

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
MESTRADO ACADÊMICO EM DESIGN E TECNOLOGIA

Eduardo Presser de Souza

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA APLICAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO
TRIDIMENSIONAL PARA O DESIGN E A LAPIDAÇÃO DE GEMAS**

Porto Alegre, 2010

Eduardo Presser de Souza

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA APLICAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO
TRIDIMENSIONAL PARA O DESIGN E A LAPIDAÇÃO DE GEMAS

Dissertação de Mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação em Design - ênfase em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito a obtenção do Título de Mestre em Design, modalidade acadêmico.

Orientador: Wilson Kindlein Jr., Prof. Dr.

Coorientador: Juliano Tonezer da Silva, Prof. Dr.

Porto Alegre, 2010

*“Todos os grandes avanços científicos
decorrem de mudanças de paradigma.”*

Thomas Kuhn

The Structure of Scientific Revolutions

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Wilson Kindlein Jr. Coordenador do curso de Pós-Graduação de Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e meu orientador.

Ao Professor Dr. Juliano Tonezer da Silva, Coordenador do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul e meu coorientador.

Aos órgãos de fomento CAPES, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro aos projetos de pesquisa que permitiram a realização deste trabalho.

Aos demais Professores e funcionários do PgDesign.

A todos os colegas do CT-Pedras e LdSM.

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

RESUMO

O Rio Grande do Sul possui um enorme potencial na exploração de material gemológico. Municípios como Ametista do Sul e Salto do Jacuí extraem mais da metade do volume de ágata e ametista comercializadas mundialmente. Nesse mesmo contexto o município de Soledade se consolida como Polo Comercial desse tipo de material, existindo empresas (no estudo realizado foram encontradas cerca de 180) relacionadas com exportação e beneficiamento de material gemológico. No entanto grande parte dessas empresas exporta esse material com pouco beneficiamento, não valorizando as peças, que são beneficiadas no exterior, muitas vezes voltando ao Brasil para serem comercializadas com um alto valor agregado devido ao Design e a tecnologia empregada. Com investimentos em pesquisa, tecnologia e Design, assim como capacitação de mão de obra, é possível realizar no Brasil beneficiamentos de qualidade, gerando produtos diferenciados que podem ser exportados ou comercializados internamente a um preço competitivo e adequado. Nesse sentido o objetivo desse trabalho é mostrar a aplicação da tecnologia de digitalização tridimensional para o design e lapidação de gemas, obtendo o máximo de aproveitamento e valorizando o material nas nos municípios do Rio grande do sul que extraem e comercializam as gemas. No Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul foram realizados testes com digitalizador HandyScan, obtendo modelos virtuais de gemas marteladas de ametista e citrino com bastante precisão. Os resultados obtidos mostram o grande potencial dessa ferramenta em fornecer modelos virtuais de gemas, possibilitando o cálculo e o projeto de sua lapidação antes do seu corte, diminuindo perdas e erros no processo de lapidação.

Palavras-Chave: Design de Produto, Digitalização Tridimensional, Gemas Joalheria

ABSTRACT

Rio Grande do Sul has a huge potential regarding gemological material exploration. Municipalities as Ametista do Sul and Salto Jacuí extract more than half of the volume of agate and amethyst sold worldwide. In this context the town of Soledade is consolidated as a Commercial Polo of the material and there are companies (in the research done were found about 180) related with exporting and processing gemological material. However most of these companies export this material with little improvement, not valuing the parts, which are benefit in foreign countries, often returning to Brazil to be marketed with a high added value due to the applied design and technology. Investments in research, technology and design, as well as training of manpower can be achieved in Brazil benefit from quality, create differentiated products that can be exported or commercialized internally at an appropriate price and competitive. In this sense the objective of this research is to show the application of three-dimensional scanning technology to gems design and polishing, getting the maximum utilization and valuing to the material in its extraction region. In the Technology Center of Rocks, Gems and Jewelry of Rio Grande do Sul (CT-Pedras), tests were performed with Handyscan scanner, obtaining virtual models of hammered amethyst and citrines gems with plenty of accuracy. The results show the great potential of this tool to provide virtual models of gems, enabling the calculation and project of gemcut before its cut, reducing losses and errors in gemcut process.

Keywords: Product Design, three-dimensional scanning, gems, jewelry

Lista de Figuras

Figura 1: Sede do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias de Soledade.....	21
Figura 2: Impressora 3D de prototipagem rápida (A) e Gravadora a Laser (B)...	21
Figura 3: Equipamento de Corte por Jato de Água (A) e Digitalizador Tridimensional Portátil (B).....	22
Figura 4: Exemplo de uma nuvem de pontos. No canto superior direito o objeto real digitalizado para obtenção da nuvem.	31
Figura 5: Montagem de duas nuvens de pontos de uma drusa de ametista (A), Drusa de ametista montada (B).....	32
Figura 6: Malha gerada a partir de uma nuvem de pontos.	32
Figura 7: Renderização da malha digitalizada.	33
Figura 8: Orientação dos pontos em sentido anti-horário, o que representa a parte superior do triangulo como parte externa da superfície (Regra da mão direita).....	34
Figura 9: Divisão incorreta dos vértices (A) e a forma correta de triangulação de uma malha (B).	35
Figura 10: Exemplo de ametista natural (A), citrino tratado termicamente (B) e prasiolita tratada através de radiação (C).	40
Figura 11: Exemplos da lapidação lisa. Fonte: Schumann (2002 p.67).....	49
Figura 12: Exemplos dos modelos mais usuais de lapidação facetada. Fonte www.heartgem.com	50
Figura 13: Exemplos de lapidação mista. Fonte: Martins - Filho, Mol, Rocha (2005, p. 2).....	50
Figura 14: Exemplos de lapidações <i>Fantasy Cut</i> do Atelier da família Munsteiner.	51
Figura 15: Elementos de uma gema lapidada. Fonte: Martins-Filho, Mol, Rocha (2005 p.2)	52
Figura 16: Efeitos da incidência da luz em diferentes ângulos de corte da faceta. Fonte: Adaptação de Introduction of Faceting (2008).	53

Figura 17: Gabaritos com diferentes ângulos usados na etapa de pré-formação da gema.	54
Figura 18: Gema colada à “caneta” através de goma laca.	55
Figura 19: Processo de lapidação manual.	55
Figura 20: Equipamento de processo mecânico de lapidação.	56
Figura 21: Mapa Gemológico da região sul do Brasil (PR, SC, RS), indicando as principais unidades geológicas e as áreas de ocorrência de materiais de interesse gemológico. Retirado de Juchem et al. (2009).	59
Figura 22: Gemas de ametista martelada sendo classificadas para lapidação.	67
Figura 23: Gemas marteladas de ametista (A) e gemas marteladas de citrino (B).	69
Figura 24: HandyScan modelo REVScan.	70
Figura 25: Placa de calibração do digitalizador.	71
Figura 26: Menu do software para calibração do digitalizador.	72
Figura 27: Distribuição ideal das etiquetas sobre uma superfície.	73
Figura 28: Pó revelador sendo aplicado em uma amostra de quartzo.	73
Figura 29: Tela de configuração do sensor do laser.	74
Figura 30: Barra de ferramenta do <i>software</i> VXScan.	75
Figura 31: Digitalização de uma gema, onde (1) é a plataforma com as etiquetas reflexivas para orientação do equipamento, (2) é a amostra de gema martelada que esta sendo digitalizada e (3) é o equipamento digitalizador portátil a laser.	76
Figura 32: Detalhe da barra que auxilia o operador a manter a distância ideal do equipamento para a superfície digitalizada.	77
Figura 33: Comandos para mover o cubo (A), para centralizar o cubo na digitalização (B) e para ajustar o cubo ao tamanho da digitalização (C).	77
Figura 34: Sobreposição de malhas devido à falta de pontos em comum na digitalização das nuvens.	78
Figura 35: Pontos em comum selecionados nas duas nuvens de pontos (A), e montagem das nuvens finalizada pelo software (B).	79

Figura 36: Nuvem de pontos antes do tratamento com os filtros (A), e depois de serem passados os filtros (B).....	80
Figura 37: Barra com comandos de correção de malha e filtros de redução de picos e triângulos.	81
Figura 38: Malha com falhas em sua construção (A), e posteriormente com as falhas corrigidas (B).....	81
Figura 39: Comandos para validação da malha.....	82
Figura 40: Fluxograma do processo de digitalização de gemas.	87
Figura 41: Modelo de gema (ensaio 1) com resolução de 0,20mm (A), com 0,39mm (B) e com 0,78mm (C).	89
Figura 42: Ensaio de comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a 0,20 mm (ensaio 1).	90
Figura 43: Comparação tridimensional entre a malha de 0,78mm com a de 0,20 mm (ensaio 1).....	91
Figura 44: Visualização da malha de 0,20 mm (A), de 0,39 mm (B) e de 0,78 mm (C) - (ensaio 2).....	91
Figura 45: Comparação tridimensional entre malha de 0,39 mm com a de 0,20 mm (ensaio 2).....	92
Figura 46: Comparação tridimensional da malha de 0,78 mm com a de 0,20 mm (ensaio 2).....	92
Figura 47: Ensaio 3, visualização da malha de 0,20 mm (A), da malha de 0,39 mm (B) e da malha de 0,78 mm (C).	93
Figura 48: Comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a de 0,20 mm (ensaio 3).....	93
Figura 49: Comparação tridimensional da malha de 0,78 mm com a de 0,20 mm (ensaio 3).....	94
Figura 50: Ensaio 4, visualização da malha de 0,20 mm (A), malha de 0,39 mm (B) e malha de 0,78 mm (C).....	94
Figura 51: Comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a malha de 0,20 mm (Ensaio 4).	95

Figura 52: comparação da malha de 0,78 mm com a malha de 0,20 mm (ensaio 4).....	95
Figura 53: Exemplo de duas nuvens de pontos de baixa resolução onde se pode observar a dificuldade em visualizar pontos comuns.	97
Figura 54: Redução de malha, à direita gema de citrino martelada (A), em seguida modelo tridimensional da gema digitalizado em 0,20 mm (B), e mesmo modelo com a malha reduzida (C).	99
Figura 55: Histograma de modelos redondo e oval.	100
Figura 56: Histograma das simulações do Otimizador 3D Gemas para os modelos ideais redondo e oval.	101

Lista de Tabelas

Tabela 1: Escala de dureza Mohs.....	46
Tabela 2: Tempo da digitalização.....	96
Tabela 3: Análise econômica - financeira.....	102

Lista de quadros

Quadro 1: Relação das gemas existentes no Brasil.....	39
Quadro 2: Principais características da ágata.....	42
Quadro 3: Principais características da ametista.....	43
Quadro 4: Principais características do citrino.....	44
Quadro 5: Especificações Técnicas RevScan.....	70

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Atividade principal das empresas.....	61
Gráfico 2: Processos executados pelas empresas.....	61
Gráfico 3: Maquinários utilizados pelas empresas.....	62
Gráfico 4 Tempo de uso dos maquinários.....	63
Gráfico 5: Principais Produtos.....	63
Gráfico 6: Matéria Prima utilizada.....	64
Gráfico 7: Origem da matéria prima.....	65
Gráfico 8: Treinamento dos funcionários.....	65

Lista de Siglas

3D = Três dimensões, tridimensional.

APL = Arranjo Produtivo Local.

CAD = *Computer aided Design*

CAM = *Computer aided Manufacturing*

CAE = *Computer Aided Engineering*

CAPES = Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CCD = *charge-coupled device*

CEO = *Chief executive officer*

CNC = Controle Numérico Computadorizado

CNI = Confederação Nacional da Indústria

CNPq = Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CTCV = Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

CT-Pedras = Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul.

FINEP = Financiadora de Estudos e Projetos

IBGM = Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos

IGES = *Initial Graphics Exchange Specification*

INPI = Instituto Nacional de Propriedade Industrial

LdSM = Laboratório de Design e Seleção de Materiais

NURBS = Non Uniform Rational Basis Spline

OFF = *Object Format File*

PGDesign = Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia

SEBRAE = Serviço Brasileiro de apoio as Micro e Pequenas Empresas

SENAI = Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SINDIPEDRAS = Sindicato das Indústrias Joalheiras, Mineração, Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul

STL = *Stereolithography*

UPF = Universidade de Passo Fundo

UFRGS = Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Organização da Dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em 6 capítulos. No primeiro capítulo estão as informações iniciais sobre a pesquisa, com a introdução, o tema, o problema da pesquisa e a justificativa do presente trabalho,

No capítulo 2 é apresentado um referencial de assuntos relevantes a pesquisa, como informações sobre o desenho industrial, as gemas, a lapidação e o mercado nacional e regional.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia de digitalização proposta descrevendo suas etapas.

No quarto capítulo é descrita a aplicação da metodologia para a digitalização de gemas marteladas através do equipamento e *softwares* existentes no CT-Pedras.

No capítulo 5 são apresentados os resultados e análises das digitalizações obtidas através do HandyScan.

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões sobre o processo de digitalização, assim como propostas para a continuação da pesquisa e trabalhos futuros.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	11
Lista de quadros.....	12
Lista de Gráficos	13
Lista de Siglas.....	14
Organização da Dissertação	15
SUMÁRIO	16
INTRODUÇÃO	19
1.1 Delimitação do Tema.....	22
1.2 Formulação do Problema	24
1.3 Objetivo Geral da Pesquisa.....	24
1.3.1 Objetivos Específicos.....	24
1.4 Justificativa	24
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1 A definição de Design.....	26
2.2 O Design como Fator de diferenciação em produtos.....	27
2.3 Digitalização Tridimensional.....	29
2.3.1 Formatos de arquivos tridimensionais.....	33
2.4 Gemas Brasileiras.....	38
2.4.1 Gemas do Rio Grande do Sul	40
2.5 Propriedades das Gemas	45
2.6 Lapidação.....	48

2.6.1 Tipos de Lapidação.....	49
2.6.2 Partes que compõem uma gema lapidada.....	51
2.6.3 Ângulos Críticos.....	52
2.6.4 Etapas da Lapidação.....	53
2.7 Tratamentos em gemas	57
2.8 O Setor de gemas e joias no Brasil	58
2.8.1 Setor de Gemas e Joias no Rio Grande do Sul.....	59
MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1 Gemas utilizadas.....	69
3.2 Digitalizador HandyScan.....	69
3.3 Calibração do HandyScan.....	71
3.4 Caracterização da gema a ser digitalizada	72
3.5 Configuração do Handyscan	74
3.6 Digitalização (captura da nuvem de pontos)	75
3.7 Montagens da nuvem de pontos.....	79
3.8 Tratamentos da nuvem de pontos.....	80
3.9 Validação da malha.....	80
METODOLOGIA PARA DIGITALIZAÇÃO DE GEMAS.....	83
4.1 Calibração do Equipamento	83
4.2 Caracterização e preparação da gema a ser digitalizada.....	84
4.3 Configuração do equipamento.....	84
4.4 Digitalização da gema (obtenção da nuvem de pontos)	85
4.5 Montagem das nuvens de pontos.....	85
4.6 Tratamentos da nuvem de pontos	85
4.7 Validação da malha.....	86
ANÁLISES	88

5.1 Qualidade da digitalização	88
5.2 Tempo de digitalização.....	96
5.3 Redução da malha.....	97
5.4 Controle Estatístico	99
CONCLUSÕES.....	104
6.1 Sugestões de trabalhos futuros	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
APÊNDICES	1
Diagrama de lapidação.....	2
<i>Software</i> Visualizador 3D Gemas	4
Planilha da redução de pontos - Gema 1	6
Gráfico da redução de pontos.....	10

INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se no cenário gemológico mundial como um dos maiores fornecedores de gemas, tanto em relação à diversidade, quanto na qualidade de suas gemas. Das nove províncias gemológicas existentes no mundo nosso país é líder nesse fator, colaborando com cerca de 2/3 das gemas de cor comercializadas mundialmente (BRANCO, 2009). A província gemológica brasileira possui em grande parte de sua extensão a presença de material gemológico, pois em quase a todos dos estados brasileiros existem atividades de extração desse tipo de material (DUARTE et al, 2009).

O Rio Grande do Sul é um dos mais importantes locais de extração de materiais gemológicos no Brasil. Os principais depósitos são os de ametistas e ágata, explorados respectivamente nos distritos mineiros de Ametista do Sul e Salto do Jacuí. Estes distritos são responsáveis pela maior produção de ametista e ágata em geodos de que se tem conhecimento, exportando para o mundo inteiro (DUARTE et al, 2009).

O setor de gemas e metais preciosos no Rio Grande do Sul movimentou o valor de US\$ 13.807.000,00 no primeiro trimestre de 2008¹ e o município de Soledade teve participação em grande parte desse faturamento. Desse faturamento total, metade é da comercialização de gemas trabalhadas ou que passaram por algum tratamento, um pouco mais de ¼ são da comercialização desse material no seu estado bruto e o restante provém da venda de artefatos e artesanato mineral (relógios, pirâmides, encosto de livros, etc.).

Esses números mostram a importância do município de Soledade-RS, conhecida como a “Capital das Pedras Preciosas” nesse setor e na sua consolidação como importante polo estadual na industrialização, comercialização e exportação de gemas, apresentando um cenário favorável para o desenvolvimento do Setor de Gemas e Joias. Neste município também se realiza a Exposol, Feira Internacional de Gemas e Minerais, que é considerada a maior

¹ www.ibgm.com.br – Exportação Brasileira do Setor de Gemas e Metais Preciosos – Rio Grande do Sul 2008

Feira do setor na América Latina. Conforme dados dos organizadores no ano 2007, a Exposol alcançou um público de 100 mil visitantes e um volume de negócios de cerca de R\$ 25.000.000,00. Na oitava edição, em 2008, público e faturamento ainda maior, com cerca de 120 mil visitantes e um volume de negócios estimado acima de R\$ 40.000.000,00. Em sua décima edição realizada este ano a Exposol contou com um público recorde de 145 mil visitantes.

Ainda, neste município, que é cidade polo do APL (Arranjo Produtivo Local) de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, têm-se a sede do SINDIPEDRAS (*Sindicato das Indústrias de Joalherias, Mineração, Lapidação, Beneficiamento, Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul*), uma Agência de Aperfeiçoamento Profissional do SENAI-RS, atuações sistemáticas do SEBRAE-RS através da Regional Vale do Taquari, um campus da Universidade de Passo Fundo e a sede do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul (CT-Pedras). Além dessas ações e fatos, este município vem buscando, através do CT-Pedras e instituições parceiras, se tornar também um polo de desenvolvimento de pesquisa, tecnologia e inovação para o setor.

O conceito inicial do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul foi consolidado em maio de 2005, através da assinatura de convênio (nº 01.0018.00/2005) entre o Ministério da Ciência e Tecnologia (Secretaria de Inclusão Social), o Município de Soledade e a Universidade de Passo Fundo (UPF), que levou à implantação em 2006, da Sede Administrativa e do Polo de Artefatos e Artesanatos em Soledade (UPF), que pode ser visto na figura 1. E em 2007, ocorreu a instalação do Polo de Lapidação em Lajeado-RS (UNIVATES). A evolução do centro irá ocorrer também através do desenvolvimento do Polo de Joias em Guaporé-RS e do Polo de Mineração em Ametista do Sul-RS (UFRGS).



Figura 1: Sede do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias de Soledade.

O CT-Pedras, atualmente, conta com diversos equipamentos de tecnologia de ponta em sua sede, tornando-se referência em tecnologia para o setor de gemas e joias. Dentre os equipamentos presentes no CT-Pedras destacam-se: Impressora 3D de prototipagem rápida, Gravadora a Laser, mostrados na figura 2. Equipamento de corte por jato de água e digitalizador tridimensional portátil, mostrados na figura 3. A aquisição desses equipamentos foi obtida com êxito devido ao desenvolvimento de diversos projetos e apoios obtidos através do CNPq, FINEP, SEBRAE e Ministério da Ciência e Tecnologia.



Figura 2: Impressora 3D de prototipagem rápida (A) e Gravadora a Laser (B).



Figura 3: Equipamento de Corte por Jato de Água (A) e Digitalizador Tridimensional Portátil (B).

Enfim, apesar da inserção das empresas do setor de Gemas e Joias em um cenário que pode ser considerado favorável e diante do enfrentamento da concorrência com outros países, como China e Taiwan, que possuem mão de obra em abundância e produtos com preços mais competitivos é visível a carência por métodos e processos mais modernos de produção e comercialização de seus produtos.

Portanto, com o intuito de encontrar respostas e alternativas para auxiliar o setor de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, se propôs esta pesquisa, no Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apoiado pela linha de pesquisa 1(um) Materiais e Processos de Fabricação.

1.1 Delimitação do Tema

No setor de gemas a indústria de lapidação de diamantes é a mais avançada, isso pelo fato do diamante ser uma das gemas de maior valor intrínseco e seu comércio ser diferenciado das demais gemas, já que sua exploração e venda são controlados em sua maioria por uma única empresa, a *DeBeer's Trading Company*. A empresa investe maciçamente em promoções e campanhas publicitárias, mantendo a demanda da gema contínua. A oferta constante é assegurada pela forma de cartel adotada para sua exploração (MOL, 2004)

Para comercialização de diamantes já são usadas tecnologias de digitalização tridimensional, tanto para diamantes em estado bruto, quanto para

gemas lapidadas. Os diamantes no seu estado bruto são digitalizados para serem analisados em softwares que podem dimensionar quantos projetos de lapidação podem ser inseridos naquela gema e quantos quilates elas teriam, dando opções de escolha com maior número de lapidações com menores quilates² ou menos lapidações de quilates maiores, sempre obtendo o melhor aproveitamento da gema. Em diamantes lapidados a digitalização tridimensional é usada para análise da qualidade da lapidação, verificando a angulação das facetas, centralização da culaça e simetria da lapidação.

Para as demais gemas essa tecnologia ainda é pouco utilizada, existindo apenas poucos programas de auxílio ao projeto de lapidação (CAD), que apenas permitem ao usuário criar um modelo de lapidação e qualificar seus resultados. Com a utilização de um conjunto de *softwares* é possível recriar o processo de facetamento³, medir as interações da luz com a gema facetada virtualmente e representar uma gema lapidada com hiper-realismo (MOL, 2004).

Atualmente, o design vem contribuindo com o processo de lapidação. As lapidações diferenciadas apresentam superfícies curvilíneas, misturadas com facetas planas, onde a importância não está no maior brilho da gema mais no efeito diferenciado que ocorrerá no feixe de luz ao passar pela gema.

Tecnologias como a digitalização tridimensional, assim como *softwares* de auxílio ao projeto de lapidação em conjunto com o design se tornam importantes para desenvolver modelos de lapidação diferenciadas com a rapidez que o mercado exige nos dias de hoje e com o máximo de aproveitamento. Podem-se criar modelos de lapidação utilizando as gemas digitalizadas tridimensionalmente, fazendo testes e podendo alterar os modelos virtualmente, buscando o melhor aproveitamento da gema e do projeto de lapidação sem danificar o material gemológico original.

² Medida de massa das gemas: um quilate equivale a 0,2g.

³ Conjunto de poliedros com a quantidade e a disposição de facetas pré-determinadas, geralmente é utilizada para gemas de maior valor. Esses modelos de lapidação são utilizados para refletir a luz para fora da gema, lhe dando um maior brilho

1.2 Formulação do Problema

Como a união da tecnologia de digitalização tridimensional e do Design podem auxiliar o processo de lapidação de gemas objetivando obter maior valor agregado para uma gema?

1.3 Objetivo Geral da Pesquisa

O objetivo geral da pesquisa é, a partir da análise de utilização da digitalização tridimensional em conjunto com o design no processo de lapidação de gemas, propor uma metodologia de digitalização de gemas para uso no projeto virtual de lapidação. Além da proposição, testar e avaliar as potencialidades desta metodologia no escopo do projeto 3D Gemas. Em síntese, o projeto 3D Gemas consiste no desenvolvimento de solução tecnológica para auxiliar a lapidação, visando encontrar para cada gema o projeto de lapidação que resulte no máximo de aproveitamento de volume e rentabilidade.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Conhecer o processo atual de Design e de lapidação em gemas;
- Caracterização dos processos de digitalização a laser;
- Verificar a possibilidade de técnicas de digitalização que possam ser utilizadas pelas empresas de Soledade;
- Criar um processo (metodologia) para digitalização de gemas;
- Indicar a importância do Design para as empresas beneficiadoras de gemas do município de Soledade.

1.4 Justificativa

A justificativa e relevância desse trabalho estão em iniciar as pesquisas de desenvolvimento e pesquisa no setor de gemas e joias no município de Soledade.

O Brasil, assim como o município de Soledade apresentam todas as potencialidades para se tornar referência em design e lapidação de gemas. O

SENAI possui cursos de qualificação na área de lapidação, Soledade conta também com o CT-Pedras que além de cursos de capacitação, realiza pesquisa e desenvolvimento na área desde 2006.

O desenvolvimento e utilização de tecnologias no processo de lapidação para as indústrias locais são de suma importância para o desenvolvimento da região e aumento de concorrência com países estrangeiros, aumentando a qualidade e a produtividade das gemas lapidadas.

Somente o processo realizado em máquinas semi-automáticas ou computadorizadas permite perfeição, pois proporciona a aplicação exata dos parâmetros de lapidação: proporção ideal entre altura, largura e profundidade, encontro de facetas, polimento perfeito e ângulos precisos, respeitando-se o Índice de Refração (IR) de cada gema. (ASPAHAM, 2006)

A Digitalização Tridimensional é uma dessas tecnologias, que está sendo utilizada em diversos campos de pesquisa como medicina, odontologia, arqueologia, engenharia, arquitetura e artes. 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. A intenção da presente pesquisa é mostrar as funcionalidades e potencialidades dessa ferramenta para o mercado gaúcho de gemas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados os referenciais teóricos relevantes para o entendimento do escopo da pesquisa, como os conceitos de Desenho Industrial, Digitalização Tridimensional e Gemas, assim como noções em lapidação e tratamento de gemas e ainda um panorama do setor de gemas e joias.

2.1 A definição de Design

O Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI)⁴ considera o Design como a forma plástica ornamental de um objeto ou o conjunto ornamental de linhas e cores que possa ser aplicado a um produto, proporcionando resultado visual novo e original na sua configuração externa e que possa servir de tipo de fabricação industrial.

Segundo GOMES (1996), o verbo desenhar tem sua origem no verbo italiano *disegnare* que, por sua vez, vem do latim *designare* que significa marcar de maneira distinta; representar, designar, indicar, ou designar para um cargo ou magistratura; ordenar, arranjar, dispor e marcar distintivamente.

Indo ao encontro dessas definições, conforme o International Council of Industrial Design (ICSID), Design é uma atividade criativa cuja finalidade é estabelecer as qualidades multifacetadas de objetos, processos, serviços e seus sistemas. Compreendendo todo seu ciclo de vida, o design se torna o fator central da humanização inovadora de tecnologias e o fator crucial para o intercâmbio econômico e cultural.

O design procura identificar e avaliar relações estruturais, organizacionais, funcionais, expressivas e econômicas, visando:

- ampliar a sustentabilidade global e a proteção ambiental (ética global);
- oferecer benefícios e liberdade para a comunidade humana como um todo, usuários finais individuais e coletivos, protagonistas da indústria e comércio (ética e social).

⁴ http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/desenho/pasta_oquee - 14/08/2010

- apoiar a diversidade cultural, apesar da globalização do mundo (ética cultural);
- dar aos produtos, serviços e sistemas, formas que expressem (semiologia) e sejam coerentes com (estética) sua própria complexidade.

O Design diz respeito a produtos, serviços e sistemas concebidos a partir de ferramentas, organizações e lógica introduzidos pela industrialização - não apenas quando produzidos por meio de processos seriados. O adjetivo "industrial" associado ao design deve relacionar-se ao termo indústria, ou no seu sentido de setor produtivo, ou em seu sentido mais antigo de "atividade engenhosa, habilidosa". Assim, o design é uma atividade que envolve um amplo espectro de profissões nas quais produtos, serviços, gráfica, interiores e arquitetura, todos participam. Juntas, essas atividades deveriam ampliar ainda mais - de forma integrada com outras profissões relacionadas - o valor da vida. Dessa forma, o termo designer se refere a um indivíduo que pratica uma profissão intelectual, e não simplesmente oferece um negócio ou presta um serviço para as empresas.

2.2 O Design como Fator de diferenciação em produtos

As empresas deixaram de concorrer somente pelo preço ou qualidade de seus produtos. Atualmente as empresas líderes em seus segmentos são aquelas que fazem o uso do Design como ferramenta no processo de gestão de seus produtos.

O Design surgiu a partir da revolução industrial, tendo sua primeira manifestação com o surgimento da Bauhaus, na Alemanha em 1920.

A Segunda Guerra Mundial trouxe inúmeros avanços tecnológicos e conseqüentemente alavancou o Design não somente pelo avanço da tecnologia, mais principalmente pela necessidade de se ter produtos mais eficientes com custo mais acessível.

Atualmente, a inovação corre ao lado do design como fator de diferenciação em produtos e serviços, o conceito de inovação que era utilizado para falar de grandes descobertas em longos intervalos não se aplica ao mundo de hoje. Cada vez mais as organizações devem ficar atentas ao surgimento de

tecnologias disruptivas, que mudam bruscamente o funcionamento de um setor aumentando o risco para os negócios.

