

## II Simpósio Internacional

de Ourivesaria,  
Joalheria e Design

### **Digitalização 3D aplicada ao setor de gemas e joalheiro pedrista** *3D scanning applied to gems and the gem based jewelry sector*

PATZLAFF, Cassiane; Mestre; ESDI - UERJ  
*cassianepatzlaff@gmail.com*

Palavras chave: digitalização 3D; design de joias; joalherias pedristas.

O Brasil exporta em torno de 10.261 toneladas de pedras de cor em estado bruto e apenas 1 tonelada é “beneficiada”. No entanto, essa 1 tonelada representa 26% do total do faturamento nacional. É possível alterar esse cenário, aumentando a possibilidade de uso de pedras de cor com formatos não tradicionais, facilitando a transposição de sua forma para o ambiente virtual. A digitalização 3D no setor joalheiro e pedrista brasileiro tem grande potencial e seu alcance não se limita à prototipagem. Este artigo apresenta algumas dessas possibilidades para o setor de confecção de joias, baseadas na pesquisa realizada para a Dissertação da autora, intitulada “Avaliação do uso de digitalizador 3D por luz estruturada para o setor joalheiro-pedrista” (PATZLAFF, 2018). Na pesquisa foi avaliado o melhor recobrimento de pequenas gemas para a digitalização 3D por luz estruturada, já que peças translúcidas são difíceis de serem capturadas por digitalizadores ópticos. Além disso, diversas áreas já desenvolvem soluções integradas de prototipação e análise utilizando digitalização 3D, assim como já existem no mercado equipamentos específicos para a digitalização de joias. Assim, também serão listados alguns desses equipamentos e estudos que abordam possibilidades de integração, em outras áreas, que exemplificam a amplitude dessa tecnologia.

*Keywords: 3D scanning; jewelry design; gem based jewelry.*

*Brazil exports around 10,261 tonnes of colored stones in the raw state and only 1 tonne is “benefited”. However, this 1 ton represents 26% of the total national turnover. It is possible to change this scenario, increasing the possibility of using colored stones with non-traditional shapes, facilitating the transposition of its shape to the virtual environment. 3D digitization in the Brazilian jewelry and stonemaking sector has great potential and its reach is not limited to prototyping. This article presents some possibilities for the jewelry making sector, based on the research carried out for a dissertation by the author, entitled “Evaluation of the use of a 3D digitizer by structured light for the jeweler-pedestrian sector” (PATZLAFF, 2018). In the research, the best covering of small gems for 3D scanning by structured light was evaluated, since the translucent pieces are difficult to be captured by optical scanners. In addition, several areas are already developing integrated prototyping and analysis solutions using 3D scanning, as well as specific equipment for digitizing jewelry no longer exists. Thus, some equipment and studies that address integration possibilities in other areas that exemplify the breadth of this technology.*

### **1 Introdução – Contexto**

O Brasil não é reconhecido internacionalmente por investimentos em tecnologia de ponta na indústria, com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017) indicando a latente necessidade de adentrarmos à Indústria 4.0. Isso levaria ao aumento do nível de automação e, simultaneamente, possibilitaria novas formas de organização dos sistemas produtivos. Ademais, como identificado por Batista (2014), as tecnologias de captura 3D ainda vêm sendo aperfeiçoadas para atender a fins específicos inerentes a diferentes setores produtivos.

O país é o maior produtor de ametista, turmalina e esmeralda do mundo. Em 2015, foram exportados US\$ 166.481 milhões em gemas de cor e US\$ 2.701 milhões em diamantes.

Comparando os dados das exportações de gemas brutas, versus os das gemas beneficiadas dos últimos anos, nota-se que as gemas em estado bruto correspondem à maior fatia. Não foram consideradas aqui o ouro, seja em barras, fios, chapas e bulhões, que conjuntamente somam 70 toneladas (IBGM, 2015). Enquanto algumas pedras preciosas chegam a aumentar dez vezes de valor quando processadas lá fora, o país permanece como grande exportador de pedras brutas (BECKER, 2012). O Brasil perde receitas cambiais e impostos, com a indústria mantendo-se defasada em termos tecnológicos. O meio para que se consiga competir internacionalmente é incorporando altas tecnologias à produção (BATISTA, 2014).

O mercado de joias possui potencial a ser explorado e há possibilidades de geração de riqueza e de avanço tecnológico. A capacidade de estudo e reprodução digital da forma aumenta o aproveitamento do material gemológico e consequentemente, aumenta também a gama de possibilidades de designs para os fabricantes de joias, e de produtos em pedras beneficiadas. Esta é, portanto, uma necessidade de atualização de procedimentos que se apresenta imperativa.

## 2. Digitalização 3D e engenharia reversa

Digitalizar tridimensionalmente um objeto consiste em transpor sua topologia para o ambiente virtual, por meio de pontos definidos como coordenadas, que agrupadas compõem as nuvens de pontos (*point clouds*). A ligação entre os pontos permite a criação de malhas poligonais ou triangulares (*polygonal* ou *triangular meshes*). Essas malhas representam as superfícies de contorno do objeto, sendo possível manipulá-las através de programas CAD específicos.

O primeiro digitalizador tridimensional de superfícies, de acordo com Breuckmann (2014), data do ano de 1986 e foi desenvolvido para aplicação industrial, utilizado para inspeção de superfícies e comparação de medidas. A partir da evolução das tecnologias de processamento de imagens é que ocorreram avanços nesses equipamentos, possibilitando assim sua aplicação também nas áreas médica e odontológica, como ainda no estudo das artes e do patrimônio cultural.

A integração entre sistemas complementares já pode ser vista na odontologia (MACIEL, 2015). Como constatado *in loco* pela autora em um consultório odontológico do Rio de Janeiro, em 2018, com apenas uma consulta o paciente tem a área do dente digitalizada pelo cirurgião-dentista (em torno de 5 minutos), com a sua reconstrução por sistema semi automatizado (em 2 minutos) e na sequência o bloco de cerâmica fresado no formato desejado (em 11 minutos). Em seguida, o modelo em cerâmica foi aquecido em forno circular específico para curá-la, sendo essa a etapa mais demorada. Em menos de 2 horas o modelo estava fixo na arcada do paciente.

