



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Escola Superior de Desenho Industrial

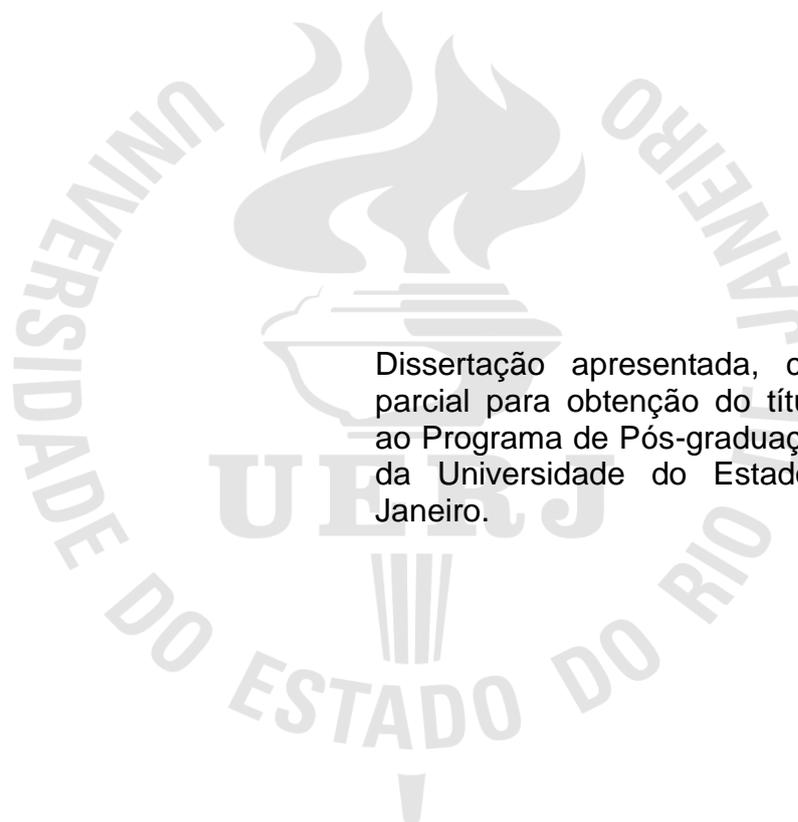
Cassiane Patzlaff

Avaliação da utilização de digitalizador 3D para o setor joalheiro-pedrista

Rio de Janeiro
2018

Cassiane Patzlaff

Avaliação da utilização de digitalizador 3D para o setor joalheiro-pedrista



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Design, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reiszal Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Sydney Fernandes de Freitas

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/G

P322 Patzlaff, Cassiane.

Avaliação da utilização de digitalizador 3D para o setor joalheiro-pedrista / Cassiane Patzlaff. - 2018.
116 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reiszal Pereira.
Coorientador: Prof. Dr. Sydney Fernandes de Freitas.

Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Escola Superior de Desenho Industrial.

1. Design de jóias - Teses. 2. Digitalização 3D - Teses. 3. Jóias – Técnica- Teses. 4. Jóias – Teses. I. Pereira, Fernando Reiszal . II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Escola Superior de Desenho Industrial. III. Título.

CDU 739.2

Bibliotecária: Marianna Lopes Bezerra CRB7/6386

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Cassiane Patzlaff

Avaliação da utilização de digitalizador 3D para o setor joalheiro-pedrista

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Design, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 18 de julho de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Reizzel Pereira (Orientador)
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Sydney Fernandes de Freitas
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Éric Zavenne Paré
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Orlando Nelson Grillo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2018

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, cujo apoio financeiro permitiu a realização deste trabalho.

Aos professores Fernando Reiszal Pereira e Sydney Fernandes de Freitas, pela orientação para o encontro dos melhores caminhos para guiar este trabalho. Ao professor Zaven Paré, da ESDI/UERJ, por participar da banca Examinadora e pelas diversas informações em aula e fora delas, que também muito contribuíram para a execução deste trabalho. Ao professor Grillo do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional/UFRJ, por fazer parte da banca com minuciosos apontamentos. Pela orientação no processo de fotogrametria e no uso do RV Scanner. Ao NEXT (PUC-RJ) /LAPID (MN/UFRJ) por permitirem o uso do RV Scanner.

Ao Laboratório de Instrumentação Nuclear - COPPE/UFRJ, através do prof. Ricardo Tadeu Lopes e de Thaís Pires dos Santos, os quais se disponibilizaram para a obtenção do modelo tridimensional das gemas via microtomografia.

Aos demais professores do Mestrado (especialmente Ligia Medeiros, com a sua experiência e dedicada atuação) e que muito contribuíram para a jornada concluída. Aos colegas de Mestrado e Doutorado pela parceria e amizade vivida ao longo do Curso, em especial à designer de joias Bruna Milam, pela parceria. Também aos funcionários da secretaria do Mestrado Anna Teresa Panalber e Maurício Teitel.

Aos modelistas 3D do setor joalheiro fluminense entrevistados, que também contribuíram de maneiras diversas. A Letícia Lisboa Guimarães, pela modelagem 3D das gemas pelo método tradicional. Aos profissionais Renato (cravação de gemas) e Wilmar (lapidário), pelas informações preciosas sobre técnicas artesanais de produção de joias e lapidação de gemas, respectivamente.

A minha família, que sempre me apoiou. A João Maurício Pimentel, pela colaboração essencial, incentivo e fé depositados desde o princípio, além do auxílio e dedicação em pesquisas de todas as naturezas. E a todos enfim que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

PATZLAFF, Cassiane. **Avaliação da utilização de digitalizador 3D para o setor joalheiro-pedrista**. 2018. 116f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

A incorporação de novas tecnologias pelas empresas joalheiras tem contribuído para a modernização das técnicas de prototipação e fabricação, mas são ainda incipientes no que tange a digitalização 3D. Há poucas soluções conhecidas voltadas para um setor que possui desafios peculiares, tais como digitalizar peças translúcidas, pequenas e com reflexos. Desse modo, o presente estudo foca na utilização de digitalizador 3D para digitalizar gemas (pedras preciosas) utilizadas na confecção de joias, aumentando a assertividade e diminuindo retrabalhos no decorrer dos processos, economizando recursos financeiros. Foram feitos testes de digitalização 3D com gemas preciosas de tamanhos entre 5,5mm X 3,9mm e 12,6mm X 12,5 mm. Ao tempo desta pesquisa foi lançado no mercado um digitalizador 3D com objetivo e tecnologia similares ao estudado aqui, e suas principais características serão explanadas. Foram realizados testes com outras tecnologias de digitalização 3D (modelagem 3D convencional, micro tomografia, fotogrametria), a fim de averiguar a acurácia real do digitalizador e comparar com os resultados obtidos. A microtomografia, por demandar um investimento discrepante e ser considerada uma tecnologia distinta das outras e apesar de superior em resolução, foi utilizada apenas como parâmetro balizador. Foi realizada, também, entrevista exploratória com modelistas 3D de joias, atuantes em empresas do setor no Rio de Janeiro e com o fim de avaliar as formas de medição de gemas empregadas atualmente e as expectativas desses profissionais em relação à utilização de digitalizadores tridimensionais. Após testes de recobrimento e com modelos em gesso, chegou-se à conclusão de que o digitalizador usado neste trabalho, além de capturar formas maiores, também é aplicável à digitalização de gemas para a joalheria. Porém, não com a mesma acurácia de um equipamento específico, mas não distante disso. São apresentadas, ainda, as possibilidades proporcionadas pela utilização dessa tecnologia em outros setores produtivos em empresa de joias ou mesmo empresas terceirizadas do setor, como a catalogação digital de modelos e engenharia reversa, utilizada para confecção de moldes e peças complementares.

Palavras-chave: Digitalização 3D. Luz Estruturada. Gemas Preciosas. Scanner 3D.

Design de Joias. Escaneamento 3D.

ABSTRACT

PATZLAFF, Cassiane. *Evaluation of Structured light 3D scanner for the gem based jeweler sector*. 2018. 116f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The incorporation of new technologies by the jewelry companies has contributed to the modernization of prototyping and manufacturing techniques, but they are still incipient when it comes to 3D scanning. There are few well-known solutions for a sector that has unique challenges, such as scanning small, translucent pieces with reflections. Thus, the present study focuses on the use of 3D digitizer to digitize gems used in jewelry making, increasing assertiveness and reducing rework during the processes, saving financial resources. 3D scanning tests were done with precious gems of sizes between 5.5mm X 3.9mm and 12.6mm X 12.5mm. At the time of this research a 3D digitizer with similar technology and objective was studied, and its main characteristics will be explained. Tests were carried out with other 3D scanning technologies (conventional 3D modeling, micro tomography, photogrammetry) in order to ascertain the real accuracy of the digitizer and compare with the results obtained. The microtomography, because it requires a discrepant investment and be considered a technology distinct from the others and although higher in resolution, was used only as a marker parameter. An exploratory interview was also carried out with 3D modelers of jewelry, working in companies of the sector in Rio de Janeiro and with the purpose of evaluating the methods of measurement of gemstones currently used and the expectations of these professionals in relation to the use of three - dimensional scanners. After coating tests and plaster models, it was concluded that the digitizer used in this work, besides capturing larger shapes, is also applicable to the digitization of gemstones for the jewelry. However, not with the same accuracy of a specific equipment, but not far from it. Also presented are the possibilities offered by the use of this technology in other productive sectors in jewelry companies or even outsourced companies in the sector, such as digital cataloging of models and reverse engineering, used to make molds and complementary pieces.

Keywords: 3D Digitization. Structured light. Precious stones. 3D Scanner.

Jewelry Design. 3D Scanning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Algumas gemas encontradas em solo brasileiro.....	17
Figura 2 –	Tabelas de exportações de ouro e gemas preciosas em 2017..	18
Figura 3 –	Tarefas necessárias para a criação e confecção de uma joia...	19
Figura 4 –	Sequência de processos em uma joalheria pedrista	20
Figura 5 –	Elementos de uma gema lapidada	25
Figura 6 –	Rubis nos formatos oval e coração	26
Figura 7 –	Jóias com gemas do Brasil em lapidações não convencionais	27
Figura 8 –	“Boneca” da gema e gema original.....	28
Figura 9 –	Obtenção das medidas de uma gema com paquímetro digital..	30
Figura 10 –	Criação da gema em 3D.....	30
Figura 11 –	Possíveis usos de digitalizadores tridimensionais.....	31
Figura 12 –	Sistema odontológico Cerec OMNISCAN	33
Figura 13 –	Fotografia do sistema odontológico integrado da Sirona	33
Figura 14 –	Digitalização por fotogrametria e escaravelho egípcio	34
Figura 15 –	Taxonomia das tecnologias de captura 3D da forma.....	36
Figura 16 –	Padrões de luz estruturada projetados	37
Figura 17 –	Nuvem de pontos e malha poligonal da gema com lapidação em formato de coração	38
Figura 18 –	Escala dos objetos possíveis de digitalizar com luz estruturada	38
Figura 19 –	Posições da câmera indicadas em torno do objeto 3D.....	39
Figura 20 –	Escaravelho egípcio e processo de fotogrametria.....	40
Figura 21 –	Princípio da formação da imagem tomográfica	41
Figura 22 –	Digitalizador 3D de diamantes e proposição de lapidação	45
Figura 23 –	Fluxograma da tecnologia “3D Gemas” e relação entre etapas.	46
Figura 24 –	Modelo 3D de citrino (10 x 15 mm) do projeto “3D Gemas”	47
Figura 25 –	<i>Hombre murciélago</i> digitalizado a laser, fresado e fundido	47
Figura 26 –	Processo de confecção de molde de joia, em argila, para aplicação de gema preciosa e digitalização 3D do molde.....	48
Figura 27 –	Modelo em argila sendo digitalizado com alta precisão.....	49
Figura 28 –	B9 Scan 350 e modelo digitalizado em 3D	50
Figura 29 –	Padrões de “ <i>pierced jewellery</i> ”	51

Figura 30 –	Da esq.: turmalina verde, peridoto, granada, topázio azul, quartzo fumê e quartzo	55
Figura 31 –	<i>Scans</i> 2D do topo das gemas e medidas extremas.....	56
Figura 32 –	Criação semiautomática da gema no programa 3Design	56
Figura 33 –	Digitalizador 3D David SLS	58
Figura 34 –	Calibração com padrão adequado para objetos de até 20 mm..	59
Figura 35 –	Fluxograma do processo de digitalização	59
Figura 36 –	Digitalização com David SLS	60
Figura 37 –	Recobrimento com pó em <i>spray</i>	61
Figura 38 –	Gemas recobertas com solução de líquido corretivo e água	62
Figura 39 –	Moldes de silicone gerados a partir das gemas originais	62
Figura 40 –	Réplicas confeccionadas em gesso a partir dos moldes de silicone	63
Figura 41 –	Artefatos selecionados para exclusão, em vermelho	64
Figura 42 –	Sete <i>scans</i> da gema em formato de gota vistos do topo.....	64
Figura 43 –	Capturas 3D alinhadas automaticamente.....	65
Figura 44 –	Facetamento virtual com o “scanTo3D”	66
Figura 45 –	Processo de digitalização de anel de prata recoberto com tinta	66
Figura 46 –	Digitalizador 3D da Range Vision	67
Figura 47 –	Modelo em gesso sobre base com marcação	68
Figura 48 –	Microtomógrafo utilizado: Skyscan, da Bruker	69
Figura 49 –	Monitor com representação tomográfica e as quatro gemas alinhadas em base de isopor.....	69
Figura 50 –	Câmara do microtomógrafo com quatro gemas posicionadas ..	70
Figura 51 –	Modelo digitalizado com David (escuro) alinhado om modelo reconstruído no 3Design	74
Figura 52 –	<i>Scans</i> alinhados e fusionados com preenchimento automático da parte ausente	75
Figura 53 –	3D das gemas recobertas com tinta (vistas superior e inferior).	76
Figura 54 –	<i>Scans</i> de duas gemas elevadas com suporte	77
Figura 55 –	Alinhamento impreciso no rondiz	78
Figura 56 –	Detalhe das cavidades que facilitaram o alinhamento	78
Figura 57 –	Modelo 3D alinhado, antes e após fechamento com filtro	79

Figura 58 –	Comparação: <i>scans</i> da boneca e gema microtomografada.....	80
Figura 59 –	Gema convertida em arquivo editável .swg.....	81
Figura 60 –	Resultado da reconstrução por fotogrametria	82
Figura 61 –	Amostra de radiografias das duas gemas maiores agrupadas..	83
Figura 62 –	Modelos microtomografados (vista de topo e inferior)	84
Figura 63 –	Erros no modelo 3D obtido.....	84
Figura 64 –	Imagem 3D translúcida de nano tomógrafo e modelo .stl.....	85
Figura 65 –	Tabelas com relação dos volumes dos modelos 3D obtidos.....	86
Figura 66 –	Vista inferior do resultado das diferentes técnicas utilizadas.....	87
Figura 67 –	Processo de criação e fabricação de uma joia.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4Cs	<i>Cut, color, clarity and carat</i> , (4 características para avaliação de diamantes)
CAD	Desenho auxiliado por computador (Computer Aided-Design)
CAM	Manufatura auxiliada por computador (Computer-aided manufacturing)
CIBJO	Confederação Internacional da Joalheria, Ourivesaria, Diamantes, Pérolas e Pedras (<i>Confédération Internationale des Bijoutiers, Joailliers et Orfèvres, des Diamants, Pierres et. Perles</i>)
CPRM	Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
CT	Tomografia Computadorizada (<i>Computed tomography</i>)
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GIA	Instituto Gemológico da América (Gemological institute of america)
IBGM	Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos
MicroCT	Microtomografia Computadorizada (Micro computed tomography)
MME	Ministério de Minas e Energia
MRI	Ressonância Magnética por Imagem (Magnetic resonance imaging)
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
PET	Tomografia por Emissão de Pósitrons (Positron emission tomography)
RV	Range Vision - marca de digitalizador 3D
RAMP	<i>Rapid Acquisition of Manufactured Parts</i>
STL	<i>Standard Triangulation Language</i> ou a abreviação de estereolitografia

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	GEMAS E JOALHERIAS BRASILEIRAS	16
1.1	Processo de confecção de joias	18
1.2	Gemas: definições, termos e especificidades	22
1.3	Medição de gemas para joias	29
2	DIGITALIZAÇÃO 3D – REVISÃO DA LITERATURA	31
2.1	Principais vantagens de ter modelos digitalizados	35
2.2	Funcionamento de sistemas CAM e aplicação no design industrial	35
2.2.1	<u>Luz estruturada</u>	37
2.2.2	<u>Fotogrametria</u>	39
2.2.3	<u>Microtomografia</u>	41
2.3	Integração CAD e CAM na joalheria	42
2.4	Digitalização 3D de gemas e joias	44
2.4.1	<u>B9 Scan 350</u>	50
2.5	A engenharia reversa de joias com CAD/CAM	51
3	MÉTODOS E TÉCNICAS	54
3.1	Métodos com 3D	55
3.1.1	<u>Os objetos de estudo</u>	55
3.1.2	<u>Modelos construídos via modelagem 3D tradicional</u>	55
3.1.3	<u>Digitalização 3D por luz estruturada</u>	57
3.1.3.1	Iniciando com um objeto opaco	60
3.1.3.2	Modelos recobertos com pó/ <i>spray</i>	61
3.1.3.3	Modelos recobertos com tinta	61
3.1.3.4	Réplicas em gesso	62
3.1.3.5	O processo de digitalização e pós-digitalização.....	63
3.1.3.6	Experimentos subsequentes com anel.....	66
3.1.3.7	Segundo digitalizador 3D	67
3.1.4	<u>Digitalização por Fotogrametria</u>	67
3.1.5	<u>Digitalização por Microtomografia</u>	68
3.2	Entrevista exploratória com Modelistas 3D	70
4	RESULTADOS OBTIDOS	73
4.1	Resultados da captura 3D	73

4.1.1	<u>Modelos construídos por modelagem 3D tradicional</u>	73
4.1.2	<u>Modelos obtidos com luz estruturada</u>	74
4.1.2.1	Do recobrimento com pó/spray.....	75
4.1.2.2	Do recobrimento com tinta.....	76
4.1.2.3	Dos modelos em gesso.....	78
4.1.2.4	Utilização do segundo digitalizador 3D.....	79
4.1.3	<u>Experimentos com luz estruturada do anel e das réplicas (bonecas)</u>	79
4.1.4	<u>Do processamento em programas 3D</u>	80
4.1.4.1	Alinhamento no Meshlab.....	80
4.1.4.2	Facetamento da malha no Solidworks.....	81
4.1.5	<u>Modelo parcial obtido com fotogrametria</u>	82
4.1.6	<u>Modelos obtidos com microtomografia</u>	83
4.1.7	<u>Comparativo entre as técnicas de captura 3D</u>	85
4.2	A partir das entrevistas	88
4.2.1	<u>O setor joalheiro</u>	88
4.2.2	<u>Perfil do modelista 3D de joias</u>	90
4.2.3	<u>Processo atual de medição de gemas</u>	92
4.2.4	<u>Desafios de medição</u>	93
4.2.5	<u>Os programas de modelagem 3D</u>	97
4.2.6	<u>Digitalização 3D</u>	98
4.2.7	<u>Modelos digitalizados na lapidação</u>	101
4.2.8	<u>Modelos digitalizados na produção</u>	101
4.2.9	<u>Modelos digitalizados após a peça pronta</u>	102
4.2.10	<u>Outras possibilidades a partir dos modelos digitalizados em 3D</u>	103
5	TÓPICOS PARA DISCUSSÃO	105
	CONCLUSÕES	106
	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE - Modelo da entrevista	113
	ANEXO A – 4Cs que influenciam na valoração de diamantes e gemas	115
	ANEXO B – Anatomia de um diamante	116

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo apresentar um quadro das possibilidades de aplicação de tecnologias de digitalização 3D para o setor joalheiro. O foco principal é o uso de luz estruturada.

Para atingir o objetivo foram realizadas entrevistas, realizaram-se testes de escaneamento em gemas translúcidas, construíram-se modelos 3D virtuais e físicos. O principal intuito do estudo prático foi o de avaliar a precisão e riqueza de detalhes possíveis de serem capturados de gemas com áreas projetadas menores que 13 mm².

A pesquisa justifica-se em razão das exigências dimensionais que esse setor exige e na constatação de uma gama significativa de novas tecnologias que contribuem para uma melhor eficiência e eficácia no trabalho do design de joias.

INTRODUÇÃO

A utilização de modelos tridimensionais (3D) vem dinamizando cada vez mais os processos joalheiros. Muito já se ouve a respeito da utilização de técnicas da impressão 3D (“prototipagem rápida”), por deposição, aglutinação ou estereolitografia, entre outras, para confecção de ceras ou resinas para fundição de joias. No entanto, ainda é incomum usar a digitalização 3D como ferramenta na produção. Ouve-se que a peça ou gema foi “modelada em 3D”, mas não que foi “digitalizada em 3D”. Muito se fotografa hoje em dia, mas pouco se digitaliza em três dimensões. A incorporação desse tipo de tecnologia se faz necessária e será o objeto deste estudo.

A indústria brasileira não é reconhecida por investimentos em tecnologia de ponta e a FAPESP (2017) aponta que é latente a necessidade de adentrar a Indústria 4.0¹, aumentando o nível de automação e possibilitando novas formas de

¹ Termo usado pela primeira vez por Siegfried Dais e Henning Kagermann em projeto estratégico de alta tecnologia do Governo Alemão, na Hannover Messe, em 2012. A ideia era basicamente promover a informatização da manufatura.

organização dos sistemas de produção. Ademais, como identificado em dissertação acerca da digitalização 3D e padrões ergonômicos por Batista (2014), as tecnologias de captura 3D ainda vêm sendo aperfeiçoadas para atender a fins específicos inerentes a diferentes setores produtivos.

A digitalização de gemas preciosas lapidadas e de joias prontas padece com deficiências de tecnologia, não existe no mercado ferramenta capaz de digitalizar objetos que sofrem efeitos ópticos de refração e difração da luz, especialmente em se tratando de objetos pequenos que podem sofrer variação de dimensões com recobrimentos utilizados para objetos maiores. Além disso, como descrito por Meyer (2016), o maior empecilho para fazer a engenharia reversa de uma joia é a falta de integração entre diferentes sistemas e técnicas. Essa integração já pode ser vista em outras áreas, como na odontologia (MACIEL, 2015)

O Brasil é o maior produtor de ametistas, turmalinas e esmeraldas do mundo. O país exportou, em 2015, US\$ 166.481 milhões em gemas de cor e US\$ 2.701 milhões em diamantes. Comparando os dados das exportações de gemas brutas versus gemas processadas dos últimos anos, nota-se que as gemas em estado bruto correspondem à maior fatia. Não foram consideradas aqui o ouro em barras, fios, chapas e bulhões, que, sozinhos, somam 70 toneladas (IBGM, 2015). O país perde receitas cambiais, impostos e a indústria mantém-se defasada em termos tecnológicos. Enquanto algumas gemas chegam a decuplicar de valor quando processadas lá fora, o país permanece como grande exportador de pedras brutas. (BECKER, 2012)

A possibilidade de estudo e reprodução da forma aumenta o aproveitamento do material gemológico e, conseqüentemente, a gama de possibilidades de designs para os fabricantes de joias e produtos em pedras processadas. Esta é, portanto, uma necessidade de atualização de procedimentos que se apresenta imperativa.

Nesta pesquisa são apresentados testes feitos com cinco gemas de cor utilizando-se o digitalizador David SLS (por luz estruturada). Também foi considerada a utilização deste equipamento para auxiliar no design reverso de joias. Evita-se, assim, a possibilidade de as joias originais serem avariadas para a confecção de moldes, réplicas ou peças complementares, como um par de brincos, por exemplo.

Os resultados obtidos foram comparados com outras técnicas de reconstrução 3D, como a modelagem 3D e a partir das medidas obtidas com o

auxílio de paquímetro, técnica utilizada tradicionalmente (SANTOS, 2013). Também foram empregados outros equipamentos e métodos para avaliar possíveis diferenças, como a fotogrametria e a utilização de modelo distinto de digitalizador que também funciona por luz estruturada. Para garantir a fidelidade do modelo usado como base para comparações foi utilizado o modelo 3D das gemas obtido por microtomografia.

Os experimentos feitos nesta dissertação foram facilitados pelo conhecimento prévio da autora, pois atuante por dois anos na área de modelagem tridimensional e prototipagem de modelos em cera e em resina e, concomitantemente, com a utilização de impressora 3D. O conhecimento técnico adquirido foi significativo. Tal conhecimento prévio, em conjunto às técnicas e metodologias acadêmicas, proporcionaram a base para a elaboração dos principais conceitos que basearam esta Dissertação e as questões formuladas na Entrevista Exploratória (item 3.2), complementar aos testes empíricos.

Por meio da **Entrevista Exploratória** aplicada a modelistas 3D e atuantes em joalherias pedristas, analisou-se a maneira como são obtidas as medidas das gemas para confecção de joias, além das expectativas destes profissionais em relação à digitalização 3D de gemas para o setor joalheiro.

Dividido em seis capítulos principais, o trabalho apresenta inicialmente o contexto do processo de medição de uma gema para confecção de uma joia. Em seguida, a contextualização das principais nomenclaturas utilizadas mundialmente pelo setor, com atenção especial à tradução oficial dos termos, de acordo com o Livro Azul (2010), ou "*Blue Book*", livro de referência internacional. Além disso, foi trazido um panorama dos processos da joalheria e do trabalho do modelista 3D e do setor joalheiro no que tange à medição de gemas e as necessidades e possibilidades acerca da implementação da digitalização 3D.

No segundo capítulo é feito um **Levantamento da Literatura** que trata de algumas das tecnologias de captura 3D utilizadas para objetos com características similares aos de gemas lapidadas. São detalhados alguns casos de digitalização 3D de gemas e joias, incluindo casos de design reverso.

No terceiro capítulo são abordados os **Métodos e Técnicas** empregados na pesquisa com a análise detalhada dos procedimentos realizados para a digitalização de gemas de cor com digitalizadores de luz estruturada, além do trabalho de tratamento das malhas e a experimentação de outras técnicas de digitalização

(fotogrametria e microtomografia). Além da descrição da metodologia experimental usada, descreve-se, neste capítulo, os métodos adotados para a aplicação da entrevista exploratória para avaliar o impacto de um digitalizador 3D em joalherias.

No quarto capítulo são apresentados os **Resultados** das técnicas de digitalização por luz estruturada e sua comparação com as outras técnicas avaliadas. Além destes resultados experimentais, estão detalhados os resultados obtidos a partir da aplicação de entrevista exploratória realizada com os modelistas 3D de joias. Ao final, no quinto capítulo, os **Tópicos para Discussão Futura** e, em seguida, as **Conclusões**.

A pertinência do tema desta pesquisa se deve à grande riqueza mineral existente em nosso país e à elevada quantidade de gemas exportadas em estado bruto por empresas privadas. Percebe-se a oportunidade de aperfeiçoamento e adequação de uma tecnologia que já se encontra em outros setores do segmento industrial brasileiro. O mercado de joias possui grande potencial a ser explorado e há enorme possibilidade de geração de riqueza e avanço tecnológico.

1 GEMAS E JOALHERIAS BRASILEIRAS

Conforme informações do jornal Valor Econômico de 2018, o Brasil tem o maior parque industrial joalheiro da América Latina e é um dos 15 maiores produtores de joias em ouro do mundo. Possui um mercado dominado por pequenas empresas de origem familiar e designers independentes (DATT, 2018).

O apelo do produto brasileiro no exterior é crescente. A combinação de criatividade e design arrojado e inovador, com a utilização de pedras nativas coloridas (como a turmalina paraíba, a água marinha e a esmeralda) explicam a demanda. O desafio da internacionalização é grande, “o design é nosso principal diferencial”, explica o diretor do IBGM (Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos), Écio Moraes, ao Valor (DATT, 2018).

Apesar dos dados do setor por vezes se desencontrarem, foram considerados os números apresentados em relatório do IBGM de 2015 e as informações disponíveis no PreciousBrazil.com (2017). Os dados do relatório disponibilizados versam sobre o desempenho do Setor de Gemas, Joias e Metais Preciosos no país e no exterior. Conforme o relatório, o Brasil era considerado, em 2015, o 12º maior produtor de ouro do mundo e o 18º produtor de diamantes, sendo apenas o 46º em exportação de joias (US\$ 26.489 mil), 703 vezes menos que o valor exportado pela China. O principal destino das joias brasileiras são os Estados Unidos e Hong Kong/China, correspondendo a 60% do total exportado

Segundo dados do MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) apontados no PreciousBrazil (2017), as indústrias e o comércio ligados ao setor somaram 12.495 estabelecimentos em 2016, com 128.637 postos de trabalho. Na fabricação de joias são 12.812 trabalhadores formalizados no país. Já a mineração e o garimpo, sozinhos, apresentam 13.254 empregos formalizados. (IBGM, 2015)

É sabido que tecnologias que agilizam e otimizam o processo de confecção de joias geram resultados positivos quando utilizadas de forma complementar ao sistema clássico de fabricação. A forma de competir internacionalmente é incorporando altas tecnologias à produção (BATISTA, 2013). O setor de gemas e joias do país vem agregando novos valores através de processos, tecnologias de simulação e fabricação, visando inovação, diferenciação e inserção de mercadorias em um cenário de consumo cada vez mais exigente.

Ainda, de acordo com o PreciousBrazil.com (2018), o Brasil é conhecido internacionalmente pela diversidade e pela grande ocorrência de pedras preciosas em seu solo. O país é um dos principais produtores de esmeraldas e o único de topázio imperial, sendo mundialmente reconhecido pela qualidade das turmalinas paraíba. Recentemente, o país tem despontando na produção e exportação de diamantes, com a descoberta de uma mina na cidade de Nordestina, na Bahia.

Segundo o site da empresa pública Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM (2018), usando o maior preço médio por quilate (1 quilate = 200 mg) pago no mercado internacional, as dez gemas mais valiosas hoje são:

- 1º - Diamante (até US\$ 63.000 por quilate)
- 2º - Turmalina paraíba (até US\$ 15.000 por quilate)
- 3º, 4º - Rubi e safira (até US\$ 12.000 por quilate)
- 5º, 6º e 7º - Esmeralda, Opala-negra e Alexandrita (até US\$ 9.000 por quilate)
- 8º - Demantoide (até US\$ 5.000 por quilate) é uma rara granada verde
- 9º - Olho de gato (até US\$ 3.500 por quilate)
- 10º - Topázio imperial (até US\$ 2.000 por quilate), produzido apenas no Brasil.

Figura 1 – Algumas gemas encontradas em solo brasileiro.



Legenda: (a) diamantes antes e depois de lapidados (b) algumas variações de turmalinas: melancia e paraíba (c) topázios (d) alexandrita, apresentando variação de cor conforme a luz incidente.

Fontes: KunofDiamonds, Jochen Leen e Gia.

Como apenas uma fina camada do solo brasileiro foi explorada até hoje e os diamantes costumam se formar a 160km de profundidade e através do resfriamento do magma, é impossível calcular a quantidade de minerais preciosos inexplorados. A expectativa do MME (2016) era de que a produção de diamantes crescesse até dez vezes nos anos seguintes a 2016, pois ainda era o primeiro ano da exploração da primeira jazida de diamantes primários no município de Nordestina, na Bahia. Além disso, conforme reportagem do MME (2016), o Projeto Diamantes do Brasil, em execução pelo CPRM, tem revelado várias áreas com grandes possibilidades de se encontrar diamantes primários, inclusive, a grande maioria dos estados brasileiros possuem ocorrências prospectivas para diamantes.

Conforme a Figura 2, atualmente 10.261 toneladas são de gemas exportadas em bruto. Enquanto isso, apenas 01 tonelada de gemas beneficiadas (trabalhadas e aplicadas em joias) corresponde a 26% do faturamento do setor. Grande parte das gemas é exportada em estado bruto e que correspondem a US\$ 95.523 mil do total. Desde o estado bruto até o fim do processo de lapidação, a valorização de uma gema pode chegar a 1000%, ou seja, decuplicar. (BECKER, 2012). Assim como o ouro, gemas são utilizadas como reserva de valor.

Figura 2 - Tabela de exportações de ouro e gemas preciosas em 2017.

Ano de 2017	Volume (em US\$ mil)
Pedras em bruto	95.523
Pedras Lapidadas	117.726
Obras e Artefatos de Pedras	15.444
Joalheria/Ourivesaria/Metais preciosos	52.500
Ouro em Barras, Fios e Chapas	1.105.683
Bulhão Dourado	794.486
Produtos de Metais Preciosos para a indústria	113.140

Fonte: Adaptado de PreciousBrazil.com, 2017.