Inovação disruptiva é o termo criado pelo professor da *Harvard Business School*, Clayton M. Christensen, referindo-se a novos conceitos de serviços, produtos ou tecnologia, que provoquem mudanças drásticas no mercado. A inovação disruptiva transforma um setor, atendendo demandas inexistentes no mercado até o momento e levando determinada tecnologia a tornar-se obsoleta.

Os surgimentos de inovações disruptivas vinham acontecendo entre longos intervalos de tempos. No entanto os avanços tecnológicos em conjunto com a revolução da informação estão potencializando o surgimento desse tipo de inovação. Em contra partida, estes mesmos avanços deixam o mercado cada vez mais competitivo gerando um número excessivo de produtos semelhantes, de mesma tecnologia, mesmo preço, mesmo desempenho e mesmas características. Essa avalanche de opções acaba confundindo o consumidor que tem dificuldade em perceber essas diferenças, e em atribuir a elas o seu devido valor⁵.

A Apple é um bom exemplo de empresa que agrega valor aos seus produtos através do design. Para Steve Jobs, CEO da Apple, toda aquisição de um produto deve ser uma experiência única para seus consumidores, desde sua compra, abertura de sua embalagem até a utilização do produto. O design não é simplesmente forma, mas função. Quanto mais amplo é o entendimento de uma pessoa sobre a experiência humana, melhor será o design resultante (JOBS, *The Wired Interview*).

Mais recentemente, as pequenas e médias empresas também perceberam que podem e devem investir em design para serem competitivas. A média ainda é baixa, entre 1% e 5% da receita líquida, segundo pesquisa da Confederação Nacional da Indústria (CNI), mas já revela resultados. Mais do que isso, viram que design não é um serviço de luxo, ao contrário, trata-se de um serviço altamente especializado, com uma ótima relação "custo x benefício" e que pode ser facilmente incorporado ao seu cotidiano⁶. O Desenho Industrial deve

⁵ Tecnologias que transformam - Reportagem retirada da Revista Mundo Corporativo nº28, Abril-Junho de 2010

⁶ www.cni.org.br

equacionar fatores para solucionar um problema para que possa atender as expectativas em todo seu ciclo de vida. Deve ser pensada a facilidade de sua fabricação, satisfação de seu usuário e facilidades para seu descarte e reuso.

2.3 Digitalização Tridimensional

A maioria das medições tridimensionais são realizadas ainda hoje, por sistemas de contato como braço de coordenadas (GINANI, 2008). Entretanto, com os avanços tecnológicos atuais, os sistemas de digitalização baseado em laser estão se tornando cada vez mais comuns em diversos setores da engenharia. Ainda segundo GINANI (2008), a digitalização tridimensional é uma forma rápida e precisa de se obter uma massa de dados de posição tridimensional que representa um objeto.

A digitalização tridimensional vem sendo utilizada com grande sucesso em animações gráficas, arqueologia, arquitetura, odontologia, medicina, indústria têxtil, moda, geração de acervos digitais em museus entre outros. Vários trabalhos tem sido desenvolvidos no LdSM (*Laboratório de Design e Seleção de Materiais, da Universidade do Rio Grande do Sul*) nesta temática, como os estudos realizados na digitalização de partes do corpo para próteses e produtos personalizados em Tecnologia Assistiva; e na obtenção de modelos tridimensionais para criação de camafeus em opala.

De acordo com BERTOL (2008) os crescentes avanços na computação gráfica, bem como a possibilidade de design e manufatura assistido por computador (sistemas CAD/CAM) impulsionaram o desenvolvimento e a utilização de técnicas de digitalização tridimensional. Trabalhos realizados no CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro)⁷ mostram o uso dessa ferramenta no setor calçadista, de molde, embalagens, joalheira, cutelaria, restauração entre outros.

Essa vasta gama de aplicações mostra a importância do desenvolvimento tecnológico na área de digitalização tridimensional, que conta atualmente com diversas empresas e laboratórios que trabalham não apenas com o

⁷ www.ctcv.pt

desenvolvimento de técnicas de digitalização, mas também com o desenvolvimento de novas aplicações dessas técnicas.

A digitalização tridimensional é a forma de obter a representação virtual de um objeto real. Segundo SILVA (2006) a digitalização tridimensional serve basicamente para captar imagens 3D com auxílio de ferramentas computacionais que permite obter com grande precisão detalhes de superfícies, texturas e até mesmo objetos inteiros.

Segundo FREITAS (2006) existem duas categorias de digitalizadores: digitalizadores com e sem contato físico. Os digitalizadores que necessitam obter os dados com contato físico, são modelos do tipo braço mecânico; Triangulação eletromagnética; Apalpamento em máquina de fresamento ou em equipamentos de medição por coordenadas. Entre os digitalizadores sem contato podemos citar triangulação por laser, triangulação por cores, fotogrametria por conjunto de câmeras que possuam *Charged coupled device*, fotogrametria por fotografias digitalizadas, radar laser, tomografia, tunelamento, luz infravermelha com CCD⁸ linear e sensor conoscópico a laser.

Basicamente esses digitalizadores trabalham com informações de coordenadas de pontos [X,Y,Z], podendo existir uma quarta coordenada para digitalizadores que possam captar informações de cores ou temperaturas dos pontos, FREITAS (2006). De acordo com FERREIRA (2003) A digitalização tridimensional a laser é o método que trás maior automação na aquisição dos dados.

Após adquiridos os dados pela digitalização, estes são processados geometricamente por softwares específicos como coordenadas da superfície no espaço [X,Y,Z]. Cada coordenada equivale a um ponto da superfície do objeto digitalizado. Chamamos o conjunto desses pontos de nuvem de Pontos, conforme podemos visualizar na figura 4.

Segundo SILVA (2006) uma varredura superficial pode gerar milhares de pontos, de acordo com o tamanho da área analisada e o espaçamento de pontos solicitado. O espaçamento de pontos depende da resolução do digitalizador,

⁸ CCD – Sensor de captação de imagem.

quanto menor o espaçamento maior será a quantidade de pontos e consequentemente maior será a definição de detalhes do objeto digitalizado.



Figura 4: Exemplo de uma nuvem de pontos. No canto superior direito o objeto real digitalizado para obtenção da nuvem.

De acordo com FREITAS (2006), o resultado de uma digitalização é muito dependente da qualidade do equipamento de digitalização, da preparação da amostra, e das condições externas como temperatura, vibração, luminosidade, etc. Porém por mais controlado que possa ser o processo sempre haverá ruídos elétricos e mecânicos, os quais causarão distorções indesejadas na nuvem de pontos.

Se o produto a ser digitalizado for de alta complexidade ou dimensões pode-se fazer necessária a obtenção de mais de uma nuvem de pontos, que devem ser montadas posteriormente para a modelagem do objeto, conforme é mostrado na figura 5.

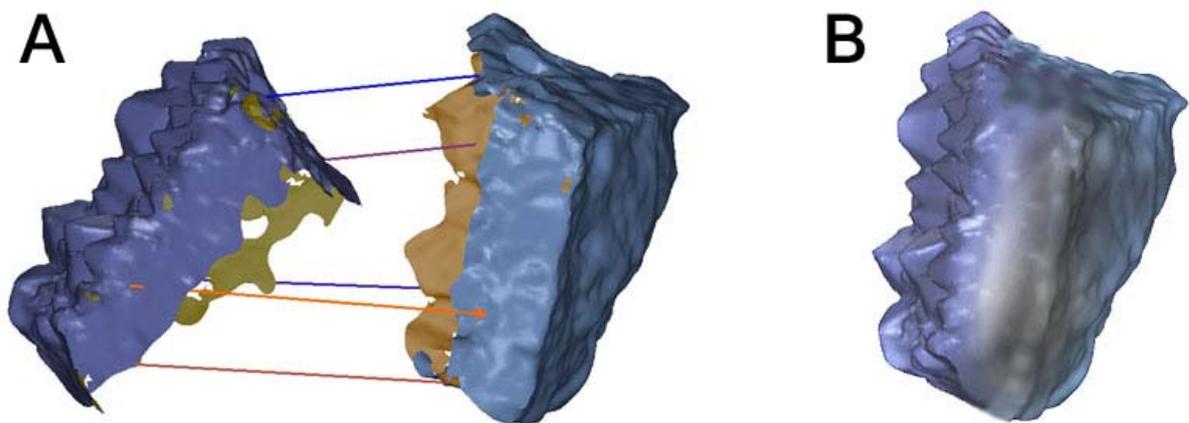


Figura 5: Montagem de duas nuvens de pontos de uma drusa de ametista (A),
Drusa de ametista montada (B).

Depois de gerada a nuvem de pontos é possível criar malhas, superfícies e sólidos compatíveis com softwares CAD/CAM, como é mostrado na figura 6. Essas superfícies são feitas gerando faces com a triangulação dos pontos pertencentes à nuvem para tanto essa nuvem necessita receber um tratamento, devem ser passados filtros para eliminar ruídos obtendo assim uma malha sem “nós” ou triângulos sobrepostos.

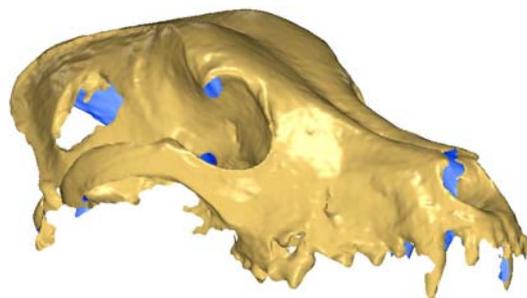


Figura 6: Malha gerada a partir de uma nuvem de pontos.

Com a malha da superfície criada é possível fazer diversas modificações na superfície, criando ou eliminando orifícios, suavizando a malha e eliminando ou alterando os cantos vivos. Segundo SILVA (2006), a utilização de malhas é de fundamental importância, por exemplo, para análises de peças através do

método de elementos finitos, ou ainda para renderizações ou animações avançadas de elementos.

Na figura 7 podemos observar a renderização da malha criada ao lado de seu modelo real.



Figura 7: Renderização da malha digitalizada.

A digitalização tridimensional torna-se uma ferramenta essencial nos dias atuais já que com essa ferramenta é possível “copiar” qualquer objeto para ambientes virtuais, podendo assim ser realizados análises, testes e modificações sem comprometer o objeto real.

2.3.1 Formatos de arquivos tridimensionais

Diversos são os arquivos utilizados para representar virtualmente objetos tridimensionais, os objetos pode ser constituídos basicamente por triangulação de pontos para criar sua superfície, ou por curvas matemáticas o que torna a superfície mais suave, a seguir são mostrados alguns desses arquivos e suas características:

a) Formato STL (Estereolitografia) é um modelo de arquivo que gera uma geometria Tridimensional. Desenvolvido em 1987 pela 3D Systems, Inc. é o formato nativo do software CAD 3D Systems de Estereolitografia. A Estereolitografia é um tipo de impressão tridimensional, onde equipamentos

deste tipo podem construir qualquer tipo de volume através da sinterização de uma camada de resina, que é posta em uma bandeja que se movimenta no eixo Z criando, assim, camada sobre camada o objeto tridimensional.

O formato de arquivo correto para esse tipo de equipamento seria uma série de polígonos fechados com valores no eixo z diferenciados, porém é necessário por vezes alterar a espessura da camada, para tornar o processo mais rápido quando não se precisa tanta precisão. Assim, achou-se mais adequado definir o modelo a ser construído como um poliedro fechado, que poderia ser fatiado na horizontal em qualquer nível desejado.

O primeiro formato de arquivo STL criado foi a ASCII, mas devido aos arquivos ficarem muito grandes seu uso foi impraticável, criando-se o arquivo binário.

A superfície dessas geometrias tridimensionais é formada pela triangulação de pontos, posicionados por coordenadas (x,y,z). Cada triângulo representa uma faceta que compõe a superfície tridimensional do objeto. A ordem da triangulação desses pontos é que irá orientar qual lado da faceta representa o lado interno e o lado externo da superfície. Como pode ser visto na figura 8, a representação da regra da mão direita, onde o polegar representa à orientação da face dos triângulos e os dedos restantes a orientação dos pontos dos vértices do triângulo.

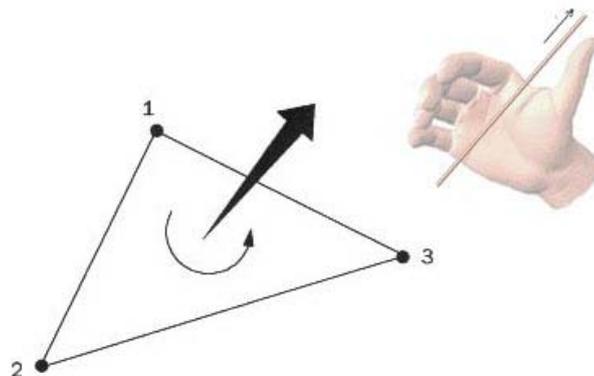


Figura 8: Orientação dos pontos em sentido anti-horário, o que representa a parte superior do triângulo como parte externa da superfície (Regra da mão direita).

Para uma boa formação da malha (superfície) é necessário que cada triângulo divida pelo menos dois vértices com seus triângulos adjacentes. Não é permitido que se tenha um vértice de um triângulo no meio de uma aresta de um triângulo subsequente, como mostrado na figura 9.

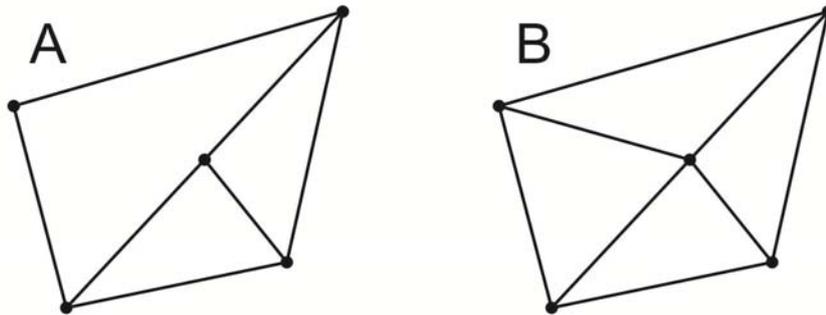


Figura 9: Divisão incorreta dos vértices (A) e a forma correta de triangulação de uma malha (B).

O objeto representado precisa ter todos os vértices de sua malha triangular com pontos positivos e diferentes de zero. Essa extensão de arquivo não contém informação sobre escala e suas coordenadas estão em uma unidade arbitrária.

Atualmente os arquivos STL Binários são comumente usados para representar modelos sólidos em sistemas de prototipagem rápida e para transferência de dados de softwares CAD por ser um arquivo que dificilmente ocorre erro.

Alguns procedimentos são recomendados por SILVA e FREITAS (2006), para conversão de arquivos nesse formato:

- a) Usar tolerância de 0.01mm para que a malha não fique facetada;
- b) Fechar todas as falhas (furos) existentes na malha;
- c) Orientar as normais⁹ dos triângulos para fora da superfície;

⁹ Orientação da parte superior e inferior de um triângulo, mostrada através de um vetor que indica a parte superior da superfície.

- d) Eliminar possíveis intersecções entre triângulos;
- e) Exportar no formato binário.

b) Arquivos em formato IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) são utilizados quando é necessário alterar consideravelmente a malha, criando formas orgânicas e curvas suaves é mais indicada a utilização de superfícies NURBS (*Non-Uniform Rational Bézier Splines*) que são formadas por curvas de formas livres que conectam uma série de pontos de controle, aos quais são associados vetores, permitindo a avaliação de valores numéricos em cada ponto da superfície. Mediante ao uso de fórmulas e algoritmos as curvas e as superfícies são ajustadas e recalculadas continuamente, caracterizando um sistema inerentemente mais dinâmico. A modelagem NURBS pode ser utilizada para construção de superfícies complexas utilizando uma representação matemática precisa de seus elementos.

Por exemplo, uma esfera subdividida por vários triângulos (Representação poligonal) necessita de muitos desses triângulos para ficar com a superfície suave. A mesma esfera pode ser representada por algumas poucas linhas NURBS que contém informações matemáticas sobre a suavidade da esfera. Isso implica em um arquivo muito mais leve e fácil de ser modelado. No entanto a obtenção de uma superfície NURBS através de engenharia reversa é uma tarefa muito mais difícil do que a obtenção da mesma geometria em triângulos. Este fato se deve simplesmente ao fato de que os produtos submetidos a digitalização tridimensional não obedecem a simples equação matemática e, portanto apenas com muita dificuldade e trabalho podem ser reproduzidas satisfatoriamente por uma superfície matematicamente construída (FREITAS, 2006)

De acordo com SILVA (2006) as superfícies são salvas geralmente em arquivos neutros, independente de um aplicativo específico, como o IGES . Os objetos tridimensionais também podem ser representados por arquivos VRML (*Virtual Reality Modeling Languages*), os quais permitem a apresentação de objetos e mundos virtuais pela internet, possibilitando que o visitante interaja com os objetos.

c) Arquivo OFF é outro formato utilizado para criação de objetos 3D é a extensão OFF (*Object File Format*). Formato muito assemelhado com o STL, caracterizado pela triangulação de pontos, construindo objetos a partir de polígonos, com a vantagem da possibilidade de ser atribuídas cores aos vértices. O formato OFF também possui tanto a versão ASCII quanto a binária que é mais leve, podendo descrever objetos também em duas dimensões.

Nessa extensão de arquivo as cores podem ser atribuídas tanto para os vértices como para os lados poligonais através do código RGBA. Sendo uma linha para cada vértice ou lado poligonal colorido.

xyzrgba

n v1 v2...rgba vn

o número de vértices, os índices de vértices, e as cores RGBA10 coordenadas para cada face.

A seguir é apresentado o exemplo completo de um arquivo OFF de um cubo.

```
OFF
#
# cube.off
# Um cubo.
# Não há informação extra de cores RGBA especificado para o rosto.
#
8 6 12
 1.632993 0.000000 1.154701
 0.000000 1.632993 1.154701
-1.632993 0.000000 1.154701
 0.000000 -1.632993 1.154701
 1.632993 0.000000 -1.154701
 0.000000 1.632993 -1.154701
-1.632993 0.000000 -1.154701
 0.000000 -1.632993 -1.154701
 4 0 1 2 3 1.000 0.000 0.000 0.75
 4 7 4 0 3 0.300 0.400 0.000 0.75
```

¹⁰ A notação RGBA é uma maneira de especificar cores na qual se definem quatro valores. Os três primeiros são os bem conhecidos canais RGB (vermelho, verde e azul) e o quarto parâmetro é o canal Alpha, que não é mais que o grau de transparência ou opacidade da cor.

4	4	5	1	0	0.200	0.500	0.100	0.75
4	5	6	2	1	0.100	0.600	0.200	0.75
4	3	2	6	7	0.000	0.700	0.300	0.75
4	6	5	4	7	0.000	1.000	0.000	0.75 ¹¹

2.4 Gemas Brasileiras

SCHUMANN (2006) diz que as gemas sempre exerceram fascínio na civilização humana. Através dos séculos foram símbolos de misticismo, crenças até chegar ao poder e riquezas que lhes são atribuídas atualmente. Na era Cristã, onde se difundiu um forte comércio, marcou o início dos estudos sobre as gemas. A busca por gemas e metais preciosos levou a inúmeras expedições pelo interior do Brasil, o que favoreceu a colonização.

De todas as gemas, os diamantes sempre foram os mais tradicionais, possuindo um mercado particular, onde seu valor é dado por características diferentes das outras gemas, podendo variar de cor, indo do amarelo ao branco azulado e, às vezes, atingindo um tamanho apreciável. Por muito tempo, esses, foram consideradas as gemas mais valiosas, porém atualmente há gemas como a Turmalina Paraíba que podem chegar a valores bem superiores a de um diamante. Os rubis, as esmeraldas e as safiras são outras gemas valiosas muito usadas na joalheria. Muitos costumam chamar gemas menos raras de pedras semipreciosas, porém esse termo está em desuso para não depreciar materiais gamológicos que apesar de serem encontrados mais facilmente na natureza tem sua beleza e formas únicas. Com relação à palavra pedra, SCHUMANN (2006) comenta que é um termo usado mais popularmente, como nome coletivo dado para todos os constituintes sólidos da crosta do Planeta Terra. Sendo assim, para um arquiteto, uma pedra é o material usado para a construção, para o joalheiro, uma pedra é uma gema.

O mesmo mineral pode dar origem a mais que um tipo de gema. O berilo, por exemplo, origina a esmeralda e a água-marinha. Segundo BRANCO (2009), somente no Brasil existe mais de 100 tipos de gemas diferentes, conforme o Quadro 1.

¹¹ People.sc.fsu.edu/~jburtkardt/data/off/off.html

Quadro 1. Relação das gemas existentes no Brasil, retirado de TESSMANN (2009).

Acroíta	Childrenita	Euclásio	Obsidiana	Rodolita
Adulária	Cianita	Fenaquita	Olho-de-gato	Rodonita
Ágata	Citrino	Fluorita	Oneguita	Rubelita
Água-marinha	Concreção de sílica	Gahnita	Ônix	Rubi
Alexandrita	Copal	Goshenita	Ônix-real	Rutilo
Allanita	Cordierita	Grossulária	Opala branca (comum)	Safira
Almandina	Cornalina	Heliodoro	Opala preciosa	Scheelita
Amazonita	Crisoberilo	Heliotrópio	Peridoto	Schorlita
Ambligonita	Crisocola	Hematita	Petalita	Siberita
Ametista	Crisólita	Herderita	Pirita	Sillimanita
Anatásio	Crisoprásio	Hessonita	Piropo	Sodalita
Andaluzita	Cristal-de-rocha	Hiddenita	Quartzo azul	Spessartina
Apatita	Diamante	Indicolita	Quartzo com goethita	Titanita
Apofilita	Diopsídio	Jarina	Quartzo enfumaçado	Topázio
Aragonita	Dravita	Jaspe	Quartzo mórion	Topázio imperial
Aventurinino	Dumortierita	Kunzita	Quartzo olho-degato	Trifana
Axinita	Epídoto	Lazulita	Quartzo rosado	Turmalina bicolor
Barita	Escapolita	Madeira fossilizada	Quartzo rutilado	Turmalina melancia
Berilo verde	Esfalerita	Malaquita	Quiastolita	Turmalina Paraíba
Brasilianita	Esmeralda	Morganita		Turquesa
Calcedônia	Espinélio	Nefrita		Verdelita
Calcita	Estaurolita			Zircão
Cassiterita				

Para a valorização de uma gema é necessário levar em conta alguns aspectos como: peso, raridade, intensidade da cor, presença ou não de inclusões e qualidade da lapidação. O peso da gema é medido quilates (ct), um quilate equivale 0,2 gramas. Mas o aspecto mais importante de uma gema é sua beleza. Essa beleza pode estar na cor ou na falta dela, sendo que neste caso a limpidez é de primordial importância. Em alguns casos, a cor da gema pode ser alterada artificialmente por tratamentos térmicos ou de irradiação aumentando seu valor de mercado. Gemas como ametista presente na figura 10 (A) quando submetidas a tratamentos térmicos ficam com cores amareladas e caramelo, tornando-se citrino (B). Ao serem irradiadas ficam com cores esverdeadas conhecidas como praziolita (C).



Figura 10: Exemplo de ametista natural (A), citrino tratado termicamente (B) e prasiolita tratada através de radiação (C).

O Brasil se tornou mundialmente conhecido pela riqueza e beleza de suas gemas. O país é líder em extração não somente pela quantidade como pela diversidade.

Para se ter uma ideia do quanto aqui se produz, basta dizer que apenas o estado de Minas Gerais contribui com 25% da produção mundial (Favacho, 2001). Para demonstrar a diversidade, basta dizer que um brasileiro bem informado e de bom nível cultural consegue citar (conhecendo ou não) cerca de quinze pedras preciosas, mas que existem, em nosso país, mais de cem tipos diferentes.¹²

2.4.1 Gemas do Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é um dos estados brasileiros de maior importância na exportação de gemas. Sua produção se baseia em três gemas: ágata, ametista e citrino, todas elas variedades de quartzo.

A formação desses minerais ocorreu devido a derrames vulcânicos datados de 135 milhões de anos, que cobriu o deserto Botucatu. Esse vulcanismo fechou

¹² <http://www.cprm.gov.br> – Diversidade Das Gemas Brasileiras

a saída da água da areia do deserto para a superfície, formando o aquífero Guarani. Essa água foi aquecida pelo calor residual dessa atividade vulcânica que subiu pelas fraturas dos basaltos para formar os geodos, depositando SiO₂ na forma de ametista, quartzo e ágata (HARTMANN, 2008)

Ágata - Agregado de quartzo finamente fibroso, com estrutura variada e camadas concêntricas. Encontradas em várias cores, mas as cores naturais são geralmente pálidas e cinzentas. Por meios artificiais adquirem colorações com tonalidades brilhantes.

A ágata é uma variedade translúcida da calcedônia, pertencente ao grupo dos quartzos criptocristalinos. Apresentam bandas curvas ou irregulares de diferentes cores, tons ou transparências da mesma cor, tais como marrom, vermelho, branco, cinza e azul acinzentado. As cores muito vivas são quase sempre resultado do tratamento para realçar a cor natural. A maioria das ágatas coloridas que se vê atualmente são tingidas.

Formam-se da cristalização da sílica nas paredes posteriores de cavidades obstruídas das rochas. Devido à diferente coloração e porosidade formam-se diversas camadas de cor sobrepostas.

A parte interior das drusas de ágata está frequentemente recoberta de cristal de rocha ou quartzo. Conforme o desenho das camadas recebe diversos nomes, como ágata listrada ou em camadas, estrelada, amuralhada, paisagem, musgosa etc.

O nome ágata provém do antigo rio Achates hoje conhecido como Drill, cuja nascente fica próxima ao Monte Lauro, na Sicília (Itália).

Há 3.000 anos a ágata já era trabalhada no Egito sob a forma de selos, pedras para anéis, gemas e vasilhas. Foi utilizada também como amuleto, para proteger do raio e da tempestade.

O Brasil é o primeiro produtor mundial de ágata e suas jazidas, as mais importantes da Terra, encontram-se principalmente no Rio Grande do Sul. As primeiras jazidas brasileiras foram descobertas em 1827, por imigrantes oriundos de Idar-Oberstein, na Alemanha, para o sul do Brasil, uma vez que as

jazidas do seu país de origem esgotaram-se desde o princípio do século XIX. As ágatas também podem ser encontradas no Uruguai (SCHUMANN, 2006).

Quadro 2: Principais características da ágata.

Ágata - Características

Classe Mineral	Silicatos
Espécie Mineral	Calcedônia (Quartzo criptocristalino)
Sistema de cristalização	Trigonal
Formula química	SiO ₂
Variedade	ágata
Cor	Variadas, usualmente cinza azulada, branca, marrom e vermelha; apresenta estrutura bandada, com camadas de cor, espessuras e porosidades diferentes; quase a totalidade das ágatas utilizadas em joalheria é colorida artificialmente.
Transparência	De semi transparente a opaco
Brilho	De gorduroso a vítreo
Fenômenos ópticos	Pode apresentar iridescência
Índices de refração	1,535 – 1,539
Birrefringência	Normalmente indetectável, porem pode apresentar 0,004
Dispersão	Não apresenta
Pleocroismo	Não apresenta
Peso específico	2,60 (+0,10 – 0,05)
Dureza	6,5 - 7
Fatura	Concoidal algumas vezes granulada (de brilho fosco a ceráceo)
Clivagem	Não apresenta
Características de identificação	Inclusões minerais (limonita, goethita, pirolusita e horublenda)
Estabilidade ao calor	Pode mudar a cor
Estabilidade a luz do dia	Estável
Estabilidade a reações com químicos	Atacado por acido fluorídrico; acido nítrico pode atacar a tingimento

Fonte: Modificado Manual Técnico de gemas 2005.

Ametista – É a ametista é conhecida desde a antiguidade. Na verdade, também é conhecida como quartzo violeta. As substâncias corantes são o ferro, o manganês e o titânio. Tem brilho vítreo, transparente e translúcido. Traço branco, fratura concóide e não é clivável.

Ametistas são encontradas no Brasil, Uruguai, República de Madagascar, Urais, Sri-Lanka e França (SCHUMANN, 2006).

Quadro 3: Principais características da ametista

Ametista - Características

Classe Mineral	Silicatos
Espécie Mineral	Quartzo
Sistema de cristalização	Trigonal
Formula química	SiO ₂
Variedade	Ametrino, variedade bicolor de ametista com citrino, também chamada de ametista-citrino
Cor	De roxo azulado ao roxo puro e ao roxo avermelhado
Transparência	Transparente (o material usada para contas e esculturas pode ser translucido).
Brilho	Vítreo
Fenômenos ópticos	Não apresenta
Índices de refração	1,544 – 1,553
Birrefringência	0,009
Dispersão	0,013
Pleocroísmo	De fraco a moderado (roxo azulado e roxo avermelhado)
Peso específico	2,66 (+0,03 – 0,02)
Dureza	7
Fratura	Concoidal de brilho vítreo
Clivagem	Não apresenta
Características de identificação	Zoneamento de cor, geminação, inclusões líquidas, inclusões bifásicas,

	trifásicas, cristais negativos e fraturas
Estabilidade ao calor	Temperatura elevada torna a gema incolor, pode produzir citrino ou praziolita, contudo temperatura branda pode clarear; mudança abrupta de temperatura pode fraturar
Estabilidade a luz do dia	Pode perder a cor
Estabilidade a reações com químicos	Solúvel em ácido fluorídrico e fluoreto de amônia; fracamente solúvel em álcalis

Fonte: Modificado Manual Técnico de gemas 2005.