Maciel (2015) aponta que em países desenvolvidos o uso desses sistemas é compensado pelo alto custo da mão de obra dos profissionais protéticos. Além disso, a precisão dos ajustes e a maior durabilidade das peças apresentaram-se mais vantajosas frente às técnicas convencionais. Ainda, a qualidade da captura permite que a cor dos dentes de cada paciente seja digitalizada com precisão e utilizada como referência para futuras reconstruções odontológicas (existem várias tonalidades de dentes, o ideal é combinar as tonalidades quando se faz alguma adição odontológica). Aos poucos, todos esses sistemas foram sendo evoluídos e se tornando mais compatíveis entre si. A integração de equipamentos de diversas marcas, voltados para a odontologia, pode ser percebida na imagem apresentada pela 3Shape<sup>1</sup> em seu site institucional. O conjunto de equipamentos utilizados é chamado de “ecossistema de CAD/CAM”, pois permite a integração de equipamentos, bibliotecas e entre equipamentos de marcas diferentes. O desenvolvimento rápido e contínuo desses sistemas “resulta na diminuição dos custos laboratoriais e, sobretudo, na inclusão da tecnologia dentro da área odontológica” (FEUERSTEIN, 2007 *apud* MACIEL, 2015).

Na paleontologia encontramos exemplos do desenvolvimento de tecnologias de digitalização 3D, como o criado a partir da pesquisa de Stamati e Fudos (2004). O sistema de modelagem automatiza o processo de reconhecimento e reprodução virtual de padrões únicos

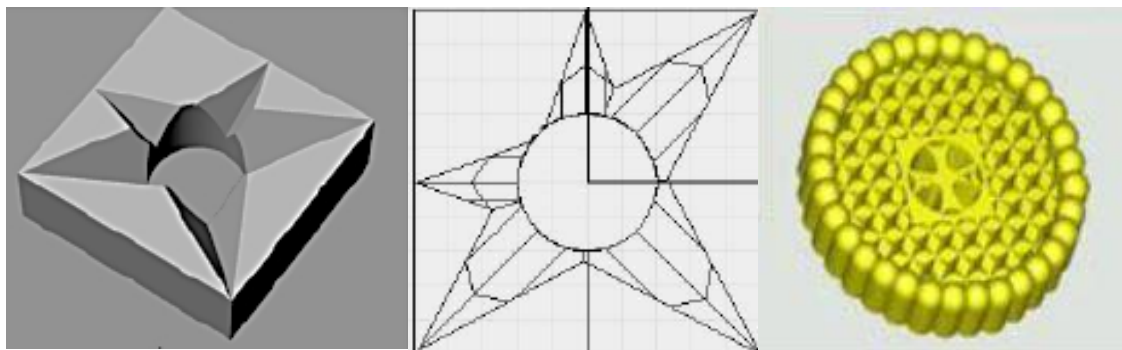
---

<sup>1</sup> <https://www.3shape.com/en>

encontrados em joias bizantinas, chamados de “*pierced jewellery*”, que são furações geométricas. Foram criados algoritmos com parâmetros e restrições para recriar os blocos, a partir do esqueleto específico que foi identificado na nuvem de pontos capturada com digitalizador 3D. Assim, os padrões podem ser reconstruídos de maneira semiautomatizada.

A Figura 1 apresenta os padrões mencionados: na imagem da esquerda se vê o *render de um desses padrões*, a imagem central apresenta a representação técnica e a última é de uma joia composta de vários desses padrões e esferas como acabamento.

Figura 1 - Padrões representativos das “*pierced jewellery*”.



Fonte: STAMATI e FUDOS (2004)

Segundo Fonseca (2006), ter o modelo de um produto digitalizado em 3D encoraja melhorias, como a engenharia reversa, que é voltada para a aceleração da criação e desenvolvimento. Esse método também é empregado na reprodução de peças ou componentes que não estão disponíveis no mercado. Stamati e Fudos (2004) já apontavam em 2004 que a engenharia reversa era amplamente utilizada para aumentar a eficiência e qualidade de novos designs e também para auxiliar na análise das várias etapas dos processos de fabricação:

[...] podemos obter o modelo CAD de uma peça que já não é fabricada pelo fabricante ou para a qual apenas existam desenhos técnicos. Além disso, existem casos em que o modelo CAD original já não corresponde à parte física que foi fabricada por causa das subseqüentes modificações, não documentadas, que foram feitas após a fase de projeto inicial. Além disso, estilistas e artistas geralmente criam modelos de seus conceitos usando argila, gesso ou madeira. Esses protótipos em escala real são usados para criar modelos CAD para a fabricação dos objetos em uma linha de produção industrial. (STAMATI e FUDOS, 2004).

### 3. Digitalização 3D de gemas e joias

#### 3.1 Digitalização 3D para lapidação

Os primeiros investimentos em digitalização 3D no setor joalheiro e pedrista ocorreram provavelmente para a análise da lapidação de diamantes, devido ao seu alto valor agregado. Segundo a LEXUS<sup>2</sup>, empresa fabricante do digitalizador 3D Helium Polish-HPO (utilizado para o cálculo da lapidação de diamantes) o equipamento avalia a composição do mineral e simula o seu melhor aproveitamento. Em exemplares já lapidados, o equipamento serve para analisar a qualidade da lapidação: a angulação das facetas, a centralização da culaça e a simetria da peça. Assim também com outros equipamentos como o Scanox Planner HD da OGI Systems<sup>3</sup>, utilizado pelo *Gemologica Institute of America* (GIA)<sup>4</sup>, órgão certificador de qualidade dos diamantes.

<sup>2</sup> LEXUS. URL: <<http://www.lexusindia.in/products/gb-helium-polish-oxygen.aspx>>.

<sup>3</sup> OGI SYSTEMS. URL: <<https://www.ogisystems.com/scanoxplanner-diamond-planning.html>>

<sup>4</sup> GIA. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gemological\\_Institute\\_of\\_America](https://en.wikipedia.org/wiki/Gemological_Institute_of_America)

Esses equipamentos, como os mencionados acima, são programados para calcular formas de lapidação tradicionais, gerando um maior aproveitamento gemológico. Este também é o caso do *software* “3D Gemas”, criado em 2009 no Brasil, no “Polo de Gemas e Joias do Vale Taquari e Soledade”, no Rio Grande do Sul, a partir da mobilização conjunta de diversas empresas e universidades. O programa CAD foi desenvolvido como ferramenta de apoio aos projetos de lapidação, coordenado pelo SEBRAE-RS, tendo como objetivo maximizar o aproveitamento volumétrico das gemas por meio de um sistema denominado “módulo de otimização com aproveitamento múltiplo”.