1.1 Processo de confecção de joias

A história da joia como adorno sempre andou em paralelo à história das civilizações, sua cultura, suas descobertas tecnológicas e de materiais. Na pré-história os dentes e conchas serviam como adorno. Após a descoberta de metais e pedras raras, esses passaram a ter tal função e serviam, ainda, para diferenciar os

grupos sociais. Como afirma a designer e professora de joalheria Santos (2013), “os tipos de adornos e a matéria prima usada [...] são, em geral, criados de acordo com a indumentária de cada época e da cultura local”. Pode-se dizer afirmar que os processos seguem a mesma lógica.

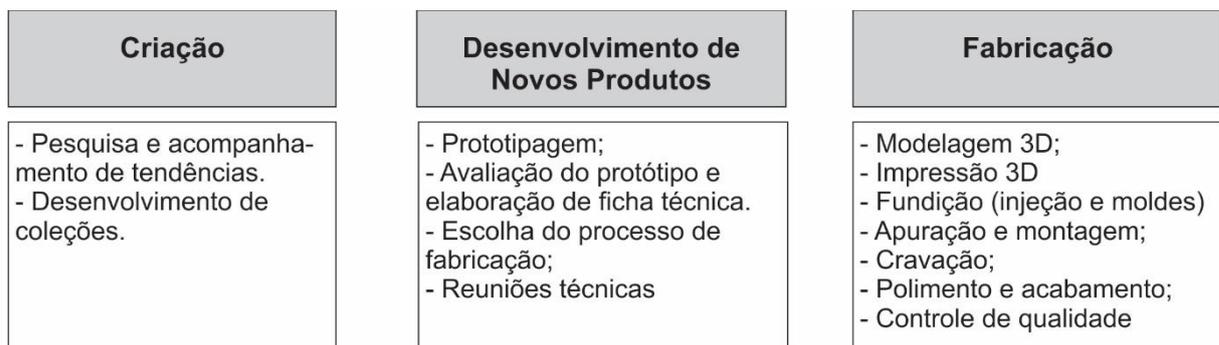
No início, uma joia era inteiramente confeccionada por um único profissional. Hoje, uma empresa joalheira é dividida em vários setores e de acordo com os tipos de trabalho. É natural que com o tempo tenham sido desenvolvidas técnicas e tecnologias facilitadoras para a produção joalheira, como exemplificado por Santos:

Novas máquinas e ferramentas foram criadas, novas lapidações para realçar mais o brilho das gemas foram desenvolvidas, além de lapidações livres e diferenciadas que começaram a fazer parte do design da peça. O aparecimento da prototipagem, bem como o uso do laser para soldagem, gravação e corte trouxeram facilidades nos processos de confecção de joias. (SANTOS, 2013)

Na **joalheria industrial**, por vezes, alguns processos são terceirizados, assim como na joalheria autoral. Porém, uma maior demanda amorteceria o investimento em mão de obra e em setores especializados.

A Figura 3 apresenta um diagrama dos processos de fabricação mais comum na confecção de uma joia. Antigamente, uma joia era feita por uma única pessoa responsável por todo o processo. Após o fordismo (divisão de tarefas), observou-se a setorização dos processos industriais presentes até hoje (BATISTA, 2013).

Figura 03 - Tarefas necessárias para a criação e confecção de uma joia.



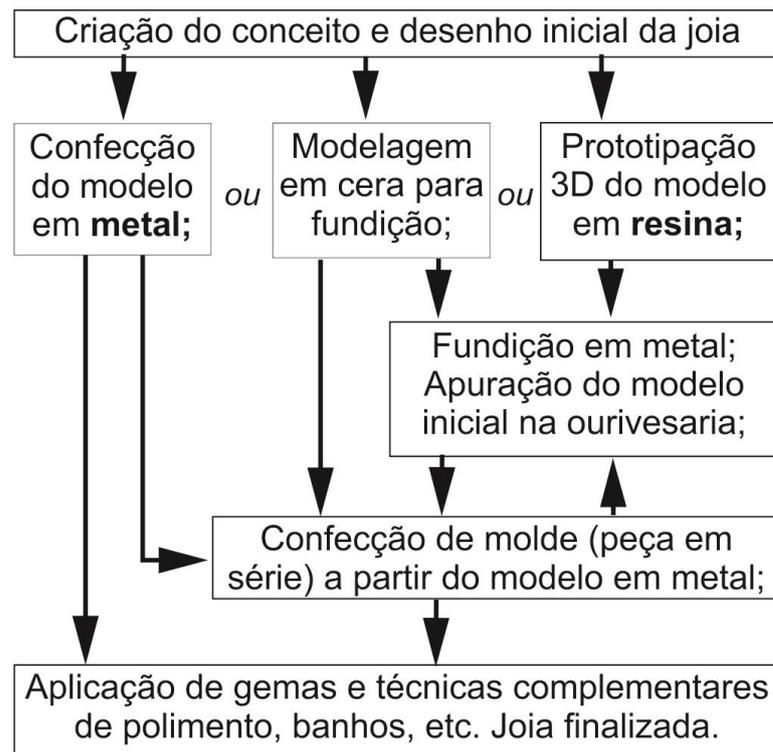
Fonte: Baseado em dados de SENAI, 2015.

O processo inicia com o desenvolvimento de uma joia/coleção pelo setor chamado de “Criação” ou “Design” e baseado em uma pesquisa temática e na escolha de insumos, tais como gemas e metais. Também são executados modelos

de testes em 3D e físicos, com materiais baratos, (papel, etc.), no intuito de visualizar as possibilidades e restrições de cada peça.

Santos (2013) apresenta a sequência detalhada dos processos de confecção de uma joia (Figura 4). São em torno de seis profissionais envolvidos desde a criação até o polimento da peça.

Figura 4 - Sequência de processos em uma joalheria pedrista.



Fonte: Adaptado de Santos, 2013.

Após a criação, a etapa seguinte é a produção. É nesse momento que é executada a estruturação técnica da joia, com as margens necessárias para a produção e o conforto ergonômico da peça. Essa etapa poderá ser executada direto na bancada pelos processos de ourivesaria ou, então, via molde em cera (modelagem), ou ainda pelo processo cada vez mais comum, a modelagem tridimensional ou “prototipagem rápida”. Se for decidido que a peça irá direto à bancada de ourivesaria, a etapa seguinte é a cravação de pedras ou confecção de moldes e polimento.

Para o caso de o projeto chegar à produção via setor de modelagem 3D, (também chamado de **prototipagem 3D**) os profissionais que fabricarão

virtualmente a peça, chamados também de **modelistas 3D**, construirão a forma final da joia que será prototipada/impressa em resina de fundição e posteriormente fundida.

Prototipar significa construir, ou no caso, “imprimir” os modelos construídos virtualmente na “modelagem 3D”. Os modelistas 3D, assim como o ourives, são os responsáveis pela construção tridimensional da joia com o auxílio de programas de computador específicos. Modelagem e prototipagem são conceitos diferentes.

Para que o processo de modelagem virtual ocorra de acordo com os padrões usuais de bancada é necessário seguir especificidades como limites de espessuras de chapa e fios, entre outras particularidades inerentes aos agregados (gemas, etc.). Tais informações geralmente são adquiridas junto a ourives, na análise de peças similares disponíveis nos arquivos reais ou virtuais da própria empresa ou via testes.

Não é incomum os modelistas 3D terem algum dos conhecimentos de bancada adquiridos via cursos ou estudos. Especialmente quando são utilizadas gemas, cada detalhe é de extrema importância, pois, como minerais, a ação de determinadas forças poderá causar danos. Quanto melhor executado esse trabalho, menor a quantidade de retrabalho e o custo com adequações e correções em etapas posteriores.

Após a impressão das peças modeladas em 3D, as resinas provenientes são fundidas pelo o processo conhecido como **fundição por cera perdida**. É nesse setor que costumam ser confeccionados os “moldes” poliméricos em silicone ou borracha. Os moldes servem para armazenar formas de partes das peças que podem ser replicadas sem a necessidade de adequação a uma gema específica ou tamanho de anel, por exemplo.

As resinas prototipadas costumam ser mais caras do que os modelos replicados em polímeros (geralmente silicone) por injeção. Além disso, um bom molde pode ser aproveitado diversas vezes.

É comum os modelos em resina serem impressos/prototipados por empresas terceirizadas especializadas e que dominam esse tipo de processo, pois possuem volume de trabalho. Tais empresas, em geral, ofertam todos os tipos de máquinas específicas para resinas de fundição, inclusive para outras áreas, tais como próteses odontológicas, arquitetura, etc.

Em alguns casos ocorre também de o modelo ser fundido em metal precioso e apurado por ourives atuantes na própria empresa de impressão ou fundição. O serviço varia conforme a necessidade e conhecimento do cliente.

O tempo também é outra variável relevante, já que se trata de um produto final com alto valor agregado feito por encomenda e prazos mínimos.

Após a **fundição** dos modelos o setor de ourivesaria faz, necessariamente, a limpeza da peça, chamada de “pré-polimento” ou “apuração”, etapa anterior à aplicação das gemas ou confecção de moldes. Após a “apuração” são cravadas as pedras e feitos os ajustes estéticos necessários, como aplicação de banhos de ródio, gravação de texturas, oxidação, esmaltação, etc. (SANTOS, 2013).

Todos os processos citados podem ser terceirizados, pois os equipamentos específicos e as técnicas empregadas demandam profissionais qualificados e, geralmente, com anos de prática na profissão. Dessa forma, a maioria das empresas joalheiras, afim de reduzir custos, opta por não imobilizar capital, aumentando a demanda por esses fornecedores. (SENAI, 2015)

Erros nos processos ou em peças são evitados ao máximo, pois os custos com retrabalho ou refundição são muito altos devido ao custo dos insumos. O metal nobre pode ser derretido e refundido. Contudo, é usual, aos joalheiros, optarem em retrabalhar as peças por outros processos, já que ao refundir peças em ouro, é preciso remover possíveis impurezas da liga e acertar suas proporções novamente e com a adição de metal puro (como “ouro fino”, por exemplo). E, ao refazê-lo, todo o trabalho anteriormente aplicado à peça, é descartado.

1.2 Gemas: definições, termos e especificidades

Diversos são os termos específicos à joalheria e constantemente surgem controvérsias a respeito deles e, portanto, aqui foram tomados como referência os termos adotados no meio joalheiro do Rio de Janeiro e corroborados pela análise dos termos oficiais apresentadas na edição atualizada do “Livro Azul”, tradução oficial do “*Blue Book*” lançado em 1968 pela CIBJO – *Confédération Internationale des Bijoutiers, Joailliers et Orfèvres, des Diamants, Pierres et Perles* ou “Confederação Internacional da Joalheria, Ourivesaria, Diamantes, Pérolas e

Pedras” (normalmente encurtado para a Confederação Internacional da Joalheria). A CIBJO é hoje a responsável por registrar as práticas comerciais aceitas, bem como a terminologia aplicável para a indústria por todo o mundo. Os registros destas práticas comerciais complementam a legislação comercial existente em cada país.

Importante ressaltar que a tradução para o idioma português do Brasil e português de Portugal foi realizada em uma parceria entre representantes membros da CIBJO desses dois países, a IBGM, no Brasil e a AIORN - Associação dos Industriais de Ourivesaria e Relojoaria do Norte (Portugal). A tradução oficial é importante para harmonizar as nomenclaturas decorrentes de interpretações e transmitir maior confiabilidade ao público consumidor. A iniciativa é voltada especialmente para as Cadeias Produtivas de Gemas e Joias no Brasil e em Portugal, mas também para outros países falantes do idioma português, como Moçambique e Angola, grandes produtores de gemas.

Conforme o Livro Azul, da CIBJO (2010) Gemas são “materiais inorgânicos naturais usados em joalheria e objetos decorativos, com a exceção dos metais”. Gema, do latim *gemma*, significa “pedra preciosa” e é o termo utilizado no setor joalheiro para se referir a pedras raras, de origem mineral ou orgânica. São exemplos de pedras as preciosas esmeraldas, rubis, rubelitas, turmalinas, citrinos, quartzos, pérolas, madrepérolas, opalas, dentre outros.

No presente trabalho o termo “gema” (e suas variações) são utilizados para referenciar os minerais que possuem composição gemológica diferentes da composição do diamante (que será tratado exclusivamente como “diamante”). Tanto “gema” e suas variações, como “gema de cor” e “gema preciosa”, quanto “pedra preciosa” são termos comuns de serem ouvidos para referenciar esses materiais no setor joalheiro e fora dele. O termo “semipreciosa” não é mais utilizado para se referir a gemas, pois conforme diz a CIBJO (1968) “anteriormente sinônimo de pedra não-rara. Atualmente é considerada uma expressão enganadora”. Conforme Diniz (2017) para a FOLHA.UOL, é sabido que “a pecha de ‘semipreciosa’ foi dada por empresários do hemisfério norte preocupados com as novas concorrentes das safiras e diamantes [época em que o Brasil começou a exportá-las]”.

Existem padrões de lapidação que seguem algumas medidas pré-estabelecidas, como 5x3, 6x4, 7x5, 7x9, 8x6, 9x11, 10x12, 10x14, 12x16, 13x18 e 15x20 milímetros. As gemas que se enquadram nesse tipo de padrão são chamadas, no meio joalheiro, de pedras ou gemas “calibradas”.

Os diamantes costumam ser lapidados seguindo esses calibres. Já as gemas “não-calibradas” são lapidadas a partir da definição dada pelo estudo do gemólogo ou lapidador que trará à tona a luz e brilho e com base nas características individuais vistas em cada gema.

É comum ouvir no meio joalheiro que não existem duas gemas iguais, pois o processo manual dependerá da interferência e decisão pessoal por parte de especialista. E cada pessoa analisará a gema com o olhar adquirido no afazer de suas experiências/meio.

Em se tratando de diamantes, quanto maior a perfeição geométrica, maior seu valor. Tal acurácia geométrica é conseguida a partir de um padrão de planos talhados denominado de lapidação brilhante.

Lapidação, de acordo com Santos, (2013) “é a técnica utilizada para modelar, facetar e polir uma gema”. Forma bruta, composição química, inclusões e mancha de concentração da cor são elementos que influenciarão na escolha do tamanho e formato de lapidação uma gema.

No caso dos diamantes, o padrão mais usual de lapidação é o estilo “brilhante redondo”, com 57 (ou 58) facetas, onde toda luz que entra na pedra é refletida voltando pela “mesa” da pedra gerando brilho e “fogo”. Por mesa/topo é conhecida a face de topo da pedra. A lapidação brilhante pode ser em formato redondo, oval, “navete”, “pera” (ou “gota”) ou de coração.

A lapidação brilhante é um tipo de lapidação facetada. As “facetas” são pequenos planos talhados de forma a permitir os efeitos ópticos de luz. Os exemplos de Lapidações Facetadas são: lapidação brilhante, lapidação 8 x 8, lapidação degrau e lapidação tesoura/cruzada.

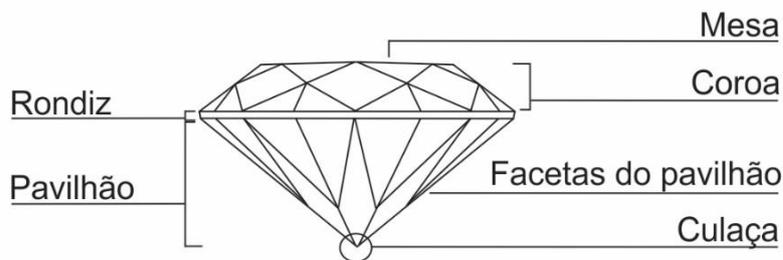
Além da Lapidação Facetada, também são comuns às gemas a lapidação lisa (em chapa, podendo ser redonda, quadrada, oval, etc); a lapidação cabochão (apresenta superfície côncava ou convexa com uma superfície plana); a lapidação esférica; e a lapidação mista/fantasia (combinação de vários estilos).

A geometria de uma gema tradicional apresenta alguns elementos básicos, que são característicos de vários formatos de lapidação. A lapidação mais comum é a lapidação brilhante (Figura 5), desenvolvida para acentuar as características naturais dos diamantes. A lapidação brilhante deve ter o “corte” perfeito, ou seja, ter perfeição geométrica. Esse é um dos “4Cs” que influenciam na sua valoração.

Os “4Cs” são uma convenção mundial que estabelece os requisitos de avaliação um diamante. São eles: *cut* (corte), *color* (cor), *clarity* (brilho) e *carat weight* (peso em quilates). Mais detalhes sobre os 4Cs no **Anexo 01** (GIA, 2017).

As gemas de cor (não os diamantes), 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 o melhor resultado estético possível a partir do ressalto composição química e estrutura natural de cada gema. “A geometria de cada pedra lapidada determina a maneira como os feixes de luz se comportam ao passar para o interior da pedra” (MOL, 2015).

Figura 5 - Elementos de uma gema lapidada.



Fonte: GIA, 2016.

Os efeitos ópticos chamados de “cor, fogo, brilho e luminescência” são decorrentes da interação da luz com a composição mineral (cor) e da geometria construída e inclusões da gema (que determinarão os efeitos de reflexão, refração ou dispersão). O fogo, por exemplo é um efeito de dispersão que, conforme Santos (2013), “ocorre quando um raio de luz passa por duas faces inclinadas de uma gema transparente e se divide nas cores espectrais”. Pode-se dizer que o diamante é uma pedra que possui muito “fogo”, pois apresenta tal característica.

O diamante é composto apenas por carbono, sendo considerado de origem natural e mineral, bem como a maioria das gemas utilizadas em joias. No entanto, as gemas também podem ser naturais e de origem orgânica (como a pérola, a madrepérola, o coral e o âmbar), sintéticas, artificiais, compostas, revestidas ou reconstituídas (SANTOS, 2013).

A composição de algumas gemas é similar entre si, variando apenas a quantidade de determinado elemento químico presente em seu interior. Quartzo, ametista e citrino provém de uma mesma formação rochosa e a análise para

lapidação é feita observando-se a concentração e localização da mancha de cor visível.

Da mesma forma, o topázio azul, a água marinha, a turmalina e a rubelita são, também, de um mesmo tipo de rocha. Assim, a forma de analisá-las é diferente das formações rochosas do quartzo. É feita a análise do cone de eixo para que não se misturem as cores. Observando-se uma turmalina ao longo do comprimento do seu eixo vêm-se cores escuras. Ao olhar lateralmente, a coloração sugere ser mais clara. Outras características influenciam na valoração das gemas e cada uma é analisada de acordo com suas características. Uma turmalina com tonalidade mais clara possui maior valor que uma mais escura. O inverso ocorre com as esmeraldas. Uma rubelita, que possui a mesma formação rochosa da turmalina, é considerada mais valiosa quando apresenta tonalidade similar à de um rubi.

Os rubis costumam ser lapidados em formatos ovais ou em forma de coração, mas as gemas não apresentarão cor ou formato iguais. Vide figura 6. Nota-se que, mesmo respeitando proporções tradicionais como a da lapidação oval, o número e a posição das facetas sofrem variações de uma gema para outra, o que torna cada gema única.

Figura 6 - Rubis nos formatos oval e coração.



Fonte: GIA, 2017.

As variações formais finais são consequência de escolhas do profissional de lapidação que pode optar por aumentar a profundidade da “cuaça” (*culet*), o tamanho da “mesa” (*table*), a altura do “pavilhão” (*pavilion*) e/ou a largura do “rondiz” (*girdle*).

Como as possibilidades de lapidação de gemas de cor são quase infinitas, optar por formatos mais orgânicos e com número diferente de faces ou mesmo superfícies lisas tornou-se estratégia de algumas empresas para incrementar suas peças, como é exemplificado nas lapidações não convencionais, vide Figura 7.

Figura 7 - Joias com gemas do Brasil em lapidações não convencionais.



Legenda: (a) esmeralda, (b) citrino, (c) turmalina paraíba e (d) quartzo.

Fonte: CICADA (2018), GIA (2018), LEEN (2018) e GIA (2018).

Já estão disponíveis no mercado alguns equipamentos específicos que fazem o cálculo de lapidação para determinados tipos de pedras de acordo com sua composição mineral. Cada tecnologia desenvolvida atende a um tipo de formação rochosa. O primeiro equipamento desse tipo teve os parâmetros desenvolvidos para estudo de diamantes, o segundo, voltado às esmeraldas.

A forma como é feita a lapidação influencia nas características de tonalidade e valor da gema. Como exemplo, uma esmeralda é mais valiosa se for mais escura e se tiver manchas negras internas chamadas “inclusões” visíveis. É raro encontrar duas gemas de mesma cor, tonalidade e formato de lapidação idêntico e, quando isso ocorre, há elevação de valor das duas (pois poderão ser usadas como par).

Como muitas gemas só tem o valor estimado após sua lapidação, os joalheiros perceberam, ao longo do tempo, que, ao manter tal setor (lapidação) sob estrito controle da empresa, resguardava-se o produto final. Há vários sistemas de controle em uma joalheria: códigos, peso, quantidade, etc. Se uma forma de segurança gerar incerteza, uma outra poderá confirmar a informação. Fazer desaparecer uma gema (ou peça), dentro de uma joalheria é quase impossível. Há mais de 50 anos é utilizada outra forma de segurança para o material gemológico que é o de substituí-lo por uma réplica até o final do processo de confecção da joia, o momento da cravação. Essas réplicas são conhecidas como “bonecas”, comumente produzidas em “pedras portuguesas” (basalto), material barato, resistente e de fácil aquisição. A confecção dessas réplicas (Figura 8) é realizada por meio de um processo de lapidação manual e onde são reproduzidas apenas as dimensões essenciais e que atenderão aos outros setores produtivos.

Figura 8 – “Boneca” da gema e gema original.



Fonte: A autora, 2018.

A **boneca** foi implementada nas joalherias para evitar que ocorram acidentes como “piques” (pequenos desgastes/quebras) ou arranhões no material gemológico original, pois a gema é vendida também por seu peso e, se relapida, perderá camadas finas que alterarão o peso e lapidação originais, desvalorizando-as. Não é incomum a gema retornar ao setor para adequação intencional a algum projeto e a fim de acentuar características. As réplicas são utilizadas para proteção das gemas de alto valor.

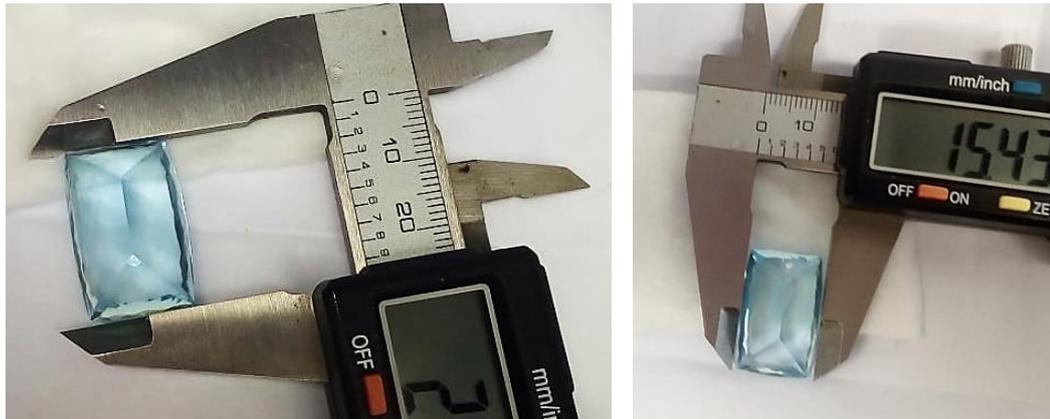
Um furto não passa despercebido, mas há a possibilidade de troca de uma gema por outra, falsificada. Existem falsificações quase perfeitas e, somente por meio da análise laboratorial, seria possível identificá-las. Uma outra forma, mais simples, de um lapidário ou gemólogo garantir a autenticidade de uma pedra seria o ato de conferir suas características específicas, como o eixo da gema, a cor específica e o peso (que varia conforme a formação gemológica. O topázio azul, por exemplo, é 30% mais pesado que uma água marinha). Entretanto, conferir a autenticidade de uma gema demanda tempo, conhecimento e experiência em gemologia, ainda mais por ser uma análise individual.

1.3 Medição de gemas para joias

Tradicionalmente, o processo de aferição de medidas de gemas com lapidações usuais é feito tomando-se as medidas extremas com precisão, pois realizado com o auxílio de paquímetro digital. As medidas básicas a serem tomadas são largura, comprimento e altura e variando conforme as necessidades de confecção da peça a ser modelada. A medida da parte inferior (culaça da gema) é apenas estimada (figura 9).

Essas medidas servem como parâmetro base para formar o contorno da gema. No caso de gemas com formatos orgânicos, como as de lapidação cabochão, não há como aferir suas medidas com precisão. Limita-se, assim, as formas a serem utilizadas de gemas aos padrões de lapidação mais comuns, tirando o valor que essas gemas poderiam ter se fossem lapidadas em outros formatos. Somente após a reconstrução 3D da gema é iniciada a modelagem da joia, impressa em resina para fundição.

Figura 9 – Obtenção das medidas de uma gema com paquímetro digital.



(a)

(b)



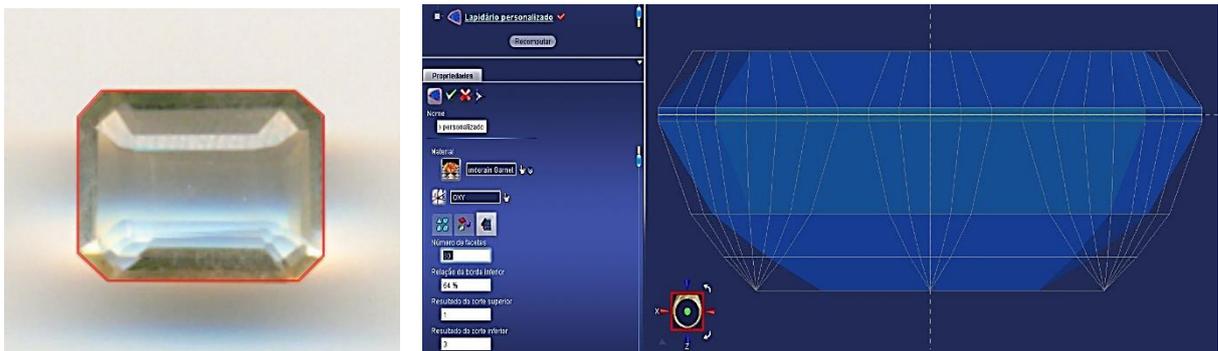
(c)

(d)

Legenda: Medição de (a) largura (b) comprimento (c) altura (d) culaça

Fonte: A autora, 2018.

Figura 10 – Criação da gema em 3D.



(a)

(b)

Legenda: (a) Criação da linha de contorno a partir da vista de topo (b) reconstrução da gema no programa específico, onde são inseridas as medidas extremas e de angulações aproximadas.

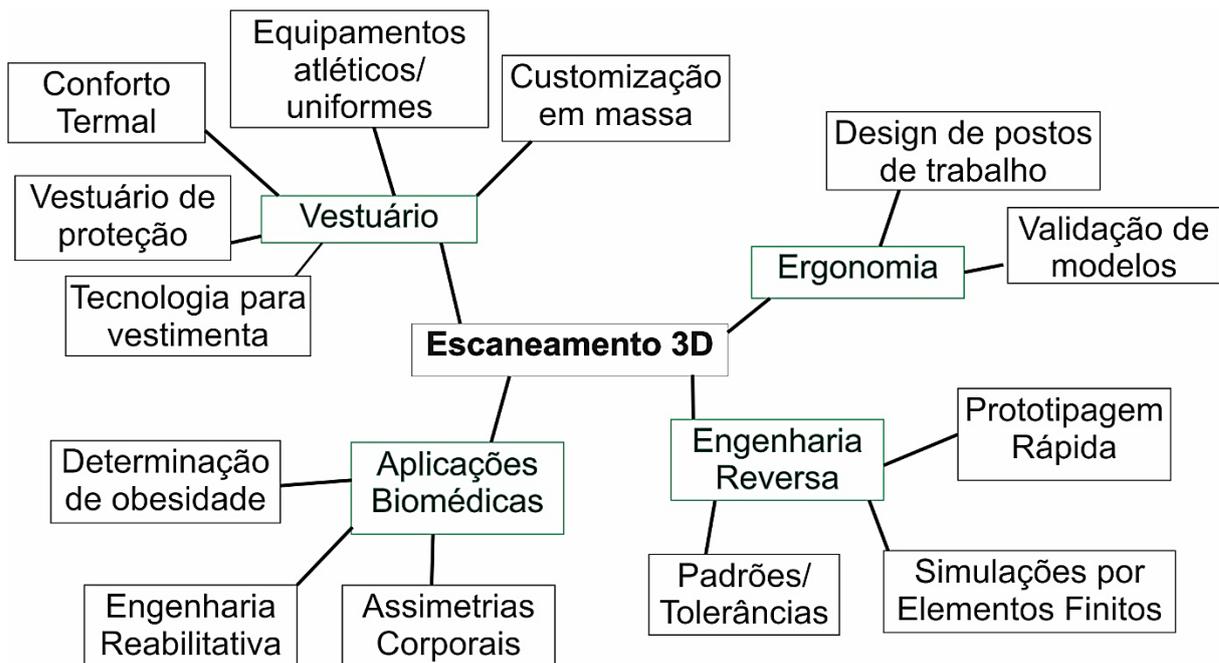
Fonte: A autora, 2018.

2. DIGITALIZAÇÃO 3D – REVISÃO DA LITERATURA

Um importante avanço na consolidação da digitalização tridimensional ocorreu no final da década de 1980, nos EUA, e através do projeto RAMP (*Rapid Acquisition of Manufactured Parts*), onde era necessário produzir rapidamente e com custo reduzido peças descontinuadas pela indústria normal e para suprir a demanda da marinha norte-americana (FONSECA, 2006). A digitalização tridimensional fora aprovada.

As possibilidades de utilização da digitalização ou escaneamento 3D são amplas e vem aumentando. Algumas delas são apresentadas no esquema proposto por Batista (2014), na Figura 11.

Figura 11 - Possíveis usos de digitalizadores tridimensionais.



Fonte: Adaptado de Batista, 2014.

Bernardini e Rushmeier (2002) apontam que sistemas de aquisição 3D estão mais populares em função dos avanços da capacidade de processamento dos computadores domésticos e da interface mais amigável desses equipamentos, permitindo que mais pessoas os utilizem.

Na **indústria pesada** é encontrada alta gama de utilizações. Conforme Wohlers (1992), os engenheiros utilizam digitalizadores 3D para engenharia reversa

de peças mecânicas e em processos industriais e com o objetivo de desenvolver moldes utilizados para a usinagem e fundição.

Especialistas em produção de **vídeo** digitalizam formatos inimagináveis para filmes de ficção, comerciais de TV, etc. E ainda, variedade de efeitos especiais notáveis.

Em **neurocirurgias**, no *St. Louis University Medical Center*, utilizam-se os dados gerados por um digitalizador 3D óptico (*Pixsys Firefly Electro*) mesclado aos dados de ressonância magnética (MRI) e tomografia por emissão de pósitrons (PET). O sistema montado permite ao cirurgião descobrir, em tempo real, a posição da pinça no interior da cabeça do paciente e com precisão superior a dois milímetros. Especialistas médicos utilizam digitalizadores 3D para digitalizar ossos e demais anatomias para fins de desenvolvimento de próteses e implantes (WOHLERS, 1992).

Outro exemplo apresentado por Wohlers (1992) é a utilização de um digitalizador *Digibot 3D* por um fabricante de aparelhos auditivos como meio para analisar de maneira otimizada o desenho da peça e aplicação de seus componentes eletrônicos, além do canal auditivo.

Já o segmento **odontológico** vem utilizando equipamentos sofisticados e capazes de capturar, em poucos minutos, a arcada dentária de um paciente e sem o uso da moldagem tradicional (massas) e o desconforto causado por esses procedimentos.

Como exemplificado na monografia de Maciel (2015), que versa sobre a comparação de sistemas CAD/CAM aplicados à área de odontologia, o uso das tecnologias CAD/CAM substitui, hoje, longos procedimentos odontológicos. A Figura 11 apresenta o CEREC Omnicam, um dos sistemas avaliados. Há outros sistemas similares, tais como: 3Shape, CEREC Bluecam e Lava C.O.S.

A câmera do aparelho digitalizador do sistema “Lava C.O.S” é composta por um sistema de múltiplas lentes e células de LED azuis que capturam variadas imagens em poucos segundos e calculam o modelo tridimensional virtual em tempo real (MACIEL,2015). Conforme quadro descritivo, os princípios de trabalho dos três sistemas analisados na pesquisa são feixes de luz (“luz azul”, “luz” e “luz azul pulsante”). O tipo de captura de imagem pode ser obtido em vídeo ou por múltiplas imagens.

Figura 12 – Sistema odontológico Cerec OMNICAM.



Fonte: SIRONA, 2017.