Citrino – Variedade de quartzo, cuja substância corante é também o ferro. Classificado como quartzo-amarelo. Têm propriedades físicas como as da ametista, reunindo ampla variedade de cores, do amarelo ao mel, o citrino tem o Brasil como principal produtor. Os cristais quartzo amarelo que se encontram no comércio são, geralmente, ametista tratada termicamente, aquecida à temperaturas que variam de 470 – 560°C. (BRANCO, 2009)

No Brasil os estados produtores de citrino são: Rio Grande do Sul, Goiás, Minas Gerais, Bahia e Espírito Santo. Também é extraído na República de Madagascar e na Espanha (SCHUMANN, 2006).

Quadro 4: Principais características do citrino

Citrino - Características

Classe Mineral	Silicatos
Espécie Mineral	Quartzo
Sistema de cristalização	Hexagonal trigonal
Formula química	SiO ₂
Variedade	Quartzo citrino
Cor	De amarelo ao laranja ao laranja amarronzado
Transparência	Transparente
Brilho	Vítreo
Fenômenos ópticos	Não apresenta
Índices de refração	1,544 – 1,553

Birrefringência	0,009
Dispersão	0,013
Pleocroísmo	Muito fraco, tons de amarelo ou laranja
Peso específico	2,66 (+0,03 – 0,02)
Dureza	7
Fratura	Concoidal de brilho vítreo
Clivagem	Não apresenta
Características de identificação	Zoneamento de cor, inclusões líquidas, inclusões bifásicas, trifásicas, cristais negativos e fraturas
Estabilidade ao calor	Temperatura elevada pode tornar a gema incolor, mudança abrupta de temperatura pode fraturar
Estabilidade a luz do dia	Pode perder a cor
Estabilidade a reações com químicos	Solúvel em ácido fluorídrico e fluoreto de amônia; fracamente solúvel em álcalis

Fonte: Modificado Manual Técnico de gemas 2005.

2.5 Propriedades das Gemas

As gemas apresentam propriedades que são muito importantes de serem analisadas antes de seu processo de beneficiamento ou lapidação.

As propriedades mais importantes a serem analisadas são as físicas: dureza, e formas de clivagem, e entre as ópticas esta o pleocroísmo e o zoneamento de cor.

Dureza

Esta é uma das mais importantes propriedades para a identificação de muitos minerais. Define-se como dureza de um mineral a resistência que uma superfície lisa do mineral apresenta a ser arranhada por outro material, mineral ou não. Em última instância, a dureza de um mineral está relacionada à reação da estrutura cristalina à aplicação de esforço sem ruptura. Em cristais formados essencialmente por ligações metálicas, os quais podem fluir plasticamente, o

atrito de um material de dureza mais alta contra a superfície do cristal tende a produzir um sulco. Minerais formados por ligações iônicas ou covalentes tendem a apresentar um comportamento mais rúptil. Ao ser submetido ao mesmo teste, a produção do sulco poderá ser acompanhada da produção de pó do mineral mais mole (BROD, 2009).

A dureza das gemas é calculada através da tabela de escala de *Mohs* como se pode ver na tabela 1. A escala *Mohs* ao contrário da *Rosiwal* é uma escala relativa, não linear, uma vez que as diferenças de dureza entre os minerais não são constantes. Foram selecionados os dez minerais considerados o mais comuns na natureza, onde a dureza do mineral é quantificada pela resistência que um determinado mineral oferece ao risco, ou seja, a retirada de partículas da sua superfície. O diamante risca o quartzo, portanto, este é mais duro que o quartzo. Foi desenvolvida em 1912 pelo mineralogista Frederich Mohs e até hoje é de uso rotineiro devido à sua praticidade.

Tabela 1: Escala de dureza Mohs. (Modificado SCHUMANN, 2006)

Dureza Mohs	Mineral	Fórmula Química	Dureza Rosiwal
1	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	0,03
2	Gipsita	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,25
3	Calcita	$CaCO_3$	4,5
4	Fluorita	CaF_2	5
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	6,5
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	37
7	Quartzo	SiO_2	120
8	Topázio	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$	170
9	Coríndon	Al_2O_3	1000
10	Diamante	C	140000

Clivagem

Clivagem é a tendência de certos minerais se partirem em determinadas direções, a clivagem é sempre consistente com a simetria do cristal.

A clivagem de um cristal pode ser caracterizada pela sua orientação e qualidade. Em relação à orientação a clivagem pode ser descrita pela formas cristalinas como cúbica, octaédrica, dodecaédrica, romboédrica, prismática e pinacoidal. Já em relação à qualidade a clivagem pode ser caracterizada por excelente, boa, pobre ou ruim. Essas características são atribuídas de acordo com uma escala comparativa e empírica. Alguns minerais como o quartzo não apresentam clivagem (BROD, 2009).

Fratura

Fratura refere-se à maneira pela qual o mineral se rompe, exceto aquelas controladas pelas propriedades de clivagem e partição. Ocorre quando o rompimento não acontece ao longo de nenhuma direção cristalográfica em particular.

Alguns minerais apresentam estilos de fratura característicos, o que pode auxiliar na sua identificação. Os termos mais comuns usados para descrever fraturas em um mineral são:

Conchoidal – superfícies lisas e curvas semelhante a uma concha comum comum no quartzo.

Fibrosa – quando o mineral se rompe formando estilhaços ou fibras.

Serrilhada - superfície denteada, irregular e com bordas cortantes.

Irregular – superfícies rugosas e irregulares (BROD, 2009).

Pleocroísmo

Existem gemas transparentes que apresentam distintas cores ou intensidade de cores diferentes de acordo com a direção. Isso é causado pela absorção distinta da luz nos cristais birrefringentes, gemas amorfas e com

sistema cúbico não apresentam pleocroísmo. Esta propriedade deve ser levada em consideração na hora da lapidação para evitar cores pobres ou tons muito escuros. Assim sendo, o lapidário, de modo empírico, sabe como orientar uma gema bruta durante o processo de lapidação, levando em conta esta propriedade, de modo a posicionar a faceta principal (mesa) na direção mais adequada, seja para alcançar uma tonalidade mais intensa (ex: água-marinha) ou mais clara (ex: turmalinas ou safiras de tons muito escuros). Este fenômeno normalmente não é detectado a olho nu, a não ser que as gemas sejam intensamente pleocróicas; neste caso, ao girar-se o exemplar em várias direções, consegue-se ver as diferentes cores ou tons. O instrumento para visualizar o pleocroísmo é o dicoscópio. Dependendo da gema pode-se considerar o pleocroísmo fraco, onde a variação dos tons das cores é bem tênue; médio, diferença dos tons mais fácil de ser visualizada; e forte, onde essa diferença se torna bem acentuada (SILVEIRA, 2009).

2.6 Lapidação

Alguns autores apontam as origens da lapidação datada em 3.000 anos, na região da Índia e Paquistão, onde se realizavam exploração mineral e beneficiamento de gemas, como safira, diamante e turmalinas (SCHUMANN, 2006). Entretanto, é considerado que o processo de lapidação pressupõe realçar belezas intrínsecas das gemas, assim encontram-se objetos mais antigos, como as lascas polidas de obsidiana pertencentes a um colar encontrado na região do Arpachia, Iraque, datado de 5000 a.C. (MOL, 2004).

No Brasil o ofício da lapidação vem desde o século XVI e os principais locais de lapidação foram nos estados do Rio de Janeiro, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul e a profissão era passada de geração em geração ou para escravos negros e índios (NADUR, 2009).

Lapidação, então, é um processo de transformação que visa ressaltar as propriedades naturais da pedra bruta. Essa técnica consiste no desbaste e polimento do material geológico, podendo ser facetada ou lisa buscando realce da cor e do brilho de uma gema, agregando o maior valor possível. Segundo SCHUMANN (2006) o polimento é o princípio da lapidação, gera brilho em uma

superfície pela diminuição de sua rugosidade. A lapidação pode ser classificada da seguinte forma: por lapidação lisa, lapidação facetada e lapidação mista.

2.6.1 Tipos de Lapidação

Lapidação lisa - Esta lapidação caracteriza-se por possuir superfície superior em forma de domo arredondado e a inferior plana ou levemente convexa. Geralmente aplicada em gemas opacas, como ágata e opala. Este tipo de lapidação é conhecido também como cabochão, sendo uma das mais utilizadas na joalheria, a figura 11 abaixo mostra exemplos de lapidação lisa.

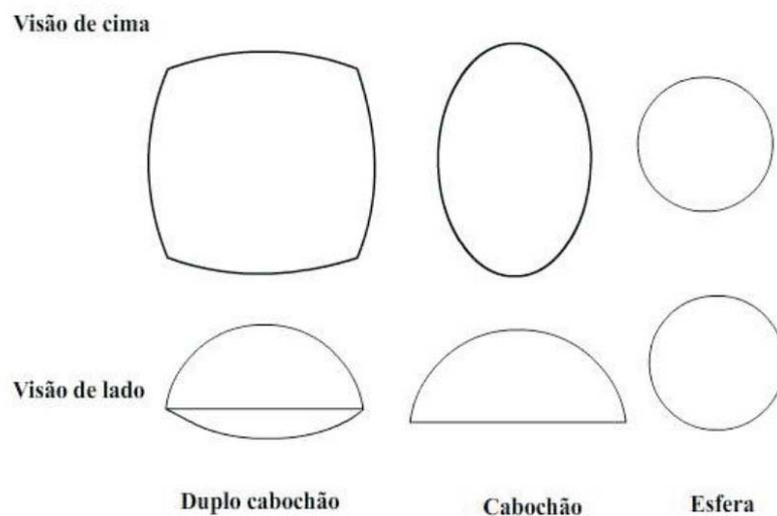


Figura 11: Exemplos da lapidação lisa. Fonte: Schumann (2002 p.67)

Lapidação Facetada - Consiste em talhar a gema buscando a obtenção de superfícies planas, denominadas facetas. É aplicada geralmente em gemas transparentes, sendo que as facetas conferem a gema brilho e jogo de cores que realça ainda mais sua beleza. A lapidação em facetas pode ser subdividida em três tipos:

- Lapidação em Degraus, caracteriza-se pelas facetas serem lapidadas em paralelo.

- Lapidação Brilhante, caracteriza-se pela forma triangular das facetas, que ao se cruzarem formam um "X".

Podemos observar na figura 12 a seguir os tipos mais usuais de lapidação facetada.



Figura 12: Exemplos dos modelos mais usuais de lapidação facetada. Fonte www.heartgem.com

Lapidação mista - Consiste na união das técnicas de lapidação lisa e facetada, podendo ter facetas tanto na parte superior quanto na parte inferior, mostrado na figura 13.

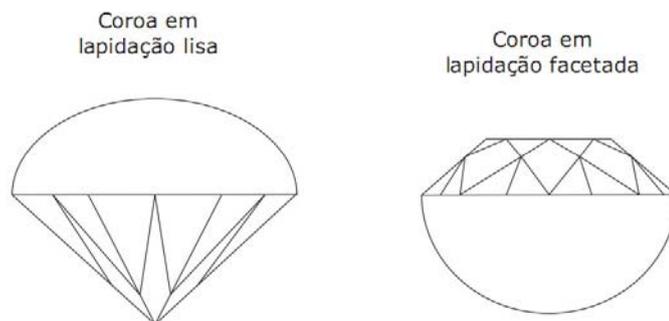


Figura 13: Exemplos de lapidação mista. Fonte: Martins - Filho, Mol, Rocha (2005, p. 2).

Lapidação *Fantasy Cut* - A tendência e interesse por corte de gemas inovadores, partiram da América e Europa. Na Europa um dos principais ateliers desse modo de lapidação é o da família Munsteiner, que se localiza na cidade de idar Oberstein, região da Alemanha que possui tradição de mais de 500 anos em lapidação de gemas. Técnica que é transmitida de geração em geração. Mas a família Munsteiner rumou em direções completamente novas, divergindo das

lapidações tradicionais. Buscando formas geométricas e abstratas e bem modernistas Classificada como *Fantasy Cut*.

Fantasy Cut são as últimas palavras da moda na joalheria. Por definição, eles são de alguma forma (seja simétrico ou assimétrico) com exceção dos cortes convencionais (redondo, oval, marquise, pêra, esmeralda). O Corte Fantasia é um conceito mais inovador em design nas joias contemporâneas.

O processo de lapidação vem se aprimorando cada vez mais, atualmente estão sendo usadas novas técnicas para obtenção de formas orgânicas e brilhos e jogo de cores que passem a ideia de movimento para a gema, sendo uma nova tendência no mercado internacional, que demanda produtos originais e exclusivos. Essas novas técnicas de lapidação são denominadas de lapidações diferenciadas.



Figura 14: Exemplos de lapidações *Fantasy Cut* do Atelier da família Munsteiner.

Fonte: www.munsteiner-cut.de

2.6.2 Partes que compõem uma gema lapidada

As gemas quando lapidadas são compostas por 5 importantes partes que devem estar com proporções adequadas para trazer o máximo de brilho e beleza a gema. Essas proporções vão depender do tipo da gema e do seu índice de refração.

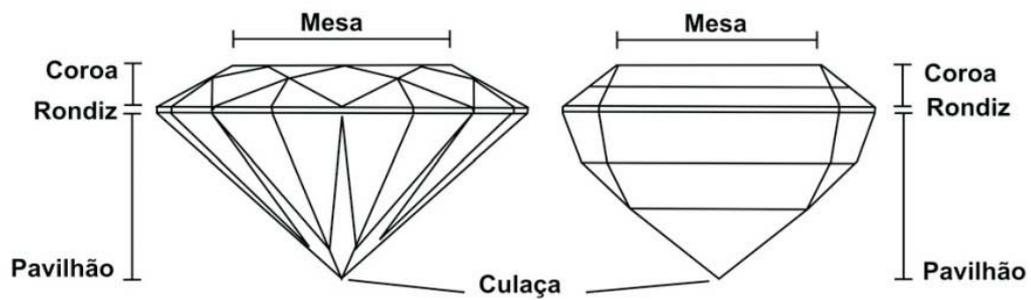


Figura 15: Elementos de uma gema lapidada. Fonte: Martins-Filho, Mol, Rocha (2005 p.2)

Como se pode observar na figura 15, as gemas geralmente são divididas em três partes. A cintura é a linha divisória entre o pavilhão e a coroa, que também pode ser chamada de rondiz.

A coroa é o conjunto de facetas localizada acima da cintura e nela está localizada a mesa, faceta plana localizada no topo da coroa.

O pavilhão é o conjunto de facetas localizado abaixo da cintura; na ponta do pavilhão encontra-se a culaça. Cabe ressaltar que é no pavilhão que a luz incidente pela coroa irá refletir ou refratar, dando efeito de maior brilho à gema.

2.6.3 Ângulos Críticos

Os ângulos críticos de corte para a lapidação são baseados no índice de refração (IR) de cada material. Através desse índice pode-se descobrir qual ângulo a luz incidente irá refletir sem refratar. A luz incidente sobre a coroa será jogada para o pavilhão e através de inúmeras reflexões será lançado de volta para a coroa dando o efeito de brilho à gema, mostrado na figura 16.

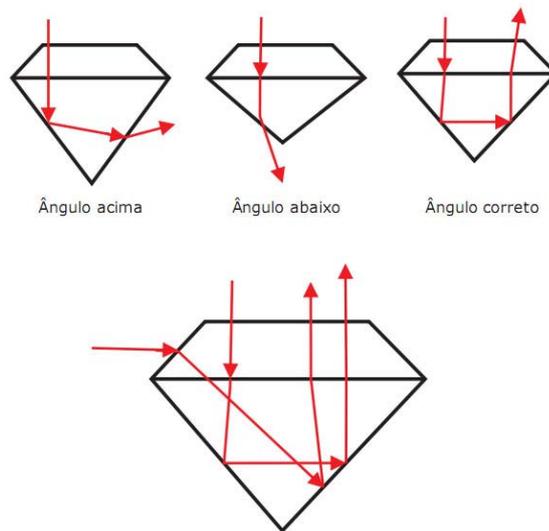


Figura 16: Efeitos da incidência da luz em diferentes ângulos de corte da faceta.

Fonte: Adaptação de Introduction of Faceting (2008).

2.6.4 Etapas da Lapidação

A primeira etapa no processo de lapidação de uma gema corada é sua análise visual para verificar possíveis inclusões ou trincas em seu interior, e analisar qual projeto de lapidação se enquadra melhor em seu interior. É nesta etapa que o lapidário deve observar o melhor aproveitamento em peso do material, levando em consideração seus planos cristalográficos e zoneamentos de cor, além de inclusões e trincas já citados. O lapidário utiliza de um martelo, dando pequenos golpes, para retirar partes com má formação e trincas extensas que não serão utilizadas nos processos seguintes.

Segundo MOL (2004), a segunda etapa seria o processo de serragem, onde com o uso de uma serra circular diamantada é feito uma nova retirada de material que contenham menores inclusões e manchas de cor verificadas anteriormente. MOL relata também que é nesta fase onde se tem a busca pelo maior aproveitamento e realce de cor, ao se tentar definir a forma e o posicionamento ideal do projeto de lapidação a ser desenvolvido. Sendo muito importante a experiência do profissional serrador para evitar perdas de material.

No entanto, não são todos os lapidários que utilizam essa etapa no processo de lapidação, passando direto para fase seguinte, que consiste na

formatação da gema serrada ou simplesmente martelada em um poliedro, onde o rondiz ou cintura da gema já estará determinando o modelo de lapidação a ser realizado (redondo, oval, quadrado, retangular, gota, dentre outras. Nesta etapa o desbaste é realizado através de um rebolo circular, cuja sua capacidade de abrasão depende da dureza da gemas lapidada. Este rebolo também deve ser refrigerado a água devido ao aquecimento que ocorre durante o contato com a gema, o que pode causar novas trincas e a quebra da gema.

Nessa etapa também já são utilizados alguns gabaritos que auxiliam o lapidário a manter as proporções de ângulo e tamanho do projeto de lapidação adotado. Na figura 17 podem-se observar os diversos modelos de gabaritos com diferentes ângulos.



Figura 17: Gabaritos com diferentes ângulos usados na etapa de pré-formação da gema.

Após pré-formada a gema passa para o processo de facetamento, onde serão feitas as faces superficiais que refletirão a luz incidente na gema, fornecendo seu brilho. Nessa etapa a gema é colada em uma haste, também chamada de caneta, que é fixado a maquina de lapidar ou, no caso da lapidação manual, apoiada ao gabarito que dará o ângulo correto para a formação da faceta. Para colar a gema na caneta é utilizada goma laca, mostrado na figura 18.



Figura 18: Gema colada à "caneta" através de goma laca.

A ponta da caneta em que a gemas esta colada, então é encosta em um disco de talhar diamantados ou compostos de 75% de chumbo e 25% de estanho para fazer as facetas (AEP SENAI DE SOLEDADE-RS, p. 29).

O processo de facetamento pode ser realizado de forma manual, onde o lapidário usa gabaritos de ângulos, apoiando a caneta em uma placa com inúmeros orifícios buscando apoiá-la no orifício que forneça o ângulo desejado com o disco de talhar. Esse processo pode ser visto na figura 19.



Figura 19: Processo de lapidação manual.

A forma mecanizada de facetamento consiste na utilização de um equipamento um pouco mais elaborado, ainda é necessário que o lapidário faça a movimentação e a pressão da caneta sobre o disco, porém esta fica fixada em um braço onde existe um indexador que fornece com precisão os ângulos desejados nas facetas. Esse braço também permite controlar a posição de corte das facetas, através de uma circunferência graduada em 96 posições, permitindo, assim, que uma faceta fique exatamente no alinhamento oposta a outra. Na lapidação manual esse processo depende muito da experiência do lapidário que deve sempre realizar o corte oposto à faceta realizada anteriormente. Na figura 20 pode-se visualizar o modelo de um equipamento com o braço mecânico.



Figura 20: Equipamento de processo mecânico de lapidação.

Depois de realizado o processo de facetamento, esse mesmo processo é repetido em um rebolo mais fino de liga de chumbo ou estanho, para o processo de polimento que dará o brilho a gema. Essa etapa deve ser realizada com o maior cuidado pelo lapidário, pois é preciso que se use a mesma angulação do corte para que toda a face seja polida igualmente.

Depois de polida a gema é descolada da caneta e limpa em álcool estando, assim pronta para comercialização.

2.7 Tratamentos em gemas

Algumas gemas além do processo de lapidação, que realça sua beleza e brilho, podem passar por outros tipos de tratamentos que interferem em suas características visuais. Geralmente, a propriedade física alterada é a cor, buscando uma maior valorização da gema. A cor não precisa necessariamente ser alterada, pois muitas vezes ela é apenas melhorada, sendo chamado então de gema realçada.

De acordo com BRANCO, são aceitáveis tratamentos que não alterem as propriedades químicas das gemas. Os principais tipos de tratamentos nas gemas são realizados química ou termicamente. Os tratamentos mais conhecidos são:

Tingimento – Geralmente realizado nas ágatas devido sua porosidade e resistência ao calor e aos ácidos utilizados no tingimento. Segundo BRANCO estimasse que mais de 90% das ágatas comercializadas no mundo sofrem o processo de tingimento. No Rio Grande do Sul, local onde consideram que contenham os mais belos exemplares do mundo, 40% passam por esse tipo de tratamento.

Tratamento Térmico – Esse tratamento é utilizado em gemas que alteram sua coloração ao serem submetidas ao calor. A ametista é um caso clássico: ametista proveniente do sul do Brasil e do Uruguai, ao ser aquecida em torno de 475°C fica amarelada sendo chamadas de citrino; já a ametista encontrada em Minas Gerais e Arizona quando é aquecida a 500°C fica esverdeada e é chamada de prasiolita.

O tratamento térmico também é usado em topázio, rubi, safira e água-marinha, para o realce ou escurecimento de suas cores.

Impregnação – São utilizados geralmente em gemas porosas ou com muitas fissuras. Trata-se da imersão das gemas em óleos com o mesmo índice de refração, da gema, disfarçando assim suas fissuras e realçando a sua cor.

Geralmente esse processo precisa se refeito periodicamente, pois esses óleos costumam sair com o tempo.

Irradiação – A exposição de algumas gemas a irradiações também podem provocar a alteração de suas cores. Geralmente são utilizados raios X e raios gamas, sendo a segunda a mais utilizada por obter boa penetração e uniformidade na cor além de não deixar resíduos radioativos nas gemas. Existe também irradiação por nêutrons, que penetra mais na gema dando coloridos mais intensos, porém deixam a gema radioativa, necessitando de um tempo de espera para comercialização do produto.

Difusão Superficial – Processo onde são introduzidas impurezas nas gemas pela difusão de óxidos em altas temperaturas. Esse processo é utilizado para safira, rubi e topázio, as gemas são colocadas em cadinhos misturadas com óxido de ferro onde ficam a temperaturas superiores a 1600°C em atmosfera adequada, até se obter uma fina camada colorida e estável.

2.8 O Setor de gemas e joias no Brasil

Como já destacado anteriormente, no cenário de Gemas e Joias, o Brasil se destaca como uma das maiores e mais importantes Províncias Gemológicas do planeta, contribuindo com cerca de 1/3 das gemas comercializadas internacionalmente, excetuando diamante, safira e rubi. A Província Gemológica Brasileira tem se destacado pela sua qualidade, variedade e dimensões dos minerais e também pela extensão territorial da produção, pois quase todos os estados têm depósitos e exploram algum tipo de mineral-gema ou material gemológico. É o segundo maior produtor de esmeraldas e o único produtor de topázio imperial e até recentemente de turmalina Paraíba.

A extração de gemas é realizada na sua maioria por garimpeiros e pequenas empresas de mineração com ocorrência em quase todos os estados brasileiros. Os estados onde ocorre a maior extração de minerais são Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins. É estimado que quase 80% das gemas extraídas sejam destinadas a exportação, englobando gemas em bruto, lapidadas e espécimes de coleção.

Atualmente estima-se que existam cerca de 4.000 empresas que trabalhem com lapidação, joalheria, artefatos em gemas, bijuterias e folheados. Estão distribuídas principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Bahia.

2.8.1 Setor de Gemas e Joias no Rio Grande do Sul

Para se verificar a relevância do Rio Grande do Sul e do município de Soledade/RS neste setor, é no RS que estão concentradas as maiores jazidas de ágata e ametista em geodos nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), o que faz do estado o maior produtor e exportador destes minerais (Juchem et al., 2009). Na figura 21 pode-se visualizar o mapa da região sul com a localização das ocorrências dos minerais.

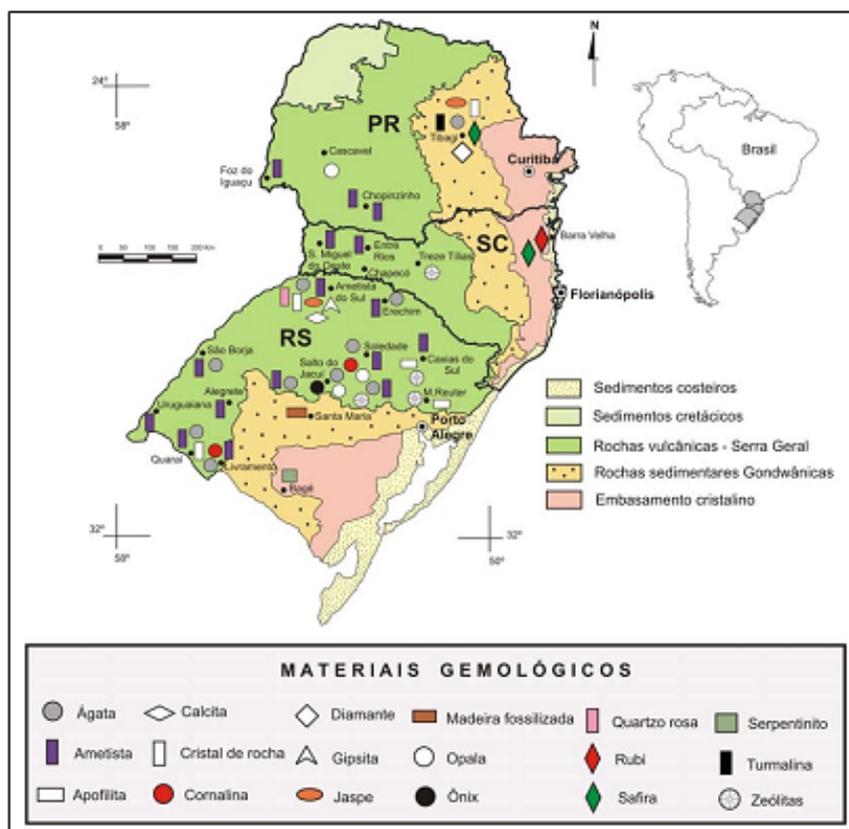


Figura 21: Mapa Gemológico da região sul do Brasil (PR, SC, RS), indicando as principais unidades geológicas e as áreas de ocorrência de materiais de interesse gemológico. Retirado de Juchem et al. (2009).

Alem disso o município de Soledade se consolidou como polo estadual na industrialização e exportação de gemas. A veracidade do fato é comprovada pelo reconhecimento internacional do município como “Capital das Pedras Preciosas”.

A partir da década de 70 começaram a ser instaladas no município de Soledade as primeiras empresas industriais do setor de gemas, mas foi na década de 1980 quando a demanda para o mercado externo cresceu que se instalaram novas pequenas e médias empresas. Atualmente a cidade se destaca por possuir uma economia diversificada, contudo de cada vinte empresas situadas na localidade 15 pertencem ao setor de gemas, e as três maiores empresas também pertencem a este setor (COSTENARO, 2005).

Outro fato que ratifica esta consolidação como polo estadual de gemas é que, das 75 empresas associadas ao Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul (SindiPedras), 55 estão localizadas em Soledade, o que corresponde a mais de 70% das empresas associadas.

Em novo levantamento realizado no ano de 2009, pelo Centro Tecnológico de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, chegou-se a aproximadamente 210 empresas. O levantamento buscou informações em diferentes fontes, como Prefeitura Municipal, SEBRAE, Sindipedras e Engenharia Ambiental. Foram realizadas visitas técnicas em 143 empresas e com os dados obtidos pode-se realizar um diagnóstico operacional possibilitando a descrição do setor em números (Martins, 2010).

Na sequência descrevem-se os principais dados obtidos através deste levantamento.

O estudo mostra que dentre as principais atividades realizadas no município de Soledade, 41 empresas (28,67%) tem o corte de chapas de ágata como atividade principal, seguido da produção de artefatos com 35 empresas (24,48%), atividades de acabamento com 33 empresas (23,08%), atividades de comércio com 27 empresas (18,88%). Pode-se observar pelo gráfico 1, que a maior parte das empresas realizam atividades de processos simples, geralmente realizados em ágata ou simplesmente comercializam as gemas. Atividades como

lapidação de gemas, principal estudo dessa pesquisa, que dariam uma valorização maior as gemas não chegam a (5%) das empresas.