Assim, a digitalização de gemas brutas já vem encontrando caminhos para calcular o melhor aproveitamento total do material. No entanto, esses sistemas são diferentes, e muito mais caros do que os utilizados apenas para a digitalização de peças ou gemas “prontas”, no setor joalheiro.

A forma de lapidação tradicional dos diamantes é chamada de brilhante, e a precisão em sua lapidação influencia na sua qualidade e valor calculado, conforme um sistema de valoração chamado de 5Cs. Por ser composto de apenas um elemento, o diamante não é considerado uma “gema”

As pedras preciosas coloridas, que são compostas por diferentes elementos químicos, são chamadas de “gemas” devido à sua coloração que forma manchas de cor mais ou menos acentuadas. Uma mesma formação rochosa pode dar origem a diferentes gemas, pois elas apresentam apenas uma variação na quantidade de cada elemento presentes no seu interior. Essa variação altera a cor resultante, causando a segmentação em vários tipos de gemas: ametistas, citrinos e cristais provêm da mesma formação rochosa: quartzos. A análise para lapidação dessas gemas é feita observando-se, além da tonalidade, a concentração e localização da mancha de cor. (PATZLAFF, 2018)

As gemas, também podem ser lapidadas no formato de brilhante, no entanto, as que apresentam maior valor são, normalmente, as que apresentam o formato “não-calibrado”. As medidas são propositadamente diferentes visando a melhor interação possível com a luz, diferentemente dos diamantes que devem respeitar as restrições das lapidações tradicionais.

Um citrino, um quartzo ou uma turmalina paraíba podem conferir exclusividade e graciosidade às peças, mesmo que não sigam as formas de lapidação tradicionais (Figura 2). Desse modo, é possível aproveitar melhor o material gemológico e não apenas as porções que se enquadram no formato de lapidação tradicional. No entanto, o maior empecilho para o uso desses tipos de lapidação é a virtualização dos abaulados, saliências, angulações e todo um rol de formas orgânicas, que são difíceis de medir apenas com o auxílio de paquímetros. Como o desenho de uma joia geralmente começa pela confecção 3D da “pedra”, qualquer imprecisão no início do processo pode implicar em retrabalho para toda a cadeia de produção além de alto dispêndio de recursos.

Figura 2: Joias com gemas do Brasil em lapidações não convencionais (citrino, quartzo e turmalina paraíba)



Fonte: GIA<sup>5</sup> (2018), LEEN<sup>6</sup> (2018)

<sup>5</sup> GIA. Disponível em: <<https://www.gia.edu/ruby-quality-factor>> Acesso em: 08 dez 2018;

<sup>6</sup> JOCHEN LEEN. Disponível em: <<http://www.jochenleen.net/>> Acesso em: 08 dez 2018.

### 3.2 Digitalização 3D de joias e gemas lapidadas

Pedras preciosas e joias geralmente se apresentam reflexivos. Diferentemente de sistemas integrados odontológicos, por exemplo, os sistemas ópticos de digitalização de gemas e joias ainda requerem que o objeto seja recoberto. Mas esse recobrimento não pode interferir na forma. Além disso, elas apresentam dimensões reduzidas e alto nível de detalhamento, implicando que o equipamento utilizado para transpor suas formas para o ambiente digital possua alta resolução e acurácia.

Foi divulgada recentemente uma lista com os seis melhores digitalizadores 3D de joias do ano de 2021. Essa relação pode ser visualizada na Figura 3. O autor, O'Neil (2021), ressalta que alguns fabricantes listam resolução de digitalização, resolução de malha, mas, esses números geralmente são ideais, não sendo necessariamente alcançáveis para todas as digitalizações. Além disso, ele diz que os valores dos equipamentos apresentados podem variar consideravelmente, pois não incluem impostos e taxas de envio. Também é importante ter em mente que o software de digitalização 3D sempre requer *laptops* poderosos em termos de recursos tecnológicos - memória RAM, placa de vídeo etc.

Figura 3 - Os melhores digitalizadores 3D de joias em 2021.

Scanner 3D	Máx. volume de varredura	Máx. resolução*	Precisão	Eixos móveis **	País	Preço***
<a href="#">Artec Micro</a>	90 x 60 x 60 mm	0,029 mm	0,010 mm	2	Luxemburgo	\$ 30.000
<a href="#">B9Creations B9 Scan 350</a>	90 x 80 x 55 mm	0,053 mm	0,015 mm	2	Estados Unidos	\$ 15.000
<a href="#">Scanner de joias 3D D3D-s</a>	ø 100 x 130 mm	0,015 mm	0,010 mm	6	Ucrânia	\$ 8.000
<a href="#">Tecnologias abertas Aurum LT</a>	ø 110 x 95 mm	0,073 mm	-	-	Itália	\$ 18.000
<a href="#">Shining 3D AutoScan Sparkle</a>	100 x 100 x 75 mm	0,050 mm	0,010 mm	3	China	\$ 14.000
<a href="#">Solutionix D700</a>	90 x 60 x 60 mm	0,029 mm	0,010 mm	2	Coreia do Sul	\$ 25.000

Fonte: O'Neil, 2021.

Dessa lista, conforme análise das especificações, cinco dos equipamentos operam pelo princípio de luz estruturada (*structured light*), e apenas o equipamento da Aurum LT funciona por fotogrametria. Todos os equipamentos listados são máquinas fechadas ou parcialmente fechadas com uma mesa giratória em seu interior para fixar a gema ou joia. As mesas giratórias básicas giram apenas 360 °, enquanto os sistemas de mesa giratória multi-eixos mais avançados são capazes de se inclinar de um lado para o outro com vários graus de liberdade. No Brasil ainda não há registros desse tipo de equipamento automatizado.

### 3.3 Usos para modelos de gemas e joias digitalizados em 3D

Comparado com o método tradicional de criação e confecção, o uso de modelos digitalizados em 3D apresenta diversas vantagens. Acima de tudo, a digitalização é eficiente, porque só precisa ocorrer uma vez, mesmo que milhares de duplicatas sejam feitas com o arquivo digital resultante. O tempo gasto para projetar manualmente as peças é muito maior quando não se tem um modelo preciso, especialmente quando é necessário fazer uma peça similar. É necessária maior margem de metal para assentamento das pedras, o que implica também em menor detalhamento possível na hora da criação. Além disso, se não for simulado no digital, no modelo real é muito mais trabalhoso desfazer uma ação pouco planejada.