Foi acompanhado *in loco*, em consultório da zona sul do Rio de Janeiro, o funcionamento do sistema CEREC Ominicam. Em apenas uma consulta o paciente teve a área do dente digitalizada pelo cirurgião-dentista (em torno de 5 minutos), a sua reconstrução (em 2 minutos) por sistema semi automatizado e o bloco de cerâmica foi fresado no formato desejado (em 11 minutos). A etapa mais demorada foi a cura da cerâmica no forno adequado. Em seguida, o modelo em cerâmica foi aquecido em forno circular específico para curá-la. Em menos de 2 horas o modelo estava fixo na arcada do paciente.

Figura 13 – Fotografia do sistema odontológico integrado da Sirona.



Fonte: A autora, 2018.

Maciel (2015) destaca ainda 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 vantajosas frente às técnicas convencionais. Ainda, a qualidade da captura permite que as cores digitalizadas sejam utilizadas como referência para futuras reconstruções odontológicas dos pacientes.

Aos poucos, todos esses sistemas foram sendo evoluídos e se tornando mais compatíveis entre si. A integração de equipamentos de diversas marcas pode ser percebida na imagem apresentada pela 3Shape 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).

A **paleontologia** e a **arqueologia** têm se servido de diversas técnicas de reconstruções virtuais tridimensionais, quer na pesquisa como no ensino. Vários grandes trabalhos de preservação e estudo de grandes sítios têm sido executados, no mundo. Um exemplo é o Estudo Analítico das Joias de Ouro Egípcias da Idade do Bronze, um trabalho de grande porte e de parceria entre vários países europeus. Dentro desse trabalho foram publicados diversos artigos e, dentre eles, uma análise feita por MacDonald *et al* (2014). Nesse artigo é avaliada a utilização de técnicas de captura 3D para a reconstrução de escaravelho egípcio com parte em ouro.

Figura 14 – Digitalização por fotogrametria e escaravelho egípcio.



Fonte: MACDONALD *et al*, 2014.

Assim, também, vários museus pelo mundo buscam digitalizar parte de seus acervos com o intuito de preservar os exemplares originais, replicar peças para divulgação e exposições (especialmente as que exigem movimentação dos exemplares), estudar estruturas, etc.

2.1 Principais vantagens de ter modelos digitalizados em 3D

De maneira sintetizada, o site 3DSCANCO aponta as principais vantagens de digitalizar objetos físicos em três dimensões:

- Captura rápida das dimensões de qualquer objeto físico;
- Economia de tempo no trabalho de modelagem;
- Garantia de encaixe de peças na primeira tentativa, poupando tempo e materiais;
- Captura de mudanças decorrentes de processo fabril;
- Armazenamento de formas de peças originalmente fabricadas antes do CAD;
- Comparação de medidas físicas de objetos com seus desenhos técnicos.

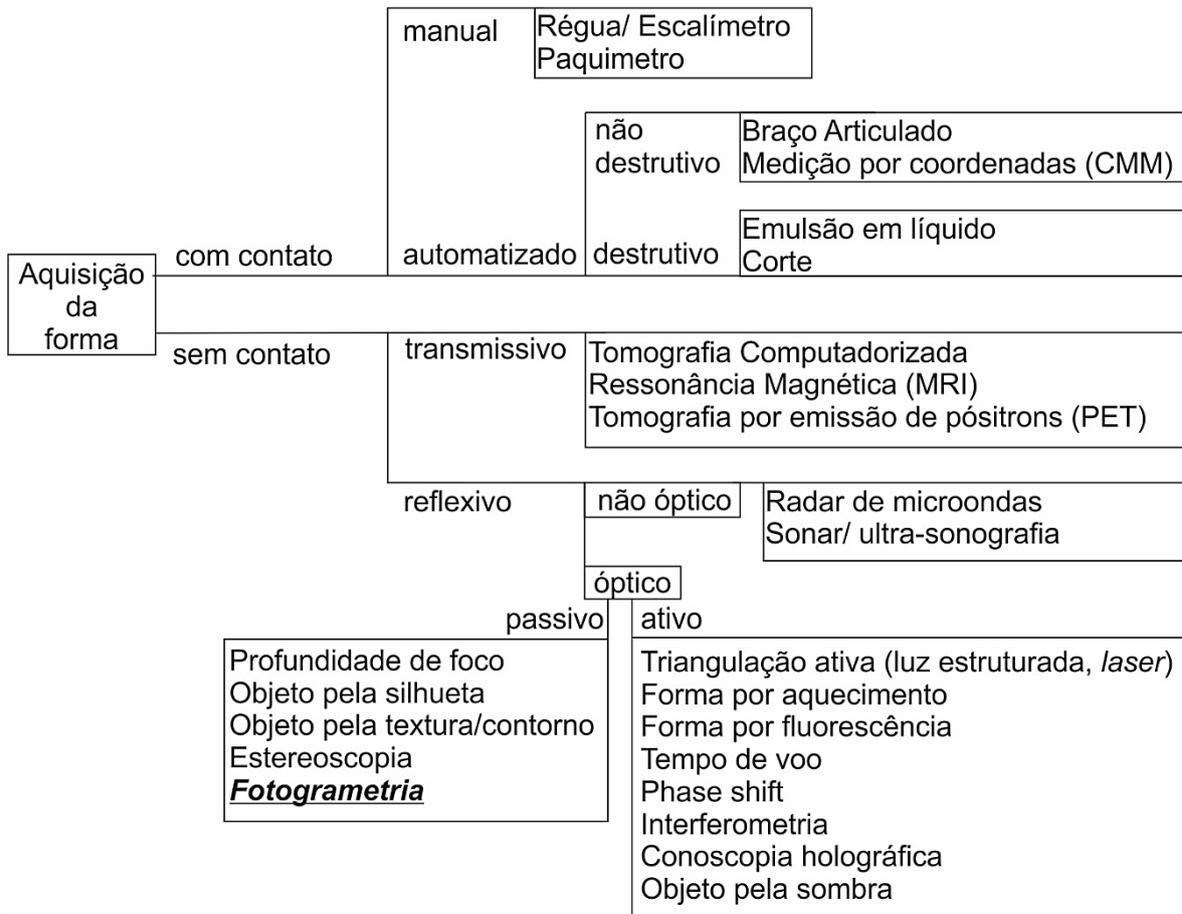
2.2 Funcionamento de sistemas CAM e aplicação no design industrial

Silva *et al.* (2010) explicam que os processos de digitalização 3D podem ser divididos em: sistemas com contato e sistemas sem contato. Entre os digitalizadores sem contato, por medição de coordenadas (x, y, z), podemos citar triangulação por laser, por cores, fotogrametria por fotografias digitalizadas, radar laser, tomografia, tunelamento, luz infravermelha com sensor linear e sensor conoscópico a laser.

Os processos de digitalização 3D sem contato são divididos em outros dois grupos: Métodos passivos utilizam parâmetros como foco, textura, movimento; já os métodos ativos utilizam luz, textura e padrões projetados sobre o artefato original a fim de captar a forma tridimensional.

Batista (2012) apresenta, em sua dissertação de mestrado, o detalhamento das tecnologias, conforme apresentado na figura 15.

Figura 15 - Taxonomia das tecnologias de captura 3D da forma.



Fonte: Adaptado de BATISTA (2014, p.50)

Os digitalizadores a laser e por luz estruturada realizam o cálculo das coordenadas XYZ através da triangulação. O que varia entre os dois sistemas é o tipo de luz emitida pelo sensor e a forma como é capturada. Ambos são considerados de curto alcance, ou seja, sua distância focal é menor que um metro (BATISTA, 2014).

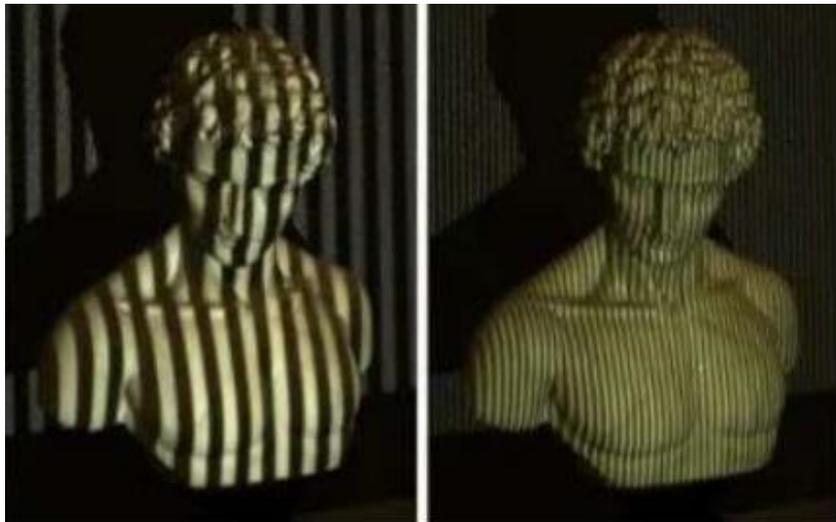
De acordo com Batista (2014), os digitalizadores 3D por triangulação óptica possuem dificuldade em capturar a forma de objetos compostos por materiais reflexivos ou transparentes, pois geram desconformidades nas malhas poligonais obtidas.

A seguir serão detalhados os três tipos de tecnologia empregados pelos digitalizadores que foram utilizados no estudo para esta dissertação: luz estruturada, fotogrametria e microtomografia.

2.2.1 Luz estruturada

A triangulação por luz estruturada funciona pela estimativa das coordenadas pertinentes à forma e obtida via padrões geométricos de luz branca conhecidos. Esses padrões são projetados sobre o objeto e capturados pelo equipamento já previamente calibrado. A câmera faz a captura da borda das linhas e calcula suas coordenada XYZ (3DSCANCO, 2018). A Figura 16 apresenta exemplos desses padrões projetados.

Figura 16 - Padrões de luz estruturada projetados.



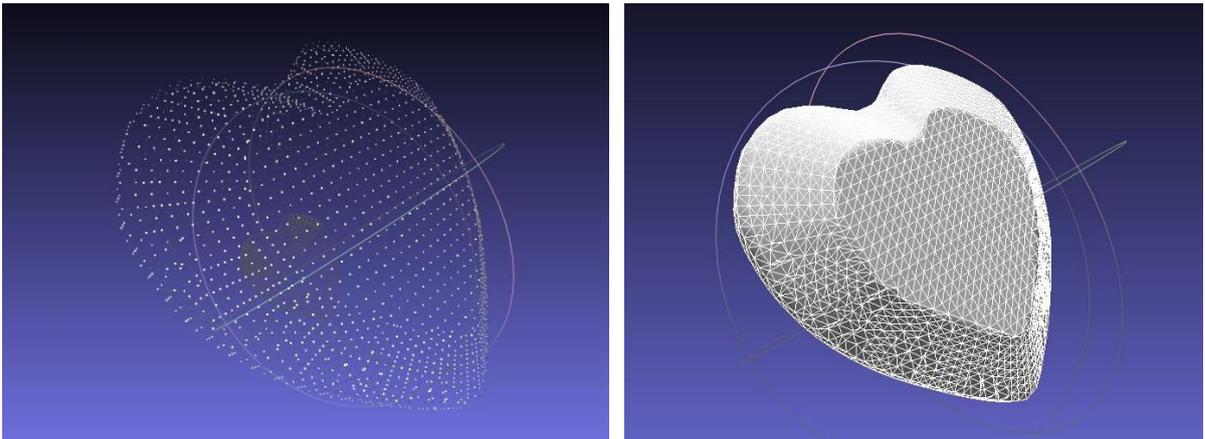
Fonte: Gabriel Taubin e Douglas Lanman².

São feitas capturas de vários ângulos do objeto cuidando para que haja áreas de sobreposição para facilitar o alinhamento. As coordenadas, representadas por pontos, geram uma nuvem de pontos (*point cloud*) que será convertida em malha de polígonos ou triângulos (*poligonal meshes*). Essas malhas são a representação das superfícies do objeto digitalizado (Figura 17).

A densidade das nuvens de pontos geradas varia conforme a quantidade de pontos (coordenadas) capturados. Quanto mais fino o padrão projetado sobre o objeto, maior será a precisão e o número de pontos calculados. (KIRCHDÖRFER; RUPP, 2005 *apud* BATISTA, 2015).

² Disponível em: < <http://mesh.brown.edu/3DPGP-2009/homework/hw2/hw2.html>>. Acesso em 20 mar. 2018

Figura 17 – Nuvem de pontos e malha poligonal da gema com lapidação em formato de coração.



Fonte: A autora, 2018.

A recomendação de MOTLEY (2017) de tamanhos adequados para serem digitalizados com a luz estruturada varia entre 1 centímetro e 3 metros. A figura 18 ilustra os artefatos que podem ser considerados como referência de tamanho em uma escala entre pequeno, médio e grande.

Figura 18 – Escala dos objetos possíveis de digitalizar com luz estruturada.



(a)

(b)

(c)

Legenda: (a) Pequeno: Parafuso; (b) Médio: Pessoa; (c) Grande: Monumento

Fonte: MOTLEY (para o Gomesure3Dblog), 2017.

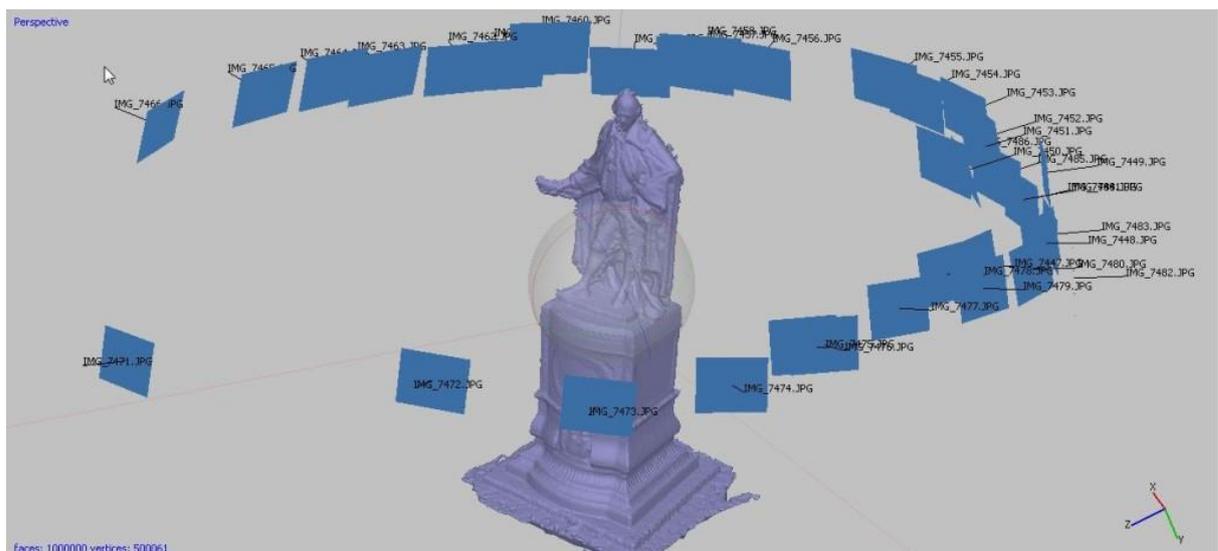
A empresa ARTEC (2012) apud Batista (2014), aponta que a vantagem da luz estruturada para o laser é que "a superfície da textura gerada pela luz estruturada tem melhor aparência em comparação à gerada pelo equipamento laser". É fato, mas quando utilizada para capturar cores, sua desvantagem surge em função da luz ambiente conflitar com a luz emitida pelo digitalizador, embaralhando a captura dos dados. (WESCHELER, 2012 apud BATISTA, 2014).

2.2.2 Fotogrametria

A reconstrução 3D feita pela fotogrametria se baseia em pontos físicos ou coordenadas que podem ser apontadas, manualmente ou automaticamente, através de fotografias sequenciais sob vários ângulos diferentes e com o auxílio de marcadores (que não são obrigatórios nos sistemas mais recentes). “As estimativas das coordenadas 3D são determinadas por algoritmos específicos que determinam a correspondência entre os pontos nas diferentes imagens.” (SILVA, 2011).

Alguns exemplos de programas que fazem a reconstrução via esse processo dão: PhotoScan da Agisoft (Figura 19), 3D Som, 123D Catch e 3D Flow Zephyr.

Figura 19 – Posições da câmera indicadas em torno do objeto 3D.



Fonte: TRIPLETT³, 2018.

³ Disponível em: <<http://www.edwardtriplett.com>> Acesso em: 14 jun de 2018.

A fotogrametria é frequentemente empregada junto a outras tecnologias de digitalização 3D com o objetivo de fornecer medições de superfície completas das peças e também em trabalhos de campo (3DSCANCO, 2018).

Uma parceria entre instituições de pesquisa da França e do Reino Unido gerou um projeto chamado *Analytical Study of Bronze Age Egyptian Gold Jewellery* (Estudo analítico das joias de ouro egípcias da Idade do Bronze - tradução nossa). Dentro desse projeto foi feito um estudo analisando três técnicas diferentes de captura tridimensional para visualizar marcas de ferramentas de ourivesaria em um escaravelho egípcio e com uma parte de ouro: a fotogrametria, a estéreo fotogrametria e a digitalização colorida 3D a laser. No estudo com fotogrametria, Mac Donald *et al* (2014), detalham que foram obtidas em torno de 80 fotografias com várias “cenas” (devido às reentrâncias da peça) e utilizando-se de uma máquina fotográfica da Nikon (D3200 + lente macro 105 mm); os programas utilizados para suavização da malha foram o Bundler e o PMVC-CMVS.

Figura 20 - Escaravelho egípcio e processo de fotogrametria.



Legenda: (a) Modelo na mão de pesquisador (b) No meio de marcadores espaciais. (c) 3D gerado.

Fonte: MACDONALD *et al*, 2014.

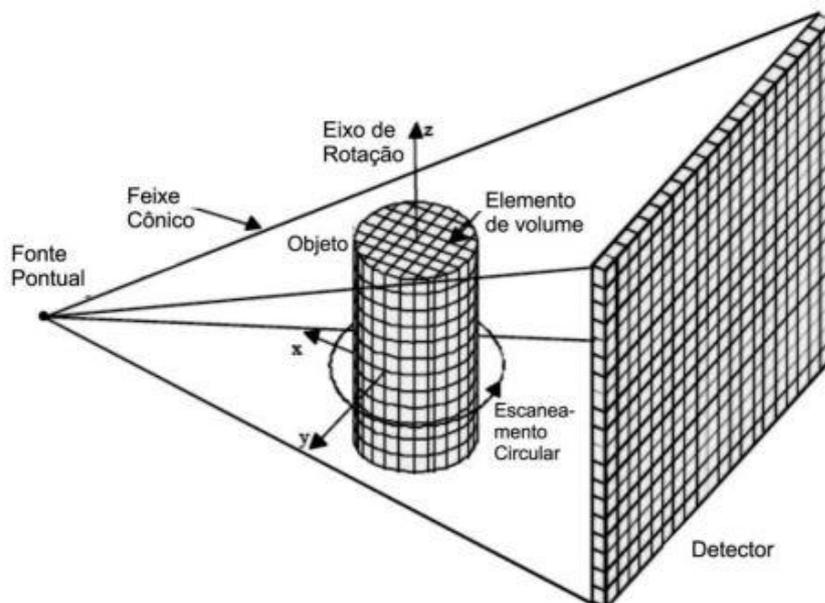
O artigo resultante (Mac Donald *et al*, 2014) apontou que o modelo 3D gerado por fotogrametria apresenta melhor detalhamento cromático (preservação das cores originais) em relação ao modelo obtido com o digitalizador a laser. No entanto, enfatiza que o laser conseguiu capturar com maior precisão as marcas das ferramentas.

2.2.3 Microtomografia

Novas técnicas vêm sendo disponibilizadas para a comunidade científica têm sido aplicadas em diversas áreas da ciência, até na visualização tridimensional da morfologia de insetos, com alta resolução (Souza, 2017). A microtomografia computadorizada (microCT) é uma técnica não invasiva e não destrutiva que permite a análise de microestruturas e microarquiteturas dos mais diversos materiais e tecidos.

Na microtomografia a amostra a ser estudada é posicionada entre uma fonte de raios X de feixe cônico associada a placas que capturas as imagens (detector bidimensional). Por meio da rotação da base do objeto, ou do emissor e placas, são registradas imagens transversais, em ângulos diferentes (Figura 21). As imagens alinhadas por programa específico permitem a visualização tridimensional da amostra, permitindo a análise de volume, porosidade da amostra, etc.

Figura 21 - Princípio da formação da imagem tomográfica



Fonte: MACHADO (2012).

É um método frequentemente utilizado na medicina e na biologia especialmente para auxiliar em diagnósticos de doenças e para analisar o interior de estruturas biológicas para uma melhor compreensão de sua função e evolução.

No estudo de Souza (2017), foi utilizado um microtomógrafo convencional de bancada para comparar diferenças estruturais da faringe e traqueia do mosquito *Rhodnius prolixus*, considerado um dos principais insetos vetores do *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico da Doença de Chagas. Tradicionalmente, as estruturas internas desses organismos são acessadas através da dissecação ou secção. Portanto, [a micro tomografia é] uma técnica não destrutiva que permita análises da estrutura de um organismo [...] (SOUZA, 2017).

O equipamento pode ser utilizado para outras finalidades como a análise de materiais e minerais, da melhor liga metálica ou da melhor técnica para alterar a qualidade de determinados alimentos. (SOUZA, 2017).

2.3 Integração CAD e CAM na joalheria

Segundo Batista (2013), a partir dos anos de 1980, os softwares CAD (do inglês *Computer Aided Design*) tem sido a ferramenta mais utilizada nas representações gráficas, pois possibilitam maior precisão, rapidez e facilidade de comunicação entre os diversos setores produtivos.

Como exposto por Scagliusi (2015), o primeiro formato de sistema CAD a ser trabalhado foi o STL (do inglês *Standard Triangulation Language*), escolhido por projetistas como formato neutro entre os programas para alimentar máquinas de estereolitografia (impressão 3D). O arquivo com extensão STL guarda o contorno externo do objeto em forma de superfície composta por triângulos ou polígonos criando uma malha triangular ou poligonal também conhecida por “malha” (ou *mesh*). Em programas que operam por malhas há a possibilidade de esculpir uma peça virtualmente, como um ourives ou escultor no plano real.

Programas que operam por malhas não possibilitam gerar relações de interdependência entre os elementos, como no caso dos softwares de desenho auxiliado por algoritmos (AAD - *Algorithm-Aided Design*). Programas AAD são conhecidos como paramétricos, eles mantêm os padrões de interdependência, reduzindo ou aumentando proporcionalmente determinados elementos conectados ao se alterar uma medida.

A escolha do programa para joalheria varia conforme o tipo de peça a ser construído. Se há necessidade de encaixe ou se a peça apresenta grande quantidade de padrões, como pedras cravadas. E, ainda, se a preparação dessas furações já é feita no modelo impresso em resina.

Batista (2013) afirma que “O Rhinoceros⁴ instalado em conjunto com os *plug-ins* RhinoGold⁵ ou Flamingo 3D, o JewelCAD e o 3D Max são exemplos de softwares CAD específicos para modelagem 3D digital de joias”. O Rhinoceros é um programa de fácil assimilação e é ensinado em faculdades de Design (modelagem 3D básica).

O formato padrão de saída dos arquivos de Rhinoceros é o .3dm, mas ele permite que os projetos sejam exportados em diversos formatos, incluindo o STL. Inclusive, um dos fatores de sua popularidade é a vasta gama de opções de importação e exportação de que dispõe, atuando como um "conversor" universal e preenchendo lacunas entre diferentes programas utilizados no processo de desenvolvimento de um projeto. O RhinoGold é o *plug-in* que oferece várias configurações de padrões comuns na joalheria: bibliotecas de caixas de pedra, de grifas, de gemas, de texturas, etc.

Outro programa específico para a joalheria é o 3Design⁶, paramétrico e com preço inferior ao Matrix, também específico, porém não paramétrico. O Matrix, da Gemvision, opera em plataforma similar ao Rhinoceros, mas não é tão popular por ser destinado apenas à joalheria.

Programas como Geomagic Studio (para Solidworks), facilitam a reconstrução de peças com nuvens de pontos de superfícies bem delimitadas, como peças mecânicas. Já as gemas apresentam um nível de complexidade diferente.

Independentemente do programa, a habilidade e conhecimento do modelista em medidas de ourivesaria (como margens de apuração da peça fundida) são também importantes para execução de modelos para a prototipagem. Ainda, deve-se considerar o estilo do ourives, de “mão mais leve” ou “pesada”, fator que influenciará no resultado final da peça.

⁴ Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/>>

⁵ Disponível em: <<https://www.tdmsolutions.com/rhinogold/>>

⁶ Disponível em: <<http://www.3design.com/>>

2.4 Digitalização 3D de gemas e joias

Cada vez mais as tecnologias se tornam específicas para a resolução de problemas, em quaisquer áreas. Portanto, os segmentos que possuem maior investimento em pesquisa terão processos tecnológicos mais desenvolvidos.

A quantidade de pesquisas na área da joalheria é reduzida, especialmente pela valorização do trabalho artesanal do ourives, em detrimento das tecnologias de prototipagem. Muitas empresas nem gostam de divulgar que fazem uso de tecnologias, alegam a possibilidade da perda de clientes que valorizam o trabalho “completamente artesanal”. Isso acaba sendo um entrave para o desenvolvimento de novos processos e sistemas.

Eventuais malhas digitalizadas não possuem, sequer, um programa adaptado com as ferramentas específicos de joalheria como destino.

Como descrito por Souza (2010), ainda não é comum utilizar a digitalização 3D na área da joalheria, com exceção da análise de gemas brutas:

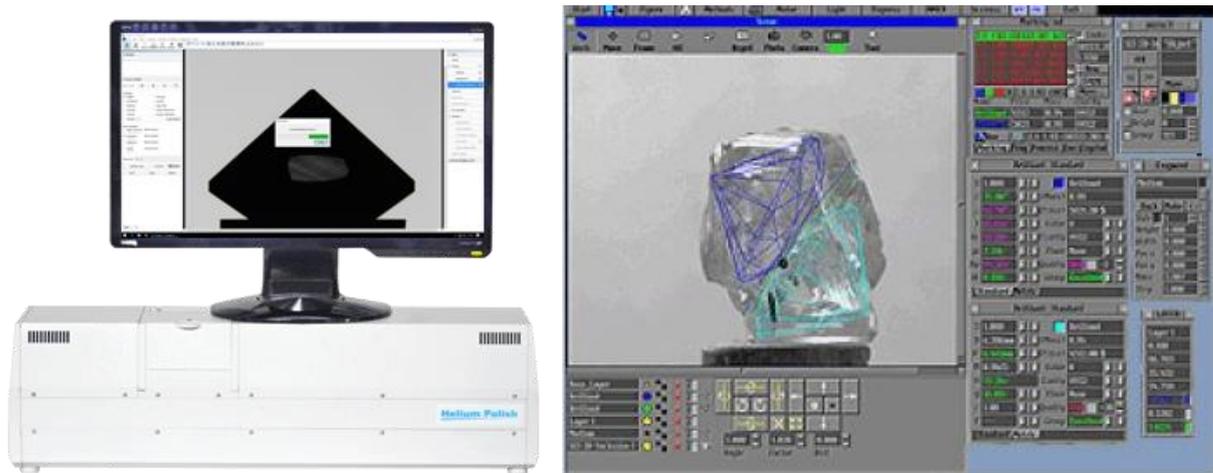
No setor de gemas e joias a digitalização tridimensional é utilizada em escala comercial apenas para análises de diamantes. O estudo em relação às suas potencialidades ainda é recente, tendo essa tecnologia muito a oferecer nas diversas áreas. (SOUZA, 2010)

"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." (SILVA *et al*, 2010).

A visualização em 3D permite a observação da peça sob vários ângulos, também, sendo possível reduzir e ampliar para perceber os detalhes. Torna-se possível fazer simulações de peças antes de estarem finalizadas (BATISTA, 2013). A digitalização 3D é a ferramenta que torna possível transpor a representação real para o meio digital.

Os maiores investimentos em 3D são efetuados na área de lapidação de diamantes. Uma tecnologia já difundida é o digitalizador 3D da marca Helium Polish-HPO, utilizado para a lapidação de diamantes (Figura 22). Conforme a LEXUS (2018), empresa fabricante, o sistema avalia a composição física e química do mineral e a análise comparativa de lapidações com o diamante bruto, se com mais quilates ou maior quantidade de gemas de menor tamanho e de melhor qualidade.

Figura 22 – Digitalizador 3D de diamantes e proposição de lapidação.



Fonte: LEXUS, 2018.

Em exemplares já lapidados o equipamento serve para analisar a qualidade da lapidação, a angulação das facetas, a centralização da culaça (ponto de interseção das arestas na parte inferior da gema) e simetria da peça. Os diamantes são minerais opacos e suas cores são geradas a partir dos efeitos ópticos da interação com a luz.

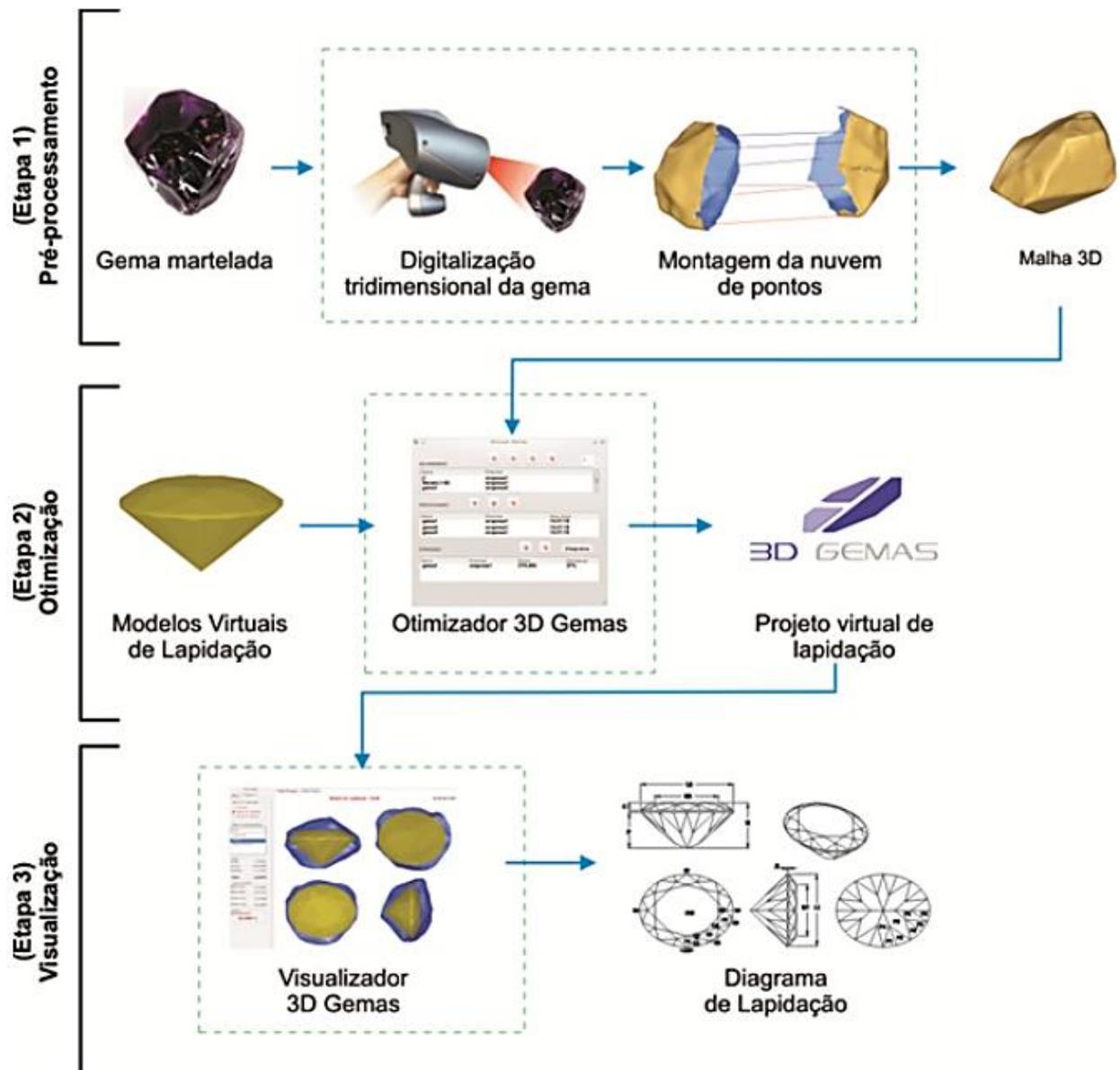
Um exemplo de projeto brasileiro que trata da digitalização 3D de pedras iniciou-se em 2007, o problema do baixo valor agregado às gemas comercializadas no “Polo de Gemas e Joias do Vale Taquari e Soledade”, no Rio Grande do Sul. Notou-se que esse era um dos gargalos para o desenvolvimento e consolidação desse grupo e região. Foi assim, por intermédio da mobilização de diversas empresas e universidades que surgiu, em 2009, o programa de CAD “3D Gemas” um programa de apoio aos projetos de lapidação, coordenado pelo SEBRAE-RS e cujo objetivo era o de maximizar o aproveitamento volumétrico das gemas.