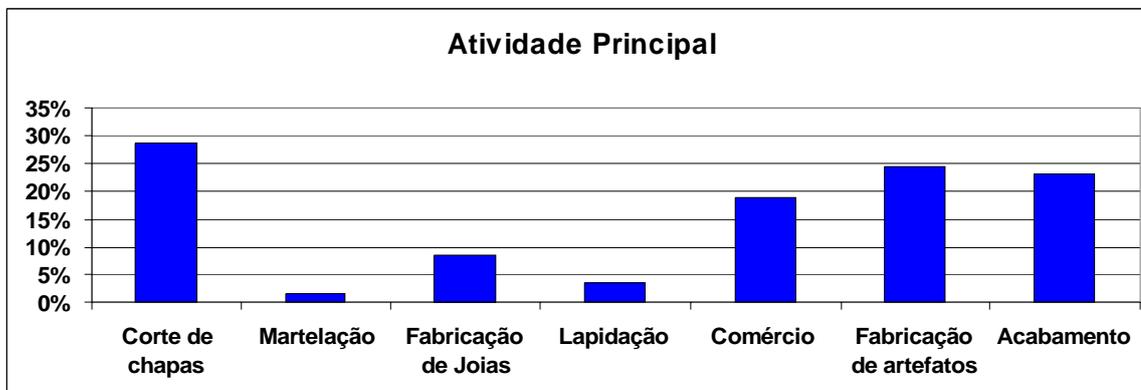


Gráfico 1: Atividade Principal das empresas (MARTINS, 2010)

Assim, os processos usados nas atividades são de baixa complexidade, com pouca tecnologia aplicada. Verificou-se que 69 empresas (48,28%) realizam a serragem de ágata, 73 empresas 51,05% o processo de polimento, 67 empresas (46,85%) o processo de lixamento. É possível observar estas informações no gráfico 2.

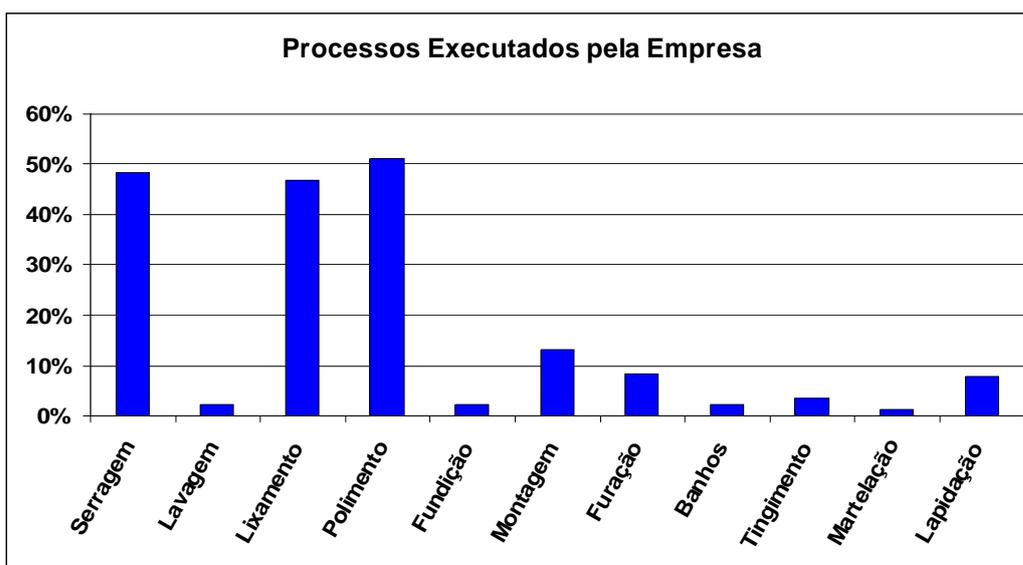


Gráfico 2: Processos executados pela Empresa (MARTINS, 2010)

Como os processos utilizados, são de baixo grau de complexidade, os equipamentos usados são simples como serras, rebolos e lixadeiras. Verificou-se que 77 empresas (53, 85%) possuem máquinas de serrar chapas, 74 empresas (51,75%) máquinas para lixar gemas, 64 empresas (44,76%) máquinas politrizes, 37 empresas (25,87%) moto esmeril rebolo, como esta indicado no gráfico 3.

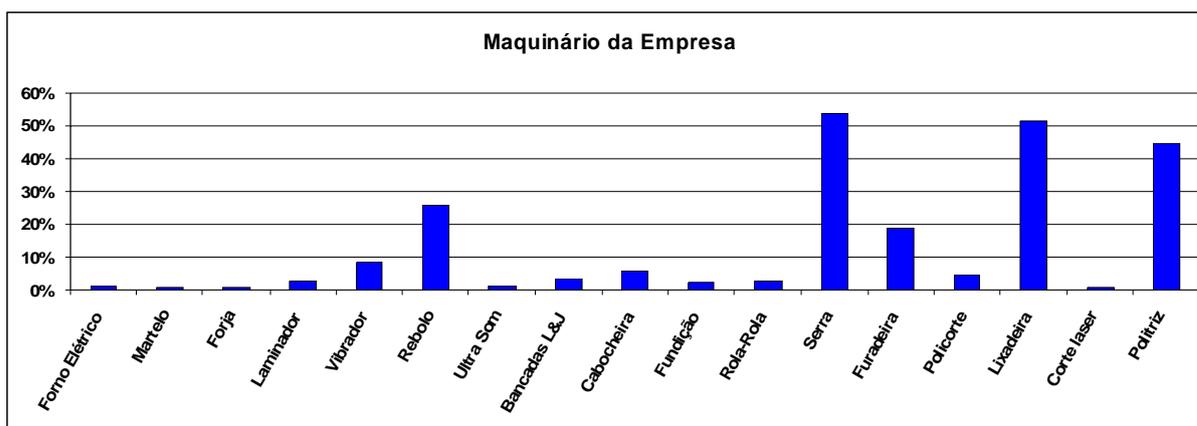


Gráfico 3: Maquinários utilizados pela Empresas (MARTINS, 2010).

Verificou-se também que 63 empresas (44,06%) possuem maquinário com tempo de vida de 11 a 20 anos, 31 empresas (21,68%) maquinário com mais de 20 anos, 29 empresas 20,28% com tempo de vida do maquinário menor que 5 anos, 19 empresas (13,29%) entre 5 e 10 anos de vida do maquinário. O gráfico 4 mostra que a maioria dos equipamentos utilizados possuem mais de 10 anos de uso, mostrando-se defasados e com baixa tecnologia, o que compromete a qualidade e acabamento das peças.

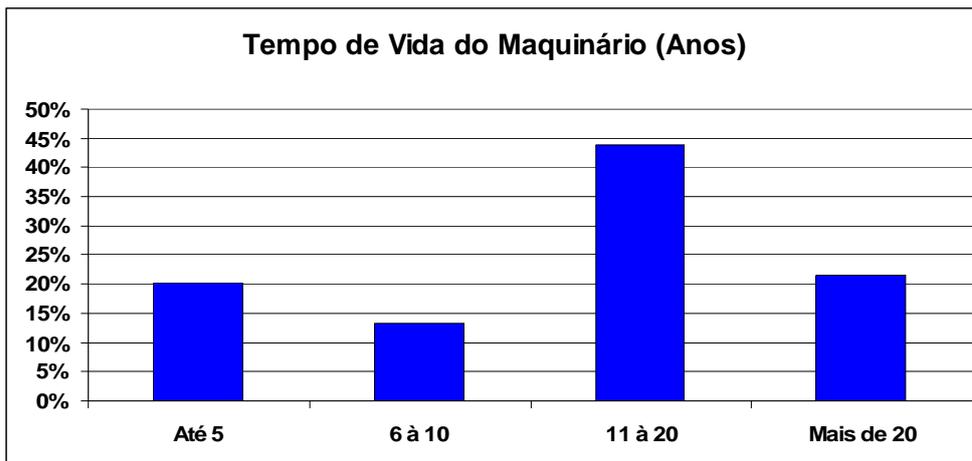


Gráfico 4: Tempo de vida do Maquinário (MARTINS, 2010).

Relacionado aos produtos comercializados destaca-se que 61 empresas (42,66%) têm como principal produto chapas de ágata ou medalhas, 61 empresas artefatos, 20 empresas (13,99%) gemas brutas, 18 empresas (12,59%) jóias, 7 empresas gemas lapidadas 4,90%, 7 empresas bijuterias (4,90%), 3 empresas pedras roladas 2,10%, 3 empresas esferas de gemas (2,10%), 1 empresa gemas marteladas 0,70%. Conforme apresentado no gráfico 5, grande parte dos produtos comercializados são artefatos ou simplesmente as chapas de ágata tingidas. Gemas lapidadas, ou já preparadas para a lapidação (marteladas) não chegam a 10% dos produtos.

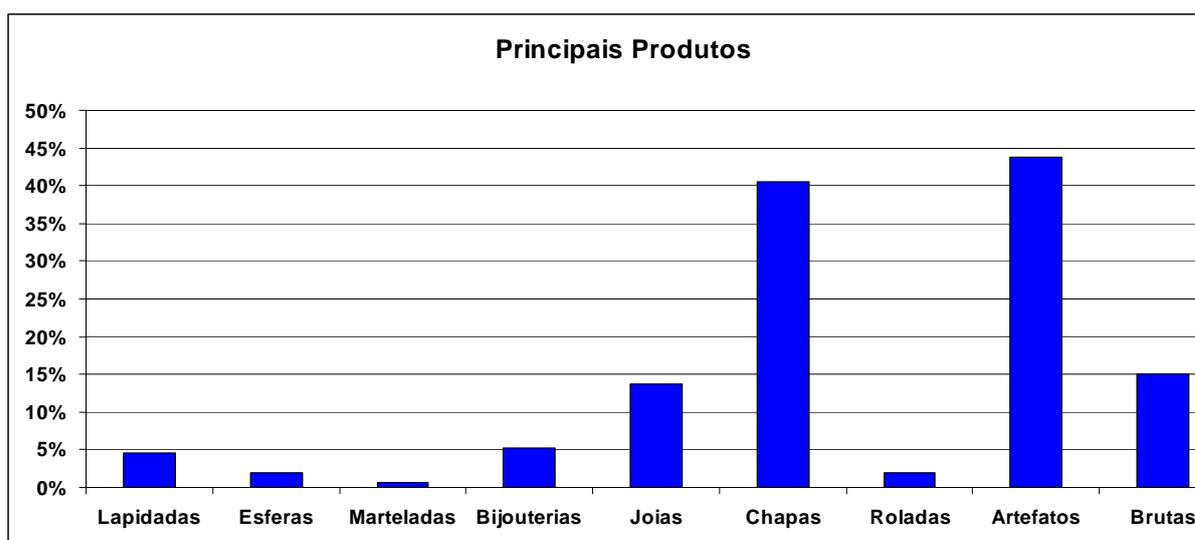


Gráfico 5: Principais produtos comercializados (MARTINS, 2010)

Neste estudo identificou-se 67 empresas (46,85%) que tem como matéria-prima gemas brutas ou marteladas, 48 empresas (33,57%) ágata bruta, 30 empresas (20,998%) ágata trabalhada, 10 empresas (6,99%) gemas lapidadas, 4 empresas (2,8%) prata utilizada em banhos de revestimento de joias. Pode se notar comparando os gráficos 5 e 6, que apesar de constar como sendo mais utilizadas gemas brutas e marteladas, dentre essas a parte de gemas marteladas utilizadas é insignificante.

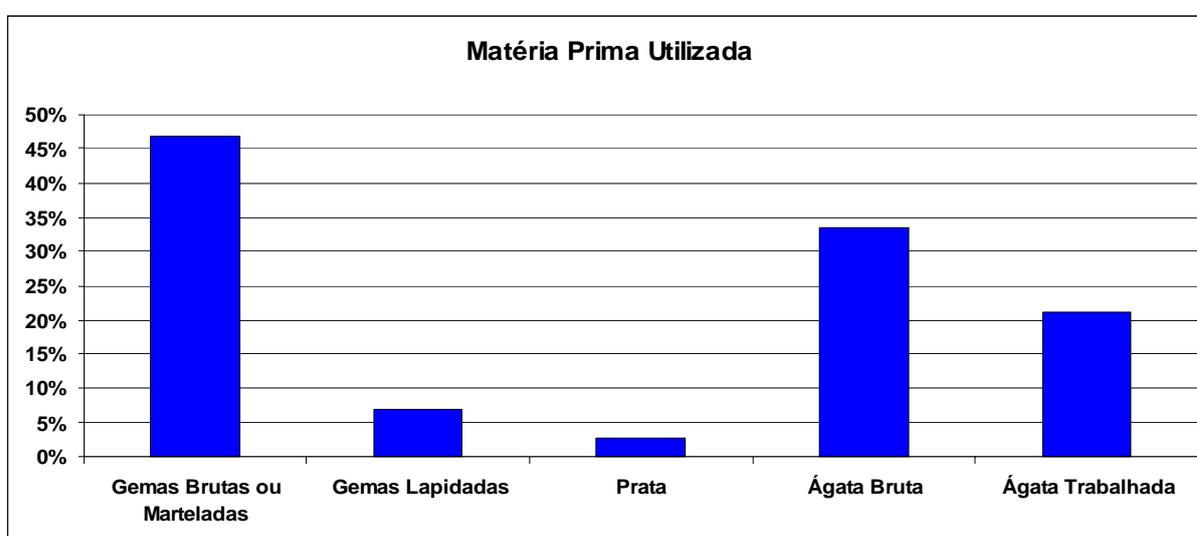


Gráfico 6: Matérias-primas utilizadas (MARTINS, 2010).

No que diz respeito à origem das matérias-primas, a grande parte provém da própria região e de Salto do Jacuí, onde a principal gema encontrada é a ágata, que geralmente não é lapidada. No gráfico 7 é possível observar o percentual indicativo da origem das matérias-primas.

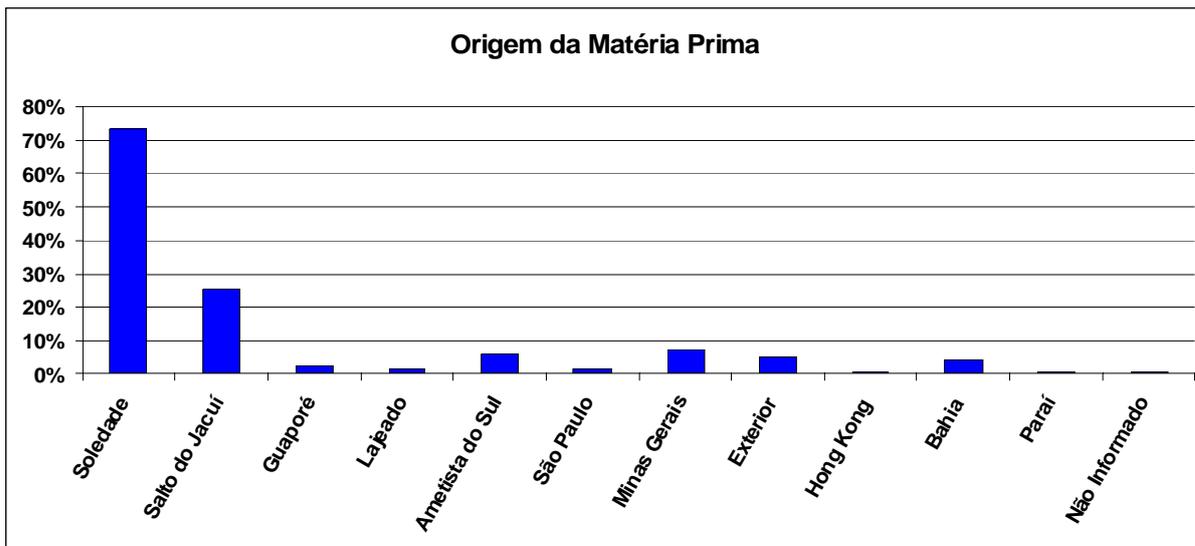


Gráfico 7: Origem das Materiais Primas (MARTINS, 2010).

Por fim, um fator que colabora para o pouco aproveitamento das gemas é a falta de capacitação dos funcionários como pode ser observado no gráfico 8. Constatou-se que em 103 empresas (72,03%) os funcionários não recebem nenhum tipo de treinamento, 39 empresas (27,27%) treinam seus funcionários na admissão e 4 empresas treinaram seus funcionários em cursos de capacitação do SENAI e CT Pedras.

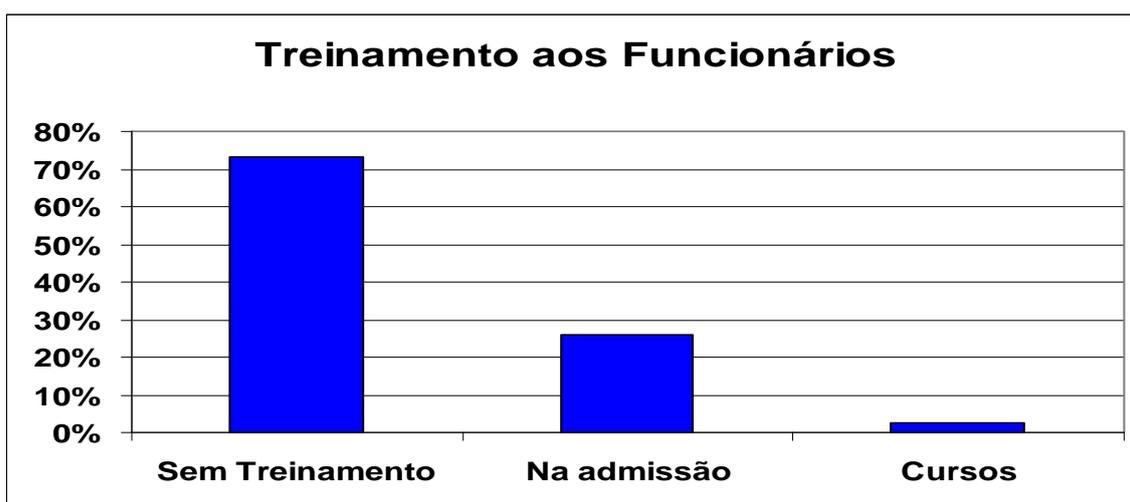


Gráfico 8: Treinamento dos funcionários (MARTINS, 2010).

Posto este cenário é de vital importância para o setor um aproveitamento adequado de nossas gemas com um beneficiamento de qualidade para que fique no Brasil o valor agregado do design e da tecnologia para que o país não fique caracterizado simplesmente como exportador de gemas em bruto ou semi-acabados de baixo valor agregado.

Neste sentido para contribuir com o desenvolvimento do setor sugere-se a utilização da tecnologia de digitalização tridimensional através da seguinte metodologia que será apresentada no capítulo a seguir.

MATERIAIS E MÉTODOS

No projeto 3D Gemas a metodologia é utilizada para reprodução virtual de gemas marteladas, geralmente de citrinos e ametistas da família do quartzo. Na figura 22 pode ser visto as gemas de ametista martelada sendo classificadas para lapidação



Figura 22: Gemas de ametista martelada sendo classificadas para lapidação.

Um dos projetos mais importantes realizado no CT-Pedras é o projeto 3D-Gemas, através do qual foi possível a aquisição do equipamento de digitalização tridimensional. O 3D Gemas consiste no desenvolvimento de uma solução tecnológica para o auxílio a lapidação de gemas, visando encontrar o projeto de lapidação que resulte no melhor aproveitamento de volume de uma gema, evitando desperdício de material gemológico.

A tecnologia do projeto 3D Gemas consiste em um conjunto de técnicas e procedimentos desenvolvidos com objetivos de encontrar o melhor projeto existente de lapidação facetada para determinada gema, que resulte, assim, no

maior valor agregado em termos de volume e brilho. Essa tecnologia necessita de duas etapas:

(A) A digitalização das gemas a serem lapidadas, que é feita pelo digitalizador tridimensional. Equipamento capaz de reproduzir virtualmente a superfície de qualquer objeto.

(B) Análise em software estilo CAD (Computer Aided Design), dos dados obtidos através do digitalizador, para manipulação das malhas 3D. O software analisa a geometria das gemas digitalizadas com os projetos de lapidação facetadas, calculando qual dos modelos de lapidação acarretará no melhor aproveitamento em volume e brilho para aquela gema, bem como o posicionamento do mesmo no interior desta.

Além do *software* Otimizador 3D Gemas, que faz o cálculo de aproveitamento, o projeto conta com um *software* para a visualização do modelo de lapidação inserido na gema, denominado de Visualizador 3D Gemas. O *software* gera um diagrama¹³ de lapidação com os passos necessários para o lapidário executar aquele projeto de lapidação.

Os modelos tridimensionais obtidos são utilizados pelo *software* Otimizador 3D Gemas, que propõe o projeto de lapidação que obtém o melhor aproveitamento do seu volume, fornecendo um diagrama de execução do projeto para o lapidário.

A metodologia foi adaptada para a utilização em um digitalizador a laser manual, modelo RevScan, o software de aquisição de dados é o VxScan. Para o tratamento dos dados o projeto possui a licença do software 3DReshaper, onde também é feita a validação das malhas. A figura 18 mostra o fluxograma do processo de digitalização no projeto 3D Gemas. Essa é apenas uma das etapas do projeto onde é realizada preparação da gema para a digitalização que é aquisição dos dados da geometria da gema e a montagem e tratamento desses dados para gerar o modelo virtual que será usado para as análises do *software* Otimizador 3D Gemas.

¹³ Vide diagrama no apêndice do trabalho.

3.1 Gemas utilizadas

As gemas utilizadas nos experimentos desse trabalho foram gemas marteladas (pré preparadas para a lapidação) de ametista e citrino, todas as variedades do quartzo, figura 23. Foram escolhidas essas gemas por serem as mais abundantes encontradas no município de Soledade e por não possuírem um valor tão elevado, foram digitalizadas somente gemas marteladas, pois é nesta forma que elas chegam às mãos dos lapidários e a partir desse estado que se iniciam as análises visuais para o melhor aproveitamento da gema no momento de lapidá-la.

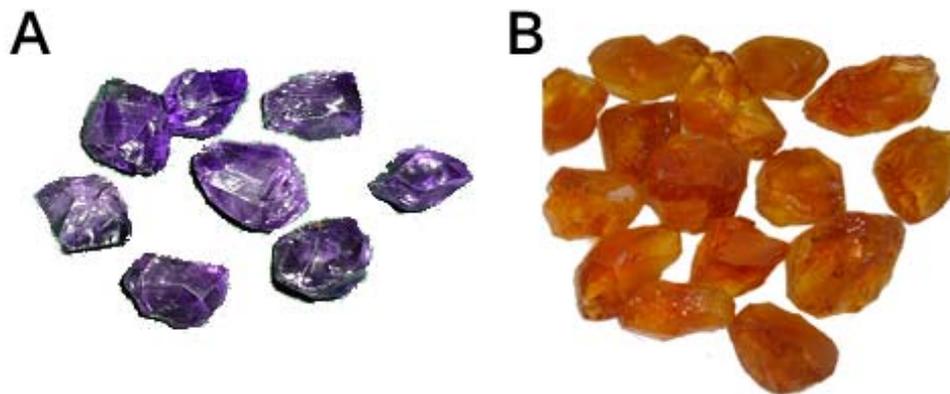


Figura 23: Gemas marteladas de ametista (A) e gemas marteladas de citrino (B).

3.2 Digitalizador HandyScan

No projeto 3D Gemas é utilizado um equipamento de digitalização portátil e manual, modelo RevScan, fabricado pela empresa canadense Creaform (figura 24). O digitalizador é de fácil utilização e pode ser levado para qualquer ambiente, com conexão *plug and play* e pode ser conectado em qualquer computador que contenha uma entrada *fireware*. Com um *notebook* pode ser utilizado em qualquer ambiente, desde que contenha uma fonte elétrica.



Figura 24: HandyScan modelo REVScan

O *REVScan* utiliza um sistema de varredura por dois feixes de laser lineares, formando uma cruz e duas câmeras de alta resolução, que executam o auto posicionamento do objeto digitalizado. Por meio de triangulação o feixe de laser faz a captura dos dados no eixo Z, enquanto a varredura nos eixos X e Y são feitas manualmente pelo usuário, conforme se passa o equipamento pela superfície do objeto digitalizado. No quadro 5 pode-se ver as especificações do digitalizador fornecidas pelo fabricante.

Quadro 5: Especificações Técnicas

Peso	980 gramas (2,1 lb)
Dimensões	160 x 260 x 210 mm (6,25 x 10,2 x 8,2 pol.)
Medições	18 000 medições/s
Classe de Laser	II (seguro para a vista)
Resolução no eixo Z	0,1 mm (0,004 pol.)
Precisão	Até 50 µm (0,002 pol.)
Precisão volumétrica	20µm + 0,2 L /1000

Fonte: www.creaform3d.com

Para a digitalização é necessário a utilização de uma superfície com etiquetas reflexivas, são elas que auxiliam o auto posicionamento do digitalizador, no caso de objetos de dimensões elevadas. Essas etiquetas podem ser coladas no próprio objeto. As etiquetas refletem as luzes que são emitidas pelos *leds* do equipamento e o digitalizador se localiza pelo posicionamento dessas etiquetas.

3.3 Calibração do HandyScan

Como visto anteriormente a primeira etapa da metodologia para uma digitalização de qualidade é a calibração do digitalizador. Para calibrar o equipamento é necessário utilizar a placa de calibração visualizada na figura 25.



Figura 25: Placa de calibração do digitalizador.

Para iniciar o processo de calibração deve-se abrir o *software* do digitalizador, abrindo o menu *configure e sensor calibration* (Configuração e Calibração do sensor), mostrado na figura 26. Para realizar o processo deve mirar o feixe de laser no "X" da placa digitalizadora a uma distância de 10 cm, afastando o equipamento até uma distância aproximada de 60 cm, o *software* confirmará se a calibração foi executada com sucesso.

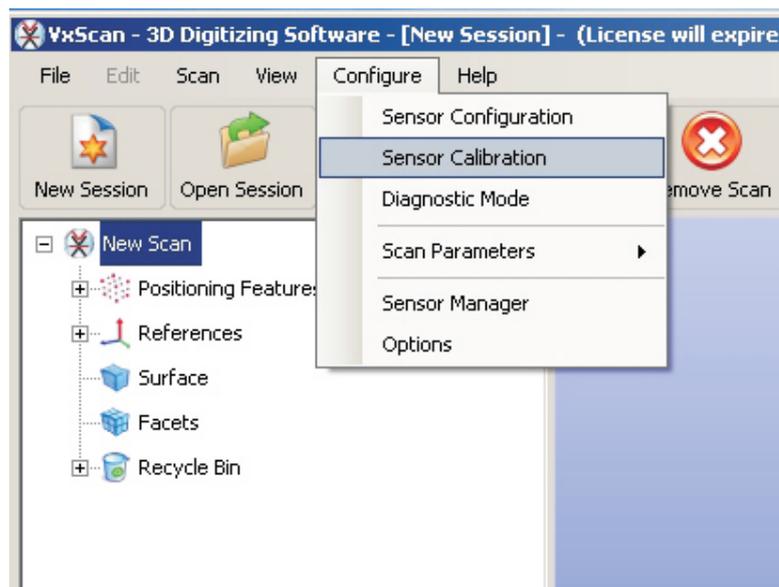


Figura 26: Menu do software para calibração do digitalizador.

3.4 Caracterização da gema a ser digitalizada

Como as gemas digitalizadas são preparadas para a lapidação, são em sua maior parte translúcidas e de pequenas proporções. Sendo assim elas podem ser digitalizadas em cima de uma mesa de digitalização. O Handyscan necessita de uma superfície com etiquetas reflexivas para sua orientação no espaço. Caso a amostra seja de grandes dimensões pode-se colar as etiquetas na própria gema. Tanto para etiquetas coladas na preparação da mesa de digitalização quanto para coladas na própria gema devem-se tomar certos cuidados como o distanciamento das etiquetas. Também não é recomendado que se façam agrupamentos das etiquetas, nem as coloquem em linhas. Na figura 27 é mostrada a forma correta de distribuição das etiquetas.

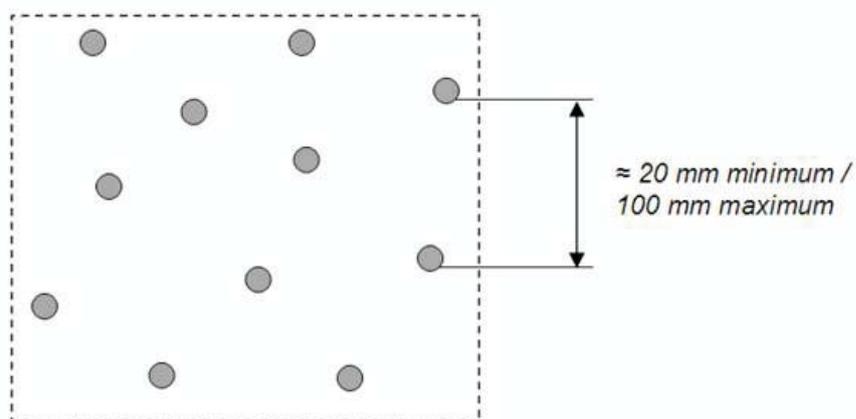


Figura 27: Distribuição ideal das etiquetas sobre uma superfície.

Também é preciso cuidar se a gema possui superfície côncava e se será possível a captura desses dados pelo laser do digitalizador. Como as gemas são translúcidas e possuem algum brilho é necessário o recobrimento da sua superfície para deixá-las opacas. Para recobrir as gemas é utilizado um pó revelador de fissuras de tubulações, esse pó se torna apropriado para o recobrimento das gemas, pois é bastante fino e fácil de ser removido, não alterando nem danificando as gemas (figura 28).