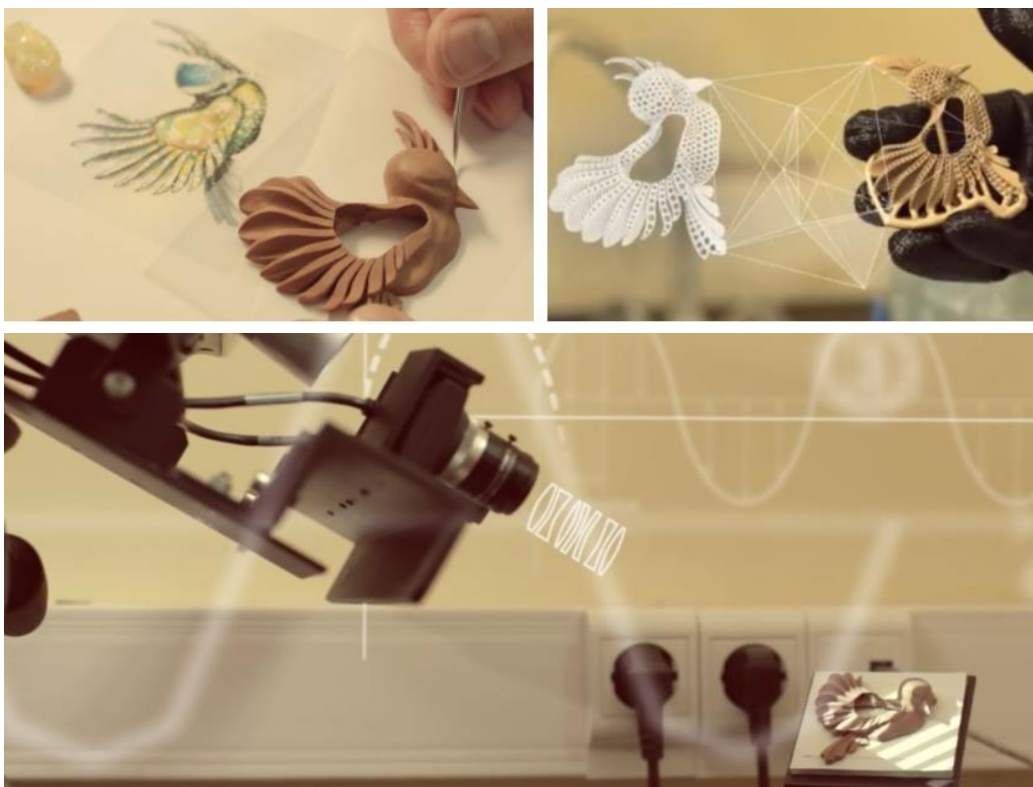
É possível criar um banco de dados com todas as gemas que passam pela empresa, catalogando as diversas características que podem ser consideradas para a escolha de uma gema. Por exemplo, quando se deseja uma gema retangular com a culaça maior do que 10 mm e valor do quilate maior do que “x”. Os dados podem ser pré-definidos e apenas os resultados correspondentes aparecerão, por meio de filtros simples criados em uma planilha.

Não há como garantir que uma peça refeita anos depois da primeira tenha as formas iguais às da primeira peça, pois além da rotatividade das pessoas, na maioria dos casos não é feito o registro preciso das características formais e estéticas. A digitalização desse modelo finalizado possibilita uma maior “uniformidade” nos resultados obtidos, já que há o registro preciso de todas as formas da peça. Como apontado por Scagliusi (2015), os digitalizadores 3D permitem “incluir em seus projetos peças já produzidas por processos de escultura manual”, bem como na adaptação de obras de arte de metal ou gemas que possam ser digitalizadas e trabalhadas de diversas maneiras, como miniaturas, confecção de réplicas perfeitas, etc. Um modelo digital pode ser visualizado simultaneamente em diversos computadores, o que facilita sua consulta e reduz o trânsito de peças físicas entre setores.

Em qualquer empresa há modelos de peças ou moldes que são antigos, mas são guardados para a manutenção do mesmo em seu acervo de possibilidades. Modelos físicos se tornam obsoletos com o tempo, pois são de materiais que se deterioram, ou são perdidos, implicando ainda em gastos com manutenção de espaço e das próprias peças. Na joalheria, alguns modelos armazenados para consulta eventual são confeccionados também em metais nobres, por diversos motivos. Contudo, é possível substituir esse meio de “arquivamento” de peças importantes por modelos digitalizados, que estarão disponíveis para visualização e “reimpressão”, sem ocupar espaço ou demandar cuidados de manutenção ou ainda de segurança física. Como dito por O’Neil, 2021, “a digitalização 3D produz um registro digital permanente de uma peça de joalheria que pode ser revisitado a qualquer momento no futuro”.

A transposição de peças prototipadas manualmente em argila, como no exemplo da joalheria russa Mousson<sup>7</sup>, na Figura 4, é mais uma possibilidade para a alta joalheria, sendo capaz de reduzir o tempo com modelagem manual na “banca”:

Figura 4: Estágios da confecção de uma joia utilizando a digitalização 3D do molde de argila.