O programa permite visualizar em uma mesma gema dois modelos de lapidação idênticos, porém menores, ao invés de apenas um. É o chamado “módulo de otimização com aproveitamento múltiplo”.

Parte do estudo gerou a dissertação de Souza (2010), onde são detalhados alguns dos procedimentos e métodos adotados. Foram realizados ensaios com a utilização do digitalizador manual a laser RevScan e o programa VxScan para processamento das capturas 3D. Os dados foram exportados na extensão TXT, “TXT, que é um arquivo de texto com a coordenada de cada ponto X, Y e Z” (SOUZA, 2010).

As gemas digitalizadas eram citrinos e ametistas em estado bruto, de dimensões em entre 10 mm e 15 mm. Para obter maior fidedignidade à gema original, Souza indica fazer a digitalização 3D a laser por três ângulos e para que o programa reconheça superfícies comuns mais facilmente. Para o tratamento dos dados e validação das malhas foi utilizado o programa 3D Reshaper. A Figura 23 detalha a integração entre as etapas.

Figura 23 – Fluxograma da tecnologia “3D Gemas” e a relação entre etapas.



Fonte: Site institucional do 3DGEMAS⁷.

⁷ Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~3dgemas/>>

Já a Figura 24 exemplifica as três fases dos testes realizados: a amostra bruta da gema citrino, o modelo digitalizado em 3D a laser e a malha com a aplicação de filtros e reduzida.

Figura 24 – Modelo 3D de citrino (10 x 15 mm) do projeto 3D Gemas.



Fonte: SOUZA, 2010.

Pohlmann *et al* (2014) publicaram um artigo baseado na dissertação do mesmo (POHLMANN, 2013), na qual o autor sugere a digitalização tridimensional a laser para executar comparação entre as etapas de produção de peças metálicas. O artigo apresenta como parâmetro a análise quantitativa dos erros dimensionais na etapa de produção dos moldes de silicone.

Em estudo realizado por Pohlmann *et. al.* (2013), a microfusão (fundição por era perdida) foi avaliada quanto aos erros dimensionais ocorridos ao longo das etapas que abrangem este processo. Para tanto, a réplica do *hombre murciélago* (peça pré-colombiana que integra o acervo do Museu do Ouro, em Bogotá, na Colômbia) foi digitalizada (Figura 25a), reproduzida por fresamento em cera (Figura 25b) e o modelo foi submetido ao processo de microfusão (Figura 25c).

Figura 25 – *Hombre marciélago* digitalizado a laser, fresado e fundido.



Legenda: Modelo virtual (a), modelo usinado em cera (b), modelo final em metal (c).

Fonte: POHLMANN (2013).

A joalheria russa Mousson publicou um vídeo na página virtual da empresa demonstrando que, já em 2014, utilizava a tecnologia de digitalização por luz estruturada como forma complementar à produção. Algumas capturas de tela apresentadas aqui detalham o processo. Conforme o vídeo, inicialmente é escolhida a gema que será utilizada, nesse caso uma opala branca. Após, procede-se o desenho no papel para o encaixe da gema escolhida. Então é feita uma modelagem em material similar a argila da peça em tamanho real (Figura 26) para posterior digitalização 3D, reconstrução do modelo virtual e por fim, adequações pertinentes à forma e estética da joia.

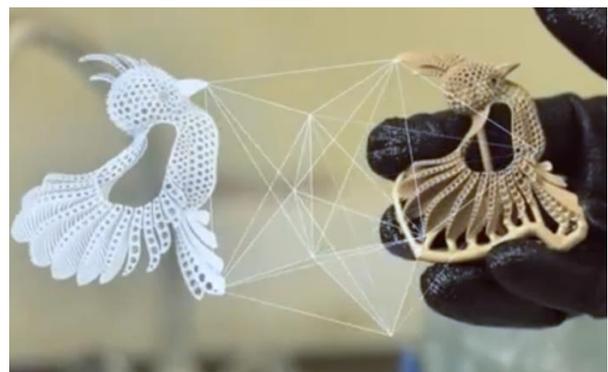
Figura 26 – Processo de confecção de molde de joia, em argila, para aplicação de gema preciosa e digitalização 3D do molde.



(a)



(b)



(c)

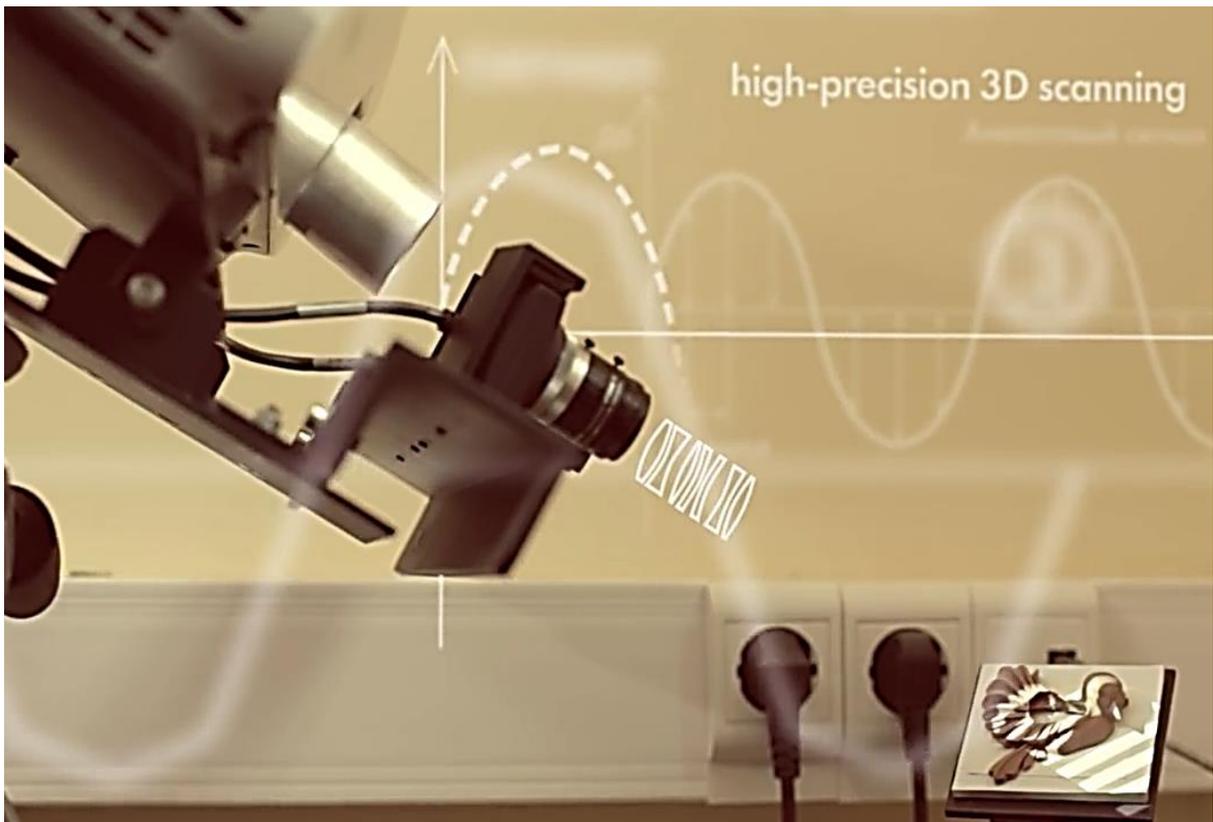
Legenda: (a) Peça sendo projetada em torno da gema; (b) Gema, desenho da joia com gema no centro, e molde da peça em argila com o orifício para posterior encaixe da gema. (c) Modelo 3D com proposição de furações para encaixe das gemas preciosas e modelo fundido em ouro ainda com canais de ataque para verter a liga de ouro líquido.

Fonte: MOUSSON, 2014.

A partir do modelo digitalizado é construída a peça em 3D com as dimensões adequadas para a produção da joia, seguindo todos os requisitos para torná-la leve (com a menor quantidade de ouro necessária) e harmoniosa com a aplicação de gemas nas tonalidades cromáticas desejadas.

No processo de digitalização do molde são projetados padrões lineares sobre a peça modelada em argila (Figura 27). As câmeras do equipamento fazem a captura dessas projeções e o programa calcula as coordenadas e as armazena em forma de nuvem de pontos. É necessário executar *scans* de vários ângulos diferentes, afim de obter a topografia completa do molde em argila. Após o processamento e alinhamento dos vários *scans* o modelo digitalizado é reconstruído em 3D e é gerada uma malha. Essa malha será exportada e trabalhada em programas específicos para modelagem de joias.

Figura 27 – Modelo em argila sendo digitalizado com alta precisão.



Fonte: MOUSSON, 2014.

Após a modelagem 3D a peça é impressa/prototipada em resina específica para o processo de microfusão em ouro. A Figura 27 ilustra uma representação do

modelo em 3D e o modelo em ouro quando sai da fundição, ainda com os canais de ataque que serão removidos posteriormente, e por onde verte a liga de ouro líquido.

2.4.1 B9 Scan 350

Foi lançado no segundo semestre de 2017 um digitalizador específico para joias e gemas, o B9 Scan 350. Ele funciona pelo princípio da luz estruturada, com resolução de 0,015 mm. No entanto, sua área de captura se limita a objetos pequenos: 90 x 80 x 55 mm (W x D x H) são as dimensões de captura. Também é necessário o recobrimento com pó específico.

A abordagem da empresa foca na produção de “anéis aparadores de aliança”⁸, reproduções 3D de objetos históricos, digitalização de gemas, reparo de joias e elos de braceletes e colares. A estimativa da empresa é de que o equipamento seja pago com a confecção de 40 anéis, como exemplificado nas campanhas da empresa (Figura 28), por ser um sistema de alta velocidade/produktividade.

Figura 28 – B9 Scan 350 e modelo digitalizado em 3D.



Fonte: B9c, 2018.

⁸ O termo em língua estrangeira é *shadowband*

A empresa compara o trabalho de um modelista 3D com o trabalho executado a partir do equipamento: o modelista em posse da foto de uma aliança, cria um anel aparador em cerca de 2 horas; já com o B9 Scan 350 tal tempo seria reduzido para um *scan* da peça em 5 minutos e, ainda, a possibilidade de executar, nas duas horas seguintes, 24 designs e graças à biblioteca de modelos do seu programa.

Na comparação, o profissional que trabalha por \$ 50/h produzirá a peça por \$ 4,17, enquanto no método tradicional esse custo seria de \$ 100, por demandar duas horas. Assim, concluem que em com a confecção de 40 anéis, cada a \$ 400,00 o equipamento seria pago.

2.5 A engenharia reversa de joias com CAD/CAM

Os arquivos gerados a partir das capturas dos digitalizadores 3D podem ser salvos em forma de nuvem de pontos ou malhas e são exportados nos formatos OBJ, PLY ou STL. Esses são os formatos mais utilizados por serem compatíveis com os programas de modelagem e impressão 3D.

É chamado de engenharia reversa, por métodos CAD/CAM, o processo de obtenção de modelo CAD a partir da digitalização 3D de um modelo físico existente. A partir dos modelos existentes busca-se entender e frequentemente reproduzir novos conceitos e características, dando-lhes uma configuração melhorada. É também comum, de acordo com Fonseca (2006), utilizá-la para a reprodução de peças ou componentes que não estão mais disponíveis no mercado.

Para Fonseca (2006) a engenharia reversa é voltada para a aceleração da criação/desenvolvimento. Ela é comumente utilizada em projetos identificados como de desenho industrial. Ter o modelo digitalizado encoraja melhorias. Stamati e Fudos (2004) apontam que a engenharia reversa é amplamente utilizada para aumentar a eficiência e qualidade de novos designs e também para auxiliar na análise das várias etapas dos processos de fabricação:

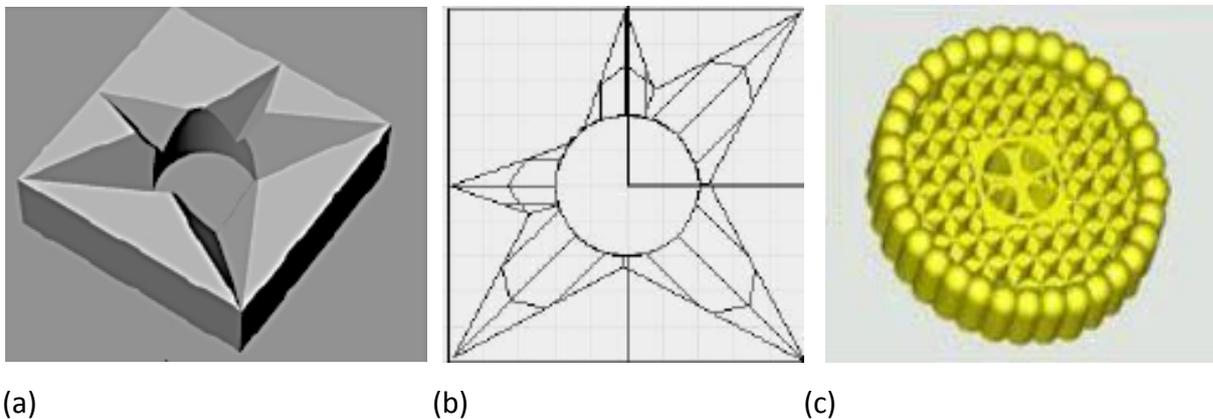
podemos obter o modelo CAD de uma peça que já não é fabricada pelo fabricante ou para a qual apenas existam desenhos técnicos. Além disso, existem casos em que o modelo CAD original já não corresponde à parte física que foi fabricada por causa das subseqüentes modificações, não documentadas, que foram 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)

Ao digitalizar-se uma joia em 3D é possível escalonar o modelo, fazer alterações de parâmetros e medidas, além de criar outras peças que mantenham características em comum com a primeira. (STAMATI e FUDOS, 2004)

Como uma solução de padronização podemos citar o trabalho em que Stamati e Fudos (2004) criaram um sistema de modelagem capaz de auxiliar na identificação, de modelos digitalizados em 3D e reconstrução dos padrões chamados “*pierced jewellery*”, que são furações geométricas encontradas em joias bizantinas. E, para tal, foram analisados os diferentes tipos de modelos CAD obtidos por digitalização 3D – (nuvens de pontos, malhas poligonais, BReps, CSG, modelos por particionamento, modelos baseados em voxels, modelos baseados em parâmetros/restrições [tradução nossa])⁹. A partir dessa análise foram criados algoritmos específicos para criar blocos baseados no conceito de voxel (Figura 29a) e da extração do esqueleto da nuvem de pontos, com parâmetros e restrições pré-estabelecidas.

Figura 29 - Padrões de “*pierced jewellery*”.



Legenda: (a) vista em perspectiva de um dos padrões, (b) representação técnica (c) joia composta de vários desses padrões e esferas como acabamento.

Fonte: STAMATI e FUDOS (2004).

⁹Os termos na língua estrangeira são: Point Cloud; Meshes; Breps (Boundary Representations); CSG (Constructive Solid Geometry); Spatial Partitioning models; Voxel-based/ Volume Models: Feature-based/Constraint-based Models

Segundo Scagliusi (2015, p.84), digitalizadores 3D permitem “ao designer (criação) incluir em seus projetos peças já produzidas por processos de escultura manual” e na adaptação de obras de arte de metal ou gemas que possam ser digitalizadas e trabalhadas de diversas formas, como miniaturas, confecção de réplicas perfeitas, etc.

Segundo Meyer (2016), o maior empecilho encontrado atualmente para fazer a engenharia reversa de uma joia é a falta de integração entre sistemas, o que torna oneroso o trabalho do modelista que precisa muitas vezes modelar a peça em cima de um modelo sólido vindo de outro programa com possíveis deformações. Já estão disponíveis algumas extensões que facilitam tal tarefa em sistemas mecânicos, como a extensão Geomagic para Solidworks, mas ainda não há no mercado similares aplicáveis a joias ou gemas.

Assim, com o fim de se obter a engenharia reversa de joias, é pouco exequível utilizar-se de apenas um programa e em função da inexistência de sistemas adaptados de detecção inteligente dos parâmetros geométricos ou de distribuição de elementos. E acrescida a variedade de formas, ou sinteticamente, pela “necessidade de captura da complexidade formal e intenção do design da peça”¹⁰ (STAMATI e FUDOS, 2004, tradução nossa).

¹⁰ Os termos em língua estrangeira são *their complexity and design intent capturing necessity*.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Foram feitos dois tipos de estudo, o teórico e o prático. A parte teórica consiste em uma Entrevista Estruturada aplicada a modelistas 3D atuantes em empresas joalheiras do Rio de Janeiro.

Para a parte prática, definida a utilização do digitalizador por luz estruturada David SLS-2, foi analisada a teoria em torno do digitalizador 3D e as tecnologias similares, para melhor embasamento e eventuais alterações. Como a digitalização 3D de joias ainda é uma área pouco estudada, 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 presente estudo pelo processo usual de empresa do setor.

Considerou-se avaliar técnicas que estavam acessíveis no momento da pesquisa, tal como um segundo modelo de digitalizador que também opera pelo princípio de luz estruturada, um modelo da Range Vision, emprestado ao Museu Nacional (UFRJ) pelo Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT) da PUC-RJ; seguindo a mesma linha foi realizado um teste breve com fotogrametria como consequência de aula sobre tecnologias 3D e assistida no Museu Nacional.

Após a obtenção da nuvem de pontos e malha poligonal via digitalização 3D, foi executada sua simplificação e remoção de “ruídos” por meio do programa MeshLab¹¹. Em seguida, o facetamento dos modelos das gemas foi avaliado no Solidworks com o *plug-in* ScanTo3D. O MeshLab é um programa de código aberto, que surgiu a partir da necessidade da reconstrução 3D de monumentos históricos na Itália. Os algoritmos introduzidos nesse programa geralmente servem como laboratório antes da utilização dos mesmos em programas similares pagos.

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

¹¹ Disponível em: <www.meshlab.net>

3.1 Métodos com 3D

3.1.1 Os objetos de estudo

Foram obtidas pelos autores seis gemas que variam em forma, dimensões, cor e transparência (figura 30). A gema com maiores facetas é um **quartzo transparente** em formato de "coração", de dimensões 12,6 x 12,56 x 7,21 mm; A gema com coloração "fumê", é também um **quartzo, retangular**. Esta é a única gema com lapidação não tradicional, com dimensões de 9,45 x 7,52 x 3,64 mm; Com lapidação em formato de gota ou *pearl* e coloração azul clara, a gema **topázio azul** apresenta facetação bastante usual no setor, com dimensões de 8,97 x 5,89 x 3,6 mm; A gema oval avermelhada é conhecida como **granada**, de circunferência 5,42 mm e altura de 2,78 mm; Já a gema com coloração verde escura é uma **turmalina verde**, com formato retangular e dimensões 5,55 x 3,9 x 2,37 mm; Por fim, um **peridoto**, em formato oval.

Figura 30 – Da esq.: turmalina verde, peridoto, granada, topázio azul, quartzo fumê e quartzo.

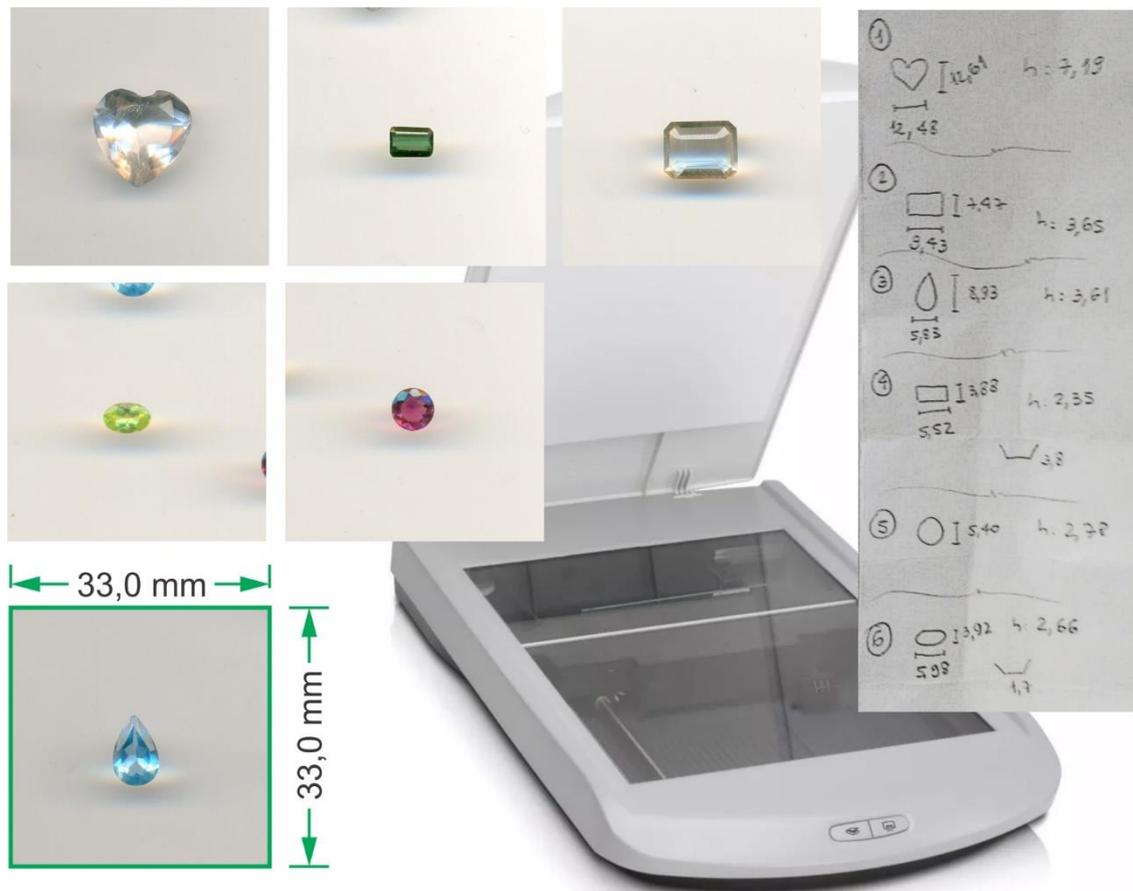


Fonte: A autora, 2016.

3.1.2 Modelos construídos via modelagem 3D tradicional

Foi solicitado a um modelista 3D atuante no setor joalheiro que modelasse as gemas estudadas da maneira convencional. Para obter a dimensão precisa do contorno da pedra as gemas foram digitalizadas no digitalizador 2D e a imagem ajustada a uma medida específica, 33 x 33 mm, por exemplo (Figura 31).

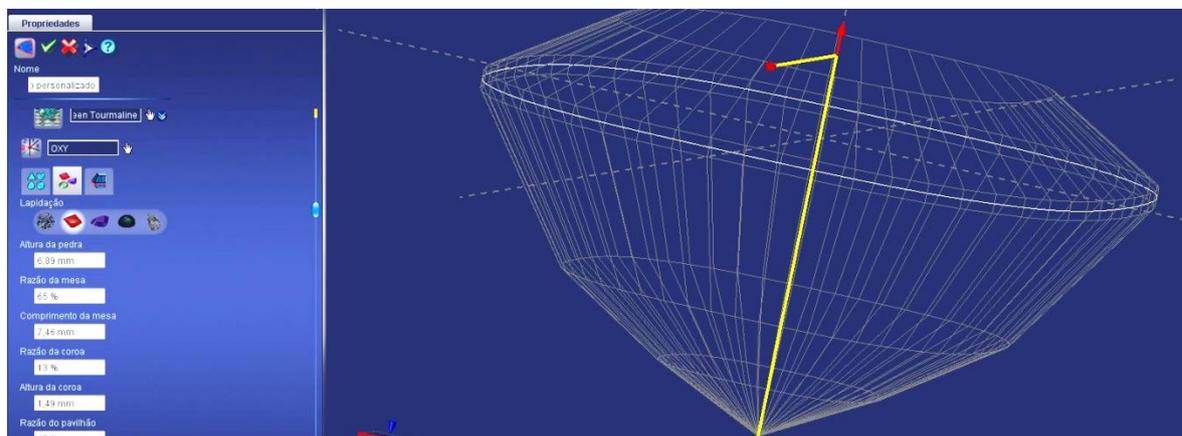
Figura 31 – Scans 2D do topo das gemas e medidas extremas.



Fonte: A autora, 2018

A partir dessa imagem, que foi inserida no programa 3Design, desenhou-se a linha de contorno vista do topo (a linha do rondiz) e reconstruiu-se a gema em 3D. Junto ao desenho do contorno superior foram inseridas as medidas da gema, adquiridas com paquímetro digital (Figura 32).

Figura 32 - Criação semiautomática da gema no programa 3Design.



Fonte: A autora, 2018,

3.1.3 Digitalização 3D por luz estruturada

O equipamento utilizado para os testes é o *David SLS*, um digitalizador 3D fixo, que opera pelo princípio de luz estruturada. O sistema é composto por um *flash drive* com o programa *David SLS-2* e *drivers* da câmera e do projetor; painéis de calibração; um tripé para suporte do sistema e regulagens de altura e angulação; uma câmera de alta resolução e um projetor de precisão que são afixados em uma base metálica, tipo régua com furações, onde são afixados o projetor e a câmera, de acordo com a calibração e tamanho do objeto a ser digitalizado. A parte com projetor, câmera, tripé e régua metálica, podem ser visualizados na Figura 33.

Figura 33 - Digitalizador 3D David SLS-2.



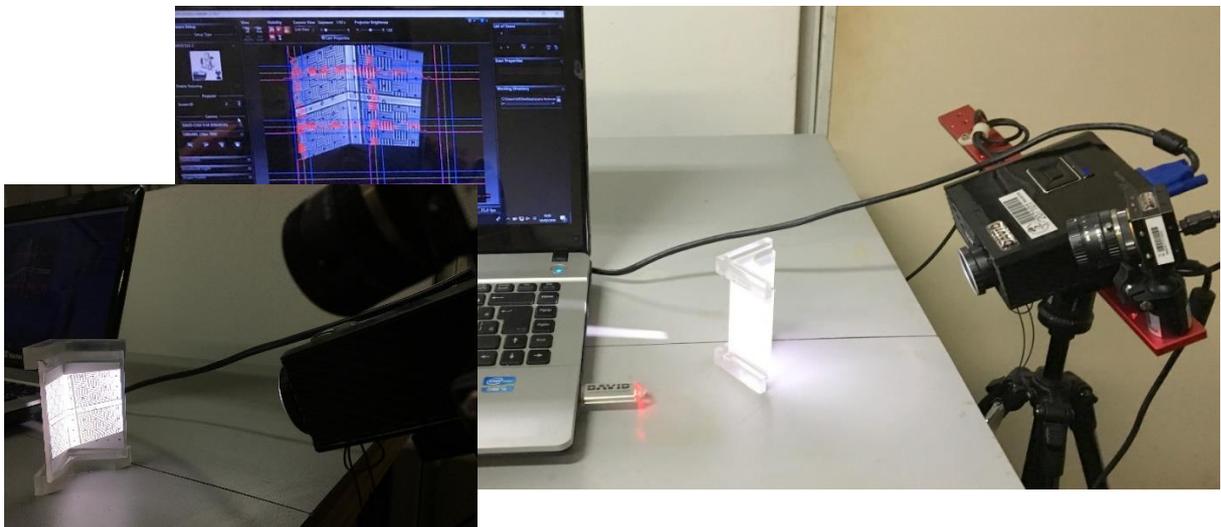
Fonte: DAVID, 2018.

Esse modelo de digitalizador 3D é destinado especialmente à captura de modelos com dimensões entre 10 mm e 500 mm, conforme indicado no manual. Para esta pesquisa, o painel de calibração utilizado para a digitalização foi a de 30 mm.

Recentemente, as marcas alemãs David 3D Solutions e David Visions Systems foram adquiridas, juntamente com sua tecnologia e funcionários, pela Hewlett-Packard Inc. (HP), que anunciou ter planos de criar um “[...] ecossistema 3D de ponta-a-ponta[...] desde a digitalização até imagens e impressão 3D.” O interesse de compra pela HP se baseia nas “proeminentes soluções de digitalização, costura e fusão 3D [...] David também desenvolveu algoritmos de varredura e métodos de calibração automatizada” (3DERS, 2016)

O equipamento foi montado, o programa e *drivers* foram instalados. Após as regulagens de foco e distância da câmera em relação ao projetor e de ambos em relação ao objeto, o padrão de calibração foi posicionado no local indicado pelo manual e iniciado o processo de calibração pelo programa de calibração, conforme a Figura 34:

Figura 34 - Calibração com padrão adequado para objetos de até 20 mm.



Fonte: A autora, 2017

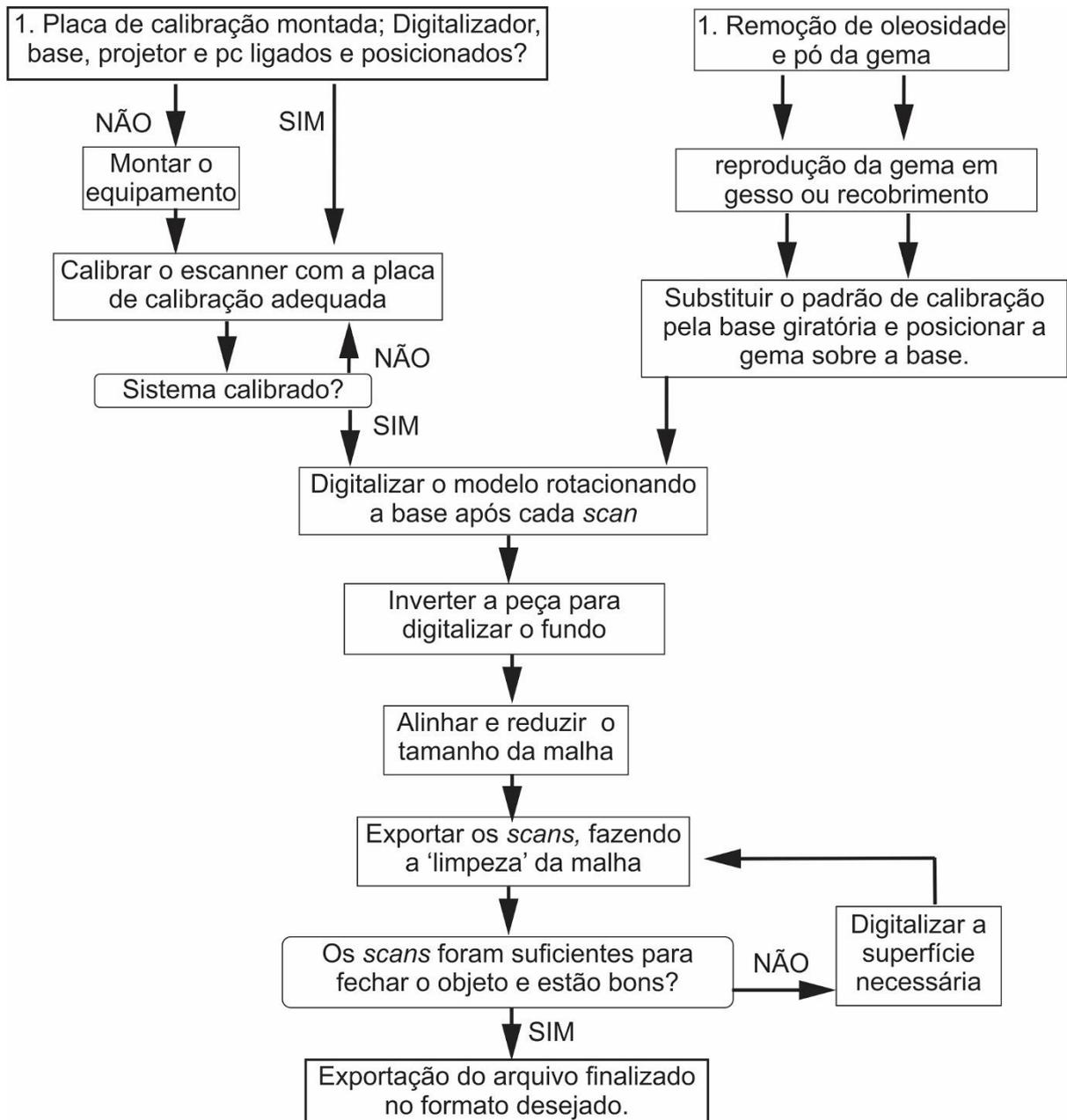
Como não houve intenção de captura da cor, tal recurso, chamado de “*texture*”, não foi habilitado ou calibrado.