Figura 28: Pó revelador sendo aplicado em uma amostra de quartzo.

3.5 Configuração do Handyscan

Para iniciar a digitalização configura-se o digitalizador de acordo com o objeto a ser digitalizado. Deve ser configurado o espectro de cor presente no objeto, essa configuração altera a potência de luminosidade dos *leds* e potência do laser e pode ser executado automaticamente ou manualmente pelo usuário. Na figura 29 pode ser visto a tela de configuração do sensor.

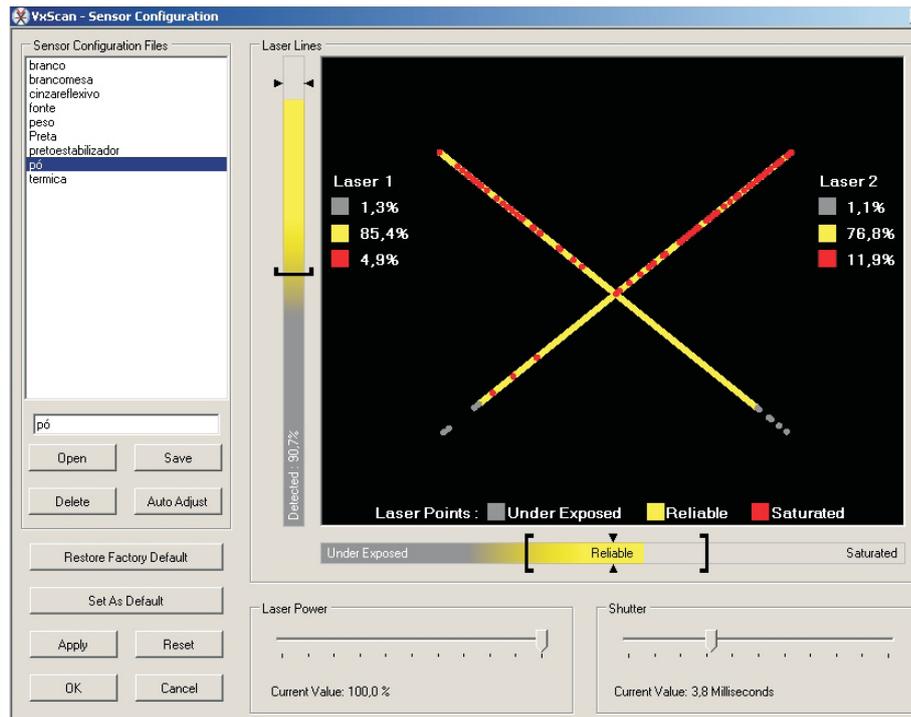


Figura 29: Tela de configuração do sensor do laser.

Na tela se apresenta a esquerda uma lista de materiais cadastrados pelo usuário, os materiais no caso são para referir as cores que o laser deve capturar, abaixo da lista temos os botões para salvar e abrir essas configurações. Ao lado temos uma tela preta com a representação dos lasers, onde as zonas vermelhas representam sinal saturado, zonas cinza sinais sub expostos e a zonas amarelas representando o sinal ideal, recomenda-se que a porcentagem de sinal ideal fique acima de 70% nos dois sensores de laser.

Nesse estágio é onde é escolhida a resolução que se deseja para a digitalização. Quanto menor ou mais detalhado for o objeto a ser digitalizado maior deve ser a resolução usada, pois irá capturar um número maior de pontos

em um intervalo menor de espaço. No software de digitalização existe uma limitação de cubos que varia de 100 mm a 500 mm, esse cubo limita o volume que poderá ser digitalizado em cada etapa. Quanto menor o cubo maior será resolução de digitalização, a resolução máxima que o digitalizador suporta é de 0,2 mm no cubo de 100 mm.

3.6 Digitalização (captura da nuvem de pontos)

Com a gema preparada e o equipamento configurado, então é possível passar para a digitalização propriamente dita. Para iniciar a digitalização é necessário acionar o modo de digitalização, pelo comando *Record Scan*, localizado na barra de ferramentas do *software*. Na figura30 é apresentada a barra de ferramentas, que possui também os comandos de parar ou reiniciar a digitalização, adicionar ou remover digitalizações e abrir ou salvar novas sessões de digitalizações.



Figura 30: Barra de ferramenta do *software* VXScan.

Ao se pressionar o gatilho do equipamento é iniciado o processo de digitalização, deve-se mirar os feixes de laser na superfície da gema e move-lo suavemente sobre a superfície que se deseja digitalizar. Na figura 31 pode ser visto o equipamento durante o processo de digitalização de uma gema martelada.



Figura 31: Digitalização de uma gema, onde (1) é a plataforma com as etiquetas reflexivas para orientação do equipamento, (2) é a amostra de gema martelada que esta sendo digitalizada e (3) é o equipamento digitalizador portátil a laser.

Para uma digitalização com mais qualidade deve-se cuidar a distância dos feixes de laser do equipamento para superfície, pelos *leds* indicadores presente no equipamento e pela barra presente na tela do *software*, mostrada na figura 32.

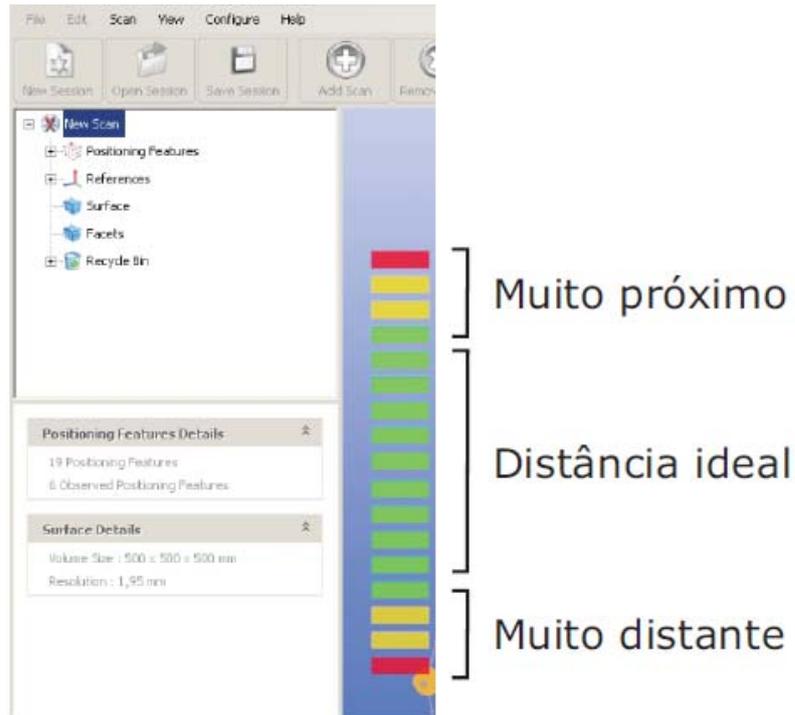


Figura 32: Detalhe da barra que auxilia o operador a manter a distância ideal do equipamento para a superfície digitalizada.

Quando toda a superfície desejada aparecer na tela pode-se parar a digitalização para sua análise, caso alguma parte da superfície digitalizada não apareça na tela, verifique se ela não está fora do cubo que delimita a área digitalizada. O cubo pode ser movido manualmente, ou ser centralizado automaticamente na superfície digitalizada, caso a área digitalizada seja maior que o cubo é possível ajustar o cubo para o tamanho da digitalização, desde que este não ultrapasse os 500 mm, tamanho Máximo de área digitalizada. Na figura 33 são mostrados os comandos para essas funções.

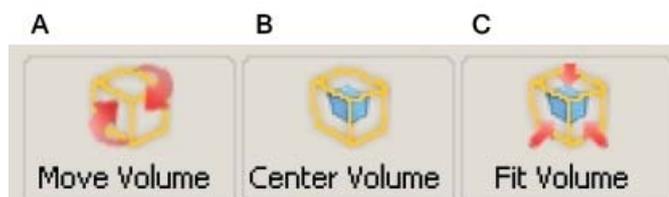


Figura 33: Comandos para mover o cubo (A), para centralizar o cubo na digitalização (B) e para ajustar o cubo ao tamanho da digitalização (C).

As gemas devem ser digitalizadas pelo menos em três partes para facilitar sua montagem posteriormente. Em algumas gemas até é possível a digitalização em apenas 2 partes, mas geralmente ao digitalizar o lado oposto, o digitalizador não consegue encontrar uma parte comum adequada, não conseguindo concluir a montagem ou forçando a união das nuvens sobrepondo uma sobre a outra para eliminar a falta daqueles pontos, comprometendo a fidelidade da malha do modelo, no encontro entre os dois lados digitalizados. Na figura 34 pode ser visto o problema na hora da montagem das nuvens de pontos. A imagem é mostrada no formato de malha triangular para uma melhor visualização do problema.

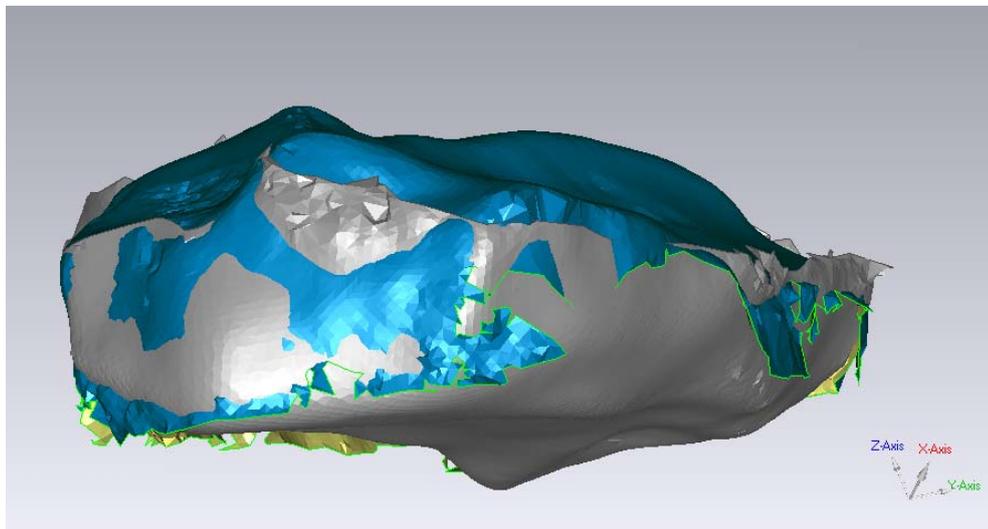


Figura 34: Sobreposição de malhas devido à falta de pontos em comum na digitalização das nuvens.

Para salvar os dados digitalizados usa-se a extensão TXT, que é um arquivo de texto com a coordenada de cada ponto X, Y e Z. É possível salvar os dados em formato de malha, como um arquivo STL, mas pode se tornar mais trabalhosa sua edição.

3.7 Montagens da nuvem de pontos

Uma vez digitalizada todas as superfícies desejadas da gema é preciso fazer a união dessas nuvens, para isso é necessário o uso do *software* específico 3Dreshaper.

Para iniciar a montagem é necessário que se importe todas as nuvens digitalizadas no *software*. Nesse momento o único tratamento a ser feito, é apagar os pontos que não são pertencentes à superfície da gema, esses pontos podem ser simplesmente ruídos capturados pelo digitalizador, pontos pertencentes a mesa de digitalização ou pertencentes a suportes de fixação ou apoio.

Para o *software* conseguir montar as nuvens elas devem possuir pontos em comum que serão as referências para montagem. A montagem é realizada manualmente, de duas em duas nuvens, indicando ao *software* suas áreas em comum, como mostra a figura 35, o *software* encontra os pontos em comum dessas regiões ajustando as duas malhas. Com todas as nuvens de pontos unidas ainda é possível fazer um ajuste automático final. Quanto maior o número de pontos puder ser informado ao software, melhor será a precisão da montagem, recomenda-se encontrar pelo menos três pontos em comum.

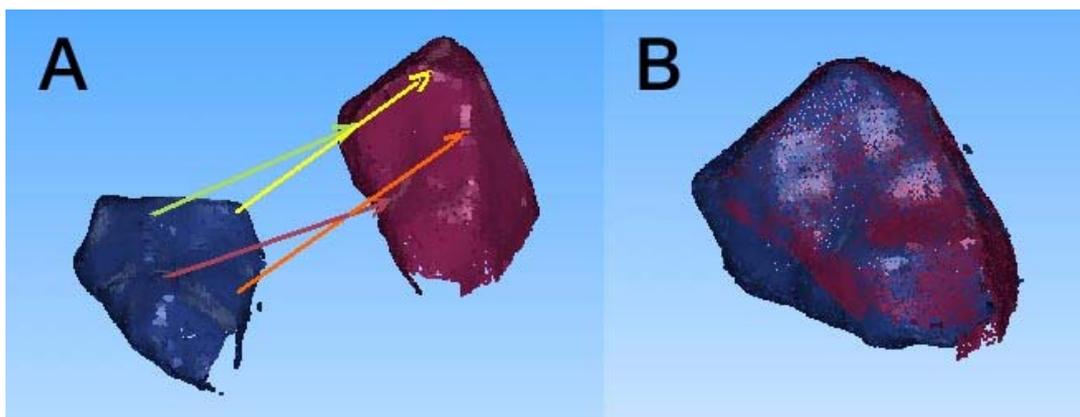


Figura 35: Pontos em comum selecionados nas duas nuvens de pontos (A), e montagem das nuvens finalizada pelo software (B).

3.8 Tratamentos da nuvem de pontos

Depois de montadas todas as nuvens de pontos da gema é preciso realizar o tratamento da nuvem de pontos final. A primeira etapa desse tratamento é a eliminação de partes dos pontos em comum entre as diferentes nuvens, deve-se sempre analisar as nuvens por pares, observando suas áreas em comum, a nuvem que tiver a menor quantidade de pontos nessa região é a que os pontos devem ser apagados. Depois de eliminados os pontos em comum da superfície são realizados comandos que filtram os pontos restantes, eliminando os pontos que estejam fora dos padrões dos demais, o que diminuem ainda mais os ruídos. Por fim, então, é possível realizar uma redução do número de pontos da nuvem, finalizando a edição. Na figura 36 pode ser visto a diferença da nuvem antes de ser trata com os filtros (A) e pós a realização do tratamento (B).

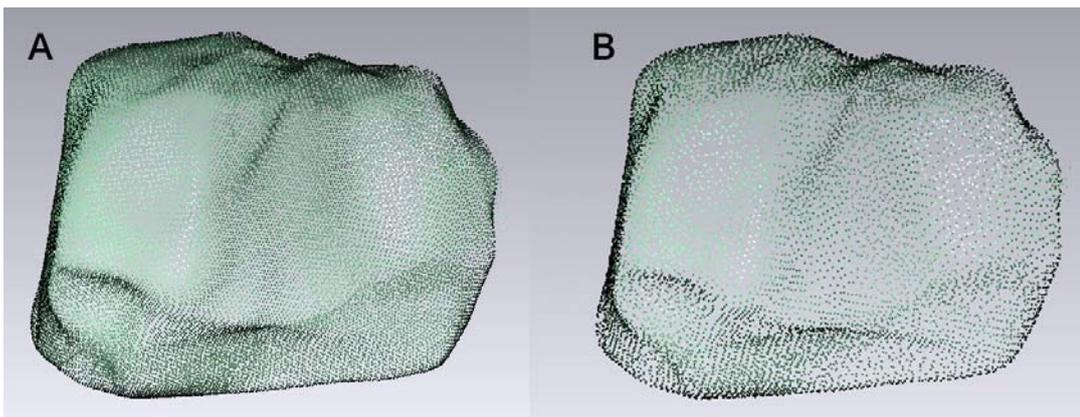


Figura 36: Nuvem de pontos antes do tratamento com os filtros (A), e depois de serem passados os filtros (B).

O processamento da nuvem de pontos é de suma importância para reduzir ao máximo o número de erros de triangulação na hora da construção da malha 3D.

3.9 Validação da malha

Para validar a malha triangular é necessário que ela não possua nenhuma falha, intersecção de triângulos ou triângulos invertidos. Para isso primeiro deve-

se corrigir essas falhas, usando os comandos do menu malhas. Na figura 37 pode-se ser vista a barra que contém esses comandos.



Figura 37: Barra com comandos de correção de malha e filtros de redução de picos e triângulos.

Para a correção das falhas da malha usa-se o comando de *Tapar furos* selecionando a borda das falhas que se deseja corrigir na malha. Para corrigir as intersecções e triângulos invertidos é necessário que primeiramente sejam apagados esses triângulos com problemas utilizando o comando *Apague / Separe Malha*, selecionando os triângulos a serem deletados e posteriormente corrigindo as falhas com o comando *Tapar furos*. Na figura 38 é apresentada uma superfície com uma falha na malha e alguns problemas de intersecção de triângulos (A), e posteriormente essa mesma malha com os problemas corrigidos (B).

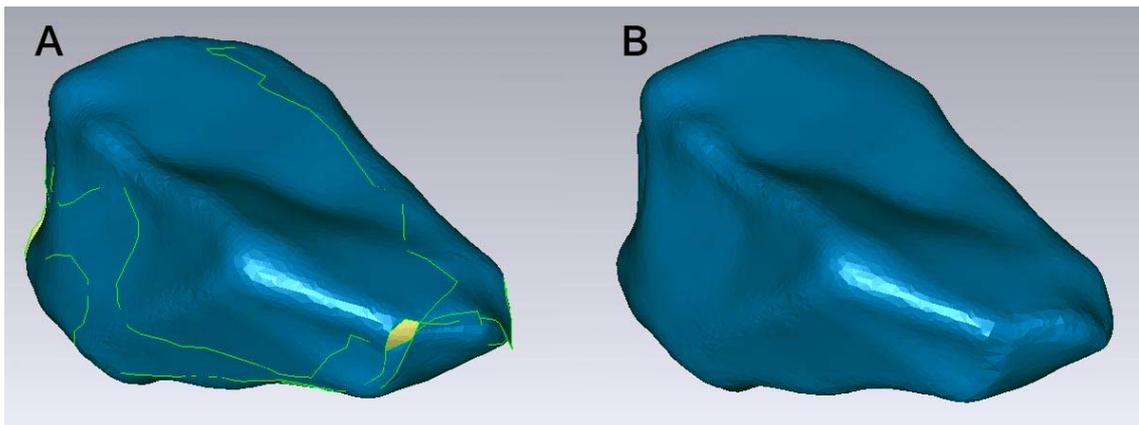


Figura 38: Malha com falhas em sua construção (A), e posteriormente com as falhas corrigidas (B).

Estando a malha corrigida são utilizados os comandos de propriedades da malha para sua validação. Na figura 39 são apresentados esses comandos. Para validar a malha é preciso que o software consiga realizar o cálculo de volume e cubagem da malha e a verificação de sua integridade tem que constar aprovada pelo software.

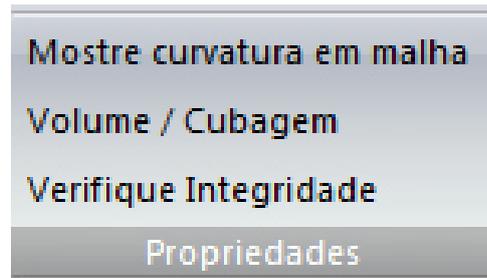


Figura 39: Comandos para validação da malha.

Depois de verificada a validação da malha é possível salva-la no formato desejado, para utilização em outros softwares de CAD/CAM/CAE. No projeto 3D Gema utilizou-se como arquivo de saída o formato STL.

METODOLOGIA PARA DIGITALIZAÇÃO DE GEMAS

A partir das potencialidades apresentadas da tecnologia de digitalização tridimensional a laser, o presente trabalho visa propor uma metodologia para digitalização de gemas através desse tipo de equipamento. Para tanto é necessário que se sigam algumas etapas importantes:

- a) Calibração do equipamento*
- b) Caracterização e preparação da gema a ser digitalizada*
- c) Configuração do equipamento de acordo com a gema a ser digitalizada*
- d) Digitalização da gema (obtenção da nuvem de pontos)*
- e) Montagem da nuvem de pontos*
- f) Tratamento da nuvem de pontos*
- g) Geração da malha 3D*
- h) Validação da malha 3D*

4.1 Calibração do Equipamento

Antes de iniciar uma digitalização, independente de que aparelho esteja utilizando é recomendado que se faça a calibração do seu laser. A calibração se torna necessária quando o equipamento se encontra há muito tempo fora de uso ou quando houve transporte ou alocação em outro ambiente.

Existem equipamentos em que o próprio usuário pode realizar esse procedimento, no caso de equipamentos onde é necessário fazer troca de lentes para alterar a resolução, é necessário que o próprio fabricante do canhão de laser execute o processo, pois as lentes são calibradas especificamente para cada cabeçote, ficando os dados armazenados em sua memória, que é acessado pelo *software* de aquisição.

Esse procedimento é necessário para uma aquisição de dados mais precisa e para o equipamento utilizar sua máxima resolução.

4.2 Caracterização e preparação da gema a ser digitalizada

Antes de preparar as configurações do equipamento digitalizador é necessário fazer uma análise da gema que será digitalizada para ver se será possível a sua digitalização e para realizar a configuração correta do equipamento.

Deve ser visualizado o tamanho da gema, se ela caberá na plataforma digitalizadora, se será preciso colocar alguma espécie de suporte de sustentação, quantos passos serão necessários para digitalizar toda a superfície, para qual finalidade será a digitalização, qual a resolução quer obter e qual potência de laser utilizar. Caso a gema possua tonalidades de cores diferentes, ou translúcidas será necessário recobri-lá? O que usar para seu recobrimento?

Dependendo do equipamento é possível que certas gemas não consigam ser digitalizadas. É o caso de capelas e drusas que possuam uma concavidade muito acentuada é possível que o laser não consiga capturar esses dados.

4.3 Configuração do equipamento

Nesta etapa é escolhida a lente, ou qual resolução que se pretende utilizar para digitalizar a gema. No caso de digitalizadores de mesa é necessário ajustar a distância no eixo Z do feixe de laser, pois esse possui uma faixa onde a obtenção de dados é realizada com maior qualidade, deve se configurar também a potência do laser, quando a superfície for muito escura ou refletiva tende-se a usar uma potência maior. Geralmente os *softwares* dos digitalizadores mostram um parâmetro de qualidade do sinal de acordo com as configurações feitas, esse parâmetro é dado em porcentagem, cada fabricante recomenda uma porcentagem diferente, mas isso varia de acordo com a qualidade que o usuário necessita ou pretende, recomenda-se que fique acima dos 70%. Outro ponto a ser configurado é delimitar a área que se deseja digitalizar. Se for necessário mais de um passo de digitalização, deve-se delimitar qual a primeira área a ser digitalizada. Alguns digitalizadores apresentam áreas virtuais pré determinadas,

nos digitalizadores de mesa o usuário determina essa área delimitando uma área retangular por dois pontos.

4.4 Digitalização da gema (obtenção da nuvem de pontos)

Depois de configurado o equipamento, executa-se a digitalização propriamente dita. Em digitalizadores de mesa, o cabeçote do laser é fixado em um braço que faz a varredura automaticamente. Outros digitalizadores possuem espelhos que executam essa varredura, ficando o equipamento completamente parado e, existem digitalizadores manuais, onde o usuário realiza a varredura passando o equipamento na área desejável. Com a aquisição desses dados é obtida a nuvem de pontos que formará a superfície da gema.

4.5 Montagem das nuvens de pontos

Uma vez digitalizada todas as superfícies desejadas da gema é preciso fazer a união dessas nuvens, sendo para isso utilizado um *software* específico. Antes é recomendado que se excluam os pontos não pertencentes a superfície da gema, que podem ser simplesmente ruídos capturados pelo digitalizador, pontos pertencentes à mesa de digitalização ou pertencentes ao suporte de fixação ou apoio. Para o *software* conseguir montar as nuvens elas devem possuir pontos em comum que serão as referências para a montagem. A montagem é realizada manualmente, indicando ao *software* áreas em comum das nuvens. O *software* encontra os pontos em comum dessas regiões ajustando as duas malhas. Com todas as nuvens de pontos unidas, ainda é possível fazer um ajuste automático final.

4.6 Tratamentos da nuvem de pontos

Depois de montadas todas as nuvens de pontos da gema, é preciso realizar o tratamento da nuvem de ponto final. A primeira etapa desse tratamento é a eliminação de partes dos pontos em comum entre as diferentes nuvens, devendo-se sempre analisar as nuvens por pares, observando suas áreas em comum. A nuvem que tiver a menor quantidade de pontos nessa

região é a onde os pontos devem ser apagados. Depois de eliminados os pontos em comum da superfície, são realizados comandos que filtram os pontos restantes, eliminando aqueles que estejam fora do padrão dos demais, diminuindo assim ainda mais os ruídos. Por fim então é possível realizar uma redução do número de pontos da nuvem, finalizando a edição.

O processamento da nuvem de pontos é de suma importância para reduzir ao máximo o número de erros de triangulação na hora da construção da malha 3D.

4.7 Validação da malha

A construção da malha triangular é feita através da união três a três dos pontos que constituem a nuvem. Mesmo sendo realizados os tratamentos anteriores na nuvem de pontos, é comum que a malha seja gerada com algumas falhas, que são "furos" ou triangulações imperfeitas, criando intersecções ou triângulos com a orientação da face invertida. Para a correção da malha deve se excluir os triângulos invertidos ou onde foram encontradas as intersecções, criando novamente a malha nessa região e fechando esse furo. O fechamento de furos ocorre com a interpolação dos pontos (vértices) dos triângulos, seguindo a curvatura das regiões adjacentes. A validação da malha é obtida quando o *software* não acusar mais a presença desses erros, e quando, no caso de uma malha fechada, possa ser calculado o volume desse objeto.

Para finalizar é possível passar um filtro que suaviza a malha, reordenando os triângulos e deixando suas arestas mais tangentes à de triângulos vizinhos, melhorando a superfície e reduzindo o número de triângulos presentes na malha tornando-a mais "leve" e fácil de ser manipulada.

Na figura 40 é apresentado um fluxograma que esquematiza a realização de todo o processo de digitalização de uma gema.

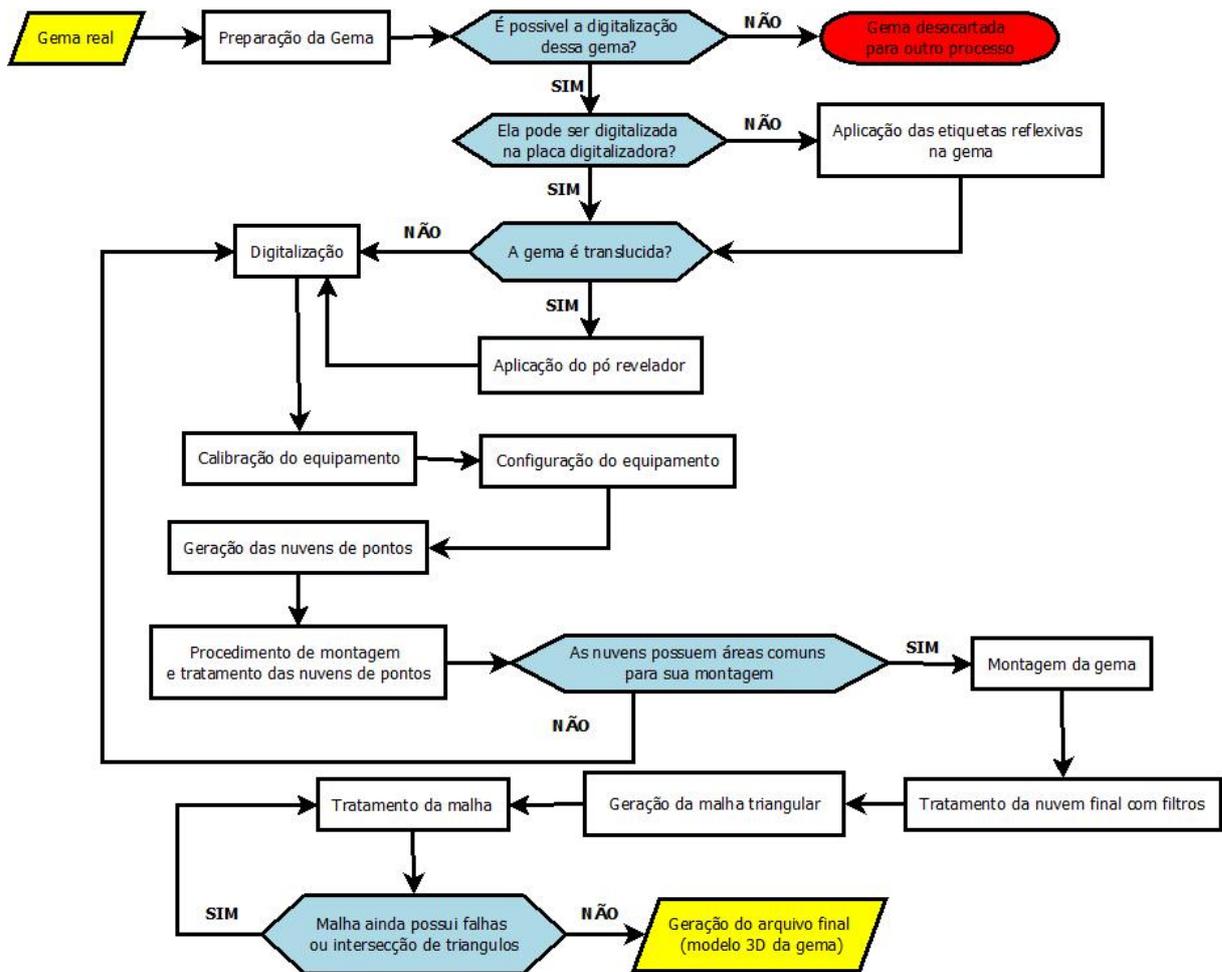


Figura 40: Fluxograma do processo de digitalização de gemas.