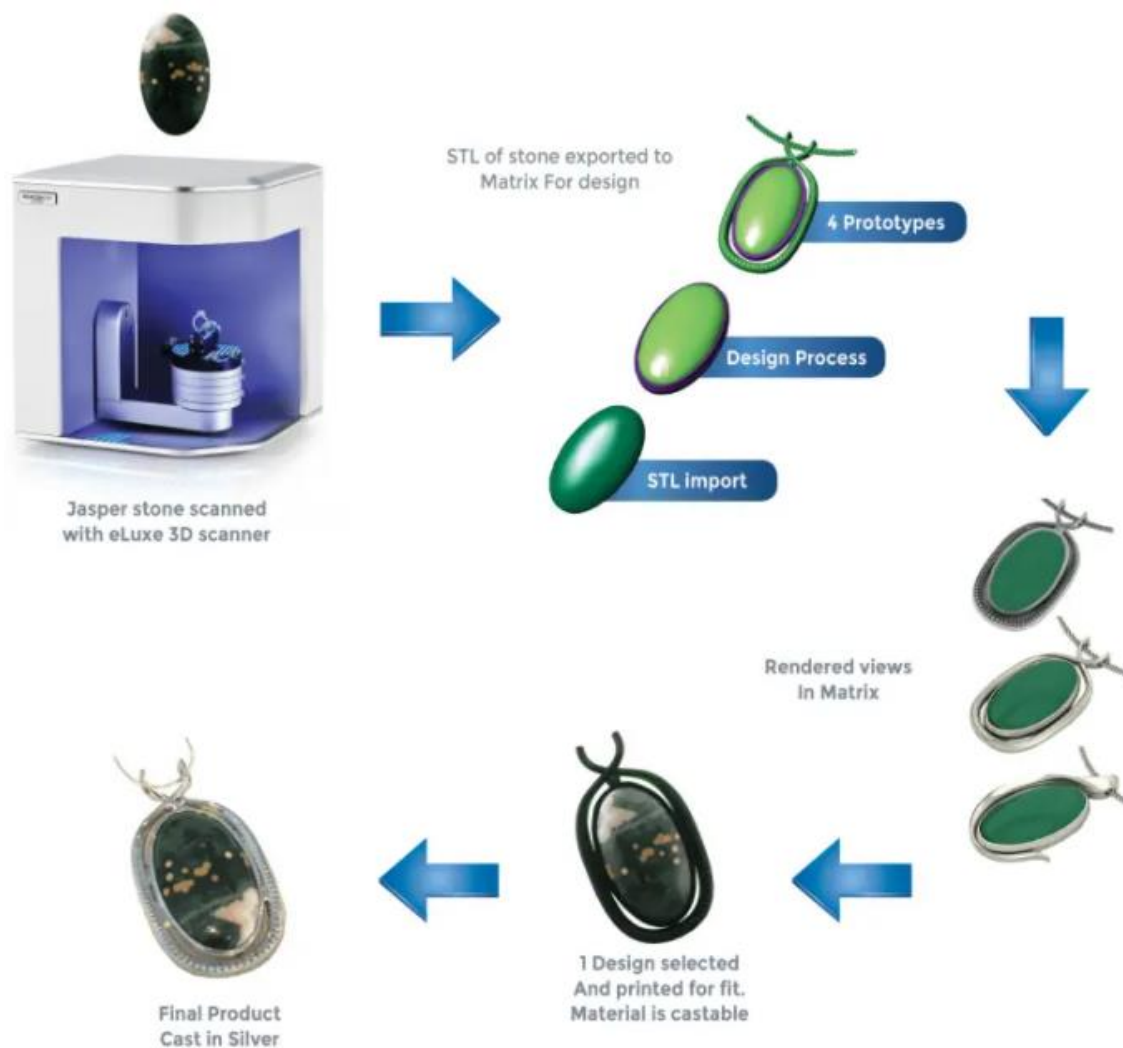
Fonte: MOUSSON, 2014.

<sup>7</sup> MOUSSON. URL. :<[http://www.moussonatelier.ru/en/mousson\\_world/](http://www.moussonatelier.ru/en/mousson_world/)>.

Inicialmente é escolhida a gema, de acordo com seu formato, sendo desenhada a joia com um espaço para o encaixe preciso da gema. O passo seguinte é a confecção da peça em argila em tamanho real, em torno da gema original. O molde é digitalizado em 3D com um digitalizador 3D por luz estruturada. A partir do modelo digitalizado, constrói-se a peça com as dimensões de produção adequadas para assentar todas as outras gemas que darão o colorido à joia. Após a modelagem 3D a peça é impressa/prototipada em resina e, posteriormente, fundida em ouro.

Na Figura 5 é representado um fluxo de trabalho típico de digitalização de joias em 3D combinado com impressão 3D e métodos de fundição, apresentado por O'Neil. Nesse caso é utilizado um digitalizador 3D da marca eLUXE3D.

Figura 5: Fluxo de trabalho típico de digitalização de joias em 3D combinado com impressão 3D e fundição.



Fonte: O'Neil, 2021.

Designers de joias que são pequenos empreendedores não têm demanda para justificar a aquisição de um digitalizador 3D, com a necessidade de que esse serviço seja prestado por terceiros. Isso ocorre pelo fato desses equipamentos possivelmente não terem seu valor de aquisição reduzido nos próximos anos. Dentre outras características apontadas em vídeo da EMS3D (2019), foi destacado que o mercado de digitalizadores 3D é considerado de baixo volume, apesar do seu potencial, com seu valor devendo manter-se estável.

Um comerciante de gemas trabalha com um maior número de peças, o que justifica o uso do digitalizador 3D, que aliado ao uso de fotografias, possibilita uma divulgação virtual com dados formais mais apurados. Assim, possíveis compradores têm uma melhor perspectiva sobre o produto e podem avaliar diferentes combinações, além do histórico dessas e, em alguns casos, até mesmo a possibilidade de encomendar uma peça similar à alguma outra.

adquirida anteriormente. Todos esses fatores implicam em agilidade e assertividade na escolha e compra das gemas. Com isso, reduz-se a interação desnecessária com o acervo e ainda se diminui os custos com armazenamento e deslocamento. Silva *et al.* (2010) acrescentam ao tópico, afirmando que a digitalização também pode ser empregada para o armazenamento virtual, o qual permite redução econômica de espaço físico e de transporte, bem como o uso simultâneo dos objetos digitalizados.

É possível para empresas que tenham acesso aos equipamentos de lapidação, ou a empresas de lapidação, gerar modelos únicos e digitalizá-los em 3D evitando retrabalhos desnecessários. Assim, podem criar coleções com o aproveitamento de todo o insumo. Às vezes pode-se pensar em uma peça e pedir ao lapidário para adequar uma gema àquela forma. A maior oportunidade percebida é a utilização de gemas de todos os formatos, inclusive completamente irregulares.

Já com as gemas digitalizadas é possível pré-selecionar algumas, que formarão conjuntos de joias, como, por exemplo, um par de brincos, um anel ou um colar. Os arquivos das gemas digitalizadas podem ainda ser úteis para empreendedores independentes, que fabricam peças únicas e exclusivas de maneira parcialmente artesanal.

Para Meyer (2016), o maior empecilho encontrado para fazer a engenharia reversa de uma joia digitalizada em 3D é a falta de integração entre sistemas, o que torna oneroso o trabalho do modelista, pois essa precisa muitas vezes criar uma peça em cima de uma malha fechada, importada de outro programa.

Ainda não estão disponíveis para o setor joalheiro sistemas integrados, com programas nos quais se possa digitalizar tridimensionalmente e posteriormente editar as formas de acordo com parâmetros (como cravação ou mudança de formatos básicos). Os modelos obtidos digitalmente são exportados em arquivos como sólidos fechados, *meshes*, difíceis de serem convertidos para NURBS, que é um dos padrões utilizados no software Rhinoceros, por exemplo.

