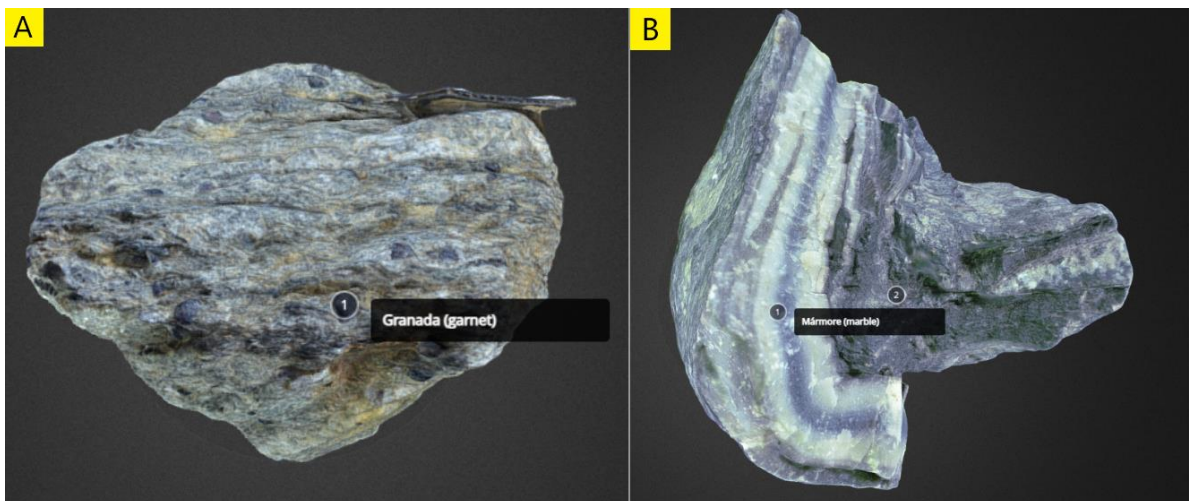


Figura 57 – A) Modelo 3D do Granada-quartzo-biotita xisto com identificação do mineral granada;
 B) modelo 3D do Mármore e Metamarga dobrados com identificação de cada rocha.

Como os modelos digitais tridimensionais são baseados em realidade virtual (Figura 58), também é possível explorar este universo que abre muitas possibilidades para a criação de conteúdo criativos e ainda inimagináveis, principalmente no campo da realidade aumentada. Alguns pesquisadores já estão explorando ativamente possibilidades para o uso de plataformas de realidade virtual e aumentada, para uso no aprendizado e pesquisa de ciências da Terra (e.g. Mathiesen et al., 2012; Woods et al., 2016; <https://martinpratt.wordpress.com/projects/>). Exemplos como os apresentados nas Figuras 59 e 60 podem trazer *insights* sobre aplicações dos modelos 3D a partir da utilização das tecnologias de realidades alternativas.

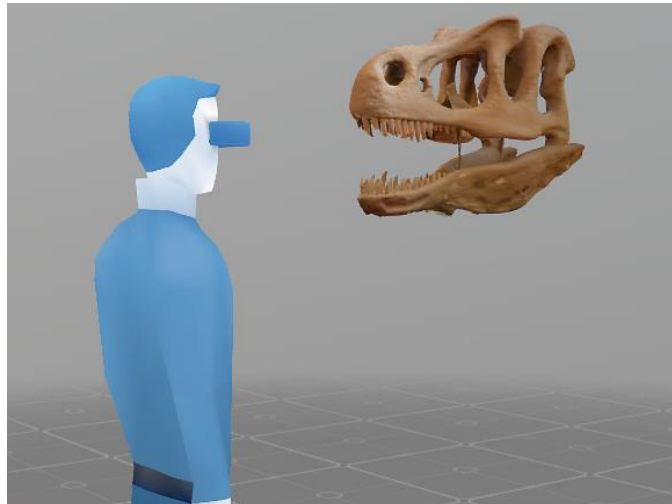


Figura 58. Visualização esquemática do modelo 3D do crânio de Alossauro sendo observado por um telespectador a partir de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada.



Figura 59. Visualização de afloramento a partir de Realidade Aumentada. Fonte: Washington University in St. Louis, acessado em 2022.



Figura 60. Visualização de mineral (galena) a partir de Realidade Aumentada. Fonte: Washington University in St. Louis, acessado em 2022.

7. CONCLUSÕES

Apesar de uso da técnica de fotogrametria por Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS) nas Geociências estar ligada principalmente em estudos de levantamento topográfico, a flexibilidade e ampla aplicabilidade da técnica torna possível, a partir do uso da criatividade e inovação, a descoberta de diversas aplicações em outros setores das Geociências, tal como a área da conservação da geodiversidade, do patrimônio geológico e da educação.

As pesquisas bibliográficas relacionadas à digitalização 3D de acervos museológicos, estudo de técnicas de fotometria (fotografia digital), estudo de técnica de fotogrametria por Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS), estudo do *software* Agisoft Metashape, e a realização de diversos testes e experimentos, trouxe um aprimoramento contínuo dos resultados obtidos ao longo do trabalho e tornou possível a digitalização/virtualização 3D parcial do acervo do Museu de Geociências.