ANÁLISES

Ao serem ensaiadas as digitalizações das gemas foram realizadas algumas análises para se verificar a melhor forma de realizar a obtenção de dados da forma mais eficiente. Os principais parâmetros analisados foram o tempo de digitalização, a resolução e a fidelidade com o modelo final.

As gemas foram digitalizadas em três resoluções diferentes de baixa qualidade, com uma distância entre os pontos de 0,78 mm, em média qualidade com a distância entre pontos de 0,39 mm e com a máxima qualidade obtida pelo digitalizador que é de 0,20 mm entre seus pontos.

5.1 Qualidade da digitalização

Esse teste foi realizado para verificar em quanto ficaria a diferença entre as resoluções escolhidas, uma vez sabido que a resolução que apresenta a menor distância entre os pontos e conseqüentemente o maior número de pontos é a que representa mais fielmente o objeto digitalizado.

As análises foram realizadas em quatro amostras de citrinos martelados, onde, os modelos tridimensionais obtidos nas digitalizações em resoluções diferentes foram sobrepostos para a comparação. A comparação foi feita sempre com o modelo mais preciso, ou seja, foram realizadas duas análises no final, comparando o modelo de média qualidade com o de alta qualidade, assim como o de baixa qualidade com o mesmo de alta qualidade. Na figura 41 é visto a diferença visual entre as qualidades de digitalização. Onde é notado claramente como em alta resolução (A) é bem aparente os detalhes da superfície da gema, enquanto na resolução mediana (B) esses detalhes se tornam mais tênues e arredondados e na baixa qualidade (C) praticamente somem com a superfície da gema apresentando apenas sua forma mais básica.

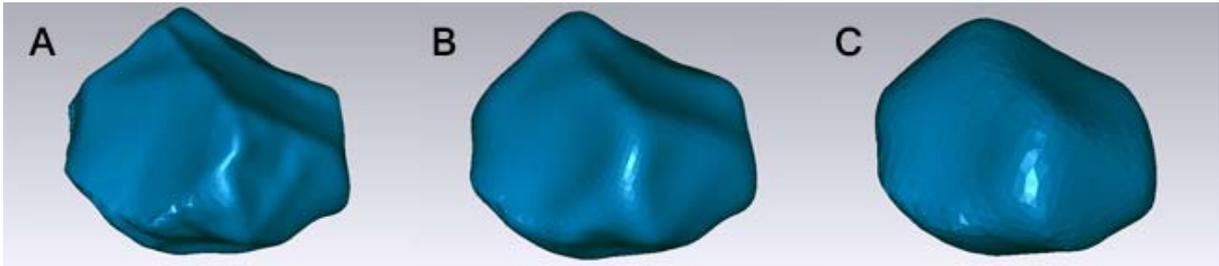


Figura 41: Modelo de gema (ensaio 1) com resolução de 0,20mm (A), com 0,39mm (B) e com 0,78mm (C).

Pode se perceber também a diferença na quantidade de triângulos, onde em qualidade superior (A) praticamente não é notada a triangulação, como se fosse uma superfície lisa, no entanto em qualidade baixa (C) pode-se notar a presença dos triângulos, tornando uma superfície mais texturizada e mal acabada.

Depois da obtenção dos modelos nas três resoluções, foram feitas a sobreposição dos modelos como é mostrado na figura 42. Onde foi sobreposta a malha com a resolução de 0,39 mm na de 0,20 mm e feito a comparação através da análise de *software*. A graduação por das cores revelam a diferença entre as malhas, onde é notada uma diferença em toda a estrutura da superfície, restando pequenas áreas em verde que seriam onde as malhas se sobrepõem quase que perfeitamente. A variação máxima no ensaio 1 ficou em 0,651 mm.

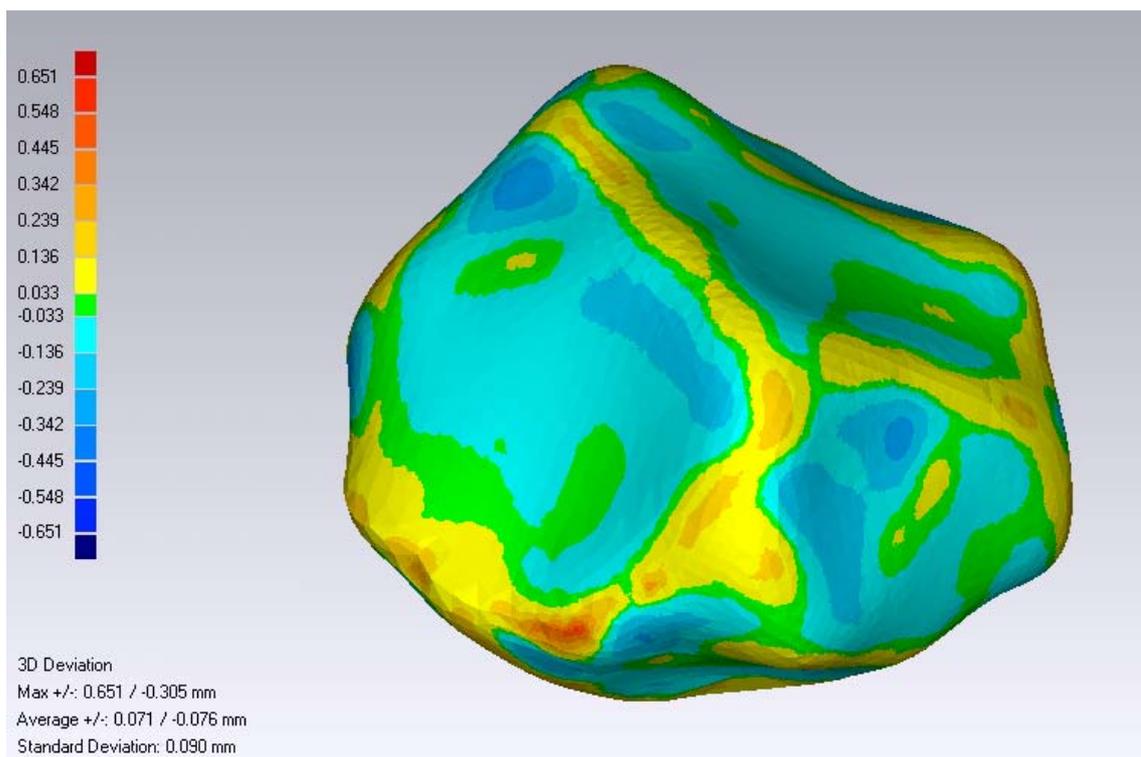


Figura 42: Ensaio de comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a 0,20 mm (ensaio 1).

Na comparação da malha de 0,78 mm com a de 0,20 mm pode ser vista uma variação maior entre as malhas. A diferença fica acentuada nas extremidades da gema, onde é observado o aumento das zonas mais escuras, consequentemente com um maior desvio. O desvio máximo 0,987 mm, como apresentado na figura 43.

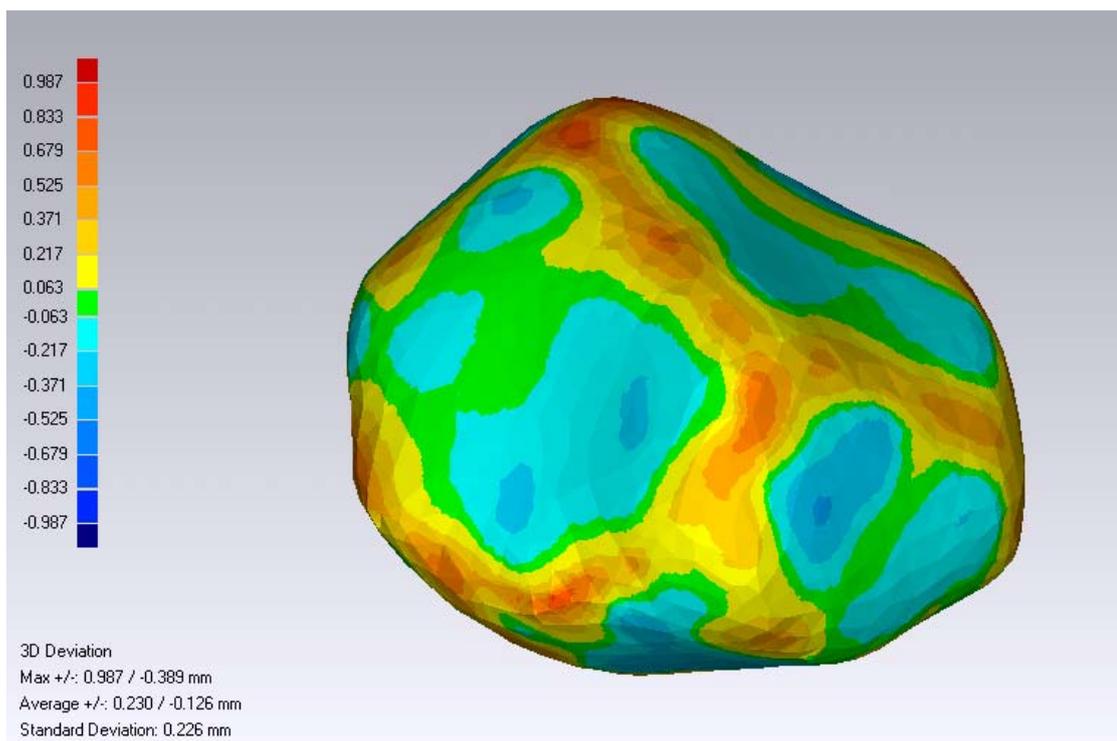


Figura 43: Comparação tridimensional entre a malha de 0,78mm com a de 0,20 mm (ensaio 1).

Nas malhas do ensaio 2 apresentadas na figura 44 a comparação obteve resultados semelhantes, com máxima de 0,309 mm na comparação da malha de 0,39 mm, como pode ser visualizado na figura 45, e desvio de 0,789 mm na comparação da malha de 0,78 mm, como observado na figura 46.

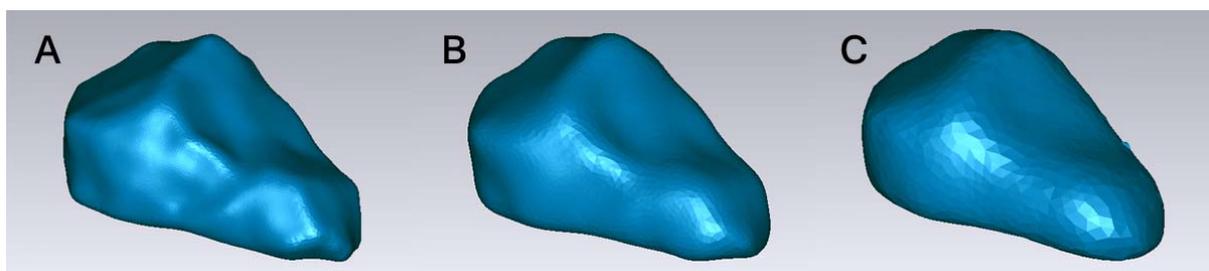


Figura 44: Visualização da malha de 0,20 mm (A), de 0,39 mm (B) e de 0,78 mm (C) - (ensaio 2).

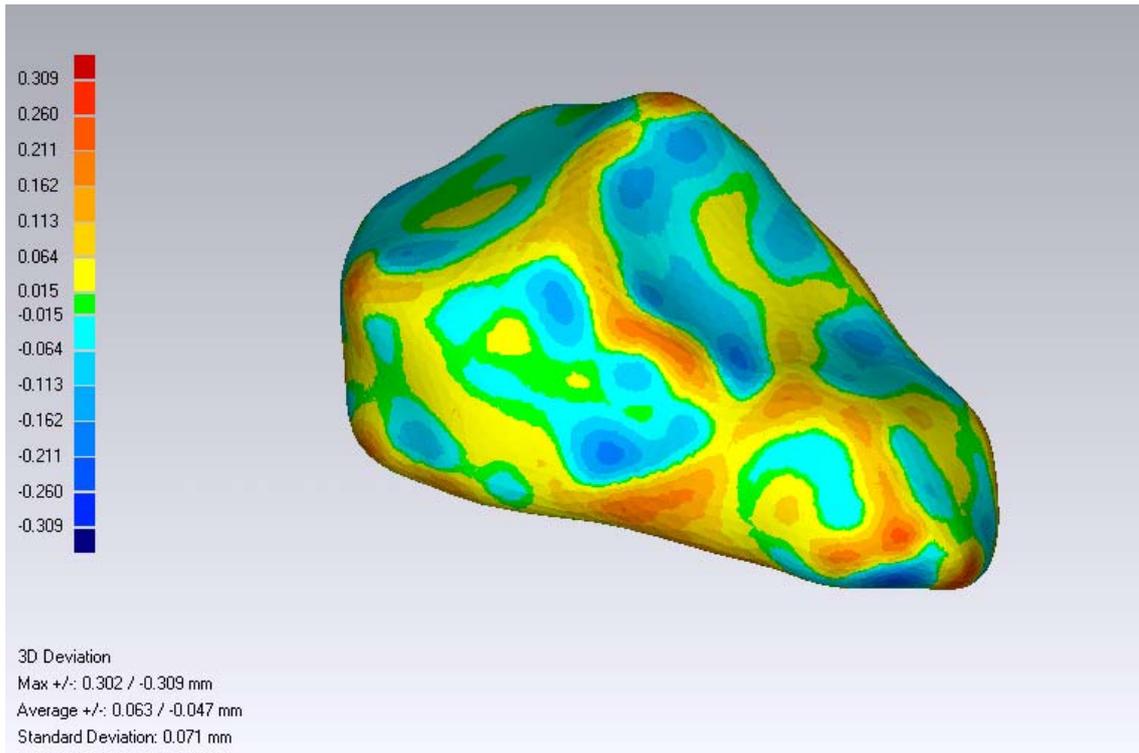


Figura 45: Comparação tridimensional entre malha de 0,39 mm com a de 0,20 mm (ensaio 2).

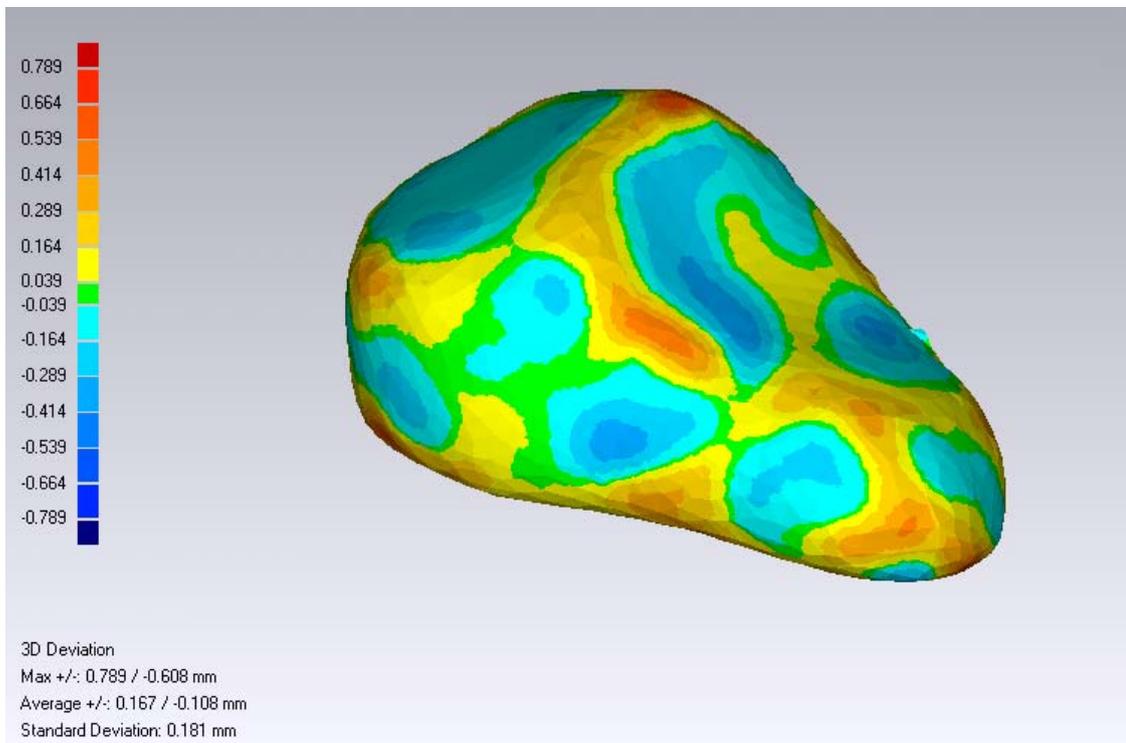


Figura 46: Comparação tridimensional da malha de 0,78 mm com a de 0,20 mm (ensaio 2).

A gema do ensaio 3, onde as malhas podem ser visualizadas na figura 47, apresentaram diferenças de 0,334 mm como mostrado na figura 48, e de 0,999 mm, como visualizado na figura 49.

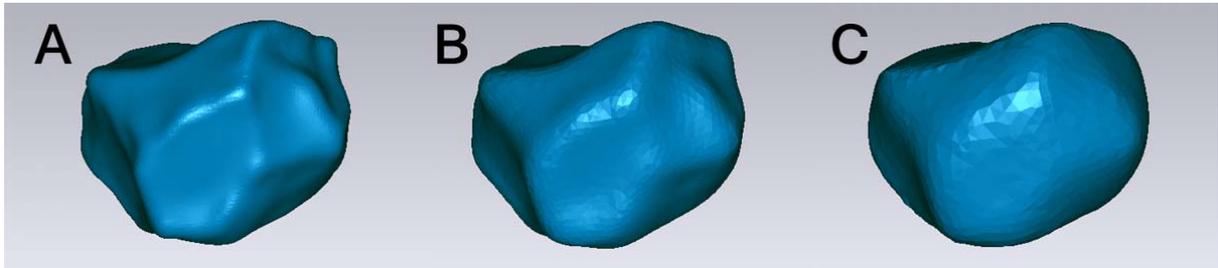


Figura 47: Ensaio 3, visualização da malha de 0,20 mm (A), da malha de 0,39 mm (B) e da malha de 0,78 mm (C).

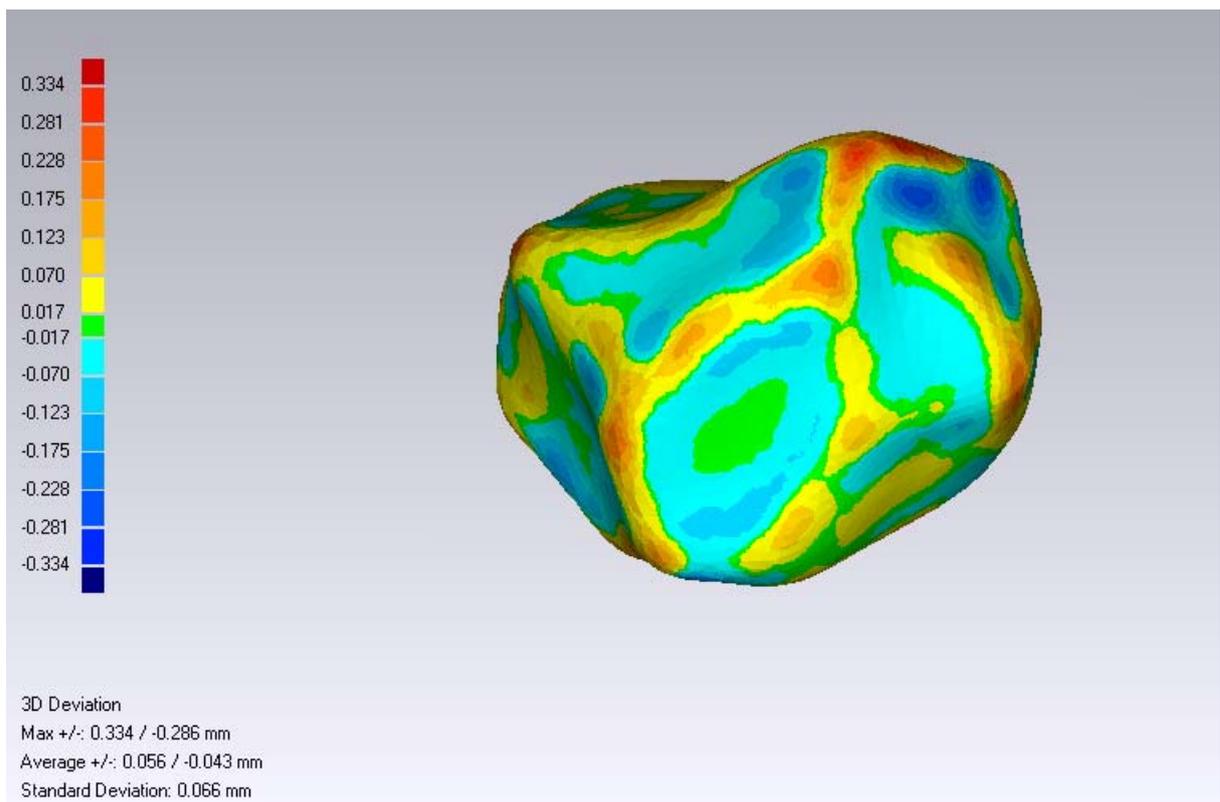


Figura 48: Comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a de 0,20 mm (ensaio 3).

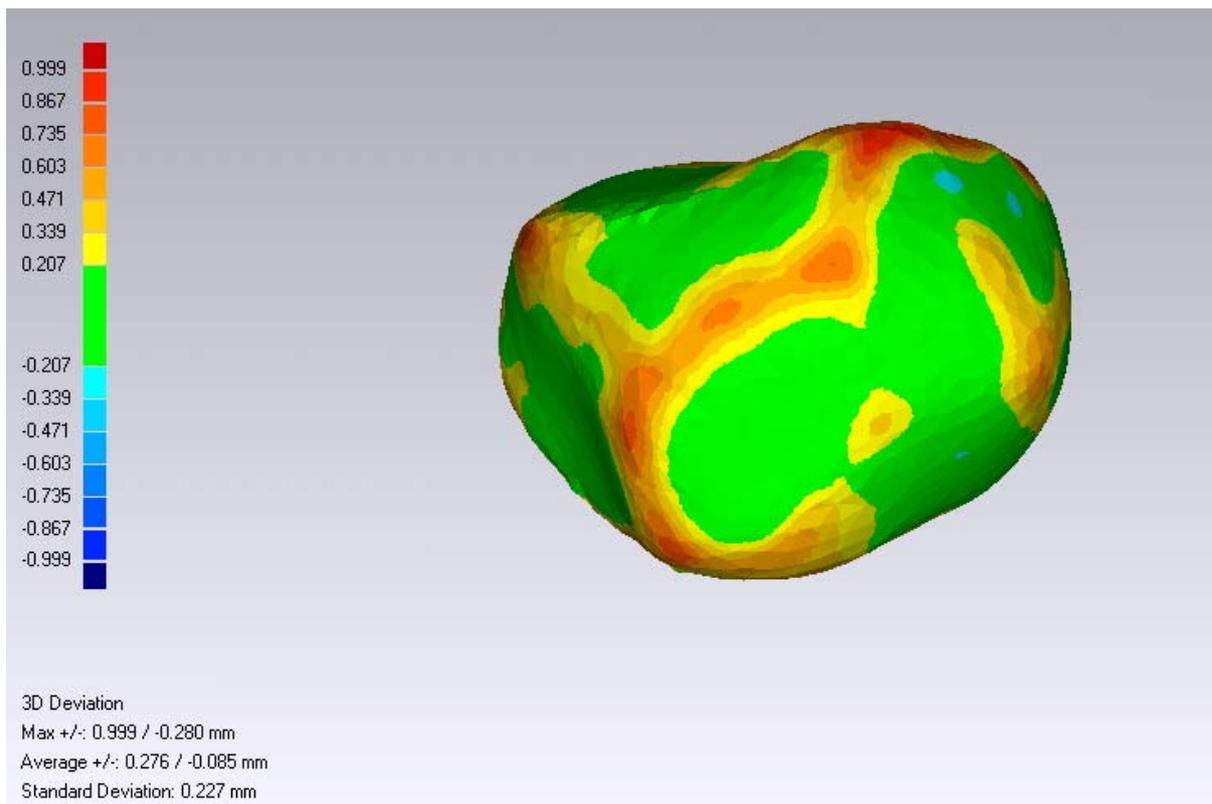


Figura 49: Comparação tridimensional da malha de 0,78 mm com a de 0,20 mm (ensaio 3).

Na figura 50 são apresentadas as malhas do ensaio 4, onde a comparação da malha de 0,39 mm apresentou uma diferença de 0,280 mm, conforme a figura 51 e na malha de 0,78 mm esta diferença ficou em 0,880 mm como mostrado na figura 52.

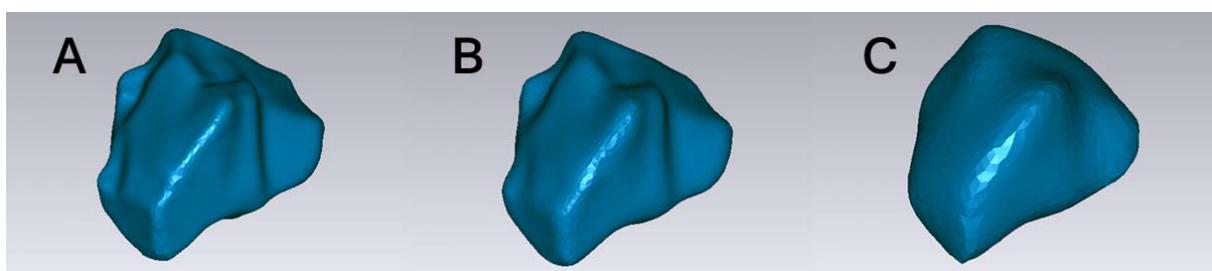


Figura 50: Ensaio 4, visualização da malha de 0,20 mm (A), malha de 0,39 mm (B) e malha de 0,78 mm (C).

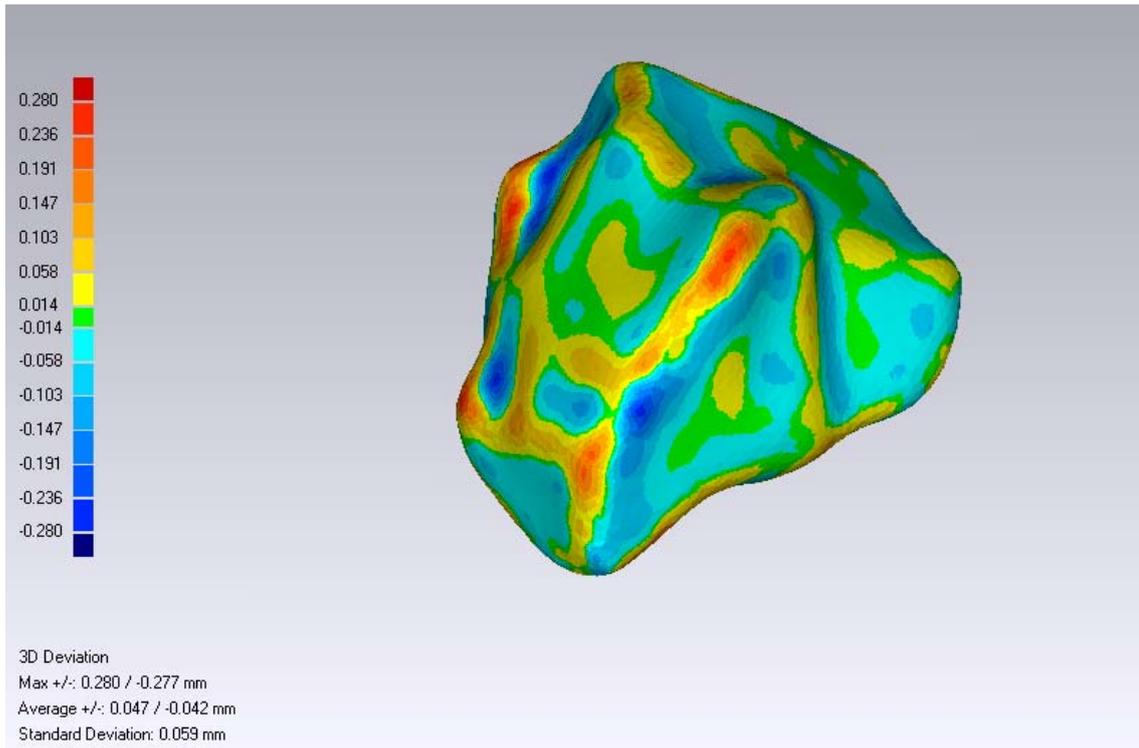


Figura 51: Comparação tridimensional da malha de 0,39 mm com a malha de 0,20 mm (Ensaio 4).