#### 4. Estudo prático de digitalização 3D de gemas recobertas

Em outras áreas que utilizam a tecnologia de digitalização 3D é comum recobrir objetos pretos, translúcidos e reflexivos com pós específicos. A partir dessa informação, foi realizado um estudo de recobrimento de cinco gemas de dimensões entre 5 x 3 mm e 12 x 12 mm, com características de cor e formato tradicionalmente utilizados no setor joalheiro (Figura 6). Nos testes, foram avaliados diversos materiais de recobrimento, líquidos e em pó, a fim de verificar o que melhor reduzisse os reflexos.

As gemas foram selecionadas por variarem em forma, dimensões, cor e transparência. A maior foi um quartzo em forma de coração com 12,6 x 12,56 x 7,21 mm e a menor, uma granada redonda com diâmetro 5,42 mm e altura de 2,78 mm. A fim de evitar interações químicas, o recobrimento das gemas foi limitado a utilização de produtos à base d'água e de fácil remoção, na cor branca (o que garante uma melhor captura 3D).

Figura 6: Turmalina verde, peridoto, granada, topázio azul, quartzo fumê e quartzo transparente.



Fonte: PATZLAFF, 2018.

Para a realização dos testes foi definido a utilização do digitalizador por luz estruturada DAVID SLS-2, analisando-se inicialmente a teoria em torno do digitalizador 3D e das



tecnologias similares, para melhor embasamento e eventuais alterações. Considerou-se avaliar outras técnicas e a possibilidade de combinações de vários sistemas. Operacionalmente, solicitou-se a um modelista 3D que modelasse as gemas utilizadas no estudo pelo processo usual de empresa do setor: medição manual com paquímetro e reconstrução do modelo no programa Rhinoceros.

Para realizar uma comparação equitativa dos resultados obtidos pelas outras técnicas, as gemas foram digitalizadas, também, com o microtomógrafo SkyScan 1173 - Bruker (EUA), no laboratório de Instrumentação Nuclear da UFRJ.

O escâner DAVID SLS é um equipamento fixo de luz estruturada que captura a forma sem contato físico. O software utilizado para a digitalização geralmente acompanha o equipamento e precisa ser instalado em um computador com boa capacidade de processamento. No sistema utilizado, o projetor faz parte do equipamento de digitalização, que projeta várias imagens em preto e branco de padrões lineares sobre o objeto. Esses padrões se deformam visivelmente de acordo com a superfície e os contornos. Enquanto isso, a câmera captura os pontos de interseção entre os padrões e o sistema calcula as coordenadas da topologia do objeto.

Para ter o modelo 3D completo é necessário fazer essas sessões de captura (*scans*) ao redor de todo o objeto. Foram necessários, em média, oito *scans* para cada gema. Para facilitar o alinhamento entre os *scans* é recomendado que cada captura seja executada respeitando uma sobreposição de 35% em relação ao *scan* anterior, com a peça sendo rotacionada sobre o eixo. Também foram necessários *scans* da superfície que esteve apoiada na base durante o restante do processo.

O programa calcula os pontos obtidos e os reproduz em forma de nuvem, além de gerar uma malha triangular com os pontos interligados. Essa malha caracteriza as superfícies visíveis do objeto que está sendo digitalizado, em caso de reentrâncias ou altas angulações onde o equipamento não conseguiu gerar a imagem topográfica por triangulação, esses espaços ficam vazios, formando “buracos” na malha.

Figura 7: Sistema de Digitalização 3D utilizado: Scanner 3D da marca DAVID- HP integrado ao laptop da autora.



Fonte: A autora, 2018.

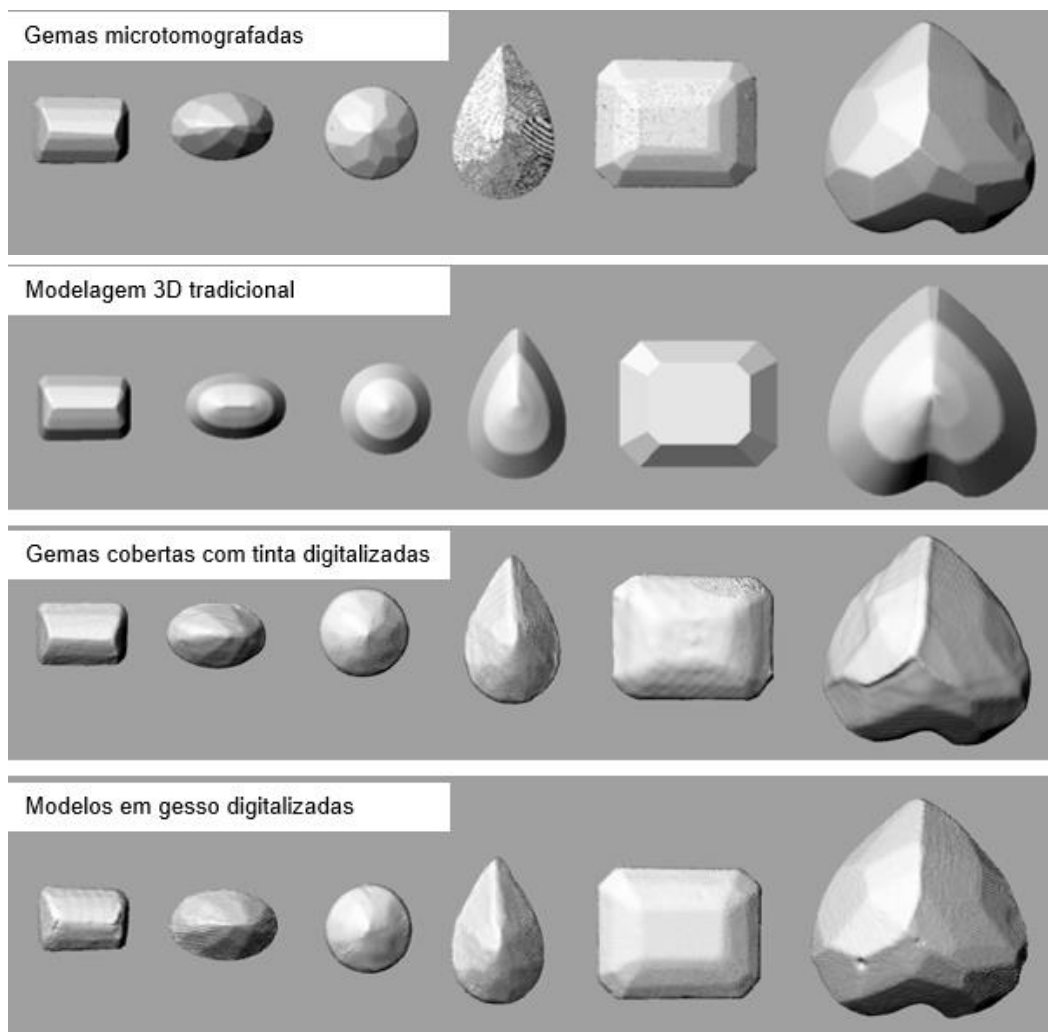
Após as capturas, o programa permite a remoção “manual” das partes das malhas que foram captadas ou criadas erroneamente pelo programa, tais como bases de apoio ou partículas desconexas conhecidas como “artefatos” (rebarbas da malha, algum reflexo ou poeira imperceptível a olho nu). Cabe considerar, nesse momento, que os suportes podem servir como guias para o software encontrar pontos em comum com outras capturas, facilitando o seu alinhamento. Após a captura e limpeza dos *scans*, foi necessário aplicar filtros de suavização, preenchimento e decimação, disponíveis no próprio programa. A utilização desses filtros é importante para eliminar ruídos e gerar arquivos mais homogêneos, com a resolução adequada. Como a nuvem de pontos gerada é densa, optou-se por reduzi-la para melhor manuseio em outros softwares.