O processo automático de calibração leva em torno de um minuto. Caso ocorra erro os elementos devem ser revistos, como angulação da câmera, por

exemplo. Após o término do processo o “padrão de calibração” pode ser substituído pelo objeto a ser digitalizado. A qualidade recomendada é a “Default”, mas, para este caso, como tratam-se de peças muito pequenas, foi utilizado o nível “Quality”, para captação de melhor resultado.

O processo de digitalização com o digitalizador 3D David SLS segue a sequência exposta no fluxograma da Figura 35:

Figura 35 - Fluxograma do processo de digitalização.



Fonte: A autora, 2018.

O principal quesito que trata a presente pesquisa é o mesmo a ser evitado na obtenção dos *scans*, a reflexão e refração da luz. Foram avaliadas algumas soluções de recobrimento total das gemas afim de tornar o objeto opaco. Entre elas: talco, amido, algumas tintas e revelador não aquoso, em *spray*.

Dentre modelos recobertos com tintas diversas e até *spray* seco, diversas foram as maneiras de se tentar obter digitalização com cobertura de maneira rápida e sem demandar tempo. Iniciou-se as digitalizações dos modelos recobertos com tinta e, em seguida, das réplicas em gesso moldadas no silicone.

A fim de se evitar interações químicas, o recobrimento das gemas foi limitado apenas a cobrir as gemas com produtos de fácil remoção e na cor branca, o que serviu, também, para acentuar o contraste. A avaliação foi visual e, quando o resultado parecia promissor, o processo de digitalização foi aplicado. Houve casos em que foi reaplicada a cobertura.

3.1.3.1 Iniciando com um objeto opaco

Antes de partir para a digitalização das gemas foi realizado um teste para explorar o equipamento, estudar seu processo de digitalização e as etapas necessárias para a obtenção dos modelos subsequentes. O teste foi realizado com um objeto de formas simples e de material não reflexivo, uma borracha de desenho branca. A Figura 36 demonstra uma das projeções sobre a peça.

Figura 36 - Digitalização com David SLS.



Fonte: A autora, 2017.

O objeto foi posicionado sobre uma superfície giratória adaptada um HD e uma placa de acrílico recoberta com papel preto fosco. Após as adequações, iniciou-se os testes de digitalização com as gemas e réplicas.

3.1.3.2 Modelos recobertos com pó/spray

Alguns projetos pesquisados indicam o recobrimento de material gemológico com *sprays* ou talcos de fácil remoção, como é o caso das pesquisas de Pohlmann (2012), Batista (2014), Dardon (2010) e Souza (2010). Foram realizados vários experimentos de cobertura com diferentes pós domésticos e o teste mais significativo, registrado, foi obtido com o “revelador não aquoso Metal-check D-70” (Fig. 37):

Figura 37 - Recobrimento com pó em *spray*.



Fonte: A autora, 2017.

3.1.3.3 Modelos recobertos com tinta

Outra alternativa avaliada foi o recobrimento das gemas com tinta branca. Foram utilizadas para os testes variações de tinta guache com água e líquido corretivo esferográfico, como pode ser visualizado na Figura 38:

Figura 38 – Gemas recobertas com solução de água e líquido corretivo.



Fonte: A autora, 2017.

3.1.3.4 Réplicas em gesso

O gesso possui um grânulo fino e permite a moldagem em poucos minutos e, assim, foi considerado um material adequado para obtenção de réplicas, pois apresenta alto grau de precisão, custo baixo e rápida execução. O gesso apresenta vantagens ópticas: o modelo seco não é reflexivo e é disponibilizado na cor branca, cor que possibilita um bom contraste para sistemas de digitalização com luz estruturada.

Inicialmente foram feitos moldes negativos das gemas em silicone areia. Em seguida, os moldes foram preenchidos com o preparo do gesso e água. As gemas foram posicionadas com a face do topo bem próxima da extremidade do silicone e a fim de facilitar a desmoldagem. Após a secagem, tais modelos foram cuidadosamente extraídos do silicone e digitalizados da mesma maneira que as gemas.

Figura 39 – Moldes de silicone gerados a partir das gemas originais



Fonte: A autora, 2016.

Figura 40 – Réplicas confeccionadas em gesso a partir dos moldes de silicone.



Fonte: A autora, 2016.

Não foi considerada a digitalização das matrizes em silicone nem a injeção de resina nas matrizes para digitalização posterior da mesma, pois, não foi utilizado o mesmo processo de vulcanização de matrizes que é utilizado na joalheria, em que a resina é vertida sob calor e pressão (POHLMANN et al, 2014), então a matriz é confeccionada via processos específicos que garantem o detalhamento necessário para a reprodução de detalhes finos, sendo assim, a geração de modelos em gesso, via métodos similares, pareceu inviável. Além disso, a matriz em silicone apresenta pouca estabilidade quando em condições normais, sem a pressão do material inserido, o que comprometeria os resultados de forma.

3.1.3.5 O processo de digitalização e pós-digitalização

No caso de o objeto ser muito escuro ou apresentar partes brilhantes é necessário seu recobrimento para facilitar o processo de aquisição das imagens. Em seguida o objeto é posto sob uma base onde possa ser rotacionado horizontalmente, mas mantendo o eixo central paralelo ao equipamento. Algumas vezes o objeto é afixado em suporte improvisado.

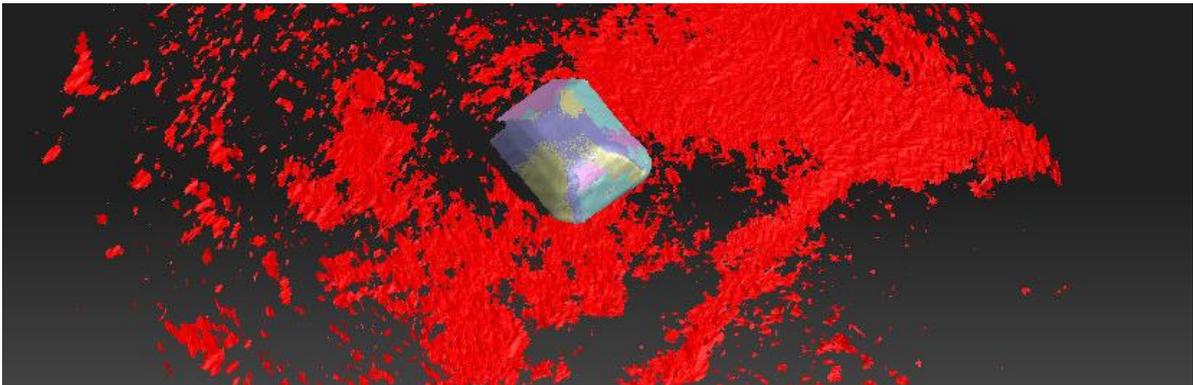
A câmera captura os padrões projetados frontalmente, sobre o objeto por alguns segundos. As capturas não chegaram a dispendir 1 minuto para a obtenção das imagens de qualidade superior.

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.

Após a digitalização das várias faces do objeto posicionado sobre base giratória, é possível, no próprio programa, reconstruir a forma 3D das gemas.

O programa permite a remoção “manual” das partes das malhas que foram captadas ou criadas erroneamente pelo programa, tais como bases de apoio ou sustentação ou partículas desconexas conhecidas como “artefatos” (Figura 41) (rebarbas da malha, algum reflexo ou poeira imperceptível a olho nu).

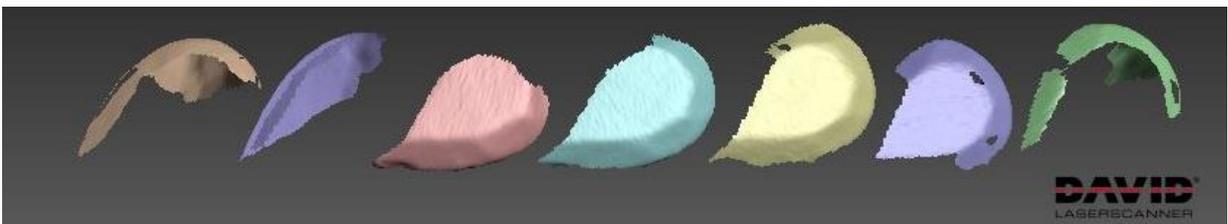
Figura 41 - Artefatos selecionados para exclusão, em vermelho.



Fonte: A autora, 2017.

A chamada “limpeza da malha” é feita, na maioria das vezes, de forma manual. O programa permite três formas de seleção para exclusão de elementos indesejados: poligonal, retangular ou por inversão de elementos selecionados. Ela pode ser feita logo após cada captura de imagens, em diferentes ângulos, ou após o processo completo de capturas. Cabe considerar, nesse momento, que suportes podem servir como guias para o software encontrar pontos em comum com outras capturas, facilitando o alinhamento das mesmas.

Figura 42 - Sete scans da gema em formato de gota vistos do topo.

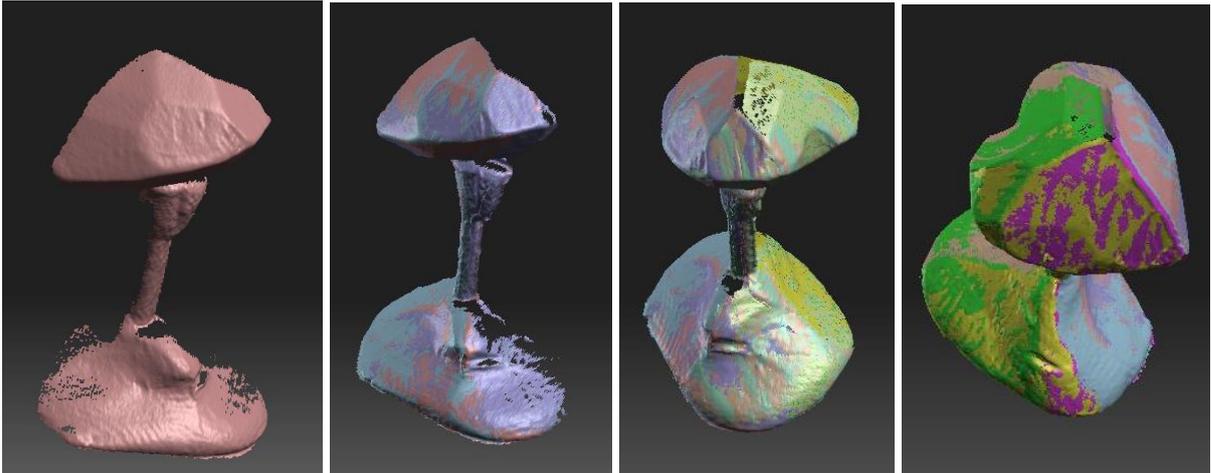


Fonte: A autora, 2017.

Dada a complexidade dos objetos foram necessárias em média 8 digitalizações e com a base sendo rotacionada em torno do eixo a 45° a cada *scan*.

Esse intervalo permitiu o registro de pontos capturados idênticos aos da captura anterior. Além das 8 capturas, efetuou-se o *scan* do topo e da base do objeto, quando necessário. Após a digitalização de vários ângulos do objeto posicionado sobre a base giratória é possível, no próprio programa, reconstruir a forma 3D das gemas (Figura 43).

Figura 43 - Capturas 3D alinhadas automaticamente.



Fonte: A autora, 2017.

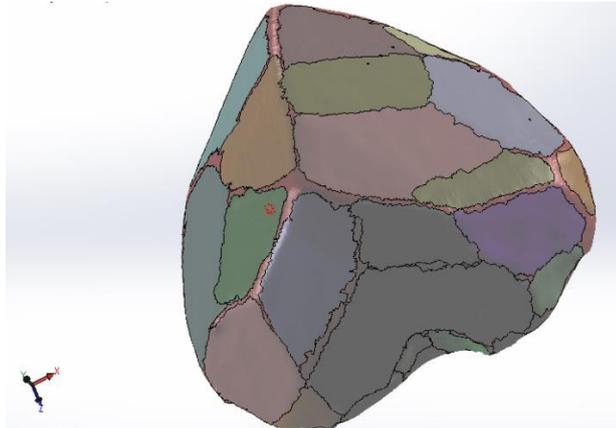
Os *scans* podem ser exportados separadamente ou agrupados em um único modelo, “fechado”. O programa oferece vários formatos para exportação do arquivo, sendo os mais usuais os arquivos PLY, OBJ e STL. Como a intenção era trabalhar com o programa de código-aberto MeshLab, optou-se pelas extensões OBJ e STL.

O programa do digitalizador 3D permite a sobreposição das faces, automaticamente pelo comando “*align to previous scan*” e desde que ele identifique muitos pontos em comum com a captura anterior. No entanto, tal alinhamento nem sempre é preciso e para esses casos há outras ferramentas de “alinhamento manual”, como a utilização de dois pontos de referência comuns entre as duas capturas.

Após a obtenção dos *scans* e limpeza da malha é necessário realizar operações como filtragem, suavização e preenchimento de falhas da superfície. É importante a utilização desses filtros para eliminar ruídos e a gerar arquivos mais homogêneos e com a resolução adequada. Como a nuvem de pontos gerada é densa, optou-se por reduzi-la para melhor manuseio em outros softwares.

Após a obtenção das malhas dos diferentes ângulos, as malhas tiveram a qualidade reduzida e foram exportadas para alinhamento e união no software MeshLab e para posterior facetamento no programa Solidworks (Figura 44).

Figura 44 – Facetamento virtual com o “scanTo3D”.

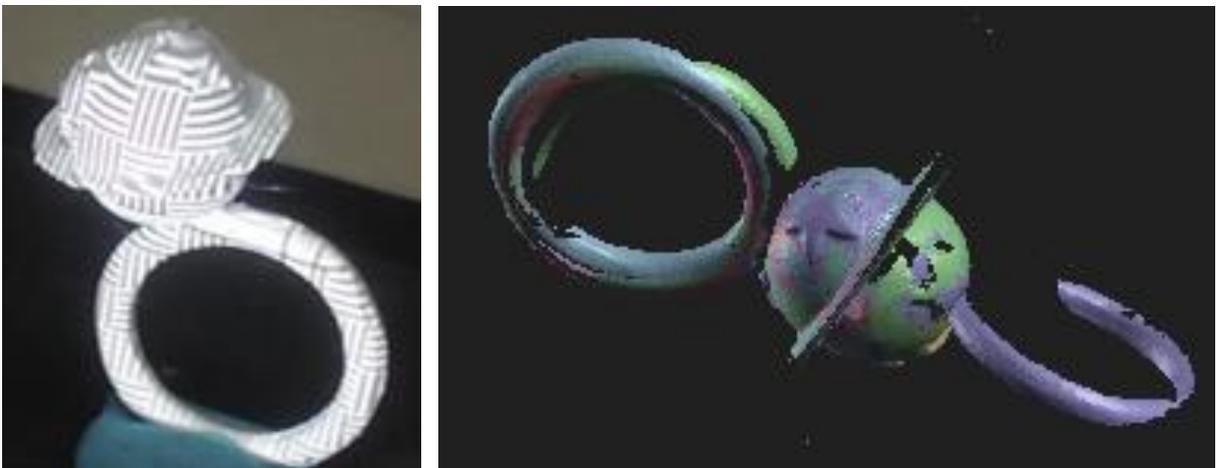


Fonte: A autora, 2017.

3.1.3.6 Experimentos subsequente com anel

Experimento similar ao das gemas, foi realizado com um anel de prata. O anel é constituído pelo aro maciço soldado a uma esfera oca. O processo de calibração e alinhamento dos scans deste objeto está exemplificado na Figura 45.

Figura 45 - Processo de digitalização de anel em prata recoberto com tinta



Legenda: (a) anel em prata recoberto com tinta, com projeção de padrão de calibração (b) **scans**

Fonte: A autora, 2018.

3.1.3.7 Segundo digitalizador 3D

A fim de corroborar os testes com luz estruturada, utilizou-se um segundo aparelho digitalizador, um modelo de 2004 da Range Vision (Figura 46) que opera, também, com luz estruturada e disponível no Museu Nacional – UFRJ. As capturas obtidas foram exportadas no formato .X e processadas no programa (RV ScanMerge) do digitalizador 3D no qual, após alinhamento semi-manual, fusão e fechamento de buracos na malha, as mesmas foram exportadas para o formato .OBJ.

Figura 46 – Digitalizador 3D da Range Vision.



Fonte: A autora, 2018.

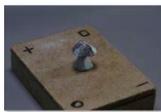
3.1.4 Digitalização por fotogrametria

Para a fotogrametria foi utilizado o molde de gesso da maior gema, o quartzo com lapidação de coração obtido pela moldagem em silicone. A câmera utilizada foi uma Canon modelo EOS 7D com lente Canon EF-S 60mm Macro. Para os marcadores foram desenhados diferentes símbolos sobre a base na qual depositou-se o objeto, como pode ser observado na Figura 47.

Figura 47 - Modelo em gesso sobre base com marcação.



(a)



c0



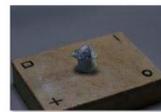
c1



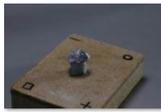
c2



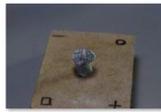
c3



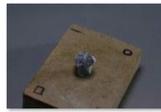
c4



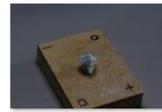
c5



c6



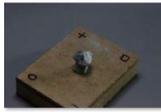
c7



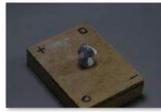
c8



c9



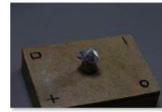
c10



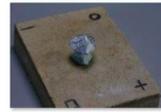
c11



c12



c13



c14

(b)

(c)

Legenda: (a) fotografia da primeira sessão; (b e c) fotografias da segunda sessão.

Fonte: A autora, 2017.

Foram feitas 22 fotografias com o modelo estático, duas sequências com posicionamento pré-definido e com duas angulações cada. Assim, novamente, as fotografias (Figura 48) foram importadas para o programa Photo Scan, da Agisoft. Após o processamento o modelo resultante foi exportado para .STL e .PDF.

3.1.5 Digitalização por microtomografia

As gemas do estudo foram analisadas também com um microtomógrafo (figura 48) com o objetivo de comparar, com maior precisão, os modelos digitalizados pelos demais métodos.

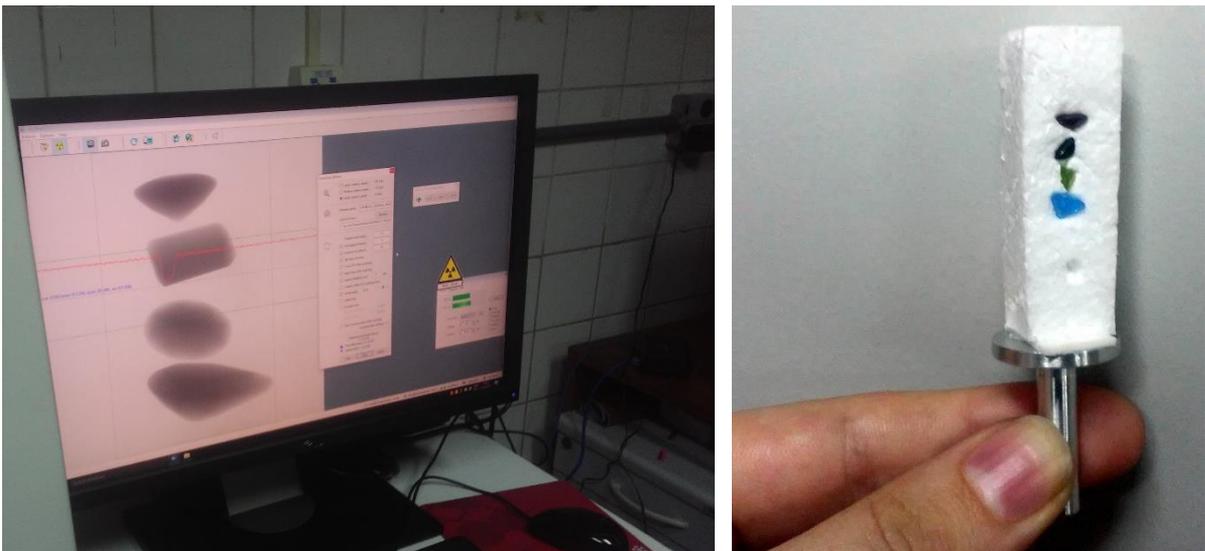
Figura 48 – Microtomógrafo utilizado: Skyscan, da Bruker.



Fonte: A autora, 2018.

As quatro gemas menores foram agrupadas e posicionadas em um isopor que serviu de suporte, fixo, ancorado na base do equipamento. As amostras foram centralizadas entre o emissor de raios-x e as placas que captam as imagens (Figura 50). A energia disparada pelo equipamento é de 140 keV. As 720 capturas são obtidas através da projeção da energia ao passo angular igual a $0,25^\circ$ e transformadas em imagens transversais de formato TIF/8 bits.

Figura 49 - Monitor com representação tomográfica de quatro gemas alinhadas em base de isopor.



Fonte: A autora, 2017

Figura 50 - Câmara do microtomógrafo com quatro gemas posicionadas.



Fonte: A autora, 2017.

As duas gemas maiores foram microtomografadas separadamente das primeiras. O tempo de aquisição das imagens girou em torno de 1h 20 min para cada processo.

A análise da gema pelo microtomógrafo facilita a identificação de rachaduras externas e internas, impurezas e maior ou menor concentração de determinado componente mineral. Seu resultado pode influenciar na valoração e validar possíveis formas de lapidação.

Foi realizado, também, um teste com um anel de prata e, neste caso, a energia gerada não foi suficiente para atravessar o objeto e gerar imagens com definição. Foi utilizado, então, um nano CT, que projeta até 300 keV de energia. O equipamento mostrou que a energia foi capaz de transpassar o anel. No entanto, como o equipamento encontrava-se em fase de adequações, não foi possível compilar resultado satisfatório. O equipamento, recém-adquirido, não se encontrava plenamente configurado.

3.2 Entrevista exploratória com Modelistas 3D

Nesta seção buscou-se o lado empírico, conhecer as práticas de outros profissionais que podem contribuir e incrementar dados às questões de estudo

propostas por esta Dissertação. O objetivo é o de analisar as maneiras atuais de medição de pedras preciosas não-calibradas em joalherias de médio e grande porte. Propôs-se a utilização do digitalizador 3D para tal aplicação.

Foi feita entrevista exploratória para melhor identificar as limitações da obtenção atual das medidas das pedras em comparação com as possibilidades de um digitalizador 3D. Como exposto por Faria (2016), esse método permite aos participantes responder com suas próprias palavras e conceitos, ampliando a compreensão sobre as experiências dos participantes.

Buscou-se, na entrevista, coletar amostras que indicassem a prática dos modelistas com o intuito de compreender melhor os processos, rotinas e suas práticas, assim como suas opiniões quanto a vantagens e desvantagens, restrições e limitações que encontram nas atividades em questão. Além disso, aproveitou-se para traçar o perfil dos atuais modelistas 3D nas grandes empresas do segmento de joias do Rio de Janeiro.

A entrevista está fundamentada em diretrizes de objetividade e motivação, no sentido de se construírem perguntas consistentes com o tema da dissertação, quais sejam:

- Objetivo: Identificar as possibilidades e expectativas envolvidas com a adoção de digitalizador 3D entre as maneiras atuais de medição de gemas em joalherias pedristas.
- Justificativa: O setor joalheiro vem crescendo de forma significativa abrindo espaço para a consolidação do campo Design de Joias. Uma das grandes dificuldades que é a medição de gemas, vem sendo solucionada com o surgimento de tecnologias de digitalização 3D. Isso contribui para modernização necessária para aumento da eficiência e eficácia dos processos produtivos no setor joalheiro. O Brasil tem grande reserva gemológica que é subaproveitada por falta de investimento em tecnologia adequada.
- Fundamentação teórica: As principais fontes bibliográficas que embasam esta pesquisa são: A dissertação de Denise Batista (2013) que trata da tecnologia de captura de movimentos, a dissertação de Natascha Scagliusi (2015) sobre as novas tecnologias aplicadas ao design de joias, a cartilha do Senai que orienta o setor joalheiro, e a dissertação de Eduardo Souza (2010) sobre a digitalização de gemas.

Todas as perguntas formuladas atendem, portanto, a um objetivo, a uma justificativa e se respaldam em uma fundamentação teórica, associando-as, assim, aos interesses da tese. O roteiro de perguntas da entrevista consta do **apêndice A**.

Para definição do público participante foi estabelecido, como recorte, que seriam considerados apenas modelistas 3D de empresas joalheiras utilizadoras da modelagem de peças a partir da medição de gemas não calibradas.

Foram consideradas nove entrevistas e realizada uma entrevista piloto para validação das perguntas. Todas as entrevistas foram presenciais, marcadas previamente e gravadas com a autorização dos participantes.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Esta sessão está dividida em duas partes: 4.1: os resultados obtidos a partir das técnicas de captura tridimensional e 4.2: as informações obtidas a partir das entrevistas.

4.1 Resultados da captura 3D

No software do David SLS-2 é possível aplicar filtros de redução da malha para que o arquivo não fique com tamanho maior do que o necessário. As nuvens de pontos costumam ter uma quantidade de informações que terminam por gerar arquivos “pesados” para manipulação por outros programas. A redução aplicada às malhas, em 60%, apresentou bom resultado visual, não impactando diretamente nas arestas.

Não foi percebida nenhuma variação significativa no número de pontos ou na qualidade da captura quando colocada uma cobertura de papel fosco para diminuir a incidência de luz. Imaginava-se que tal ação pudesse interferir nos resultados. Como observado por Batista (2014), sistemas que utilizam luz estruturada não sofrem com incidência de luz ambiente (quando não há interesse com a captura da cor do objeto), ruídos ou vento.

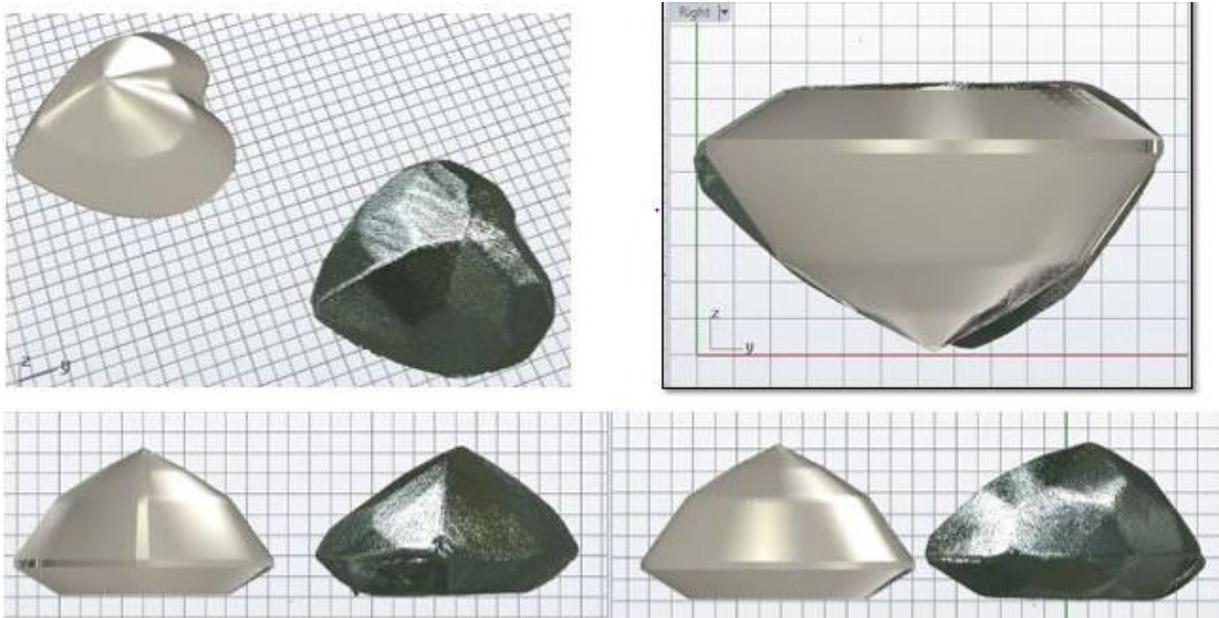
4.1.1 Modelos reconstruídos por modelagem 3D tradicional

A utilização do programa 3Design em comparação ao modelo digitalizado foi a situação que apresentou a maior diferença entre os processos avaliados. Tal comparação foi realizada com a gema de maior dimensão, fato que gerou alerta para a possibilidade de maior imprecisão quando de sua utilização para gemas menores.

Entretanto, tais diferenças não seriam significativas para a confecção de uma peça simples. Todavia, em gemas com formatos mais orgânicos, a diferença seria relevante a ponto da necessidade de transferir parte do processo, executado virtualmente, para as mãos de um ourives experiente.

O comparativo entre o modelo digitalizado em 3D e o modelo da mesma gema medido com paquímetro e reproduzido por modelista 3D de joalheria, via modelagem 3D, aponta as diferenças formais (Figura 51).

Figura 51 - Modelo digitalizado com David (escuro) alinhado om modelo reconstruído no 3Design.



Fonte: A autora, 2018.

Escala: 1 mm.

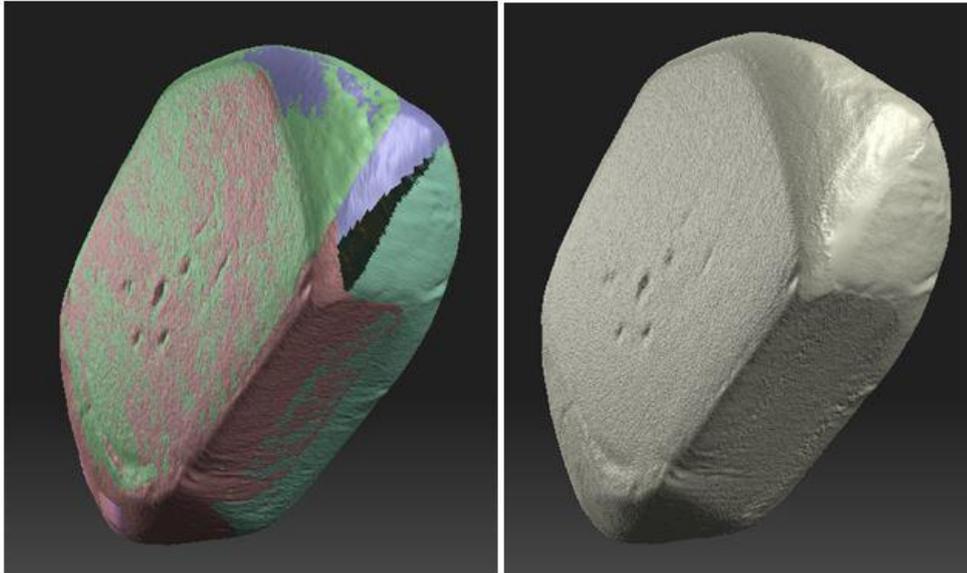
4.1.2 Modelos obtidos com luz estruturada

Foi definido que uma média de oito *scans* seriam suficientes para a obtenção completa do modelo tridimensional e em caso de objeto com geometria simples. Como a malha resultante de cada *scan* pode ser vista logo após cada captura, mais ou menos capturas seriam efetuadas até a obtenção do modelo completo.

Partes suprimidas por falhas na captura ou por recorte intencional podem ser reconstruídas por estimativa (do programa) e, automaticamente. Na Figura 53 o processo foi realizado diretamente no programa do digitalizador, quando os *scans*

foram fusionados. Em programas de edição de malhas, tais como o Meshlab, por exemplo, há a disponibilidade de vários tipos de filtros que fazem a reconstrução em forma de superfície plana, vedando os buracos com superfícies planas (*close holes*) ou acompanhando a curvatura da superfície.

Figura 52 – Scans alinhados e fusionados com preenchimento automático de parte ausente.



Fonte: A autora, 2017.

4.1.2.1 Do recobrimento com pó/spray

A cobertura obtida com o pó pareceu satisfatória, porém, não é possível manusear o objeto após seu recobrimento sem comprometer a cobertura. Havendo alguma parte da superfície com ponto descoberto por toque de pinça, por exemplo, o digitalizador não será capaz de captar as coordenadas 3D.

Foi errônea a impressão de que a gema estaria recoberta. Quando da hora da digitalização a captura 3D retornava um resultado vazio. Conclui-se que, mesmo parecendo recoberto, feixes de luz ainda atravessavam por entre os grânulos de pó.