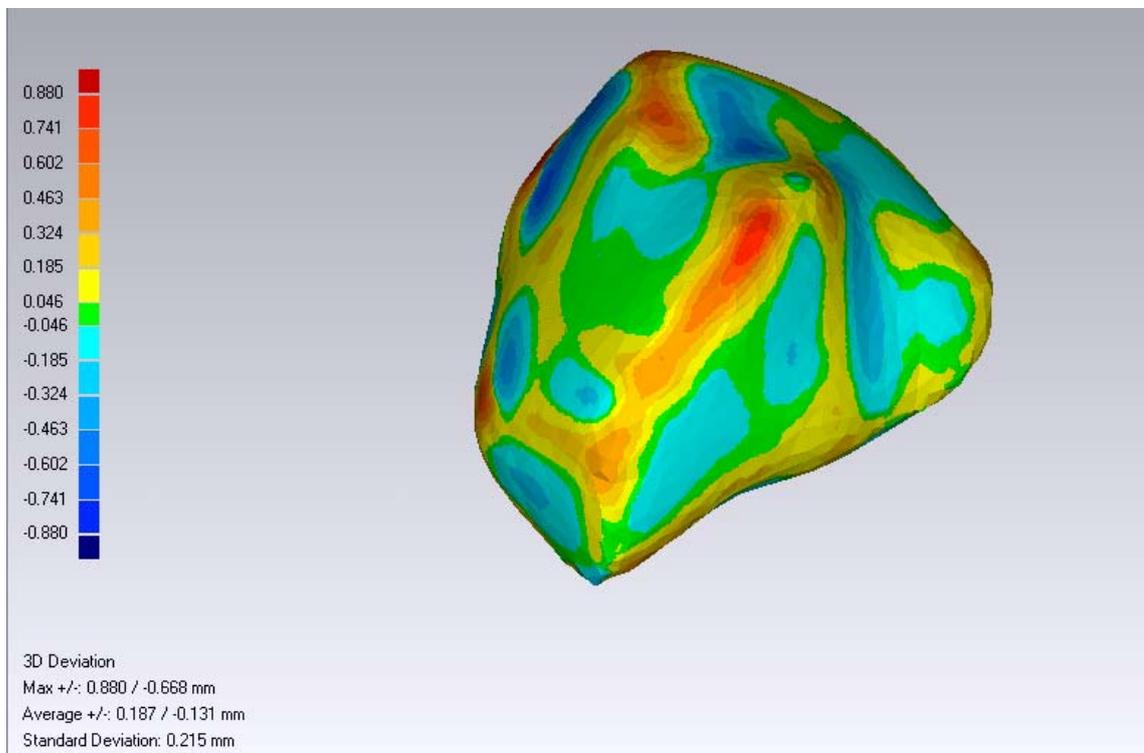


Figura 52: comparação da malha de 0,78 mm com a malha de 0,20 mm (ensaio 4).

Conforme os ensaios executados são observados uma variação na fidelidade da malha conforme diminuimos a resolução de digitalização, o que pode trazer alguns erros conforme o trabalho que se deseja realizar com o modelo tridimensional. Para trabalhos onde é necessária a precisão e que pequenos erros podem trazer grandes prejuízo deve-se sempre utilizar a alta resolução de 0,20 mm.

5.2 Tempo de digitalização

Durante os ensaios de digitalização também foram medidos os tempos realizados para a digitalização de cada nuvem, assim como o tempo do tratamento e montagem. Os tempos apresentados são uma média, uma vez que eles se tornam relativos, já que dependem da capacidade e habilidade de um operador. Para a digitalização em qualidade alta é preciso se gastar um pouco mais de tempo uma vez que é necessário o processamento de um maior número de pontos. Na tabela 2 pode-se visualizar o tempo gasto na aquisição dos dados e no tratamento e montagem da nuvem de pontos. Tipicamente para digitalizar gemas marteladas leva-se cerca de 5 minutos a 30 minutos no tratamento e montagem das nuvens de pontos em uma malha de 0,20 mm, para malhas de 0,39 mm o tempo de digitalização é de 2 a 4 minutos e o tratamento de 20 a 25 minutos, já para as malhas de 0,78 mm o tempo de aquisição dos dados é de 2 a 3 minutos e o de tratamento da malha fica entre 10 e 15 minutos.

Tabela 2: Tempo de digitalização e tratamento da malha.

	Aquisição dos dados	Tratamento e montagem
Malha de 0,20 mm	3 a 5min	20 a 30min
Malha de 0,39 mm	2 a 4min	20 a 25min
Malha de 0,78mm	2 a 3min	10 a 15min

É importante salientar também que o tempo do tratamento e montagem pode variar de acordo com a capacidade de processamento do equipamento que está sendo utilizado. Outro problema encontrado é na montagem das malhas de

0,78 mm, como as gemas para a lapidação são na sua maioria de dimensões reduzidas, com algo em torno de 10 a 15 mm, o espaçamento entre pontos se tornam amplos ficando poucos pontos na malha, o que dificulta a visualização da nuvem de pontos e diminui a percepção de seus pontos em comum como pode ser visto na figura 53.

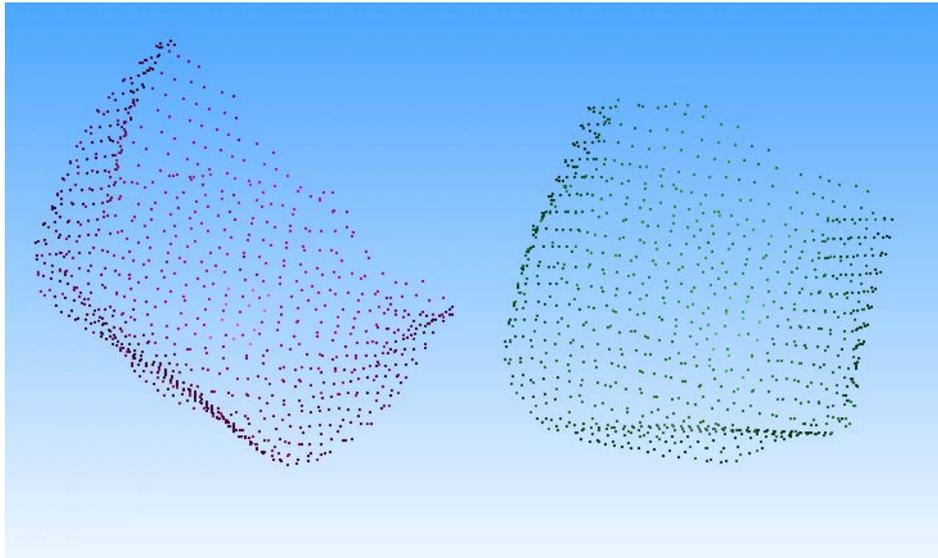


Figura 53: Exemplo de duas nuvens de pontos de baixa resolução onde se pode observar a dificuldade em visualizar pontos comuns.

5.3 Redução da malha

Mesmo tendo a possibilidade da obtenção de uma malha com o número de pontos reduzidos a partir da digitalização, optou-se em realizarem-se testes graduais de redução de pontos, a partir da malha de melhor qualidade obtida pelo digitalizador. A redução de malha se torna necessária para uma maior agilidade de processamento do *software* Otimizador 3D Gemas.

Essas reduções foram realizadas em *software* específico de tratamento. Foram registrados dados iniciais da gema digitalizada como: número de pontos, volume e centróide volumétrico, onde em cada redução foram registradas as

variações desses parâmetros, que geraram gráficos¹⁴ para obter-se um panorama do procedimento.

Realizou-se cerca de 50 reduções por gema, utilizando-se 80% a 1% da malha de pontos. Utilizando 80% da malha de pontos a variação volumétrica é muito próxima de zero e utilizando 1% da malha, essa variação ultrapassa 5%. O ideal é que se reduza gradativamente o número de pontos, sendo que uma faixa entre 15 e 5% da malha seja utilizada para as análises posteriores. Os pontos acima de 15% e abaixo de 5% foram descartados pois o método do ajuste de curva resultou em um erro elevado, descaracterizando o diagrama de dispersão. Foi possível assim observar através do método de ajuste de curvas que haviam semelhanças entre os modelos gerados e esses poderiam ser generalizados para todas as gemas, pois as equações geradas e os gráficos mostraram-se bastante semelhantes.

Dessa forma recomenda-se utilizar a faixa entre 15 e 5% da malha de pontos, sendo considerado que 10% são o ideal para que não haja uma variação volumétrica muito grande. Essa estimativa foi baseada no método de ajuste de curva de pontos da gema, sendo considerada a aproximação logarítmica a mais adequada para este conjunto de pontos (BECKELL et al.)

A redução da malha através de *software* é mais precisa, pois mesmo diminuindo o número de pontos ela sempre busca manter as saliências presentes na malha original. Sendo digitalizadas em uma resolução mais baixa tais saliências podem ser desconsideradas pelo digitalizador. Na figura 54 pode ser vista a gema de citrino (A), o modelo tridimensional da gema digitalizada em alta resolução de 0,20 mm (B) e o mesmo modelo após ser feita a redução por *software* específico (C).

¹⁴ Exemplo do gráfico no apêndice do trabalho.

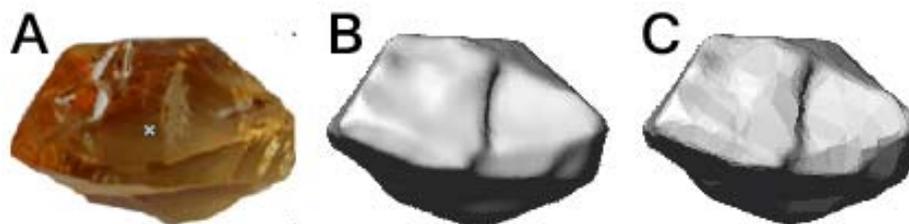


Figura 54: Redução de malha, à direita gema de citrino martelada (A), em seguida modelo tridimensional da gema digitalizado em 0,20 mm (B), e mesmo modelo com a malha reduzida (C).

5.4 Controle Estatístico

Para verificar se através dos modelos obtidos pela digitalização tridimensional é possível se obter um melhor aproveitamento na lapidação de gemas, foi realizado um controle estatístico, para comparar o aproveitamento atual dos lapidários da região com o aproveitamento calculado pelo *software* Otimizador 3D Gemas através dos modelos digitalizados.

Os dados iniciais de aproveitamento da lapidação facetada no município de Soledade foi uma estimativa fornecida pelos empresários da região, uma vez que não encontrou-se registros produtivos nem controle estatístico do processo. Esses valores variam de 25% a 30%. Os dados de aproveitamento são obtidos através do peso da gema martelada *versus* o peso final da gema lapidada.

Para comprovar esses dados, acompanhou-se o processo de lapidação por alunos de um centro de treinamento da região, onde foram observadas mais de 200 amostras de lapidação, para verificação dos níveis reais de aproveitamento. Cabe salientar que essas primeiras análises foram realizadas apenas para lapidações facetadas do modelo redondo e oval.

Pode-se observar na figura 55 que a amplitude do nível de aproveitamento é bastante elevada. O aproveitamento médio observado foi de 21,24%, sendo que os maiores níveis de aproveitamento resultaram da lapidação em modelo Oval. É importante informar que tais lapidações foram realizadas priorizando o aumento de peso em relação ao brilho da gema, ou seja, as lapidações não foram executadas com as proporções ideais. Desta análise, ainda podem-se destacar outros indicadores, que são:

- Tamanho da amostra: 237
- Média: 21,24%
- Moda: 23,78%
- Desvio Padrão: 9,30%
- Confiabilidade: 90%
- Erro amostral: $\pm 1\%$

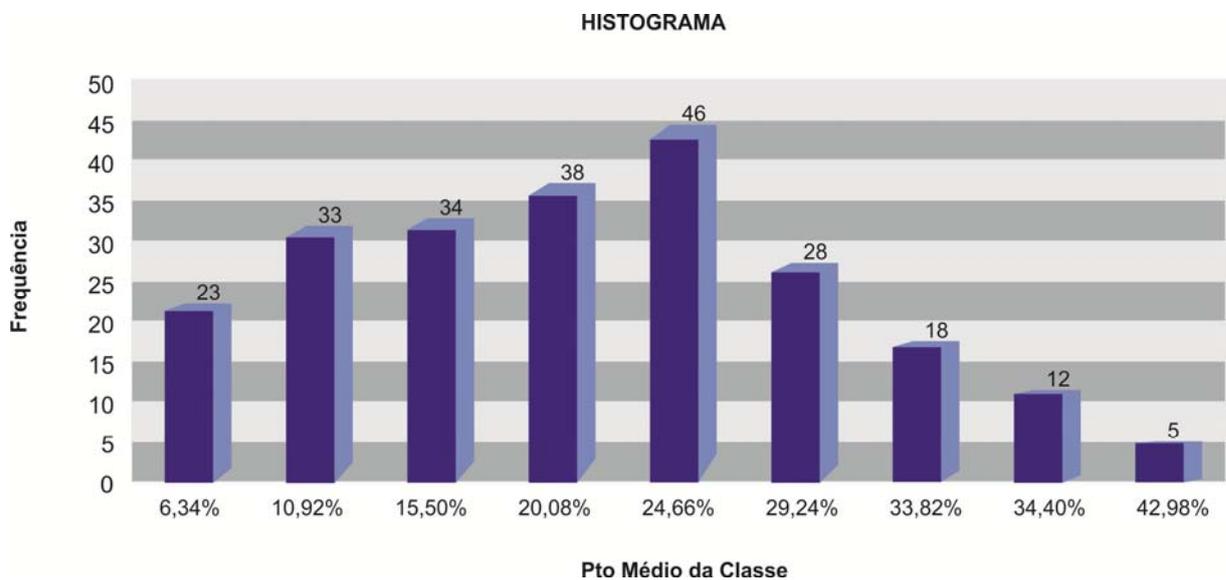


Figura 55: Histograma de modelos redondo e oval.

Em seguida analisou-se uma amostra de 78 gemas distintas, utilizando a tecnologia 3D Gemas, obtendo-se para cada caso, a indicação do melhor projeto de lapidação que resulte no maior valor comercial para a gema.

Os resultados do Otimizador 3D Gemas indicam que o aproveitamento na lapidação das gemas pode ser aumentado consideravelmente. As simulações foram executadas tendo como base 3 modelos distintos:

- Redondo 8 divisões ideal – modelo que, através da disposição simétrica e inclinação correta das facetas, proporciona o máximo brilho da gema.

- Oval 8 divisões – modelo também otimizado e com excentricidade de ovalização fixa¹⁵.
- Redondo 8 divisões “abaulado” – réplica de modelo de lapidação, que visa o aumento no peso da gema, porém, perde em brilho.

As simulações realizadas pelo Otimizador 3D Gemas encontra para cada gema o projeto de lapidação que resulta o máximo de aproveitamento volumétrico no modelo com proporções ideais para a máxima obtenção de brilho. A figura 56 mostra a distribuição das frequências encontradas nestas simulações.

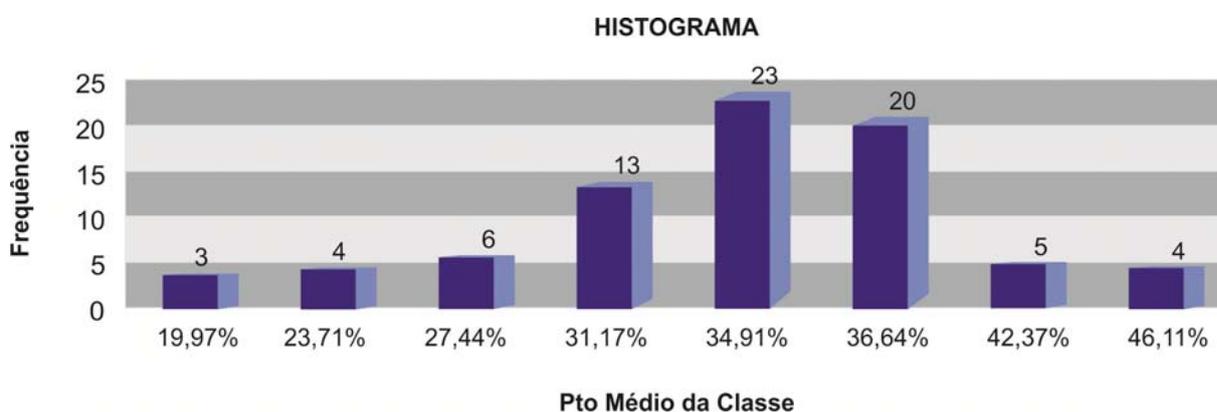


Figura 56: Histograma das simulações do Otimizador 3D Gemas para os modelos ideais redondo e oval.

Ao analisar o histograma, pode-se observar que a distribuição fica centralizada muito próxima a média, que neste caso resultou em 34,80%. Outros dados importantes são:

- Tamanho da amostra: 78 gemas
- Média: 34,80%
- Moda: 35,91%
- Desvio Padrão: 4,45%

¹⁵ A excentricidade é a relação entre o semi eixo maior e o semi eixo menor de uma elipse, sendo que este valor determina a “ovalização” da mesma.

- Coeficiente de Variação: 12,88%
- Confiabilidade: 95%
- Erro amostral: $\pm 1\%$

O coeficiente de variação abaixo de 15% indica que a amostra possui baixo grau de dispersão, o que pode ressaltar a robustez dos procedimentos de cálculo utilizados pelo Otimizador 3D-Gemas.

A viabilidade do processo de cálculo por *software* de modelos digitalizados tridimensionalmente pode ser comprovada através de análise econômica - financeira como mostrada resumidamente na tabela 3. Onde pode ser observado um aumento no faturamento bruto, comparado com o cenário atual, podendo chegar a aproximadamente 300%, indicando um aumento no valor agregado no produto de cerca de 3 (três) vezes. Mesmo comparando com a estimativa de aproveitamento dos empresários, obtém-se um faturamento líquido 137% maior, indicando que a utilização da Tecnologia 3D Gemas pode auxiliar as empresas do setor de Gemas e Joias na questão de redução de perdas e agregação de valor.

Tabela 3: Análise econômica - financeira

	Cenário 1: Levantamento estatístico	Cenário 2: Estimativa dos empresários	Cenário 3: Otimizador 3D Gemas para modelos ideais	Cenário 4: Otimizador 3D Gemas para modelos idéias – maior valor por quilate
Aproveitamento (%)	21,24%	27,50%	34,88%	34,88%
Valor comercial das gemas marteladas (US\$/Kg)	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Peso das gemas lapidadas (ct)	1,062	1,375	1,744	1,744
Valor comercial das gemas lapidadas (US\$/ct)	5,00	5,00	5,00	7,00
Faturamento bruto do processo (US\$)	5.310,00	6.875,00	8.720,00	12.208,00

Faturamento líquido sem impostos (US\$)	2.310,00	3.875,00	5.720,00	9.208,00
Ganho percentual sobre o aproveitamento estatístico	-	-	147,62%	298,61%
Ganho percentual sobre estimativa dos empresários	-	-	47,61%	137,63%

CONCLUSÕES

O Design e lapidação de gemas no Brasil ainda são tratados de forma artesanal, pois existe pouca pesquisa e desenvolvimento tecnológico nessa área mesmo com todas as potencialidades de recursos minerais existentes em nosso território. Este trabalho visou contribuir com o estudo e apresentar uma das tecnologias que podem ser exploradas para obtenção de Design e lapidação de gemas de maior qualidade e com menos desperdício.

Neste trabalho buscou-se uma metodologia para a digitalização tridimensional de gemas, realizando estudos com essa tecnologia que já vem sendo difundida em diversas áreas. Através dessa tecnologia foi possível criar modelos virtuais de gemas marteladas com boa fidelidade aos exemplares reais, podendo assim, serem analisadas e estudadas de forma virtual para criação de diagramas que resultem no projeto ideal de lapidação para cada gema, gerando o melhor aproveitamento em termos de volume e brilho.

É importante salientar que, no Brasil, esses são estudos iniciais sobre a digitalização a laser de gemas, e que tal tecnologia só consegue perceber a geometria da superfície da gema, por isso o aproveitamento para melhor projeto de lapidação e tratado somente em termos volumétricos, a obtenção de máximo brilho vem pelo fato dos modelos armazenados em *software* apresentarem as proporções e os ângulos de refração adequados para as gemas. Sabe-se da importância das outras características presentes nas gemas que podem afetar a qualidade de sua lapidação. Neste sentido, essa ferramenta de digitalização deve ser sempre acompanhada da decisão humana de um especialista que poderá utilizar o modelo virtual como indicativo de melhor aproveitamento, portanto essa ferramenta deve ser utilizada como de auxílio à decisão do lapidário.

Tratando-se de gemas de quartzo onde essas demais características não possuem tanta influência para a lapidação, essa técnica mostrou-se ainda mais eficiente num aproveitamento volumétrico das gemas.

A partir das análises realizadas pode-se ressaltar a importância da aquisição dos dados das nuvens de pontos das gemas sempre com a maior qualidade possível, tanto para a obtenção final de uma malha mais fiel como para uma maior facilidade para montagem das nuvens e uma construção de malha com uma melhor precisão pelo *software*.

6.1 Sugestões de trabalhos futuros

Para continuação do estudo nessa área é sugerido como trabalhos futuros:

a) O aprofundamento do estudo de técnicas de digitalização que possibilitem considerar as demais propriedades das gemas.

b) O estudo para desenvolvimento de cálculo de mais de um projeto de lapidação em uma gema.

c) A criação de banco de dados com lotes de gemas digitalizadas, onde possam ser encontradas com rapidez gemas com características semelhantes para serem lapidadas nos mesmos moldes, para brincos e jóias que necessitam de pares de gemas calibradas e lapidadas identicamente, por exemplo.

d) A digitalização de gemas lapidadas a fim de gerar um banco de dados virtual para a criação de jóias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEP SENAI SOLEDADE-RS, Sistema FIERGS. **Apostila Lapidação de Gemas ProcessoManual**, [s.n.t.]

ASPAHAN, S. **Manual de Lapidação, Como Lapidar em Máquinas Lapidart**. Minas Gerais: Lapidart Ltda, 2006.

BARP, D. R. A. **Design e Materiais: Estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Design, Ufrgs, 2009.

BECKEL, C. C.; IPAR, C. E. A. L.; SILVA, V. B.; BRUSSO, M. J.; SOUZA, E. P. **Verificação da influencia do número de pontos em uma malha triangular resultante do processo de digitalização tridimensional de uma gema**. XIX Mostra de Iniciação Científica UPF, Passo Fundo, 2009.

BERTOL, L. S. **Contribuição ao estudo da Prototipagem Rápida, Digitalização Tridimensional e Seleção de Materiais no Design de implantes personalizados**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais, UFRGS, 2008.

BOMFIM, G. **Metologia para desenvolvimento de projetos**. João Pessoa: Ed. Universitária, 1995, 64 p.

BRANCO, P. GIL, C. **Mapa gemológico do Rio Grande do Sul**. Informe de recursos minerais, 2 edição. CPRM: Porto Alegre, 2002

BRANCO, P. **A riqueza brasileira em gemas**. I Seminário sobre design e gemologia de pedras, gemas e Joias do Rio Grande do Sul, 2009

BROD, A. **Propriedades Físicas dos Minerais**. Universidade de Brasília, Fundamentos em Mineralogia, 2009.

BURDEK, B. **História, teoria e prática do Design de Produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, 496 p.

COSTA, M. **Beneficiamento de Pedras Preciosas no Vale do Taquari Diagnóstico e Modelo para Análise e Redução de Perdas nos Processos**

- Produtivos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- COSTENARO, A. **Industria de pedras preciosas: um estudo dos fatores competitivos em empresas de Soledade.** Dissertação de mestrado. Santa Maria: Programa de Pós-graduação em Administração. UFSM, 2005.
- DENIS, R. C. **Uma introdução a historia do design.** São Paulo, Edgard Blücher, 2000.
- DUARTE, L. C.; KINDLEIN, W. Jr.; TESMANN, C. S.; SANTOS, P. G. **Potencialidades do Design aplicado a novas utilizações de materiais gemológicos no Rio Grande do Sul.** I Seminário sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Soledade, 2009.
- FAVACHO, M. **Quartzo.** In: CASTAÑEDA, C. et al. (org.) *Gemas de Minas Gerais.* Belo Horizonte, Soc. Brasil. Geologia. p. 220-233. 2001.
- FERREIRA, J. **Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technologie.** Journal of Materials Processing Technology. 2003
- FREITAS, G. **Digitalização 3D em ambientes computacionais de suporte à Engenharia Simultânea aplicada ao setor de calçados.** Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais, UFRGS, 2006.
- GINANI, L. S. **Desenvolvimento de um sistema de digitalização tridimensional de superfícies baseado em visão computacional com varredura a laser para uso em metrologia dimensional.** Dissertação de mestrado. Brasília: Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2008.
- GOMES, L. V. N.; Steiner, Ana A. **Debuxo.** Santa Maria: Ed. UFSM, 1997.
- GOMES, L. V. N.; **Desenhismo.** Santa Maria: Ed. UFSM, 1996.
- HARTMANN, L. A. **Geodos de ametistas formados por água quente no tempo dos dinossauros.** Porto Alegre: [s.n.], 2008.

JUCHEM, P.L.; BRRUM, T. M. M.; FISCHER A. C.; LICCARDO A.; CHODUR, N. L. **Potencial Gemológico da Região Sul do Brasil**. I Seminário Sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Jóias do RS. Soledade, 2009.

KRAUS, P. D. **Introduction to Lapidary**. EUA, Ed. Krause, 1987.

LEANDER, K. **A cabeça de Steve Jobs**. [tradução Maria Helena Lyra]. Rio de Janeiro: Agir, 2008.

LICCARDO, A. **Gemas da Região Sul**. Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia. UFPR, 2009.

LÖBACH, B. **Diseño Industrial: bases para la configuración de los productos industriales**. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

NADUR, A. V. **A lapidação de gemas no panorama brasileiro**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

MARTINS, L. F.; MOL, A. A.; ROCHA, R. **Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Auxílio ao Projeto de Gemas Lapidadas**. REM: Revista Escola de Minas vol.58 no.4. Ouro Preto Oct./Dec. 2005.

MARTINS, M. S. **Melhorias dos Processos nas indústrias de pedras preciosas de Soledade**. Relatório de Estágio. UFSM, Santa Maria 2010.

MOL, A. A. **Estudo de Ferramenta Computacional para Análise de Parâmetros em Gemas Lapidadas: Quartzo hialino**. Dissertação de mestrado, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Minas Gerais 2004.

MUNARI, B. **Das Coisas Nascem Coisas**. São Paulo. Ed. Martins Fontes, 2008.

POSTAL, A.; ZANATTA, A. L. **Geração dos diagramas de execução de modelos de lapidação de gemas**. Passo Fundo, 2009.

SCHUMANN, W. **Gemas do mundo**. 9. Ed. Ampl. E atual.- São Paulo: Disal, 2006.

SEVERO, G. B. Projeto 3D-Gemas: **Desenvolvimento do Protótipo de Interface Gráfica de Usuário para Software CAD-GEMAS**. Trabalho de Conclusão de Curso. UPF, Passo Fundo 2008.

SILVA, F. P. **O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de**

produtos. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais, UFRGS, 2006.

SILVA, F. P.; DUARTE, L. C.; ROLDO, L.; KINDLEIN, W. Jr. **A digitalização tridimensional móvel e sua aplicação no Design de Produto.** Revista Design e Tecnologia, Pgdesign. UFRGS, 2010.

SILVA, R. A. **Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas.** Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, 2006.

SILVEIRA, L. A. G. **Pleocroísmo.** Artigo para o sitio www.joiabr.com.br

SUDJIC, D. **A linguagem das coisas;** tradução Adalgisa Campos da Silva. – Rio de Janeiro: Intrínseca, 2010

SVISERO, D. P. & FRANCO, R. R. 1991. **A província gemológica brasileira.** In: Schobbenhaus, C; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E. S. (eds). Principais depósitos minerais do Brasil 4 – Gemas e Rochas Ornamentais (parte A). Brasília, DNPM. p. 9-16.

TESSMANN, C. S. **Importância do Binômio Design e Engenharia no beneficiamento de rejeito mineral de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC.** Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Design, Ufrgs, 2009.

Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Manual Técnico de Gemas.** 3 ed. Brasília, 2005.

Manual de Lapidação Diferenciada de Gemas / Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos, organização de Adriano Mol. Brasília, Ed. Athalaia, 2009.

Pensando design / organizado por Eliane Magalães [et al.]. – Porto Alegre: UniRitter Ed., 2004.

Tecnologias para o setor de gemas jóias e mineração / Organizado por Léo Afraneo Hartmann; Juliano Tonezer da Silva. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010.

Valoração de gemas coradas através da utilização da Tecnologia 3D Gemas / CT – Pedras. Soledade, 2009.