A cobertura obtida com o pó pareceu satisfatória, porém, não é possível manusear o objeto após seu recobrimento sem comprometer a cobertura. Caso haja alguma parte da

superfície com ponto descoberto por toque de pinça, por exemplo, o digitalizador não será capaz de captar as coordenadas 3D.

Dentre as soluções de cobertura das gemas, as que apresentaram resultados mais rápidos, homogêneos e com a menor deformação das superfícies da peça surgiram a partir da mistura de líquido corretivo (*liquid paper*) ou tinta guache. No entanto, atestou-se que aplicações de tintas líquidas geram boa cobertura. Todavia, é necessário cuidado no recobrimento para não causar sobreposição de camadas, ocasionando deformações nas faces. Esse problema não interfere apenas nas dimensões extremas e de volume, sendo o maior entrave o no aumento as superfícies, o que acaba por ligar umas às outras e que, consequentemente, reduz os ressaltos das angulações e dificulta o alinhamento.

Figura 8: Imagem comparativa dos resultados da digitalização 3D pelas diferentes técnicas avaliadas.



Fonte: PATZLAFF, 2018.

Com o objetivo de agilizar o processo, tentou-se digitalizar mais de uma gema por sessão de captura. No entanto, foram observadas deformidades resultantes, como relatado por Breuchmann (2014), devido às diferenças de profundidade de campo.

A utilização de suportes para as gemas facilita o alinhamento das capturas, além de aumentar a área digitalizada do objeto, em cada captura. Essa técnica facilita a digitalização das interseções entre as partes inferior e superior das gemas, áreas consideravelmente difíceis para um alinhamento de precisão. Pequenas falhas nos modelos confeccionados em gesso auxiliam no processamento do alinhamento, que costuma ser o mais trabalhoso.

Quanto ao microtomógrafo, a captura detalhada do interior do objeto que este equipamento proporciona não é essencial para o fim do presente estudo. Seu custo é significativamente elevado, se comparado ao de outros tipos de digitalizadores 3D com menor resolução (custo-benefício). Além disso, é um equipamento que trabalha com radiação, sendo seguro em condições ideais. No entanto, não deve ser descartada sua utilização. A vantagem prática desse sistema é que ele dispensa o recobrimento das gemas ou objetos de metal para obter as capturas.

Os modelos digitalizados das gemas recobertos com spray não foram finalizados, pois seu manuseio implicava em remoção da cobertura mesmo quando executado com o auxílio de pinça. Tal fato inviabilizou a leitura pelo digitalizador 3D.

Os resultados obtidos foram comparados entre si. Para avaliar a fidelidade dos modelos obtidos, os mesmos foram comparados com modelos obtidos por microtomógrafo, que estão dispostos na primeira sequência da tabela que segue. Na segunda sequência observamos os modelos reconstruídos pelo método tradicional de obtenção de medidas, com paquímetro e programa CAD. Na terceira sequência podemos observar os modelos obtidos a partir das gemas recobertas com pó branco. Na última sequência, foram digitalizados modelos de gesso, obtidos a partir de moldes feitos em silicone.

Tabela 1: Volume dos modelos obtidos por diferentes técnicas e coberturas.

<b>Método - Gema</b>	<b>Quartzo (coração)</b>	<b>Quartzo fumê (octogonal)</b>	<b>Topázio-azul (gota)</b>	<b>Turmalina (octogonal)</b>	<b>Granada (redonda)</b>	<b>Peridoto (oval)</b>
Intervalo em mm <sup>3</sup>	1 e-07	+/- 1 e 07	+/- 1 e 08	+/- 1 e 08	+/- 1 e 08	+/- 1 e 08
<b>Micro CT (referência)</b>	<b>401,19</b>	<b>157,65</b>	<b>68,20</b>	<b>29,59</b>	<b>32,47</b>	<b>25,02</b>
3D (modelagem)	<b>432,73</b>	188,78	<b>73,23</b>	30,65	<b>33,91</b>	29,10
David (tinta)	437,00	<b>172,07</b>	61,12	<b>29,27</b>	<b>33,03</b>	<b>25,01</b>
David (gesso)	<b>432,91</b>	185,64	62,29	30,45	34,59	26,04

Fonte: PATZLAFF, 2018.

## 5. Desafios da tecnologia e dos sistemas existentes

A aplicação de recobrimento nem sempre é viável, especialmente em peças delicadas e frágeis. O ideal é que seja dispensada a necessidade de recobrimento. Além da possibilidade de capturar os detalhes das gemas ao recobri-las, em alguns casos, também é possível digitalizar modelos de gesso, com a digitalização dessas peças demonstrou-se bastante eficaz.

Dentre as técnicas de digitalização 3D existentes até o momento, a luz estruturada, provou-se a mais eficaz para o fim aqui proposto.

O alcance da digitalização 3D para a joalheria não se limita ao setor de prototipagem/modelagem 3D. Benefícios podem ser alcançados desde o fornecedor de pedras, à loja onde o cliente faz a encomenda do produto e até os setores de lapidação, seleção, ourivesaria, etc. As possibilidades são muitas, que vão desde a reconstrução precisa de uma peça que não possui versão digital até a reposição de ferramentas ou peças de maquinário do próprio ateliê/oficina de ourivesaria.