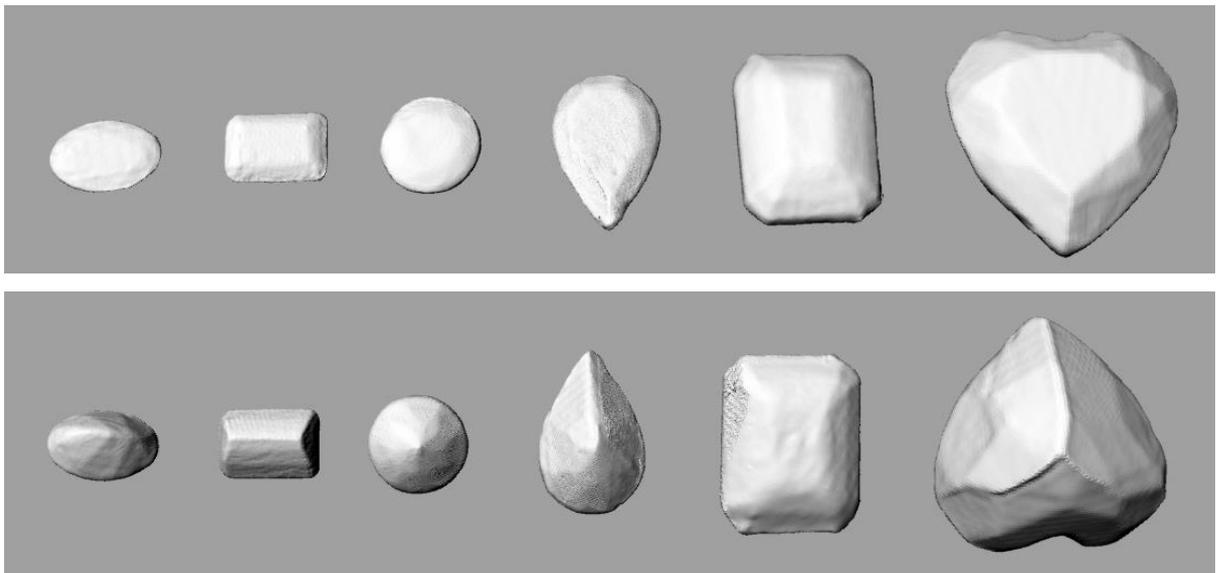
Além disso, a cobertura ficava danificada em função do pouco peso das gemas, que eram facilmente deslocadas pelo jato de ar do spray.

4.1.2.2 Do recobrimento com tinta

Atestou-se que aplicações de tintas líquidas geram boa cobertura. No entanto, é necessário cuidado no recobrimento para não causar sobreposição de camadas, deformando as faces. Esse problema não interfere apenas nas dimensões extremas e de volume, o maior entrave é no aumento as superfícies, o que acaba por ligar umas às outras o que, conseqüentemente, reduz os ressaltos das angulações e dificulta o alinhamento.

As soluções que apresentaram melhores resultados de cobertura e com a menor deformação das superfícies da peça surgiram da mistura de líquido corretivo ou tinta guache, diluídos com pouca água. O resultado do experimento é mostrado na Figura 53:

Figura 53 – 3D das gemas recobertas com tinta (vistas superior e inferior).



Fonte: A autora, 2018.

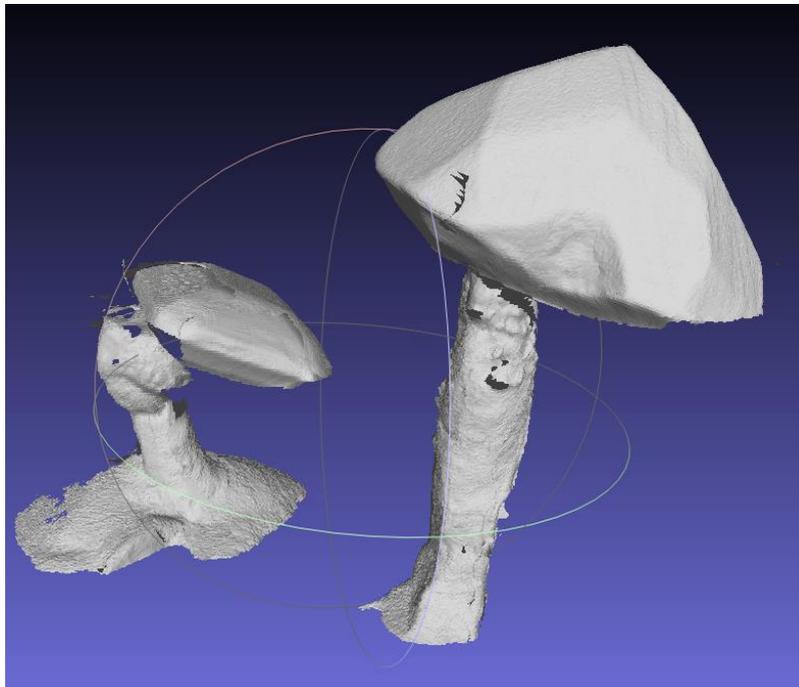
Com o objetivo de agilizar o processo tentou-se digitalizar mais de uma gema por sessão de captura. Inicialmente foram postas até quatro gemas na base giratória e executadas as capturas rotacionando apenas a base, sem mudar o posicionamento das gemas. Para capturar as partes que não estavam visíveis foram executadas sessões de capturas individuais com a gema posicionada na angulação contrária, que alinhados às primeiras comporiam o objeto tridimensional.

Para que tal método pudesse ser eficiente foi necessário que diferentes partes do objeto, capturadas e agrupadas em um único arquivo, fossem agregadas para sua posterior reconstrução (por fusão dos *scans*).

A digitalização de várias gemas simultaneamente apresentou redução na qualidade dos *scans*, provavelmente, em função do foco da câmera estar centralizado para uma calibração específica. Além disso, algumas capturas não retornaram dados realmente relevantes para uma ou outra gema e demandaram substancial tempo de análise e até o descarte das mesmas. Assim, optou-se por fazer as capturas individualizadas. O que não invalida a técnica da captura de múltiplos objetos, necessariamente.

A utilização de suportes para as gemas, como pode ser observado nas Figura 54 (captura de tela do Meshlab), facilita o alinhamento das capturas, além de aumentar a área digitalizada do objeto, por captura. Essa técnica facilita a digitalização das interseções entre as partes inferior e superior das gemas, áreas consideravelmente difíceis para um alinhamento de precisão.

Figura 54 – *Scans* de duas gemas elevadas com suporte.

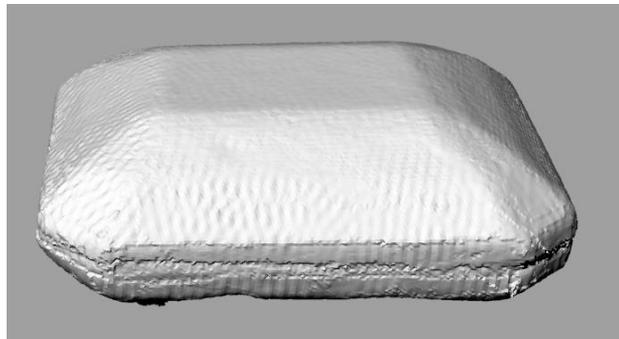


Fonte: A autora, 2018.

4.1.2.3 Dos modelos em gesso

Por vezes se tentou alinhar a metade superior com a inferior da pedra, mas o rondiz (parte mais larga da gema) não se mostrou definido e causou dificuldades e imprecisão, como pode ser observado na Figura 55. Tal problema ocorreu especialmente com modelos com rondiz muito fino e que não possibilitavam a distinção das partes inferior e superior. A gema em formato de coração não apresentou tal problema.

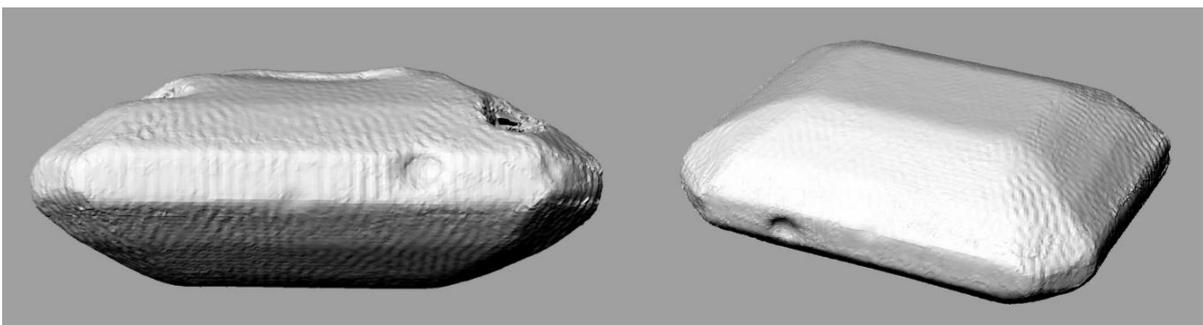
Figura 55 – Alinhamento impreciso no rondiz.



Fonte: A autora, 2018.

Alguns modelos em gesso apresentaram imprecisão nas dimensões gerais e principalmente no topo, área de maior contato com o exterior do molde. Ocorreram deformidades na hora da feitura do molde. No entanto, as deformidades em forma de cavidades e falhas da modelagem em gesso, acabaram por auxiliar no processo de alinhamento geral. As cavidades, que apresentam uma característica exclusiva no molde, auxiliaram na obtenção de um alinhamento mais preciso do restante do objeto. Vide imagem da réplica do quartzo (Figura 56).

Figura 56 – Detalhe das cavidades que facilitaram o alinhamento



Fonte: A autora, 2018.

4.1.2.4 Utilização do segundo digitalizador 3D

O segundo modelo de digitalizador, da Range Vision, demanda maior tempo para captura e é mais trabalhoso para calibração. Além do processo de captura não ser tão ágil/automatizado face ao digitalizador da David. Parte da montagem foi facilitada quando se utilizou um terceiro programa (Artec) para alinhamento das malhas.

Algumas notas quanto à utilização do equipamento da Range Vision:

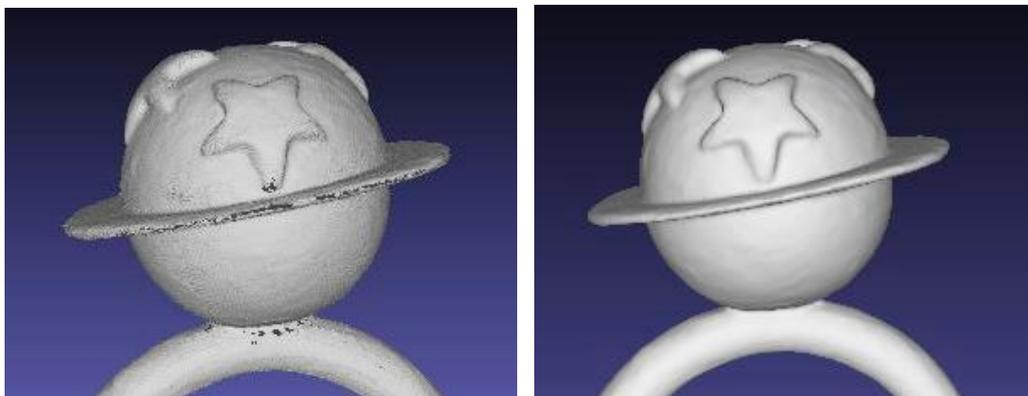
- Utilizar uma base acrílica transparente acabou por gerar uma espécie de sombra projetada do objeto no modelo virtual;
- *Scans* do David não retornavam captura quando encontravam reflexos, no objeto. Já os *scans* realizados com o RV apresentavam buracos na malha retornada;
- A quantidade de *scans* necessários com o range Vision é maior;

A principal desvantagem do digitalizador da RV é sua não-portabilidade, o projetor (que é anterior a 2004) é de grande dimensão em comparação ao David.

4.1.3 Experimentos com luz estruturada do anel e das réplicas (bonecas)

Anel em prata – o modelo foi digitalizado sem dificuldades e os filtros do programa Meshlab foram efetivos no fechamento da malha e do modelo:

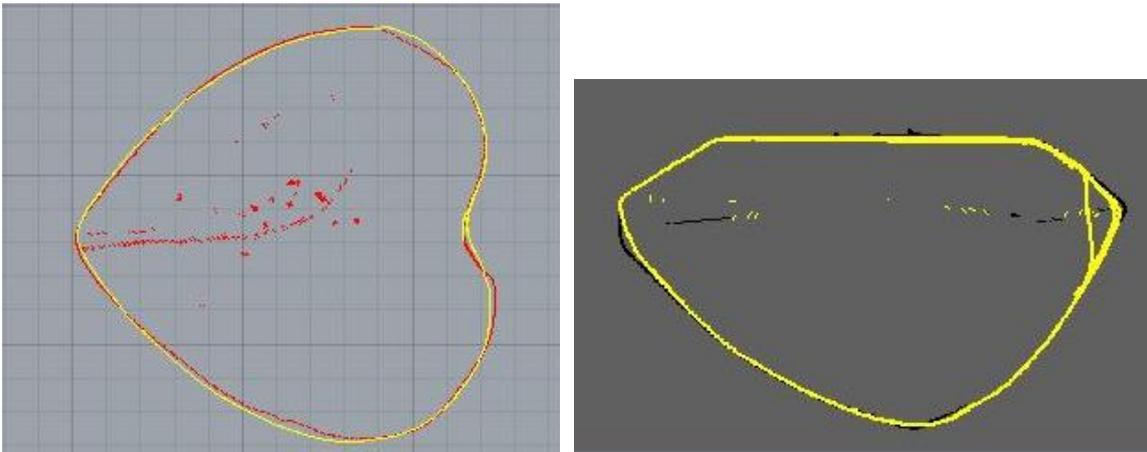
Figura 57 – Modelo 3D alinhado, antes e após fechamento com filtro.



Fonte: A autora, 2018.

Como o resultado com o digitalizador David foi satisfatório, aproveitou-se para digitalizar a “Boneca” do modelo da gema em formato de coração e com o objetivo de avaliar a fidedignidade desses modelos. Quando do processo de confecção de réplicas das gemas, o lapidador disse ter levado em consideração as medidas de comprimento, altura, largura a curva de caimento lateral (“fundo”). Além da altura entre o “rondiz” e a “mesa”:

Figura 58 – Comparação: *scans* da boneca e gema microtomografada.



Fonte: A autora, 2018.

Nota-se que há pouca variação entre os modelos originais e os reconstruídos pelo lapidador. Notável, pois não havia, até hoje, outra forma de avaliar tal trabalho.

A experiência do lapidário consultado é um ponto a ser considerado, pois com mais de 30 anos na profissão. Ele afirma que para se formar um bom lapidário são necessários, no mínimo, 10 anos de interação com diferentes técnicas e gemas.

4.1.4 Do processamento em programas 3D

4.1.4.1. Alinhamento no Meshlab

O programa Meshlab foi utilizado por ser um programa de licença livre, não necessitando de “chave” para execução em vários computadores. O que não ocorre com o digitalizador David que possui “licença” única em pen drive, só utilizado dentro

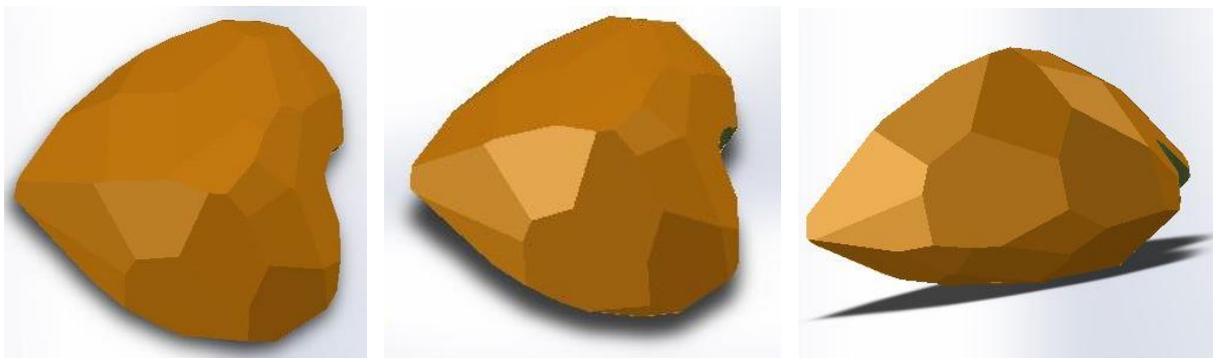
dos limites da instituição. Tal característica (do programa Meshlab) facilitou o manuseio dos arquivos, fora do laboratório onde se encontrava o digitalizador 3D. E neste programa foram realizadas as suavizações de topologia e reduções das malhas, além do alinhamento manual e aplicação de filtros de tratamento, como fechamento de buracos.

O programa do digitalizador David foi utilizado para obtenção das capturas, alinhamento para conferência em tempo real da obtenção da totalidade do objeto, redução do tamanho das malhas e limpeza superficial dos ruídos das malhas.

4.1.4.2 Facetamento da malha no Solidworks

Após o alinhamento das partes do objeto no Meshlab, o modelo resultante é um arquivo de malha que pode ser exportada em .STL, .PLY ou .OBJ. Vislumbrando a possibilidade de edição de arquivos mais complexos, geométricos, por exemplo, foi realizado um tratamento com o programa Solidworks para reconstrução das facetas de algumas das gemas. A conversão da malha em STL para SWG foi possível pelo uso da extensão “Scan To 3D”, que habilitou a manipulação do objeto no Solidworks. O resultado do facetamento pode ser visto na Figura 59. A partir desse teste pode-se aferir que os objetos digitalizados em 3D, com arquivo de saída em malha, podem ser reconstruídos com fidelidade para o formato SWG.

Figura 59 – Gema convertida em arquivo editável .swg.



Fonte: A autora, 2018.

4.1.5 Modelo parcial obtido com fotogrametria

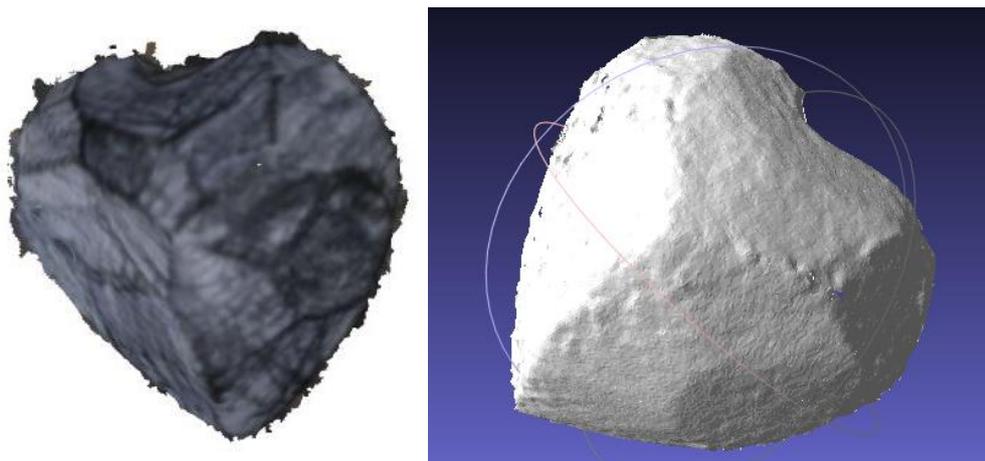
Como o modelo de gesso não foi reconhecido pelo programa logo após as primeiras fotografias, uma segunda tentativa foi realizada riscando-se o modelo com lápis grafite no intuito de se obter maior contraste.

Além, o modelo foi posicionado sobre um suporte com o fim de capturar mais detalhes e ressaltar o contraste. Uma característica notada na fotogrametria é a representação fiel da “textura” (que nesse caso se refere à cor).

O modelo recoberto com grafite, apesar da sensibilidade (ISO) ser considerada inadequada para a fotografia, teve as formas reconhecidas pelo Photoscan com maior precisão. Percebe-se que, ao cobrir a superfície branca com alguma informação, o resultado é melhorado, acentuando-se, assim, a sensibilidade para contrastes sobre superfícies brancas. A marcação com grafite das arestas não pareceu interferir no resultado.

Na terceira tentativa foi utilizada iluminação natural e o programa Photoscan, da Agisoft, calculou parte da forma da gema a partir da seleção automática de 15 fotografias, como demonstrado na Figura 60. Nota-se que um dos lados teve melhor definição das facetas da gema.

Figura 60 - Resultado da reconstrução por fotogrametria.



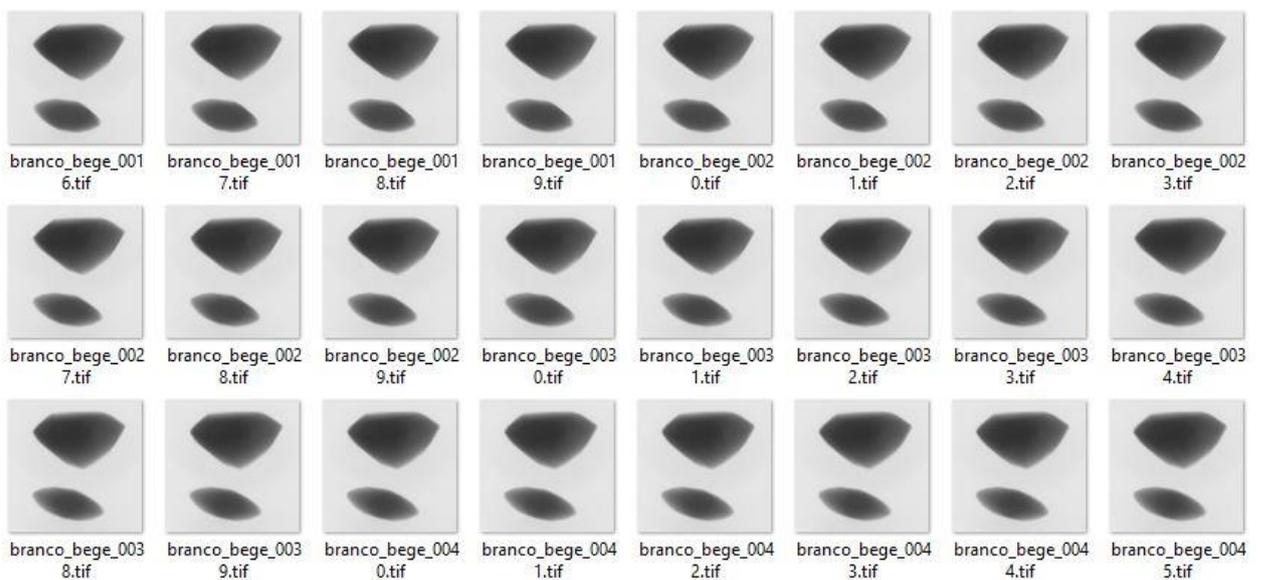
Legenda: Modelo com e sem “textura” (imagem fotográfica)

Fonte: A autora, 2017.

4.1.6 Modelos obtidos com microtomografia

As capturas com esse tipo de equipamento ocorreram no Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN), na COPPE/UFRJ. O microtomógrafo empregado é da marca Bruker Skyscan e o modelo é o Skyscan 1173. O processo ocorreu entre os meses de setembro e novembro de 2017. A figura 61 apresenta uma amostra das imagens sequenciais geradas pelo microtomógrafo.

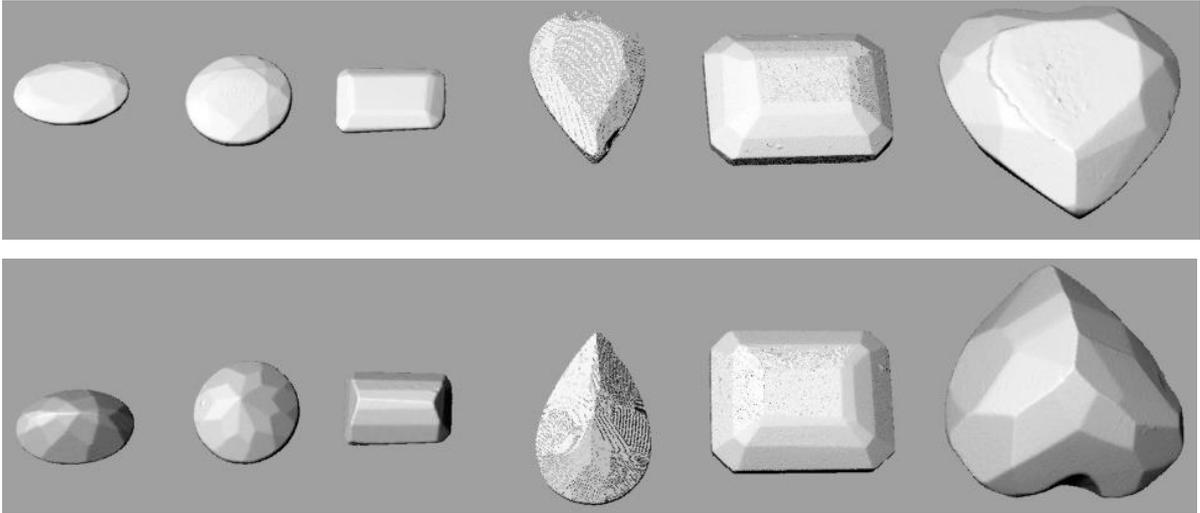
Figura 61– Amostra de radiografias das duas gemas maiores agrupadas.



Fonte: A autora, 2017.

Foram geradas 720 radiografias (imagens em 2D), salvas no formato TIF para posterior reconstrução do modelo tridimensional. A reconstrução é possível, pois as radiografias são feitas a cada 8 micrones, assim, o programa específico do microtomógrafo, consegue alinhá-las sequencialmente, gerando o modelo 3D. Os modelos reconstruídos foram exportados para o formato STL. Os arquivos gerados somaram 4 gigas e, já que não eram necessários detalhes estruturais internos, foram submetidos à redução das malhas no programa Meshlab. Além disso, o arquivo menor agiliza seu manuseio. A vista em perspectiva dos modelos 3D das gemas microtomografadas e alinhadas, paralelamente, no programa Rhinoceros é apresentada na Figura 63.

Figura 62 – Modelos microtomografados (vista de topo e inferior).



Fonte: A autora, 2017.

Apesar da resolução superior, foram percebidas algumas deformidades na gema maior: alguns afundamentos geométricos na parte lateral da gema e um “transbordamento” na face de topo, como observado na Figura 64. Não foram notados outros erros significativos.

Figura 63 - Erros no modelo 3D obtido.

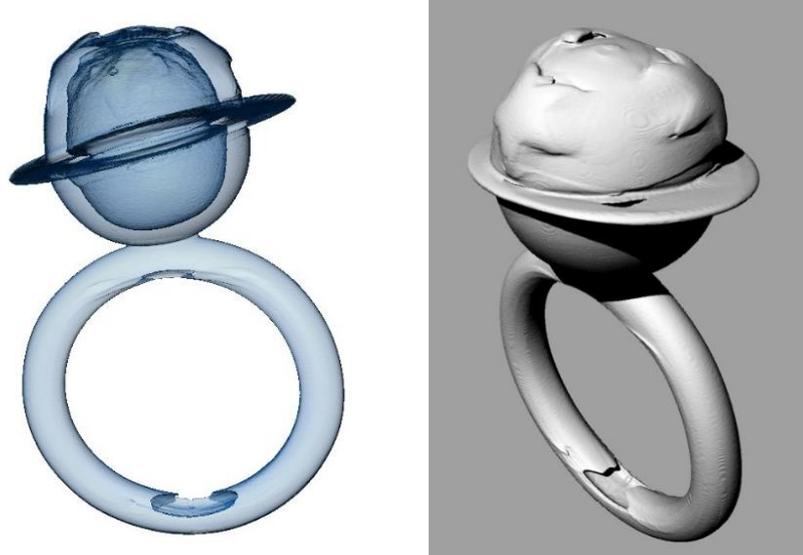


Fonte: A autora, 2017.

Já a microtomografia do anel não gerou nenhuma imagem em função de sua densidade. A energia gerada não conseguiu atravessar o objeto, o que seria necessário para a geração das imagens. Entretanto, com a utilização de um nanotomógrafo, onde o feixe de energia possui intensidade superior, foi possível enxergar silhuetas do objeto no monitor do equipamento. Apesar de pouca definição

de detalhes das formas, o equipamento ainda estava em fase de implementação. O resultado parcial do modelo com o nanotomógrafo pode ser observado na Figura 64.

Figura 64 – Imagem 3D translúcida de nano tomógrafo e modelo .stl.



Fonte: A autora, 2017.

4.1.7 Comparativo entre as técnicas de captura 3D

A qualidade dos sistemas foi inicialmente considerada segundo dois critérios: a análise visual e, também, a comparação do volume dos modelos 3D em STL com o volume da peça 3D gerada pela microtomografia. No entanto, o resultado do volume do modelo da gema de coração microtomografada foi desconsiderado para esta etapa devido às falhas já apresentadas na Figura 65.

Como são gemas de dimensões reduzidas, não foi considerado obter o volume das mesmas via técnicas convencionais. O que poderia ser considerado, em caso de objetos maiores.

A figura 66 apresenta os volumes gerados pela digitalização 3D em STL e calculados pelo programa Rhinoceros. Foram relacionados os modelos das gemas recobertas com tinta, dos modelos em gesso e dos modelos reconstruídos pelo método tradicional (paquímetro + programa 3D). Os dois primeiros tipos de modelos foram gerados a partir da digitalização 3D por Luz estruturada e o terceiro pela

reconstrução em programa específico para joalheria. O último é o modelo gerado via microtomografia.

Figura 65 – Tabela com relação dos volumes dos modelos 3D obtidos.

Volume em mm ³ dos modelos digitalizados por Luz Estruturada (LE) ou reconstruídos em 3D						
Método\gema	Quartzo (coração)	Quartzo fumê (octogonal)	Topázio-azul (gota)	Turmalina (octogonal)	Granada (redonda)	Peridoto (oval)
Gema com tinta - LE	437.00	172.07	61.12	29.27	33.03	25.01
Modelo de gesso - LE	432.91	185.64	62.29	30.45	34.59	26,04
3Design (paquímetro)	432,73	188.78	73.23	30.65	33.91	29.01
Microtomografia	401.19	157.65	68.20	29.59	32.47	25.02

Fonte: A autora, 2018.

O equipamento do RVScanner não foi estudado e testado da mesma forma que o David, portanto seus resultados não foram tabulados. Superficialmente pode-se dizer que as técnicas de digitalização são semelhantes, pois ambos se utilizam de projeções por luz estruturada e ambos os equipamentos necessitam de um trabalho preciso de calibração do equipamento.

Já a **fotogrametria** foi realizada apenas parcialmente, não chegando à reconstrução de uma gema completa.

Após a observação dos resultados numéricos de volume não mais se considerou-nos como um parâmetro confiável, já que vários modelos apresentaram deformidades diversas (seja em função da modelagem em gesso, seja pelo alinhamento incorreto das malhas digitalizadas) o que invalida os resultados, pois se tratam de objetos com dimensões diminutas, onde qualquer imprecisão compromete o resultado. Tal afirmação foi resultado da observação visual dos modelos.

Além disso, visualmente, os modelos 3D das réplicas em gesso e das gemas recobertas apresentaram similaridade formal considerada aceitável para os propósitos considerados neste estudo (setor joalheiro), por se tratarem de gemas com geometria tradicional. A única gema de que não seguia uma simetria geométrica teve variação considerável na reconstrução pelo método tradicional.