Ao longo dos processos de digitalização das amostras, foram encontrados muitos problemas, apresentados no tópico 6.1. No entanto, os modelos mais prejudicados ainda continuaram a apresentar um nível satisfatório para a proposta sugerida, que é a de exposição virtual, devido à alta qualidade geral que os modelos 3D produzidos apresentaram.

A partir da disponibilidade das digitalizações realizadas neste trabalho, o acervo do Museu de Geociências passa a ser mais acessível ao público, possibilitando diferentes atividades educativas, maior disponibilidade e alcance para as pesquisas e maior conhecimento do acervo do museu. Também espera-se incentivar e ampliar as formas de divulgação das Geociências como um todo, não se limitando apenas ao Instituto de Geociências e ao Museu de Geociências da USP.

A elaboração do caminhamento virtual pelo Instituto de Geociências, disponível no Google Maps, coloca o Instituto como o pioneiro a realizar esse tipo de projeto, pelo menos de forma sistemática e estruturada, em relação aos outros institutos da Universidade de São Paulo da unidade Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira. Possuir esse conteúdo disponível em um portal tão acessado como o Google Maps pode acabar sendo uma ferramenta bastante conveniente e tornar o IGc-USP um local mais familiar e acessível.

8. REFERÊNCIAS

- Alencastro, Y.O., 2018, Faça-você-mesmo a digitalização 3D de acervos museológicos. Dissertação de Mestrado: Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 199 p.
- Apopei, A.I.; Buzgar, N.; Buzatu, A.; Maftei, A.E.; Apostoae, L., 2021, Digital 3D Models of Minerals and Rocks in a Nutshell: Enhancing Scientific, Learning, and Cultural Heritage Environments in Geosciences by Using Cross-polarized Light Photogrammetry, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, v. 16. p. 237 – 249. 10.26471/cjees/2021/016/170.
- Barton, R., Cooper, D., Guyomard, A., Justice, S., Samson, P., Pickett, E., Posthumus, C.L., Jan Lekkerkerker, D., Cayla, N., 2014, The HINT Project--Exploring the Use of New Technologies in Heritage Interpretation, *Journal of Earth Science and Engineering* 4, p. 156-174.
- Carrivick J.L., Smith M.W., Quincey D.J., 2016, Structure from motion in the geosciences. Wiley, Chichester. 10.1002/9781118895818.
- Cayla, N., 2014, An overview of new technologies applied to the management of geoheritage, *Geoheritage*, 6 (2), p. 91-102.
- Charquero Ballester A.M., 2016, Práctica y usos de la fotogrametria digital em Arqueologia, *Revista del Máster Universitario em Arqueología*, p. 139-157.
- Gomide, M.V., 2022, Fotogrametria na prática: digitalizando cerâmicas arqueológicas em 3D, in Martire, A.S.; Porto, V.C., org., (Des)Construindo arqueologias digitais: São Paulo, Universidade de São Paulo, Museu de Arqueologia e Etnologia, p. 39-54, e-book.
- Henriques, R.M.N., 2004, Memória, museologia e virtualidade: um estudo sobre o Museu da Pessoa, Tese de Mestrado: Lisboa, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Departamento de Arquitectura, Urbanismo e Geografia, 182 p.
- Mathiesen D., Myers T., Atkinson I., Trevathan J., 2012, Geological Visualisation with Augmented Reality, 15th International Conference on Network-Based Information Systems, p. 172 – 179, 10.1109/NBiS.2012.199.
- Mazoca, C.E.M., Garcia, M.G.M., Del Lama, E.A., 2017, Produção de recursos digitais para divulgação de Geociências: experiências do GeoHereditas, IGc/USP, In *Anais* (p. 50-54), Ponta Grossa, Recuperado de <https://www.4sbpg.com/anais>.
- Mazoca, C.E.M., Mucivuna, V.C., Garcia, M.G.M., Henriques, R., Del Lama, E.A., Bourotte, C.L.M., 2018. Panoramic 360° images and 3D models as tools to promote cultural and geological heritage: the example of Bertioiga, central coast of São Paulo State, Brazil, In *Programme and Abstract book* (p. 128-129), Warsaw, Poland: Faculty of Geology, University of Warsaw.

- Oliveira, J.C., 2007, O museu digital: uma metáfora do concreto ao digital: *Comunicação e Sociedade*, v. 12, p. 147 – 161.
- Westoby M.J. ,Brasington J. , Glasser N.F. , Hambrey M.J. , Reynolds J.M., 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology*, v. 179, p. 300 – 314.
- Woods T.L., Reed S., Hsi S., Woods J.A., Woods M.R., 2016, Pilot Study Using the Augmented Reality Sandbox to Teach Topographic Maps and Surficial Processes in Introductory Geology Labs, *Journal of Geoscience Education*, 64:3, p. 199-214, 10.5408/15-135.1