Sítios da Internet

www.ctcv.pt – Acessado em 04/05/2010

www.cni.org.br - Acessado em 15/08/2010

www.creaform3d.com – Acessado em 12/11/2009

www.cprm.gov.br – Acessado em 15/08/2010

www.fee.tche.br – Acessado em 13/10/2010

www.gemselect.com - Acessado em 16/12/2010

www.gia.edu – Acessado em 08/10/2010

www.heartgem.com – Acessado em 05/12/2010

www.ibgm.com.br – Acessado em 20/11/2009

www.inpi.gov.br – Acessado em 04/05/2010

www.jewelryexpert.com/articles/fantasy.htm - Acessado em 16/12/2010

www.joiabr.com.br – Acessado em 15/09/2009

www.munsteiner-cut.de – Acessado em 05/12/2010

www.octonus.com – Acessado em 12/11/2009

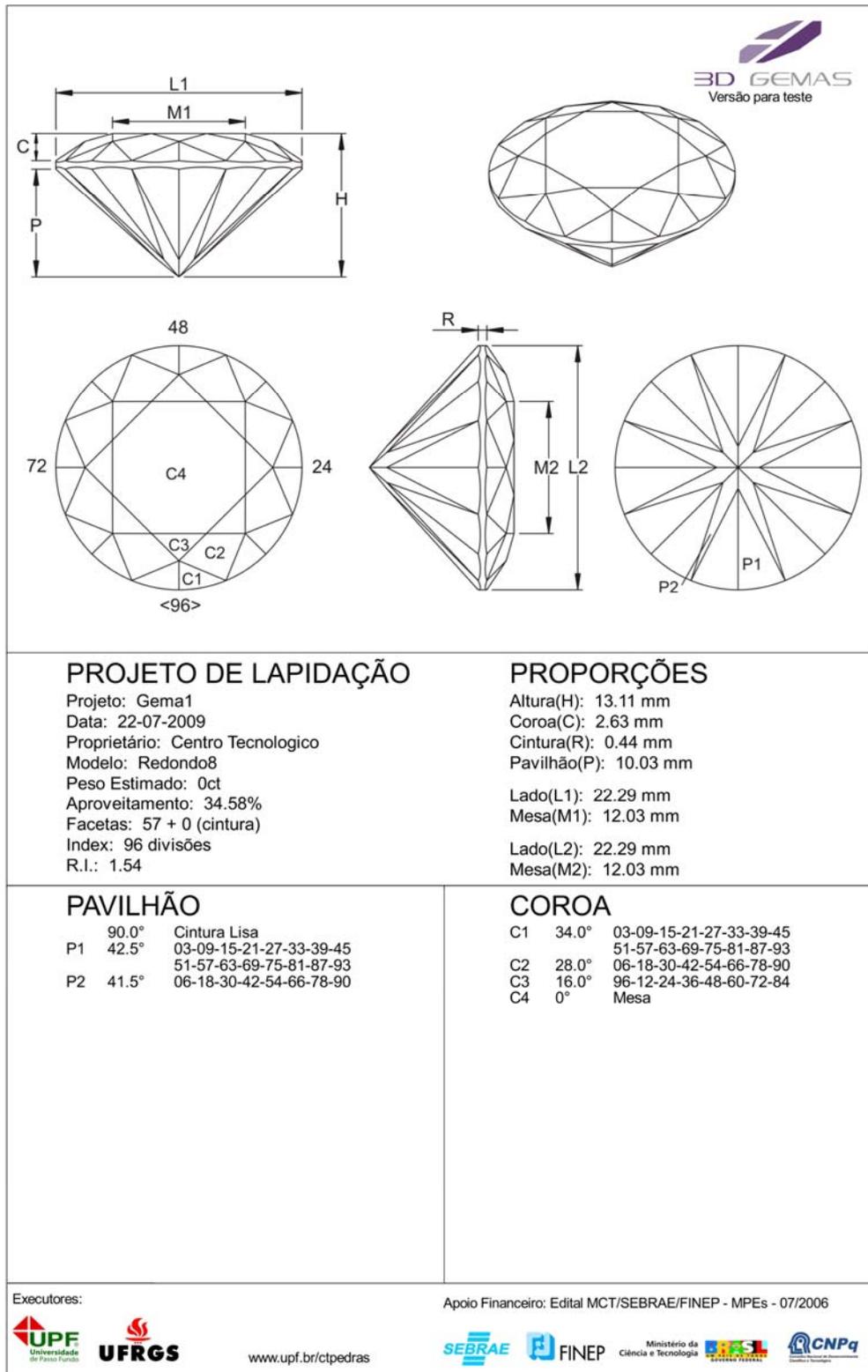
www.theimage.com/faceting – Acessado em 10/07/2008

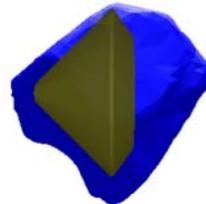
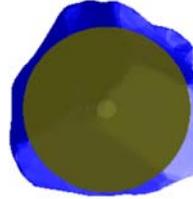
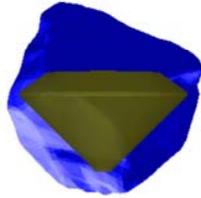
www.tommunsteiner.com – Acessado em 05/12/2010

www.upf.br/3dgemas - Acessado em 25/11/2009

APÊNDICES

Diagrama de lapidação





PRÉ-FORMA

Projeto: Gema1
Data: 22-07-2009
Proprietário: Centro Tecnológico
Modelo: Redondo8
Identificação: ametista
Peso Gema Bruta: g
Ângulo Coroa: 36.0°
Ângulo Pavilhão: 45.0°

PROPORÇÕES PRÉ-FORMA

Altura(H): 12.66 mm
Coroa(C): 2.63 mm
Pavilhão(P): 10.03
Cintura(R): 0.44 mm
Lado(L1): 22.29 mm
Lado(L2): 22.29 mm

Executores:



www.upf.br/ctpedras

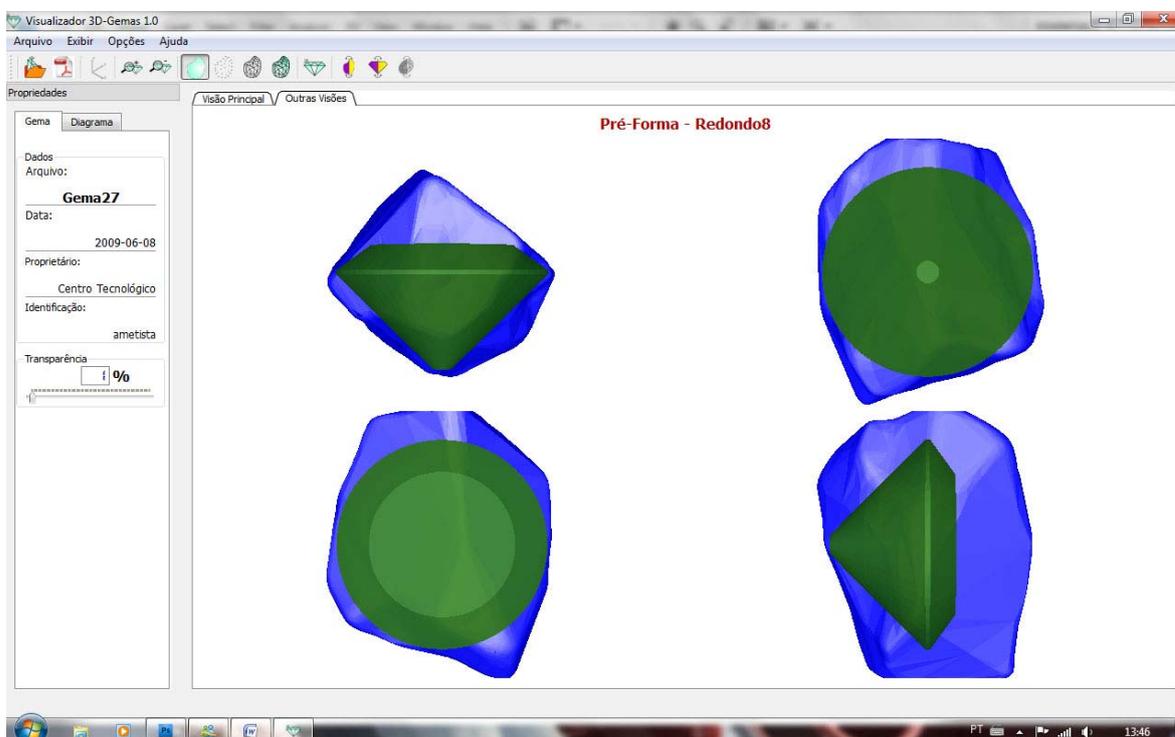
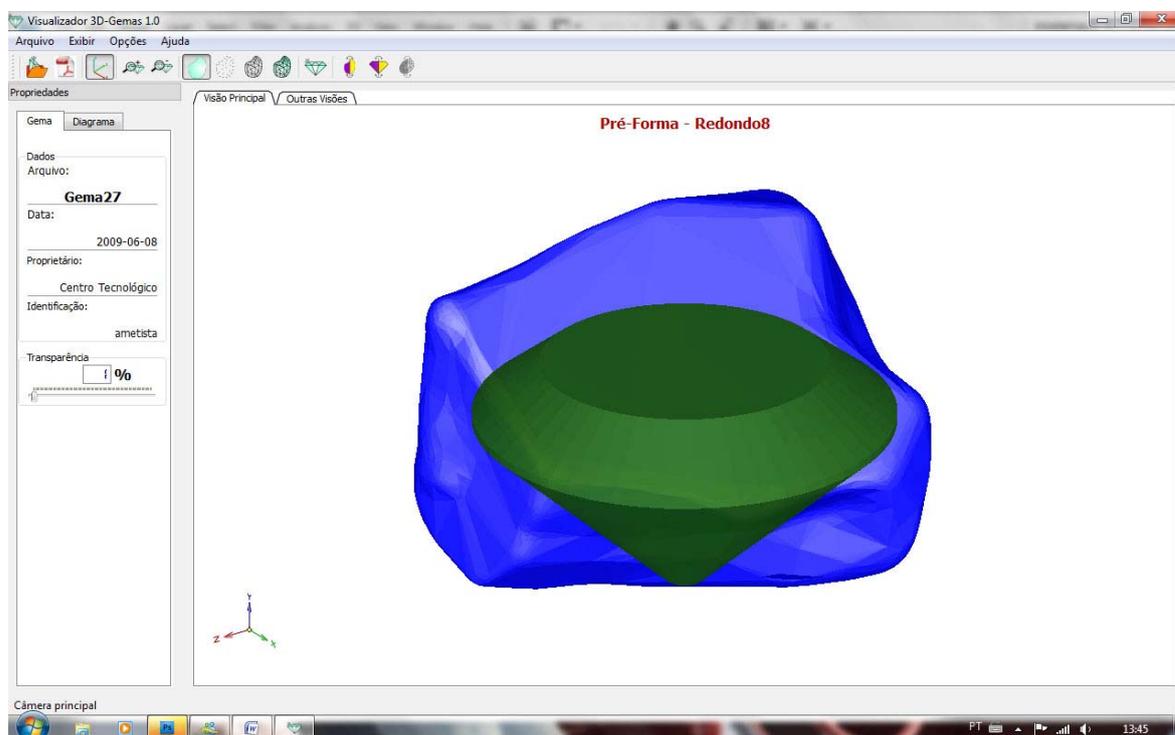
Apoio Financeiro: Edital MCT/SEBRAE/FINEP - MPes - 07/2006



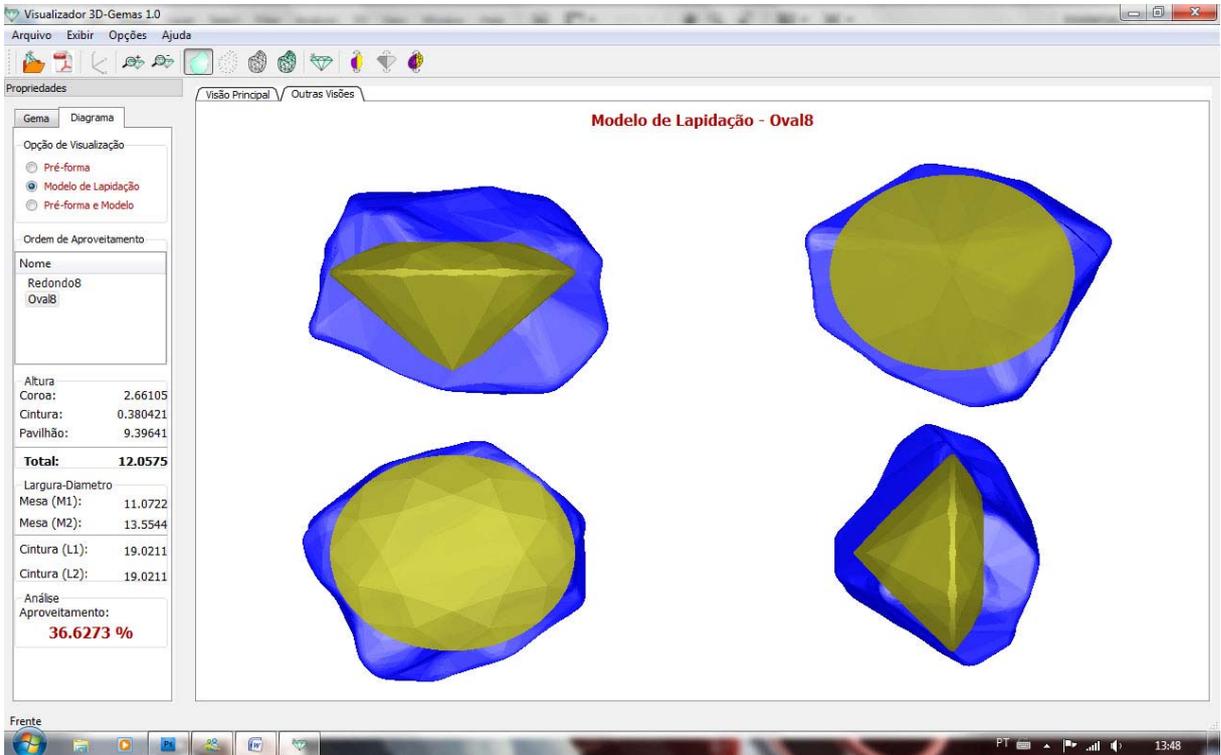
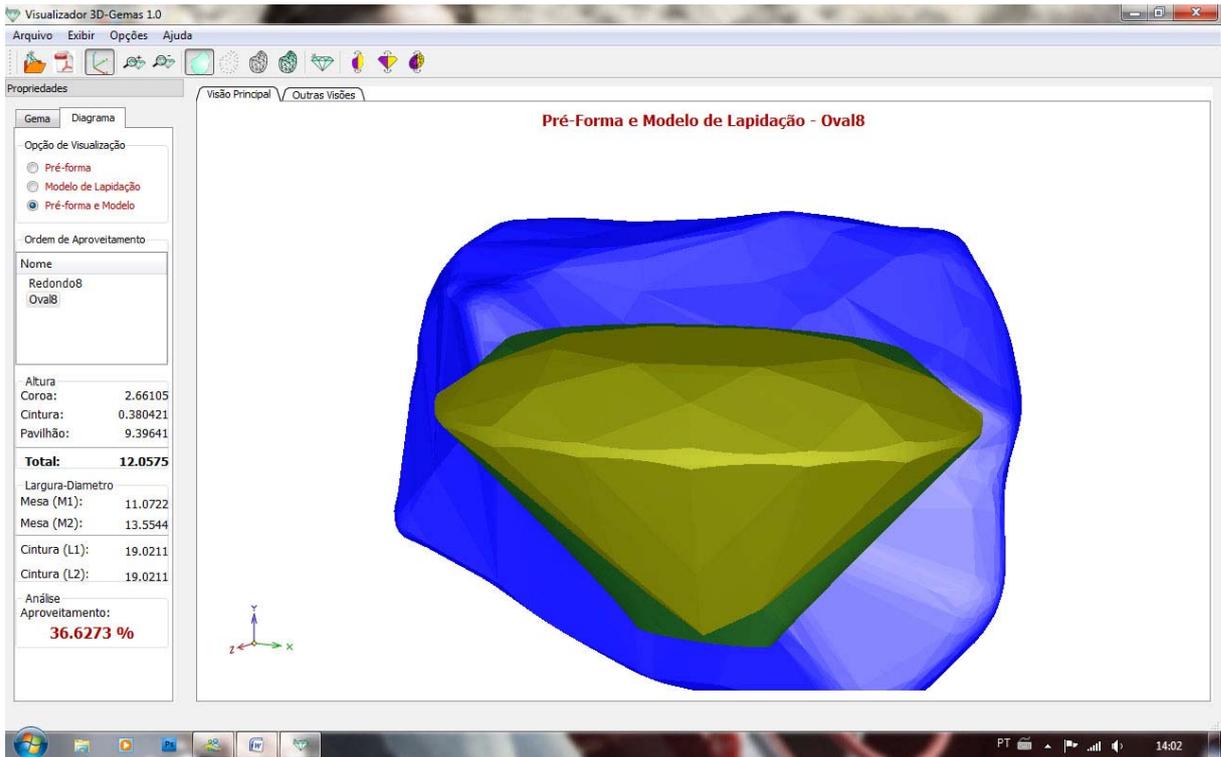
Ministério da
Ciência e Tecnologia



Software Visualizador 3D Gemas



Imagens da Pré-forma inserida na gema.



Imagens do modelo de lapidação inserido na gema.

Planilha da redução de pontos - Gema 1

Número de pontos inicial = 16200

Número de triângulos inicial = 32396

Volume inicial = 5985,18(mm³)

Centróide inicial = (-21,602197 , -3,891369 , 249,99045)

Nº pontos	Gema			Nº triangulos	Volume (mm³)	Gema 1		Centróide			Variação			
	Variação		Relativa			Variação		X	Y	Z	X	Y	Z	
	Absoluta	Relativa				Absoluta	Relativa							
16200	-	-	100,000%	32396	5985,18	-	-	-21,602197	-3,891369	249,99045	-	-	-	
16000	200	0,01234568	98,765%	31996	5985,18	0	0,000000%	-21,602196	-3,891372	249,99046	-1E-06	3E-06	-5E-06	9E-06
15000	1200	0,07407407	92,593%	29996	5985,15	0,03	0,000501%	-21,602197	-3,891327	249,9905	0	-4,2E-05	-4E-05	9E-05
14000	2200	0,13580247	86,420%	27996	5985,1	0,08	0,001337%	-21,602191	-3,891281	249,99052	-6E-06	-8,8E-05	-7E-05	0,0002
13000	3200	0,19753086	80,247%	25996	5985,11	0,07	0,001170%	-21,602174	-3,8913	249,99054	-2E-05	-6,9E-05	-9E-05	0,0002
12000	4200	0,25925926	74,074%	23996	5985,07	0,11	0,001838%	-21,602166	-3,891261	249,9906	-3E-05	-0,00011	-1E-04	0,0003
11000	5200	0,32098765	67,901%	21996	5985,04	0,14	0,002339%	-21,602185	-3,891146	249,99053	-1E-05	-0,00022	-8E-05	0,0003
10000	6200	0,38271605	61,728%	19996	5984,89	0,29	0,004845%	-21,602063	-3,891014	249,99068	-0,0001	-0,00035	-2E-04	0,0007

9000	7200	0,44444444	55,556%	17996	5985,13	0,05	0,000835%	-21,602184	-3,891187	249,99081	-1E-05	-0,00018	-4E-04	0,0006
8000	8200	0,50617284	49,383%	15996	5984,07	1,11	0,018546%	-21,601811	-3,889465	249,99086	-0,0004	-0,0019	-4E-04	0,0027
7000	9200	0,56790123	43,210%	13996	5983,56	1,62	0,027067%	-21,600445	-3,889803	249,99175	-0,0018	-0,00157	-0,001	0,0046
6000	10200	0,62962963	37,037%	11996	5983,69	1,49	0,024895%	-21,60255	-3,888505	249,99189	0,00035	-0,00286	-0,001	0,0046
5000	11200	0,69135802	30,864%	9996	5982,25	2,93	0,048954%	-21,599848	-3,885516	249,9912	-0,0023	-0,00585	-8E-04	0,009
4000	12200	0,75308642	24,691%	7996	5979,23	5,95	0,099412%	-21,596798	-3,88306	249,9928	-0,0054	-0,00831	-0,002	0,0161
3500	12700	0,78395062	21,605%	6996	5978,13	7,05	0,117791%	-21,590694	-3,882379	249,99399	-0,0115	-0,00899	-0,004	0,024
3000	13200	0,81481481	18,519%	5996	5976,61	8,57	0,143187%	-21,585537	-3,882051	249,99643	-0,0167	-0,00932	-0,006	0,032
2500	13700	0,84567901	15,432%	4996	5972,09	13,09	0,218707%	-21,585109	-3,878385	249,99815	-0,0171	-0,01298	-0,008	0,0378
2000	14200	0,87654321	12,346%	3996	5964,62	20,56	0,343515%	-21,586361	-3,880006	250,00079	-0,0158	-0,01136	-0,01	0,0375
1750	14450	0,89197531	10,802%	3496	5964,15	21,03	0,351368%	-21,594207	-3,87008	250,00678	-0,008	-0,02129	-0,016	0,0456
1500	14700	0,90740741	9,259%	2996	5954,02	31,16	0,520619%	-21,594634	-3,874297	250,01031	-0,0076	-0,01707	-0,02	0,0445
1250	14950	0,92283951	7,716%	2496	5936,74	48,44	0,809332%	-21,582021	-3,863954	250,00702	-0,0202	-0,02742	-0,017	0,0642
1000	15200	0,9382716	6,173%	1996	5929,06	56,12	0,937649%	-21,577154	-3,861327	250,01342	-0,025	-0,03004	-0,023	0,078
900	15300	0,94444444	5,556%	1796	5911,67	73,51	1,228200%	-21,558969	-3,849666	250,03497	-0,0432	-0,0417	-0,045	0,1294
800	15400	0,95061728	4,938%	1596	5871,76	113,42	1,895014%	-21,529519	-3,837818	250,01781	-0,0727	-0,05355	-0,027	0,1536
700	15500	0,95679012	4,321%	1396	5863,16	122,02	2,038702%	-21,532142	-3,830646	250,03061	-0,0701	-0,06072	-0,04	0,1709
600	15600	0,96296296	3,704%	1196	5828,39	156,79	2,619637%	-21,51216	-3,851464	250,03616	-0,09	-0,03991	-0,046	0,1757
500	15700	0,9691358	3,086%	996	5811,36	173,82	2,904173%	-21,516338	-3,863291	250,02978	-0,0859	-0,02808	-0,039	0,1533
450	15750	0,97222222	2,778%	896	5789,95	195,23	3,261890%	-21,521404	-3,855756	250,04355	-0,0808	-0,03561	-0,053	0,1695

400	15800	0,97530864	2,469%	796	5778,45	206,73	3,454031%	-21,531815	-3,865148	250,04771	-0,0704	-0,02622	-0,057	0,1539
350	15850	0,97839506	2,160%	696	5760,75	224,43	3,749762%	-21,535431	-3,888836	250,06078	-0,0668	-0,00253	-0,07	0,1396
300	15900	0,98148148	1,852%	596	5746,46	238,72	3,988518%	-21,524614	-3,875783	250,08187	-0,0776	-0,01559	-0,091	0,1846
250	15950	0,9845679	1,543%	496	5702,2	282,98	4,728012%	-21,538876	-3,878108	250,107	-0,0633	-0,01326	-0,117	0,1931
200	16000	0,98765432	1,235%	396	5627,62	357,56	5,974089%	-21,510194	-3,909145	250,16263	-0,092	0,01778	-0,172	0,282
150	16050	0,99074074	0,926%	296	5569,89	415,29	6,938638%	-21,554392	-3,912354	250,1947	-0,0478	0,02099	-0,204	0,273
100	16100	0,99382716	0,617%	196	5411,05	574,13	9,592527%	-21,472286	-3,911429	250,38268	-0,1299	0,02006	-0,392	0,5422
90	16110	0,99444444	0,556%	176	5387,03	598,15	9,993851%	-21,363849	-3,964234	250,46632	-0,2383	0,07286	-0,476	0,7871
80	16120	0,99506173	0,494%	156	5376,05	609,13	10,177305%	-21,280592	-3,892345	250,36286	-0,3216	0,00098	-0,372	0,695
70	16130	0,99567901	0,432%	136	5340	645,18	10,779626%	-21,290587	-3,923831	250,35768	-0,3116	0,03246	-0,367	0,7113
60	16140	0,9962963	0,370%	116	5284,49	700,69	11,707083%	-21,413606	-3,863408	250,33705	-0,1886	-0,02796	-0,347	0,5631
55	16145	0,99660494	0,340%	106	4912,98	1072,2	17,914248%	-21,150516	-3,802795	250,08097	-0,4517	-0,08857	-0,091	0,6308
50	16150	0,99691358	0,309%	96	4968,52	1016,66	16,986289%	-21,449786	-3,998285	250,28306	-0,1524	0,10692	-0,293	0,5519
45	16155	0,99722222	0,278%	86	4917,96	1067,22	17,831043%	-21,389791	-4,000584	250,24116	-0,2124	0,10922	-0,251	0,5723
40	16160	0,99753086	0,247%	76	4502,7	1482,48	24,769180%	-20,994121	-3,942753	250,32374	-0,6081	0,05138	-0,333	0,9927
35	16165	0,99783951	0,216%	66	4526,67	1458,51	24,368691%	-21,045073	-3,850878	250,3494	-0,5571	-0,04049	-0,359	0,9566
30	16170	0,99814815	0,185%	56	4426,18	1559	26,047671%	-20,963728	-3,603123	250,34035	-0,6385	-0,28825	-0,35	1,2766
25	16175	0,99845679	0,154%	46	4563,72	1421,46	23,749662%	-20,96201	-3,4938	250,04482	-0,6402	-0,39757	-0,054	1,0921
24	16176	0,99851852	0,148%	44	4268,05	1717,13	28,689697%	-20,557344	-4,158899	250,34074	-1,0449	0,26753	-0,35	1,6627
23	16177	0,99858025	0,142%	42	4268,44	1716,74	28,683181%	-20,557984	-4,158775	250,15878	-1,0442	0,26741	-0,168	1,4799

22	16178	0,99864198	0,136%	40	4266,64	1718,54	28,713255%	-20,562655	-4,160484	250,34181	-1,0395	0,26912	-0,351	1,66
21	16179	0,9987037	0,130%	38	4250,55	1734,63	28,982086%	-20,609072	-4,102281	250,33151	-0,9931	0,21091	-0,341	1,5451
20	16180	0,99876543	0,123%	36	3020,71	2964,47	49,530173%	-20,080349	-4,815906	249,30448	-1,5218	0,92454	0,686	3,1324
19	16181	0,99882716	0,117%	34	3422,6	2562,58	42,815421%	-20,9627	-3,595647	250,60772	-0,6395	-0,29572	-0,617	1,5525
18	16182	0,99888889	0,111%	32	3103,25	2881,93	48,151100%	-21,04307	-3,045346	250,32923	-0,5591	-0,84602	-0,339	1,7439
17	16183	0,99895062	0,105%	30	3320,57	2664,61	44,520131%	-21,314908	-3,145172	249,70374	-0,2873	-0,7462	0,287	1,3202
16	16184	0,99901235	0,099%	28	3339,68	2645,5	44,200843%	-21,286163	-3,146184	249,74745	-0,316	-0,74519	0,243	1,3042
15	16185	0,99907407	0,093%	26	3415,16	2570,02	42,939728%	-21,249066	-3,221311	250,32923	-0,3531	-0,67006	-0,339	1,362
14	16186	0,9991358	0,086%	24	3233,11	2752,07	45,981407%	-21,359867	-3,517015	249,69278	-0,2423	-0,37435	0,298	0,9144
13	16187	0,99919753	0,080%	22	3217,25	2767,93	46,246395%	-21,393014	-3,485797	249,71204	-0,2092	-0,40557	0,278	0,8932
12	16188	0,99925926	0,074%	20	3217,09	2768,09	46,249069%	-21,393293	-3,485422	249,7124	-0,2089	-0,40595	0,278	0,8929
11	16189	0,99932099	0,068%	18	3396,51	2588,67	43,251331%	-21,097128	-3,468095	249,42095	-0,5051	-0,42327	0,57	1,4978
10	16190	0,99938272	0,062%	16	3390,18	2595	43,357092%	-21,063752	-3,406325	249,46125	-0,5384	-0,48504	0,529	1,5527
9	16191	0,99944444	0,056%	14	2979,43	3005,75	50,219876%	-20,077793	-4,898	248,91388	-1,5244	1,00663	1,077	3,6076
8	16192	0,99950617	0,049%	12	2977,81	3007,37	50,246943%	-20,078127	-4,893436	248,91032	-1,5241	1,00207	1,08	3,6063
7	16193	0,9995679	0,043%	10	3156,44	2828,74	47,262405%	-19,762089	-5,160057	248,96105	-1,8401	1,26869	1,029	4,1382
6	16194	0,99962963	0,037%	8	2719,58	3265,6	54,561433%	-20,504702	-4,557936	248,51322	-1,0975	0,66657	1,477	3,2413
5	16195	0,99969136	0,031%	6	2137,43	3847,75	64,287958%	-20,382167	-5,551535	249,81812	-1,22	1,66017	0,172	3,0525
4	16196	0,99975309	0,025%	4	635,034	5350,146	89,389893%	-19,456227	-4,607033	246,69913	-2,146	0,71566	3,291	6,153

Número de pontos final = 4

Número de triângulos final = 4

Volume final = 635,034 (mm³)

Centróide final = (-19,456227, -4,607033 , 246,69913)

Gráfico da redução de pontos

Foram analisadas a variação relativa volumétrica (eixo y) e a variação relativa de pontos (eixo x)- linha azul e pela linha rosa podemos observar a variação do centróide. Através dos gráficos foi possível chegar à conclusão de que se trabalharmos com cerca 10% da malha de pontos inicial, a variação relativa volumétrica é inferior a 5%. Ou seja, utilizando 10% dos pontos teremos uma condição favorável para trabalhar com essa gema.