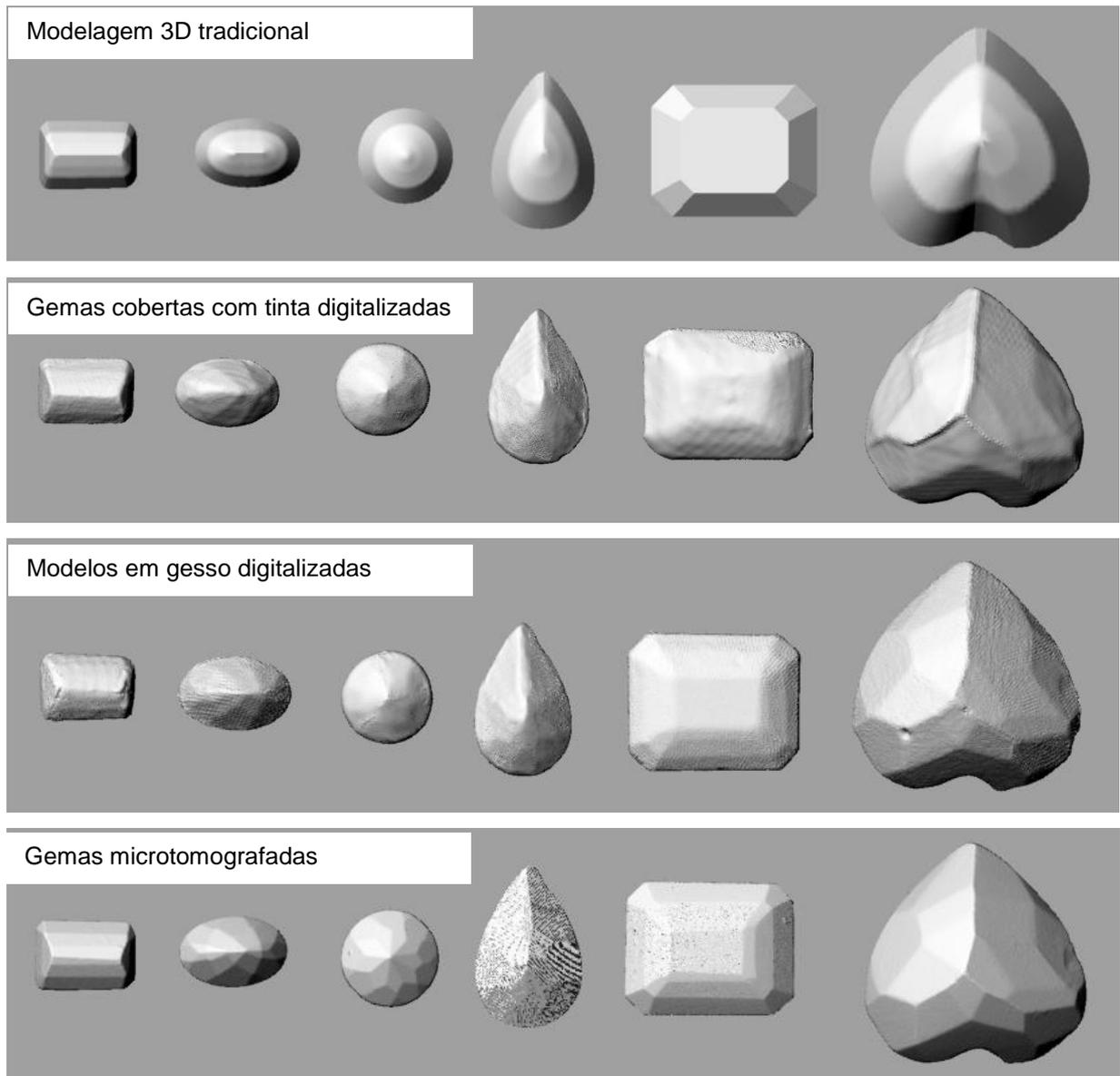
Os testes com luz estruturada demonstraram que não há necessidade de atenção especial à iluminação quando não se intenta capturar cores, já que o próprio sistema emite luz. O sistema respeita os padrões pré-estabelecidos no manual, como distância especificada de acordo com o tamanho do objeto e calibração. E,

além disso, não sofreu interferências de objetos em segundo plano. Tal parâmetro é disponibilizado pelo digitalizador 3D.

As falhas dos modelos em **gesso** auxiliaram no processamento de alinhamento, que costuma ser o mais trabalhoso. Então, é considerado importante registrar que formas destoantes auxiliaram nesta etapa.

Uma amostra comparativa dos modelos 3D pode ser observada na Figura 66:

Figura 66 – Vista inferior do resultado das diferentes técnicas utilizadas.



Fonte: A autora, 2018.

O teste com **fotogrametria** mostrou ser ele um sistema relativamente simples e considerado de boa portabilidade, pois demanda apenas uma câmera fotográfica

com boa resolução e alguns marcadores (que podem ser substituídos por peças de dimensões conhecidas, que estejam disponíveis no momento). No entanto, necessita de condições especiais de iluminação e recobrimento diferenciado, especialmente das arestas de objetos menores. Apresenta também alta qualidade do mapa de “textura” (cor) gerado.

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 de ser um equipamento que trabalha com radiação, 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.

Não foi avaliada a qualidade da “textura” (cor), por não ser objeto da pesquisa.

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.

4.2 A partir das entrevistas

4.2.1 O setor joalheiro

O processo de confecção de joias vai se alterando, de forma lenta, conforme o tempo. A partir das entrevistas e do conteúdo pesquisado, o processo foi redesenhado e o resultado pode ser visualizado na Figura 67.

Constatou-se, através dos dados obtidos a partir das entrevistas, que as empresas do ramo joalheiro costumam separar a área de prototipação (do primeiro desenho das joias até a impressão 3D) em dois setores: a **Criação** (também chamada de “Design” ou “Desenho”), onde são criadas as peças e coleções e a **Prototipagem 3D** (também chamada de “Prototipagem” ou “Modelagem 3D”), onde são executadas as intervenções técnicas pertinentes ao protótipo.

Figura 67 - Processo de criação e fabricação de uma joia.

Criação de Novos Produtos	Fabricação
<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisa e acompanhamento de tendências; - Desenvolvimento de coleções; - Escolha de insumos (gemas, metal); - Prototipagem de modelos e elaboração de ficha técnica inicial. - Escolha dos processos de fabricação; - Reunião técnica 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelagem 3D; - Impressão 3D - Fundição (injeção e moldes) - Apuração e montagem; - Cravação; - Polimento e acabamento; - Controle de qualidade - Finaliação da ficha técnica

Fonte: A autora, 2018.

Visualizar objetos tridimensionais através de imagens é uma atividade comum aos designers, mas não tão usual para outras profissionais no setor joalheiro. Em contrapartida, possuem capacidades técnicas de produção acuradas obtidas por ensaios práticos e que, usualmente, são adaptadas pelos designers em seus programas de modelagem. Um terço dos modelistas 3D entrevistados já fez algum curso de técnicas de ourivesaria para obter embasamento para confecção das peças em 3D. A experiência dos profissionais atuantes nas oficinas de ourivesaria é muito maior, portanto, todos os entrevistados consideram imprescindível a interação entre os modelistas 3D e os profissionais dos processos seguintes. Como dito por um dos entrevistados:

a gente está sempre trocando feedbacks de como a peça chegou e de como é melhor de ser feita, os encaixes, etc. A gente faz da melhor forma possível para que eles consigam trabalhar de uma forma facilitada na banca. Já se modela com essa finalidade. (US3) (PATZLAFF, 2018).

Conforme os entrevistados dos setores de Criação, esse setor é mais alinhado com o marketing e as tendências de moda e mercado, e o segundo fica responsável pela aplicação dos padrões técnicos e fabris. Como exemplificado por um dos entrevistados, as principais funções do setor de concepção da peça, chamado aqui de “Criação” são: desenvolvimento de produtos e coleções; pesquisa de tendências de desenvolvimento do protótipo; acompanhar os processos para controle de qualidade da produção e troca de ideias; avaliar adequações durante o processo de desenvolvimento, conforme necessário.

Outro relato de entrevistado acrescenta algo à lista anterior ao dizer que a Criação faz uma modelagem conceitual sem se prender às medidas técnicas necessárias para as etapas seguintes do processo: “a gente cria a parte conceitual [...] [criamos] ainda com algumas opções a serem discutidas, a gente modela como quer ver a peça pronta.” (US3) (PATZLAFF, 2018).

Já no setor de Modelagem 3D/Prototipagem, setor subsequente à criação na cadeia produtiva, as responsabilidades variam conforme o tempo de empresa e de experiência com a prototipagem rápida e conhecimentos das técnicas de ourivesaria, sendo comum contratar funcionários apenas com conhecimento em programas 3D e sem experiência em joalheria ou ourivesaria. As funções desempenhadas neste setor, conforme resumo das entrevistas, podem ser sintetizadas em:

- Modelagem das peças de acordo com desenhos técnicos e reuniões técnicas;
- Fechamento de arquivos para impressão em cera ou resina;
- Execução de impressão 3D em máquinas de impressão de cera ou resina para fundição ou envio de modelagens para empresa terceirizada que execute tal função;
- Após a impressão ou recebimento das resinas de terceirizadas, os funcionários fazem a conferência e ajustes no material impresso;
- Em caso de alterações em banca, armazenam digitalmente tais informações para confecção de modelos futuros.

4.2.2 Perfil do modelista 3D de joias

Foram entrevistados todos os modelistas conhecidos à época da realização da pesquisa, dentro da área pesquisada. Os modelistas entrevistados declararam ter registro específico na carteira de trabalho: 77,7% como Designers de Produto, 11,1% como Designers de Joias e 11,2% como Assistentes de Design. Alguns iniciam na empresa como estagiários, outros já como efetivos. Além disso, o público feminino está cada vez mais inserido nos setores produtivos, antes restrito ao público masculino e representa, hoje, quase 60% dos entrevistados atuantes nesse setor. Dentre os entrevistados 44,4% são do sexo masculino e 55,5% do sexo

feminino. A idade média dos participantes é de 30,3 anos, tendo o mais novo 25 e o mais velho 44 anos, à época.

Todos os entrevistados do setor possuíam ensino superior e metade era composta por graduados em Desenho Industrial/Design, No entanto, a outra metade possuía pós-graduação ou cursos de joalheria.

Conforme a cartilha empresarial do SENAI (2015) “o modelista de joias no Brasil ainda caminha para uma profissão especializada” e isso é confirmado pela escolha de 22,2% dos modelistas ao fazerem cursos de ourivesaria. Como ressaltado em SENAI (2015) “um bom modelista tem que ter conhecimento dos processos”. Nesse sentido os entrevistados demonstram que existe o interesse em acompanhar a produção fabril, como exemplificado por um entrevistado do setor de Criação: “dentro das empresas em que há oficinas, o contato dos modelistas com os setores de ourivesaria são incentivados para aumentar o aprendizado entre ambas as partes.” (US1) (PATZLAFF, 2018).

Conforme Souza (2010) “os digitalizadores trabalham com informações de coordenadas de pontos XYZ”, ...”os principais formatos de saída das peças criadas nesses softwares são STL, IGES (curvas NURBS) e VRM”. Sendo assim, perguntou-se aos entrevistados qual a formação ou as aptidões que eles julgavam serem necessárias para o operador de um digitalizador tridimensional. Um dos entrevistados citou, como parâmetro, o processo de impressão 3D, onde quem executa a impressão não é necessariamente quem fez a modelagem 3D. Assim, a tarefa também poderia ser delegada a um terceiro.

Não foi sugerido, por maioria, nenhum cargo ou profissão específica para a tarefa. Um dos entrevistados entende que como se tratam de duas tarefas distintas elas podem, ou não, serem executadas pela mesma pessoa, e acrescenta que tais tarefas podem ser realizadas parcialmente por um técnico operacional juntamente com outra pessoa que domine programas de modelagem 3D. Já outro, acredita que alguém do próprio setor da Modelagem 3D poderia fazer a parte de tratamento e que o programa do digitalizador deve ter complexidade aceitável para ser aprendida por quem já trabalha nos setores com modelagem 3D. Ele disse: “aprender a mexer num programa 3D é muito mais complexo do que mexer com uma máquina de prototipagem ou um scanner.” (US7) (PATZLAFF, 2018).

Um terceiro entrevistado acredita na automação completa do processo, a ponto de a tarefa ser realizada por alguém de outra área: “Talvez alguém com pouca

qualificação possa realizar um trabalho mecânico, alguém da própria prototipagem, ou treinar alguém do setor de seleção de pedras” (US3) (PATZLAFF, 2018). Outro entrevistado detalha: “Eu creio que deva ter certos detalhes ou posições da peça que o técnico vai saber direito como trabalhar” (US6) (PATZLAFF, 2018).

Em geral os entrevistados acreditam que é necessário o domínio da técnica e nuances peculiares ao equipamento, não sendo necessária uma graduação em design. No entanto, para eles, é imprescindível o conhecimento em modelagem 3D.

4.2.3 Processo atual de medição de gemas

As ferramentas de medição atuais são os paquímetros digitais e analógicos: “Temos disponíveis dois modelos de paquímetro digitais e um menor, de precisão, que se usa mais para medir brilhantes ou pedras muito pequenas. ” (US5) (PATZLAFF, 2018). A medição é feita na escala de milímetros (mm) e é considerada a primeira casa decimal após a vírgula. Já no caso de peças muito pequenas e parecidas utiliza-se a segunda casa decimal, após a vírgula. Alguns entrevistados comentaram que nem sempre é necessário tal grau de precisão devido aos processos posteriores, especialmente de fundição.

Em geral, o processo de medição abrange algumas etapas básicas. Inicialmente utiliza-se a digitalização 2D obtida por um digitalizador de mesa convencional para obter o contorno superior da gema. Em seguida, para peças simples, são tomadas as medidas extremas: comprimento x largura x altura. Obtido o desenho do contorno e suas medidas extremas, a gema é modelada de forma personalizada e com o auxílio do programa específico que calcula as proporções de uma lapidação padrão (seja brilhante, esmeralda, cabochão, etc.).

As peças mais procuradas em joalherias-pedristas seguem um certo padrão exemplificado por um dos entrevistados: “A produção em geral é de [pedidos de] peças quem vem com uma gema colorida envolta em brilhantes, outras vezes só com gemas coloridas, sem brilhantes. ” (US5) (PATZLAFF, 2018).

Para anéis, por exemplo, a medição é mais detalhada, levando-se em consideração outras medidas, tais como a largura da culaça. Evita-se, assim, a possibilidade de a gema entrar na parede interna inferior da “caixa da pedra”; e

também a altura em que se encontra o rondiz, que é a parte mais larga e onde começa o afunilamento da gema. As medições definirão o posicionamento adequado da cinta que segurará a gema. Raramente essas três características (linha de contorno do topo, altura e o tipo de lapidação) coincidem e, por isso, cada peça modelada é única, pois ajustada perfeitamente a cada gema.

4.2.4 Desafios de medição

Alguns formatos padrões de lapidações de gemas são mais difíceis de serem medidos com precisão, pois sofrem maior variação. As lapidações do tipo Antique, Coração e Gota são citadas, já que apresentam curvas arredondadas conforme o número e tamanho das facetas e como detalha um entrevistado: “a peça pode ser mais gordinha ou mais estreita nas laterais, mesmo estando num mesmo calibre”. (US3) (PATZLAFF, 2018).

As gemas de cor nem sempre têm as extremidades simétricas, inclusive o eixo, segundo um modelista: “são lapidadas assim exatamente para ressaltar as características da pedra, de cor e brilho” (US6) (PATZLAFF, 2018), o que acaba exigindo maior precisão para o profissional que deverá medi-la.

Joalherias pedristas utilizam gemas de todos os formatos, inclusive os muito irregulares e desde que sejam gemas de boa qualidade. Para aproveitamento de todas as gemas existentes, é possível, para empresas que tenham acesso a equipamentos de lapidação, gerar alterações para aproveitamento de todo o conteúdo de um lote e criar coleções aproveitando tais insumos. Como dito por um entrevistado “às vezes se pensa em uma peça e é pedido ao lapidário para deixa-la daquela forma”.

No setor de Criação é feita a seleção de pedras principais para a confecção de coleções, bem como é verificado o aproveitamento das pedras do estoque. Nesse setor é decidido, junto com a diretoria, toda a produção da empresa. Dentro disso um modelista ressalta que “ Só compram [pedras] calibradas quando não há similar no estoque. As vezes se prefere relapidar uma parte pequena ou alterar a peça. ” (US2) (PATZLAFF, 2018). O motivo, para tal, é evitar diminuir o valor da gema.

Um dos entrevistados detalha o esforço para obtenção de medidas milimétricas para o caso de gemas mais complexas, como anéis de coleções, que exijam a medição total e não apenas as medidas extremas:

Às vezes para ter a medida do rondiz de uma gema maior uso os 2 [paquímetros]. Apoio a pedra no paquímetro digital e meço com o outro paquímetro, do topo até a parte de cima do rondiz e do fundo até a parte de baixo, subtraio esses valores do total e tenho a medida do rondiz. É bom saber isso para fazer um pré-cravado, por exemplo (US1) (PATZLAFF, 2018).

Outro efeito estético que se evita em joias com gemas é o brilho metálico através da gema e que ocorre quando, ao olhar através de seu topo, vemos o metal refletir no interior da gema. Como explicado por um dos entrevistados:

A lapidação do formato brilhante [...] permite que você coloque qualquer coisa embaixo dela, que não irá aparecer pelo jogo de luz que a própria pedra as vezes tem e pela lapidação, Quando essa pedra tem uma lapidação tradicional e que o fundo é muito facetado ou uma pedra que é mais rasa, em geral ela tem um espaço no centro que a gente chama de janela, então tudo o que está por baixo tende a aparecer, e tende também a ampliar, então a gente tenta respeitar esse espaço da janela, que nada mais é que a mesa, então a gente faz uma área intocada que não pode ter nada ali até para não diminuir a qualidade da pedra que também é pela cor, ou deixar com um brilho metálico. Se a pedra é mais clara aparece mais, se ela tem menos facetas embaixo, como o caso da lapidação esmeralda, também. (US4) (PATZLAFF, 2018).

Como a modelagem é o processo-base e será utilizado por todos os outros setores, uma medição imprecisa resultará em uma peça de medidas incorretas e com consequente perda de tempo/trabalho. Em geral é feito um teste de encaixe das gemas reais após o modelo 3D ser impresso em resina ou cera e antes do modelo seguir para a fundição. Caso uma diferença significativa não seja percebida neste momento, poderá vir a ser percebida apenas no momento da cravação. A gema não encaixará e o modelo terá de ser ajustado ao erro, trocando-se a gema ou remodelando a joia em 3D, com desperdício significativo. Os entrevistados afirmam que o controle das peças que saem do setor é cada vez mais rigoroso para se evitar esse tipo de problema, como exemplifica um dos modelistas:

Hoje em dia a gente está tentando prever esse tipo de erro já na própria cera ou resina. A gente enfrenta alguma dificuldade em função da fragilidade da matéria prima, a cera e a resina são frágeis, mas de qualquer maneira a gente está mais atento a fazer uma análise da peça antes dela fundir e virar metal, antes de passar para os outros setores. A gente tenta ser mais caprichoso com experimentar essa pedra na cera e se tiver algum problema inclusive de usinagem, por exemplo, se tem uma pecinha que vem alguma coisa sobrando ou faltando, a gente está tentando inclusive “apurar” na própria cera e não deixar isso para a ourivesaria (US10) (PATZLAFF, 2018).

Na opinião de 75% dos entrevistados, as gemas com formatos orgânicos e as gemas menores são as peças mais difíceis de serem medidas:

“as maiores geralmente são mais fáceis, pois tem uma simetria boa de lapidação. Então, por mais complexa ou diferente que fosse a lapidação dela, um lado era um pouco similar ao outro. Quanto maior e mais reta, melhor de medir” (US4) (PATZLAFF, 2018)

Nos setores de Modelagem 3D/Prototipagem o erro mais temido é o do dar seguimento a uma peça imprecisa, pois à cada modelo 3D reenviado para impressão em resina, o custo demandado é de em torno de R\$200,00 por grama, a preço de mercado (1 grama é o equivalente a uma peça de em torno de 7g de ouro). Quando uma peça imprecisa segue para a fundição ou é fundida em ouro de coloração errada, e o erro é percebido apenas na hora da cravação, pode-se acrescer, aí, o custo do tempo de trabalho/equipamentos de ourives e de outros profissionais, além do próprio custo da fundição.

Já nos setores de Criação o erro mais temido ao se medir uma gema é o de errar o cálculo de valoração da mesma. Como descrito por um entrevistado “[a gema] é avaliada por quilate, influenciando no custo final da peça, da coleção e das estimativas gerais de custo.” (US1) (PATZLAFF, 2018).

Para quatro dos entrevistados houve um exemplo recorrente de gema difícil de ser modelada. A gema, transparente, possuía um formato arredondado na parte superior e com uma reentrância. A parte inferior era côncava. Nesta reentrância, no topo, seria apoiada uma caixa de metal e uma outra gema, rodeada de brilhantes. A partir desta gema superior desceriam fitas de brilhantes pelas quatro laterais da gema transparente, até a altura do aro do anel. Cada lado dessa gema transparente possuiria medida diferente e as reentrâncias não seriam centralizadas ou equidistantes. A peça teve que ser remodelada várias vezes numa parceria com o ourives e o cravador de pedras, cada qual fornecendo instruções técnicas para se chegar a um resultado satisfatório. Cada peça, por ser de diferente tamanho, necessitava de número de brilhantes diferentes. Um modelista detalhou o grau de dificuldade do problema:

[...] era mais fino embaixo e depois vinha engordando no meio para depois afinar de novo, como ia ter uma estrutura de metal em volta da pedra, já fica aquele receio de não caber direito e dar luz. [...] Como era um cristal que além da forma ser complexa ainda era uma peça transparente, ou seja gerava uma imagem [pelo scanner 2D] que a gente não sabia bem o que era fundo, contorno ou sombra. (US2) (PATZLAFF, 2018)

Há relato, recente, de que apenas parte dessa peça é modelada em 3D, hoje. E permanece demandando sua confecção por ourives experientes.

Não houve acordo entre os entrevistados em relação à porcentagem de gemas calibradas e não-calibradas. A política estratégica da empresa varia de acordo com o mercado e tais dados não são levados a conhecimento destes setores. Como observado por um dos entrevistados:

Tem épocas que a empresa foca mais em peças únicas ou pequena produção, permitindo pedras fora de um calibre. Então a proposta atual é justamente trabalhar com pedras chamadas “calibradas”, por que te facilita a produção e diminui o tempo de produção e ajustes, cria moldes e tem uma peça que é reproduzida e acaba ficando mais [barata de produzir] (US1) (PATZLAFF, 2018).

Não é necessariamente única, mas você pode criar dentro de um determinado lote que foi encontrado no estoque, que tem uma especificidade de formato e tamanhos que só tem naquele lote, eu posso até reproduzir a ideia, mas não com aquela pedra, ela vai respeitar aquelas pedras, mas dentro daquela quantidade, eu não vou conseguir mais aquilo. Então a gente trabalhava dentro de um lote respeitando a característica daquelas pedras que não iria se ter mais. (US2) (PATZLAFF, 2018).

Às vezes é aproveitamento de um bruto que você não vai ter de novo, você tem uma série de questões dentro da gemologia que o que nada mais é o que a gente trabalha, a gente trabalha com o melhor aproveitamento que você poder ter de determinado bruto determinado por cada pedra, cada pedra tem uma característica diferente que sempre se tentam valorizar. Às vezes tem uma determinada característica dentro da pedra que te impede de fazer determinada coisa, de repente você tem uma clivagem, então influencia na forma como ela pode quebrar, você tem que ter certas proporções para ela ter beleza, brilho, cor ou determinado brilho que normalmente não tem, então eles vão aproveitando da melhor forma possível. A gente acaba topando com todas essas características. Então uma época a nossa produção era 70% com pedras calibradas, então você tinha todos aqueles tamanhos 4x7, 4x6 10x8, 11x9, (...) e dentro desses 30% você tinha linhas exclusivas que partiam de desenhos. Hoje em dia a gente tem o que a gente chama de aproveitamento do lote que tinha no cofre, até linhas com estratégias diferentes e linhas que você faz o aproveitamento de lote. No universo atual eu acredito que 50% pedras calibradas, 30% de aproveitamento de cofre e 20% de pedras desenhadas. Varia conforme a estratégia da empresa.”

Já o setor de Modelagem 3D, apontou como maior grau de dificuldade, conforme um dos entrevistados, a entrada de peças que demandam novos modelos e as peças de coleção:

São as coisas mais complicadas, [...] as pedras estão ficando com um formato mais complicado eu diria que é pelo menos metade do nosso trabalho. Metade das peças que a gente trabalha são essas complexas. Dentro da empresa [...] no máximo 20% (US5) (PATZLAFF, 2018).

Como se tratam de empresas pedristas, a maior parte da produção girará em torno de gemas disponíveis em estoque e delas será importante obter as medidas com precisão, como explicado por um dos entrevistados:

Se a gente tiver uma imprecisão na (medida da) pedra, vai ter imprecisão no metal que sustenta essa pedra, imprecisão nas grifas o que compromete a linha de produção inteira. Então assim, a precisão na medição das pedras é fundamental e vital para a empresa [...]todo o resto, a parte do ourives, a parte da cravação, dependem da minha precisão quanto as informações de pedra. Quando eu faço, uma coroa de brilhantes em torno de uma pedra, se essa pedra não ficar na dimensão certa, a quantidade de brilhantes altera, a quantidade de metal altera, a dimensão desse metal altera, então a dimensão da pedra é fundamental para todo o resto. (US6) (PATZLAFF, 2018).

4.2.5 Os programas de modelagem 3D

Os programas de modelagem 3D disponibilizados nas empresas pesquisadas são: 3Design, Rhinoceros e o Z-Brush, que foi chamado de “[...] o ‘Photoshop’ da modelagem 3D” (US4) (PATZLAFF, 2018). Geralmente, a combinação de dois desses programas supre as demandas de confecção. O programa considerado como pré-requisito para se obter um emprego no setor de modelagem 3D dessas empresas é o Rhinoceros, comum à maioria das faculdades de design; O Rhinoceros não possui a característica da parametrização, mas possui *plug-ins* que facilitam e automatizam a disposição de fileiras de diamantes e outros elementos, como o Rhinogold e o Brasil.

Dentre os entrevistados dos setores de Criação, a preferência é pelo programa que as empresas mais utilizam, ou seja, o Rhinoceros. Um dos entrevistados justifica a preferência: “No Rhinoceros eu posso fazer uma coisa certinha cheia de medidas e eu posso propor fazer alguma coisa mais solta, então ele me atende bem”. (US2) (PATZLAFF, 2018). Um dos entrevistados comentou: “Acho que nunca se deve usar um programa só, é bom, as vezes começar em um programa (Rhinoceros) e finalizar em outro, como o Z-Brush, por exemplo. ” (US3) (PATZLAFF, 2018). Já nos setores de Modelagem 3D a construção das **peças** teve a preferência dividida entre o 3Design e o Rhinoceros. No entanto, para a reconstrução 3D das **gemas**, o 3Design é preferido.

No total, entre os dois setores, 60% dos entrevistados preferem modelar a **joia** no Rhinoceros e 40% no 3Design; E, para a reconstrução da **gema**, as opiniões ficaram divididas entre os mesmos softwares. Foi mencionado interesse pelo software Matrix, específico para modelagem de joias, mas nenhum dos entrevistados disse tê-lo manuseado e apenas lido a respeito.

As características de edição disponibilizadas no programa justificam a escolha pelo 3Design, por suas pré-configurações, como disposição do número de gemas, o posicionamento automático e o espaçamento desejado. Além dos ajustes paramétricos, especialmente na construção de gemas de diversas formas de lapidações, bem como no trato com argolas, aros, caixas de pedra, etc. Como exemplificado por um entrevistado: “[O programa] tem características pré-programadas e eu consigo manipular essa programação em qualquer etapa do processo” (US4) (PATZLAFF, 2018)

Um dos entrevistados explicou a intenção de uma das empresas ao optar por esse software paramétrico:

Foi feita uma pesquisa em 2012 e já que a empresa trabalhava com pedras não calibradas a diretoria preferiu o software 3Design. Toda peça que fosse feita na empresa teria repetida a modelagem com pequenas alterações (o que é possível com esse tipo de software), vantagem sobre o Rhinoceros.(US8) (PATZLAFF, 2018)

4.2.6 Digitalização 3D

Com o objetivo de aferir em quais áreas o escaneamento 3D seria mais adequado, foi proposto esse questionamento aos entrevistados. No que 100% dos entrevistados consideraram-no importante para os setores de Criação quanto na Modelagem 3D.

Um acervo digitalizado das pedras facilitaria o trabalho de seleção de pedras adequadas para um determinado projeto e seria de grande valia para todos os setores de uma empresa. Manter catalogadas e classificadas, virtualmente, todas as pedras que entram na empresa e sem precisar manuseá-las constantemente, tal opção reduziria os custos gerais, com certeza. Possuir um modelo virtual da pedra dispensaria, aos modelistas, o manuseio para obtenção de medidas e reduziria erros de medição e acidentes de percurso. Também possibilitaria trabalhos de engenharia

reversa, onde se digitalizaria modelos prontos e se desconstruiria o modelo virtualmente até chegar na pedra ou no modelo em metal. Inúmeras as possibilidades sugeridas pelos entrevistados.

Modelos virtuais também reduzem riscos de acidentes pela desnecessária circulação entre setores. E inibem a desnecessária força mecânica aplicada pelas ferramentas de trabalho no decorrer do processo, resguardando a gema original apenas para a cravação final. Algumas pedras são substituídas até o final do processo por modelos em pedra-sabão, réplica conhecida como “boneca” e lapidada manualmente.

Um dos entrevistados ressalta que, apesar das facilidades, deve se levar em consideração o tempo que ainda é gasto com o processo de digitalização 3D, atualmente:

Você tem uma maior precisão para algumas coisas, as vezes você tem que calcular um ângulo de uma pedra, com o modelo 3D você não vai precisar disso, então sua modelagem já vai ser em cima da angulação certa. Pode não agilizar o processo, em função do tempo de escanear, pois as tecnologias não dão o modelo de uma vez, e as vezes pode ser mais demorado. Se você tem uma encomenda que precisa ser rápida, com o escaneamento o processo todo vai demorar mais, então não se torna vantajoso. Já quando são peças para coleção em que se têm maior tempo para estudar pode ser que ajude, depende do trabalho e do tempo. “ (US4) (PATZLAFF, 2018)

Outro modelista sugere:

“A primeira coisa nos ocorre é gerar um arquivo 3D daquela pedra e aquele arquivo 3D servir para quem já manipula arquivos 3D que o setor de prototipagem e o Design [Criação], mas tem outros, por exemplo no setor do cofre eles medem pedra o tempo inteiro, eles catalogam em cima de uma medição que eles fazem. Aquele registro provavelmente é em papel ou no máximo numa tabela Excel de computador. Eu fico pensando que se esse registro poderia ser um registro 3D e a medição poderia ser num *scanner* 3D, ou seja, todo o histórico, todo o controle de estoque da empresa poderia ser a partir de um scanner 3D. Aquela informação serviria para empresa inteira. [...] Hoje se a gente quiser ver uma pedra, se vê a pedra, vê físico, uma foto não é tão precisa quanto um arquivo 3D dela. E quanto menos eu manipular uma pedra menos eu exponho ela a quebra, arranhar ou coisas assim. Então eu entendo a ideia de que mexer estruturalmente no jeito das empresas lidarem com a coisa. Dentro da empresa circularia o modelo 3D, se isso for... como vai ser, quando isso for implantado, isso vai mexer até no negócio, o negócio vai se tornar diferente.” (US5) (PATZLAFF, 2018)

Um dos entrevistados afirma que um digitalizador 3D fará com que se alcance um patamar muito superior de qualidade e uma gama maior de possibilidades para a criação de peças e com maior liberdade, assertividade e precisão. “Tendo uma pedra em 3D você brinca com os pontos de apoio dela, como segurar, como envolver, com muito mais certeza”, (US3) (PATZLAFF, 2018).

Para outro entrevistado a adoção de um digitalizador 3D também poderia ser útil para digitalizar o metal e facilitar o processo de engenharia reversa: “promoveria maior certeza de ajuste e integração nas peças, como no caso do vídeo da peça de um beija-flor onde se modela a pedra em cera, se cria a pedra trabalha a lapidação da pedra e a conformação da peça de acordo”. Outro processo de engenharia reversa é citado por outro modelista do setor de criação:

“Às vezes numa encomenda de uma peça de cliente é necessário escanear uma pedra que não pode ser descravada, e se a gente tem que propor algum desenho, então fica mais fácil. O cliente nem sempre quer desfazer a peça, ele quer uma ideia. Escaneando você consegue ter uma assertividade maior. Você também pode de repente escanear uma peça antiga que você não quer manter a borracha ou uma peça que foi desenhada a mão e não tem um arquivo dela [...]. Você pode ter um modelista de cera que faz um trabalho e você pode continuar o trabalho dele. Por exemplo uma pétala na modelagem 3D não é tão fácil de fazer quanto aquele trabalho de um modelista em cera, que existem modelistas muito habilidosos, é um trabalho artístico, que pode ser muito interessante visualmente. O software tem uma certa limitação e na mão é muito mais visual, espontâneo, a coisa vai fluindo e acho que isso poderia ser muito útil, o volume e espessuras em si. Outro exemplo foi a coroa do reinado que seria muito mais fácil do que medir todas as partes e pedras daquela peça que não podiam ser descravadas, calcular as espessuras, foi um trabalho muito difícil. Você também pode escanear partes do corpo, por exemplo, se você escanear a mão de uma pessoa você pode fazer uma peça mais orgânica personalizada para aquela cliente. Marcas de roupa tem modelos de prova, então poderiam ter modelos de braço, de cabeça. Tipos de orelha, você tem um universo de 3 tipos de orelha, isso acontece muito hoje em dia por que a joia está cada vez mais ocupando espaços inusitados no corpo, então os brincos estão subindo, eles vão para trás, vem para a frente, eles entram; os anéis ultrapassam um pouco os dedos ou sobem um pouco na mão, você tem pulseiras que vão acompanhando, então você tem que estar mais afinado com o corpo e isso é muito difícil, a gente faz muitas provas. E medir uma orelha, saber exatamente a curvatura...e já se modelaria sabendo exatamente onde você vai usar. Como a gente faz um anel hoje em dia? A gente faz um cilindro com a medida do dedo, mas se ele estiver ocupando o outro ossinho, as peças ficam meio depositadas sobre o corpo. Tem uma técnica de modelagem de roupa onde a pessoa vai amarrando o tecido ao redor da pessoa e depois tira e só finaliza com as marcações prévias. A gente acaba fazendo um pouco disso vai e volta e com o tempo vai sendo mais assertivo, mas só vamos ter certeza quando a coisa estiver na bancada, correndo experimentando em um e no outro, ajusta. Se tivesse isso, a gente iria eliminar 80% de dúvida de prova. Por que o ambiente virtual também não te dá certeza do que você quer, eu acho pelo que vejo no programa que vai ficar bom, você olha, gira, imprime 1:1, mas você só tem certeza quando a peça está física na sua mão. Eu acho que um produto não é só formatou as dimensões que você tem dele, mas as cores e texturas mudam muito a impressão que se tem dele, as vezes você tem um produto que se for preto fica maravilhoso, agora em ouro amarelo não fica tão bom, você tem que diminuir ele um pouco, o brilho a mesma coisa. Então é uma mistura de fatores que faz um produto dar certo, é óbvio que começa com as dimensões e formato dele, mas tem outras coisas que no decorrer ele vai te dizer se está bom ou não.” (US5) (PATZLAFF, 2018)

Por fim, a menção de que o sistema poderia ser interessante, inclusive, para o fornecedor de pedras. A possibilidade de transmitir apenas o arquivo contendo a imagem da gema digitalizada já seria suficiente para uma negociação primária.