Quanto aos equipamentos específicos para a digitalização de joias, O'Neil (2021) lista algumas limitações percebidas para futuros aperfeiçoamentos. Os sistemas capturam a forma como um todo, sem diferenciar materiais, esse tipo de reconhecimento facilitaria a engenharia reversa das peças.

Mesmo os digitalizadores 3D de ponta ainda geram modelos parcialmente incompletos e quase sempre é necessário ajustar o modelo resultante (preenchimento de orifícios, suavização etc.).

Outro ponto relevante já levantado é a pouca integração entre os equipamentos e softwares CAD. Além disso, ainda segundo O'Neil (2021), "converter uma malha ou nuvem de pontos em um modelo 3D é muito mais difícil do que converter na direção oposta".

Entende-se que os processos praticados pela indústria nacional do setor ainda são arcaicos, o que diminui a competitividade do Brasil no mercado mundial. A implementação de processos que agilizam e barateiam a produção e o comércio se mostram fundamentais e urgentes.

Nota-se que é incomum em grandes empresas joalheiras brasileiras a existência de áreas de pesquisa ou ainda que essas mobilizem capital para tal atividade. Além disso, há muitos produtores independentes de joias no país.

Subsidiar uma melhora das tecnologias para beneficiamento das gemas poderá gerar um impacto positivo na economia, desde de uma maior arrecadação de impostos até a geração de empregos e de produtos com maior diferencial competitivo, pela utilização de gemas com formatos únicos. Tais tecnologias, aliadas à criatividade dos brasileiros, que é reconhecida internacionalmente, possibilitariam a criação de uma identidade por meio dos designs inéditos que ainda podem ser criados.

## Referências

### *Artigos em revistas acadêmicas/capítulos de livros*

BATISTA, Denise S. (2014). Avaliação comparativa dos scanners 3D Artec MHT e Cyberware WBX para aplicação em Antropometria e Ergonomia. 118 p. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ;

BREUCKMANN, Bernd. (2014). G25 years of high definition 3D scanning history, state of the art, outlook. *Breumckman GmbH, Germany*, pp. 262-266.

FEUERSTEIN, Paul. (2007) New Changes in CAD/CAM: Part 2 - Lab Systems. In: Inside Dentistry, [S.l.], v. 3, p.82-86, 2007

FONSECA, Joaquim da Hora Oliveira. (2006) A prototipagem rápida como proposta para solução de proposta para solução de problemas técnicas na produção de joias no Rio de Janeiro. 100 p. Dissertação (Mestrado em tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro.

IBGM. (2015) *O setor em grandes números*. Núcleo de Inteligência Competitiva (NIC) para a Cadeia Produtiva de Gemas, Joias e Afins, projeto do IBGM em parceria com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo.

MACIEL, Bruna. (2015) *Comparação entre sistemas CAD/CAM: uma revisão de literatura*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Odontologia) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul.

PATZLAFF, Cassiane. (2018). *Avaliação do uso de digitalizador 3D por luz estruturada para o setor joalheiro-pedrista*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_; Almeida, Bruna M. (2016) *Revisão em bases acadêmicas sobre tecnologias 3D adotadas pelo setor joalheiro brasileiro*. In: Anais do 4ºSPGD, Even7, v.1, n. 1. Rio de Janeiro.

POHLMANN, Mariana; Silva, Fabio Pinto da; KINDLEIN JR., Wilson. (2014) *Design de joias, materiais e processos: avaliação dimensional de moldes de borracha de silicone por digitalização tridimensional a laser* In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, pp. 2447-2455.

SANTOS, Rita. (2013) *Joias: fundamentos, processos e técnicas*. Rio De Janeiro: Senac Nacional. pp.296.

SCAGLIUSI, Natascha. (2015) *Do cinzel ao bit: a revolução das tecnologias digitais no design de joias*. 117 p. Dissertação (Mestrado em Design) - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, J. T.; HARTMANN, A. L.; BRUSSO, Marcos J.; ZANATTA, Alexandre L; VIAPINA, Evandro L.; SILVA, V. B.; IPAR, Carlos E. A. L. (2010) *Metodologia Para Auxílio Ao Projeto Virtual De Lapidação De Gemas Coradas (Projeto 3d-Gemas)*. I Seminário sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul.

SOUZA, Eduardo Presser de. (2010) *Contribuição ao estudo da aplicação da digitalização tridimensional para o design e a lapidação de gemas*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.

#### *Formato Eletrônico*

3DGemas. (2017) *Histórico*. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~3dgemas/>> Acesso em: 20 nov. 2017

AGÊNCIA FAPESP. (2017) Brasil precisa de projeto de re-industrialização. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasil-precisa-projeto-reindustrializacao&id=010175171211&ebol=sim#.WmYXkKinHIW>. Acesso em 03 dez. 2017.

BECKER, Leandro. (2012). *Soledade aposta em gestão e inovação para consolidar polo joalheiro na América Latina*. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/economia/noticia/2012/05/soledade-aposta-em-gestao-e-inovacao-para-consolidar-polo-joalheiro-na-america-latina-3763079.html>>. Acesso em 30 de ago., 2017.

EMS3D (2019) 5 Myths about 3D Scanning. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MeHwMsDBBUA&list=PLTXaO4JfSZ-aneGO6OCMDIeAOgm0esKAu>>. Acesso em 03 de mai., de 2020.

MEYER, Jack. (2016) *Frequently Asked Questions 10 – 3D Scanning, Model Conversion, and Jewellery CAD*. CAD Jewelry Skills. Disponível em: <<http://www.cadjewelleryskills.com/frequently-asked-questions-10-3d-scanning-model-conversion-jewellery-cad/>>. Acesso em: 16 de jun., 2016.

O'Neil, Benedict. (2021) Jewelry 3D scanners: *Comprehensive guide and product selection*. In 3D Scanners. Aniwa. Disponível em: < <https://www.aniwaa.fr/guide-achat/scanners-3d/scanner-3d-joaillerie-bijouterie/>> Acesso em 04 de mai., 2021

STAMATI, Vasiliki; FUDOS, Ioannis. (2004) *CAD/CAM methods for reverse engineering: a case study of reengineering jewellery*. University of Ioannina, Ioannina, Greece. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/CAD-CAM-Methods-for-Reverse-Engineering-A-Case-study-Stamati-fudos/874758ec20b9204c1203f87711db429d5ff84941>>. Acesso em: 19 de mai., 2017.