4.2.7 Modelos digitalizados na lapidação

- Reproduzir à mão fielmente um modelo da gema é algo bastante trabalhoso que exige muita experiência do profissional envolvido. A reprodução das formas das pedras em “bonecas” poderia ser um processo automatizado. A captura do modelo em 3D por um digitalizador 3D e posterior reconstrução por usinagem ou impressão 3D ou outra técnica. O modelo 3D seria utilizado também em outras fases do processo, como na modelagem da joia. A criação de modelos de lapidação virtual permitiria a realização de testes e alterações em modelos virtuais e, naturalmente, sem a possibilidade de danos ao modelo gemológico original;

- “Bonecas” são homogêneas em cor e composição, porém não em forma. O controle dessas peças não é tão rígido e, em caso da ocorrência de trocas durante o processo, tal erro já teria onerado todas as etapas, gerando retrabalho. Uma gema poderá estar reservada para uma finalidade e, ao trocar sua “boneca”, por outra, similar, tal fato afetará o valor final do produto e, provavelmente, não atenderá ao padrão estético desejado (cor ou tipo de gema, por exemplo);

- O teste de digitalização da boneca provou, ser ela, uma reconstrução fiel da gema, mesmo sem as facetas. No entanto, não é possível afirmar que as “bonecas” que forem confeccionadas por outro lapidados tenham a mesma precisão, por se tratar de um trabalho manual;

- Uma alternativa para empresas que não possuem setor de lapidação seria a análise do lote por alguma tecnologia associada à digitalização 3D ou similar (o que ainda não existe, ou, se existe, não foi difundida). Possuir os arquivos digitais das gemas agrega segurança, pela rastreabilidade, e, conseqüentemente, valor.

4.2.8 Modelos digitalizados na produção

- Através do modelo em 3D é possível visualizar os detalhes em escala, o que será muito útil para a criação de projetos personalizados e com o cálculo de custos mais exato possível;

- Facilita enormemente a medição de gemas com formato mais orgânico e suas reentrâncias, abrindo o leque das alternativas de criação do setor joalheiro para o fabrico de gemas e peças exclusivas;
- Um modelo (digital) preciso da gema reduz o tempo de manuseio para construção ou reconstrução, parametrizada da mesma;
- A partir do modelo em 3D, preciso, é possível gerar, de maneira rápida, o **desenho técnico** ou mecânico de uma joia;
- O modelo exato da gema durante o processo de criação torna o processo mais eficiente e gera menos retrabalho. Item importante no setor joalheiro, onde se trabalha com limites apertados de tempo e qualquer necessidade de retrabalho (bastante comum) impacta em toda a sequência do processo e custo;
- A digitalização de modelos impressos em resina (ou cera) para fundição agilizaria o processo de conferência de encaixe das gemas. Além, tal processo permite manter um registro histórico da qualidade das resinas;
- Reduz-se o tempo total de produção e especialmente com retrabalhos, gerando margem maior e melhor avaliação do produto final;
- O processo de confecção de peças que são pares também foi citado:

Tendo só um pedaço de um brinco ou um “pé”, você pode fazer o outro igualzinho, perfeito. Ao invés de gastar metal e modelar os dois, você poderia fazer só um, pois [...] a gente tem que fazer os dois, para ficar idêntico. Se você fizer só um ele pode ficar diferente, mas se você tivesse uma coisa dessas você poderia manter aquele, não gastar metal, não cobrar mais do cliente e fazer um só, idêntico (US1) (PATZLAFF, 2018).

4.2.9 Modelos digitalizados após a peça pronta

- A digitalização para fins de catalogação e acervo de peças permite a obtenção precisa dos modelos finalizados e muitas vezes impossíveis de serem mensurados pelos métodos convencionais (diferenças de espessura, curvaturas acentuadas);
- Há pouca disponibilidade para análise após a peça pronta, o cuidado para não arranhar, manchar, manusear a peça é natural. Digitalizando-a, a análise poderá ser feita sem tais preocupações;

- A precisão no cálculo de volume é reforçada, independente apenas do peso. Tal precisão impacta diretamente no custo;
- A manutenção de arquivos digitalizados permite registrar as diferenças de metal durante a entradas e saída de cada setor (ourivesaria, fundição, cravação e polimento);
- Desnecessária manutenção de moldes. A digitalização possibilita armazenar virtualmente modelos pouco utilizados ou de coleções antigas;
- Auxilia no Design reverso de peças prontas. As peças sofrem alterações entre o modelo concebido e sua forma final (espessuras, formas, tratamentos). Manter o registro da peça finalizada possibilitará uma segunda análise do projeto, reforçando ou contrariando registros técnicos oficiais;
- Ainda, com a utilização da engenharia reversa é possível produzir peças idênticas para a confecção de pares de brincos (ou jogos) e mesmo a criação de peças complementares. Haverá maior assertividade e redução de custos.

4.2.10 Outras possibilidades a partir dos modelos digitalizados em 3D

- Possibilidade de digitalizar, com precisão, ferramentas gastas ou quebradas e gerar gabaritos. Seja para desenvolver uma nova solução interna ou para um cliente, é valioso e essencial empregar a digitalização 3D em produções de baixa escala;
- Catalogar e classificar virtualmente todas as gemas que entram na empresa e sem a necessidade de manuseá-las, constantemente, resguardando-as até a etapa de cravação e sem atravessar outros setores. A movimentação constante aumenta o risco de trocas, acidentes ou danos. Além de dispender um controle maior, desnecessário;
- Com o aumento nas pesquisas pode ser vislumbrado um sistema de digitalização mais apurado e que capture a concentração de elementos químicos presentes em uma gema, assim como ocorre hoje com os diamantes;
- Agilizar o trabalho dos setores de “Seleção de Pedras”, que, como o nome já sugere, separa as pedras mais adequadas para cada projeto e de acordo com o interesse do setor de Criação;

- Com o desenvolvimento tecnológico estima-se que, muito em breve, será possível ao fornecedor de gemas promover negociações de lotes de maneira virtual, sem contato direto com as gemas. A questão da segurança é primordial;

- Recriar peças, tais como réplicas de anéis e alianças;

- Peças já prontas que não possuam um modelo virtual, pois muito antigas, ou esculturas, podem ser digitalizadas e trabalhadas com maior facilidade pelo processo de engenharia reversa;

- Peças avariadas podem ser reconstruídas com maior facilidade e agilidade.

- Em suma, a utilização de digitalizador 3D gera economia de custos em todo o processo, resolve problemas, aumenta a segurança e auxilia a gerar maior qualidade.

5. TÓPICOS PARA DISCUSSÃO

- Os programas que acompanham os digitalizadores ainda não automatizam o processo de reconstrução de joias. O processo de pós-digitalização ainda carece de efetiva atuação por parte dos modelistas 3D. Diferentemente da odontologia, que já apresenta soluções notáveis e adequadas às necessidades específicas;
- O efeito da iluminação (solar ou doméstica) é irreplicável virtualmente, até o momento. Toda construção de joia deve passar pelo crivo de designers experientes, pois conseguem distinguir nuances por dentro do modelo “duro e engessado” obtido pelos programas de modelagem de joias. Tais programas ainda são incapazes de gerar as interações reais representativas da transparência ou do brilho dos metais, característica demais importante para o setor joalheiro. Mais adiante, quando tal característica for aplicável às gemas, abrirá um maior leque de possibilidades de criação, pois os efeitos óticos poderão ser simulados e criados intencionalmente para as gemas que possuam as características de mudança cromática de acordo com a luz ambiente (alexandrita, por exemplo).
- Outra possibilidade a ser estudada é a da utilização do microtomógrafo com o objetivo da análise da espessura de ouro em uma joia (com paredes mais delgadas). Um resultado fiel forneceria informações essenciais, pois verificaria alguma intervenção na gema (por exemplo) ou em área interna da peça. Tal avaliação serviria, também, como ferramenta de segurança, além de facilitar a correta aferição da quantidade de insumos utilizados. E possibilitaria a engenharia reversa da joia, pois captaria as dimensões precisas do modelo final e a partir do qual se baseariam demais possibilidades.

CONCLUSÕES

Diversas técnicas de digitalização 3D, de diferentes graus de precisão, estão sendo aprimoradas e utilizadas em todas as áreas da economia, é fato.

A autora destacou seu estudo para a digitalização em 3D e para o segmento de gemas preciosas (comercio e beneficiamento). A digitalização de gemas lapidadas/joias possui um desafio peculiar, a captura de imagens de objetos pequenos, com poucos centímetros ou milímetros de dimensão e, ainda, refletivos. O atual estudo pretendeu demonstrar como o recobrimento adequado das gemas tornou possível sua digitalização. Sugeriu a digitalização através, também, de réplicas em gesso, cujas facetas foram reconstruídas e replicadas de forma similar às gemas reais e de maneira bastante satisfatória.

Demonstrou-se que a luz estruturada é, no momento, a mais adequada ao setor joalheiro.

Verificou-se que os modelos gerados pelos programas dos digitalizadores 3D, de várias técnicas, ainda são fechados em um único sólido, sem opções simplificadas de edição. A integração de sistemas vista na odontologia poderia ter uma solução adequada à digitalização de joias e agilizariam todo o procedimento. Pois, como explanado nesta Dissertação, os processos praticados pela indústria nacional são arcaicos e diminuem a competitividade do país no mercado mundial. A implementação de processos que agilizem e barateiem o comercio e a produção se mostram fundamentais e urgentes.

O alcance da digitalização 3D para a joalheria não se limita ao setor de prototipagem/modelagem 3D. Benefícios podem atingir desde o fornecedor de pedras, a loja onde o cliente faz a encomenda do produto, até os setores de lapidação, seleção, ourivesaria, etc. As possibilidades são muitas. Desde a reconstrução precisa de uma peça que não possui versão digital até a reposição de ferramentas ou peças de maquinário do próprio atelier/oficina de ourivesaria. Todas as possibilidades resultarão em diminuição de custos, automação de processos, aumento da produtividade, diminuição do tempo e quantidade de retrabalhos.

O aproveitamento gemológico e a exportação de joias brasileiras mostram-se insignificantes. Há poucos estudos, muita dispersão, o setor necessita ser incentivado. Exemplos, o projeto 3D Gemas e algumas pesquisas de mestrado e doutorado nacionais encontradas e consultadas para esta dissertação. E, como é

incomum para as empresas joalheiras brasileiras possuírem suas próprias áreas de pesquisa ou mobilizarem capital para tal atividade-fim, acredita-se que parcerias iniciadas com a Academia poderão prover resultados significativos para o aperfeiçoamento da tecnologia de captura 3D existente.

Cabe ressaltar que as tecnologias de digitalização 3D são relativamente recentes e estão sujeitas a alterações, por diversos fatores. O presente estudo avaliou alguns elementos sob certa condição e não esgotou todas as variáveis, sendo razoável afirmar que demais experiências possam variar de acordo com outros elementos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- 3DERS. **HP acquires 3D scanning companies David Vision Systems and David 3D Solutions** Disponível em: < <http://www.3ders.org/articles/20160705-hp-acquires-3d-scanning-david-vision-systems-and-david-3d-solutions.html>> Acesso em: 05 mar. 2018.
- 3DGemas. **Histórico**. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~3dgemas/>> Acesso em: 20 nov. 2017
- 3DSCANCO. **3D Scanning Benefits**. 3DScanCo: From laser design. Disponível em: < <https://www.3dscanco.com/3d-scanning-benefits/>> Acesso em: 30 ago.2017
- AGÊNCIA FAPESP. **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
- ARTEC 3D. **Scanner Artec MHT**. Homepage institucional. Disponível em: <<http://www.artec3d.com/>> Acesso em: 22 ago. 2012.
- B9CREATIONS. B9 Scan 350. Homepage institucional).Disponível em: <<https://www.b9c.com/products/b9-scan-350>> Acesso em: 15 nov.2017
- BARBERO, Basilio Ramos; URETA Elena Santos. **Comparative Study of different digitalization techniques and their accuracy**. Computer-Aided Design 41, 2011.p. 188–206.
- BATISTA, Claudia Regina. **A modelagem 3D digital de joias e o processo de prototipagem rápida**. GRAPHICA'13. XXI Simpósio nacional de geometria descritiva e desenho técnico. X international conference graphics engineering for arts and design. Florianopolis-SC: 2013.
- BATISTA, Denise S. **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, Rio de Janeiro, 2014.
- BECKER, Leandro. **Soledade aposta em gestão e inovação para consolidar polo joalheiro na América Latina**. 2012. <<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 ago. 2017.
- BERNARDINI, Fausto; RUSHMEIER, Holly. **The 3D model acquisition pipeline**. Computer Graphics forum, v. 21, n 2 p. 149-172 (2002).

CIBJO. **Livro Azul** - O livro de gema corada: Gemas, substâncias orgânicas e produtos artificiais – terminologia e classificação. Versão Portuguesa (Brasil) 6 out. 2010.

CICADA JEWELRY DESIGN INC. Homepage institucional. Disponível em: <https://www.instagram.com/cjd_sako/> Acesso em 06 nov.2017

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Fatores que determinam o preço de uma gema.** CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Fatores-Que-Determinam-o-Preco-das-Gemas-1097.html>> Acesso em: 03 jun. 2018.

DAVID LASERSCANNER 3D. 2009. **David Laser Scanner 3D User Manual Pages.** DAVID Vision Systems GmbH, Koblenz, Germany. Disponível em: <http://www.davidlaserscanner.com/wiki/user_manual/frequently_asked_questions/> Acesso em: 24 mar. 2018.

DATT, Felipe. Designers independente abrem mercado para joias no exterior. 28,29 e 30 abr. 2018. Ano 18. N 4493 **Jornal Valor Econômico**, São Paulo.

DINIZ, Pedro. **Brasil produz 25% das pedras preciosas usadas por grifes como 'Tiffany & Co.'** 24 de setembro de 2017. Teófilo-Otoni e Corinto (MG), Jornal online UOL, Serafina, Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/serafina/2017/10/1920496-brasil-produz-25-das-pedras-preciosas-usadas-por-grifes-como-tiffany--co.shtml>> Acesso em: 3 jun.2018

FARIA, Paula. **Infografia digital em sites do governo federal: processos de elaboração e linguagens gráficas.** 93 p. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FEUERSTEIN, Paul. **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. **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, 2006.

GIA. Disponível em: <<https://www.gia.edu/ruby-quality-factor>> Acesso em: 08 dez. 2017.

IBGM. **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. 2015

INFOJOIA. **Uma Homenagem do InfoJoia às mulheres que fazem a joia brasileira.** Disponível em: <http://www.infojoia.com.br/news_portal/noticia_7774> Acesso em: 08 maio 2016

JOCHEN LEËN. (Homepage institucional) Contemporary Objects. Disponível em: <<http://www.jochenleen.net/>> Acesso em: 08 maio 2016

LIMA, Mariana. **Primeira bolsa de diamantes da América Latina luta para conquistar brasileiros.** **Estadão:** Economia e Negócios. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/mercados,primeira-bolsa-de-diamantes-da-al-luta-para-conquistar-brasileiros,1734374>> Acesso em: 16 set.2017.

LEXUS. **Helium Polish Pacor (HPO).** LEXUS. Your partner to success. Disponível em: <<http://www.lexusindia.in/products/gb-helium-polish-oxygen.aspx>> Acesso em 13 jun. de 2018.

MACHADO, Alessandra de Castro. Estudo de parâmetros microestruturais de rochas-reservatório para diferentes resoluções utilizando microtomografia computadorizada 3D. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MACDONALD, Lindsay et al. **Practice-based comparison of imaging methods for visualization of toolmarks on an Egyptian Scarab** 6th International Conference, ICISP 2014, Cherbourg, France. p. 239-246. Springer Verlag. 2014.

MACIEL, Bruna. **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, 2015.

MARTYNOWYCZ ET AL. The new technique managed to generate structures from a mixture that contained all four of these organic compounds, CHEMR XIV (2018) doi:10.1126/science.aav7886

MEYER, Jack. **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 jun.2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Produção de diamantes no Brasil pode crescer até 10 vezes nos próximos anos.** Maio de 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/producao-de-diamantes-no-brasil-pode-crescer-ate-10-vezes-nos-proximos-anos> Acesso em: 3 jun. 2018

MOL, Adriano. **Lapidação virtual.** Portal Joia BR, 2015. Disponível em: <<http://www.joiabr.com.br/artigos/mol01.html>> Acesso em 10/07/2015.> Acesso em: 19 mai. 2016.

MOTLEY, Darryl. **How Structured Light Works.** Gomeasure3D blog. News and resources on 3D scanning and measurement technologies. Publicado em maio de

2017. Disponível em: < <https://gomeasure3d.com/blog/how-structured-light-3d-scanners-work-video/>> Acesso em: 18 nov. 2017

MOUSSON. (Homepage institucional) **Mousson World**: discover our atelier! Mousson Fine jewelry manufacturer. Vídeo disponível em: <http://www.moussonatelier.ru/en/mousson_world/> Acesso em: 13 set. 2017.

PASTORIUS, Walt. **Structured light vs. Laser triangulation for 3d scanning and inspection**. LMI 3D Technologies. December 7, 2015. Disponível em: <<http://lmi3d.com/company/digital-hub/blog/structured-light-vs-laser-triangulation-3d-scanning-and-inspection>> Acesso em: 13 ago. 2017.

PEREIRA, Maíra P.; PASCO, Mariana R. **Benefícios da aplicação de técnicas de lapidação em gemas coradas para o setor joalheiro**. I Seminário sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, Soledade, RS: 2009.

POHLMANN, Mariana et al. **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. v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014. p. 2447-2455

POHLMANN, Mariana. Contribuição ao estudo de materiais, processos e modelos utilizados na fabricação de joias em larga escala. 100 p. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PRECIOUSBRAZIL. Projeto Setorial do IBGM e Apex-Brazil. Disponível em: < <http://www.preciousbrazil.com/setor.html>> Acesso em 06 abr. 2018.

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

SEBRAE Inteligência Setorial. **Prototipagem rápida de joias - Tecnologia como diferencial competitivo**. Autor: Raíssa Knupp Fonte: SIS/Sebrae - RJ Publicação: 19 jun.2015. Disponível em: <<http://www.sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/noticias-de-impacto/prototipagem-rapida-de-joias/558427a614d0c01d007ffd57>> Acesso em: 19 maio 2016.

SCAGLIUSI, Natascha. **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, 2015.

SCAGLIUSI, Natascha. **Pingente relicário**. In: 12º P&D, 2016.

SENAI. **Cartilha Empresarial de Processos e boas práticas do setor de joias**. Departamento Regional do Rio de Janeiro. – Rio de Janeiro: SENAI, 2015.

SILVA, Juliano Tonezer. et al. **Metodologia Para Auxílio Ao Projeto Virtual De Lapidação De Gemas Coradas (Projeto 3d-Gemas)**. In: I Seminário sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul: 2009.

SILVA, Fábio Pinto da; et al. **A digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de produto.** In: PGDesign - Design E Tecnologia, 2010, Porto Alegre: UFRGS, v. 1, p. 60-65. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/26376>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

SILVA, Fábio Pinto da. **O uso da digitalização tridimensional a Laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SIRONA. (Homepage institucional) Dentsply Sirona. Disponível em: <<https://cerecvocepode.com.br/>> Acesso em 6 nov. 2017

SOUZA, Eduardo Presser de. **Contribuição ao estudo da aplicação da digitalização tridimensional para o design e a lapidação de gemas.** 110 p. Dissertação (Mestrado em Design e tecnologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOUZA, Isabella Soares de. **Utilização da microtomografia computadorizada com feixe de raios X cônico para a determinação quantitativa do volume da traqueia do *Rhodnius prolixus*.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

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

TSCHOPP, E. and DZEMSKI, G. **3 Dimensional reproduction techniques to preserve and spread paleontological material – a case study with a diplodocid Sauropod neck.** Journal of Paleontological Techniques, 2012, 10: 1-8. Disponível em: < <http://www.jpaleontologicaltechniques.org/>> Acesso em: 16 jun. 2014

WESCHELER, M. Como funciona o laser. Disponível em: <<ciência.hsw.uol.com.br/laser4.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2012

WOHLERS, Terry T. **"3D digitizers."** Computer Graphics World. MLA 7a edição.v.2, p. 73-77. July 1992: Disponível em: <http://go-galegroup.ez83.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE%7CA12374490&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w&asid=a50632f7f185093794f2b5c6ef1622b4>> Acesso em 19 maio 2017.

APÊNDICE - Modelo da entrevista

Análise do modelo atual de medição das pedras de cor em empresas de joia.

Os dados da entrevista são apenas qualitativos, sendo preservado o anonimato dos entrevistados. Com essa pesquisa será possível vislumbrar como são tomadas as medidas das pedras e os possíveis pontos de contato alcançáveis com a utilização de um scanner 3D. Será traçado também o perfil dos atuais modelistas 3D que realizam esse trabalho.

Nome e/ou contato (para tirar quaisquer dúvidas, pois ficará anônimo);

Sexo: () M; () F;

Já trabalhou em outra empresa de joias? Se sim qual/quais? Há quantos anos, trabalha com modelagem que precise tomar medidas de pedras? Qual a formação ou qualificação principal que fez na área? Fale um pouco a respeito do seu envolvimento de maneira geral na área joalheira além da empresa atual.

Empresa atual, setor e cargo?

1.Quais as funções que as pessoas com seu cargo desempenham na empresa?

2.Como descreveria seu conhecimento de “banca”? Tem contato prático, fez cursos, workshops, observações. Detalhe.

3.Em qual software prefere modelar a pedra na empresa em que trabalha? E as peças?

4.Qual software você acha que seria o ideal para tal modelagem? Se ele não é disponibilizado pela empresa, por que razão?

5.Descreva a ordem dos processos de medição da pedra mais trabalhosa que você já mediu, detalhando quais foram as ferramentas utilizadas?

- 6.Quantos % da produção que passa por você é com pedras não calibradas? E quantos % são pedras muito difíceis de medir com os meios convencionais?
- 7.Você já participou ou soube de um projeto de joia por engenharia-reversa? Explique o que seria facilitado com o auxílio de um scanner 3D.
- 8.Qual a capacitação ou formação você acha que terá que ter a pessoa que vai operar o scanner 3D? Teria que ser dentro da empresa ou não necessariamente?
- 9.Você lembra de casos em que ficou com receio de que as medidas da pedra estivessem diferentes das que seriam obtidas com um scanner 3D? Dê ao menos 4 exemplos.
- 10.Quais as consequências de uma medição errada para o processo, dentro e fora do setor?
- 11.Dentro de uma empresa joalheira, em quais processos e setores você acredita que pode ser utilizado um modelo digitalizado em 3D? Quais as melhorias diretas que a utilização de um scanner 3D poderia gerar em toda a empresa?

ANEXO A – 4Cs que influenciam na valoração de diamantes e gemas

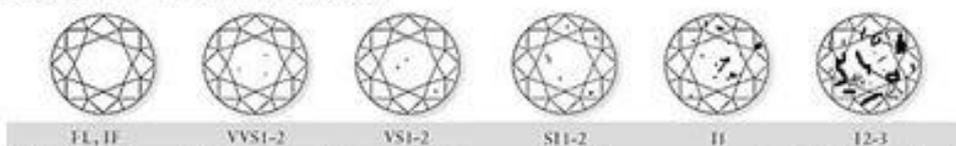
1. "Cut" – Lapidação do diamante



2. Carat – Quilate do diamante

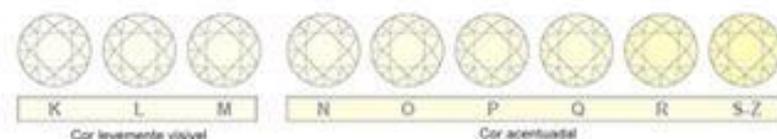


3. Claridade – Pureza do diamante



FL, IF – Internally Flawless -Internamente puro (e externamente, também). É a classificação mais alta dada a uma pedra; **VVS1-2** – Very Very Slightly Included (Inclusões muito, muito leves); **VS11** – Very Slightly Included (Inclusões muito leves); **SI1-2** – Slightly Included (Inclusões leves); **I1** – Uma inclusão I1 pode ser vista a olho nu, mas ainda é agradável aos olhos. A inclusão não é grande o suficiente para tirar o brilho da pedra; **I2** – Uma inclusão I2 pode abranger uma porção substancial da pedra podendo ser facilmente vista a olho nu. **I3** – Uma inclusão I3 está muito próxima de ser considerada uma pedra de “rejeição” isso significa que uma porção tão grande da pedra tem defeito que ela perde todo seu brilho ficando apagada, perdendo toda “vida”; qualquer pedra abaixo de I3 seria considerada para uso industrial do diamante.

4. Cor do diamante



Fonte: GIA, 2017

ANEXO B – Anatomia de um diamante

ANATOMY OF A DIAMOND

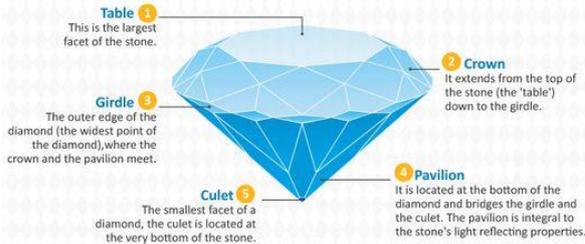


One of the most defining characteristics of a diamond is its cut. A diamond's cut is an integral factor in determining its brilliance and fire. Even a flawless diamond will appear dull and muted if the cut is poor.

While high grades of color, clarity, and carat weight also contribute to a diamond's appeal, it's the cut that determines the symmetry of the stone's facets, its overall proportions, and its ability to reflect light.

Diamond Components

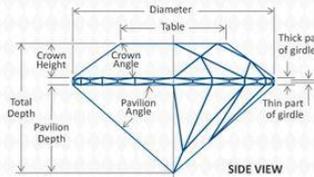
A diamond is comprised of the following main components:



 1 Table This is the largest facet of the stone. It comprises the flat surface on the top, resembling a 'table'.	 2 Crown The outer edge of the diamond (the widest point of the diamond), where the crown and the pavilion meet. Crowns can be comprised of step cut facets or brilliant cut facets.	 3 Girdle The smallest facet of a diamond, the culet is located at the very bottom of the stone. Its measurement is the perimeter of the diamond. A diamond's girdle can be rough, polished, or faceted.	 4 Pavilion It extends from the top of the stone (the 'table') down to the girdle. It is located at the bottom of the diamond and bridges the girdle and the culet. The pavilion is integral to the stone's light reflecting properties. A properly cut pavilion will allow the maximum amount of light to reflect from the surface of the stone.	 5 Culet It was originally intended to protect the diamond's pavilion. Today's settings are strong enough to render it unnecessary.
--	--	--	--	--

Cut Definitions

Cut refers to the geometric proportions of the gem. When evaluating the cut of a diamond, there are some core characteristics that should be considered:



Measurements
The measurements in millimeters of a diamond's length, width, and height are used to evaluate the symmetry and quality of its cut.

Proportions
A diamond's proportions, a measure of the number and size of facets and its overall length and width, are integral in determining the quality of its cut.

Depth & Depth Percentage*
A diamond's depth is the entire stone's height from the table to the culet, in millimeters. The depth percentage measures the ratio of the stone's depth (from the table to the culet) to the diamond's total diameter.

Ideal proportions:
When a diamond is cut with the ideal proportions for its shape, it will reflect more light out of the top, resulting in higher levels of fire and brilliance.

Incongruous proportions:
A poorly cut diamond with incongruous proportions will allow light to escape out the bottom and sides, resulting in a dull, dark appearance.

Facet/Faceting

There are two common methods of cutting facets, each with its own unique light reflection properties:

<p>Step-cut faceting: In this approach, the facets are elongated and placed in rows to simulate a mirrored staircase.</p> <p style="text-align: center;">Crown View Pavilion View</p>	<p>Brilliant-cut faceting: This technique creates triangular-shaped facets that face outwards from the center of the diamond.</p> <p style="text-align: center;">Crown View Pavilion View</p>
---	---

Other variables

A diamond's polish and symmetry are critical to the quality of its cut.

<p>Polish For maximum brilliance, every facet of a diamond should be professionally polished after the cutting process. A high-quality polish will leave little to no scratches and marks, while a poor polish can result in imperfections on the surface of the diamond.</p>	<p>Symmetry A symmetrical diamond will have well-balanced, properly aligned facets, resulting in a high level of fire and brilliance. If the facets are not symmetrical or not optimally shaped, they'll display less sparkle.</p>	<p>Cut grade A gemologist assigns a cut grade as a means of measuring a diamond's proportions, craftsmanship, quality of polish, and light reflecting properties. A diamond with a high quality cut grade will exude a large amount of brilliance and fire.</p>
--	---	--

A diamond's ratings for polish, symmetry and cut grade affect its value and they may vary based on which Gemological Laboratory is evaluating it, as each agency uses a different scale.

Light's Effect on a Diamond

A diamond is a prism that refracts or bends light rays. It breaks white light into a spectrum of color and directs it to the observer's eye. The most important factors that determine a diamond's brilliance is its ability to reflect light.

Tiny flashes will be visible within the stone exposed to a light source. This is known as **sparkle or scintillation**: an effect of the stone's reflection and refraction of light.

 Reflection When light enters the surface of a diamond, a portion of it is reflected back out the top.	 Refraction When light travels into the center of the diamond and bounces off its internal walls.	 Dispersion As light exits the diamond, dispersion causes the white light to be separated into multiple colors.
---	--	--

Some light will escape out the bottom and sides, and some will reflect out of the top of the stone. The light that is reflected is referred to as the 'fire' of the diamond.

Cut & Value

The quality of a diamond's cut has a significant impact on its value.

<p>A well-cut stone sacrifices more of the rough diamond during the cutting process, resulting in a higher market value. It will also exhibit better light reflecting properties, exuding greater fire and brilliance.</p>	<p>Improperly cut diamonds will have less visual appeal and a decreased value. To ensure the best value, look for a certified diamond with polish and symmetry ratings of 'Good' or better.</p>
--	---

Cut & Depth

Diamonds are generally categorized into three main types of cuts:

 Shallow cut Although a shallow cut diamond will create the illusion of a larger stone, it allows light to escape out the sides instead of reflecting off the top, creating a lack of brilliance and sparkle.	 Ideal cut This is the cut of a high quality diamond that beautifully reflects light. This premier cut style is well-proportioned and carefully angled to achieve a luminous appearance.	 Deep cut This type of cut poorly reflects light, resulting in a dull, muted appearance.
--	---	---

Brilliance Diamond Make

'Make' is a term used to describe the overall appearance of a diamond and is based on a combined analysis of its shape, cut, proportions, polish, symmetry, and light reflecting properties.

The 'Make' of a diamond directly impacts its brilliance and beauty. A properly designed, cut and finished diamond will have a more desirable appearance, even when compared to diamonds of higher color and clarity grades.

We use the following designations to rate the 'Make' of our diamonds:

★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Good Make	Very Good Make	Excellent Make	Ideal Make	Super Ideal Make
Economical choice. Reflects most light that enters it.	Reflects nearly all light that enters. Less expensive than an 'Excellent' Make. It still displays a good amount of brilliance and sparkle.	Cut to a high-quality polish and symmetry. This diamond Make will reflect all light as brilliance and fire.	Superior level of craftsmanship. It emits the most brilliance and light. Preferred by consumers seeking premium cuts.	Our highest quality cut. Reflect the maximum amount of light. It exhibits unrivaled brilliance and fire. Extremely rare.