

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
MESTRADO ACADÊMICO EM DESIGN
ÊNFASE: DESIGN E TECNOLOGIA

Mariana Kuhl Cidade

**CARACTERIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO DE GRAVAÇÃO A
LASER EM ÁGATA APLICADO AO DESIGN DE JOIAS**

Porto Alegre, 2012

Mariana Kuhl Cidade

**Caracterização e padronização do processo de gravação a laser em ágata
aplicado ao design de joias**

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 à obtenção do título de Mestre em Design, modalidade acadêmico.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte.

Porto Alegre, 2012

Mariana Kuhl Cidade

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Design, da Escola de Engenharia e da Faculdade de Arquitetura, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de MESTRE EM DESIGN.

Defendida e aprovada em:

23/ 08 / 2012

Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte - Orientadora
Escola de Engenharia – PGDesign/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Juliano Tonezer da Silva
Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias – UPF

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem
Instituto de Geociências – PGDesign/UFRGS

Prof^a. Dra. Liane Roldo
Escola de Engenharia – PGDesign/UFRGS

Cidade, Mariana Kuhl
Caracterização e Padronização do Processo de Gravação a Laser em Ágata Aplicado ao Design de Joias / Mariana Kuhl
Cidade. -- 2012. 172 f.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Ágata. 2. Gravação a Laser. 3. Design de Joias. I. Duarte, Lauren da Cunha, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível graças à colaboração direta de muitos amigos, manifesto minha gratidão a todos e em especial:

À minha família, por todo amor, amizade, incentivo, e apoio nos momentos difíceis.

À minha mais que querida e estimada orientadora, Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte, pela orientação à minha pesquisa, por sua disposição, dedicação, paciência, conselhos, e principalmente ao apoio e a linda amizade construída em torno destes anos.

Ao Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior, por me mostrar a importância da pesquisa, iniciada na oportunidade de trabalho no LdSM.

Aos professores do LdSM, Luiz Henrique Cândido, Fabio Pinto da Silva, Liane Roldo, Tatiana Louise Ávila de Campos Rocha e Everton Amaral, pelo incentivo, profissionalismo e oportunidade de pesquisa.

À Patrícia Gabert e à Flávia Lopes da Silveira pelos incentivos e auxílios indispensáveis no início do mestrado e principalmente pelos momentos alegres e tradicionalistas que passamos juntas.

Aos meus amigos mais que queridos, que levarei à amizade construída para o resto de minha vida, Mariana Pohlmann, Cristine Raseira, Rodolfo Rolim Dalla Costa e Wagner Rossi, por ser este “quarteto mais que fantástico”.

Aos sábios, Lara e Sidnei, pela amizade e ajuda na utilização dos equipamentos. Aos colegas de mestrado, pelas alegrias e experiências compartilhadas.

À minha querida amiga Denise Rippel, pelo estímulo e ombro amigo em todos os momentos. Ao meu incentivador e mestre na arte da joalheria, muito obrigada por estar sempre ao meu lado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design desta Universidade, em especial ao corpo docente e aos funcionários. A CAPES, pelo auxílio e pela bolsa concedida, ao CNPq pelos recursos financeiros disponibilizados e a Pró – Reitoria de Pós - Graduação / PROPG ao auxílio concedido no EDITAL 001/2011.

A todos os que, de alguma forma, colaboraram com esta pesquisa, o meu muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo principal a caracterização do processo de gravação a laser na ágata, padronizando a utilização do equipamento para auxiliar no desenvolvimento de produtos na área da joalheria, adornos e ornamentos. A ágata, uma variedade da calcedônia, é muito valorizada pelos mercados externos. A carência de beneficiamento e inovação tecnológica geralmente dada a este material na atualidade é um dos pontos fortes deste estudo. Nas últimas décadas, a procura por inovações tecnológicas que possam auxiliar o processo produtivo industrial se tornou importante ferramenta para manter empresas competitivas e atuantes frente a seus mercados. A padronização da técnica de gravação a laser pode agregar valor à criação de novos produtos em ágata, criando um diferencial para as peças de joalheria, sendo facilmente aplicada em escala industrial. As análises dos melhores parâmetros de gravação foram feitas com o auxílio de imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV), pois a grande magnificação das imagens obtidas por esta técnica auxilia em uma precisão micrométrica da extensão e da área de interação entre o material e o laser; microscópio estereoscópico; e de percepção visual e tátil. Os resultados obtidos com a utilização dos equipamentos localizados no LdSM / UFRGS e CTPedras / Soledade com suas respectivas lentes, potências e velocidades foram de grande valia para o desenvolvimento de análises quantitativas e qualitativas da interação do feixe laser com a ágata. O estudo da interação entre laser e materiais é ainda um vasto campo a ser explorado. Esta dissertação de mestrado disponibiliza resultados inovadores em relação à gravação por laser do tipo CO₂ em materiais gemológicos, disponibilizando a padronização dos parâmetros ideais para o equipamento e para o desenvolvimento de criações joalheiras.

Palavras-chave: Ágata, gravação a laser, design de joias.

ABSTRACT

The main goal of this study was to characterize laser engraving process in agate, standardizing the use of equipment in order to assist product development in the field of jewelry, ornaments and artifacts. Agate, a variety of chalcedony, is highly valued by foreign markets. One of the focuses of this study is the lack of improvement and innovation given to this material nowadays. In recent decades, the search for technological innovations that can help the process of industrial production has become an important tool to keep companies competitive and active front of their markets. The standardization of laser engraving technique can add value to the creation of new products in agate, creating a differential for the jewelry pieces and being easily applied on an industrial scale. The analysis of these highly qualified engraving parameters was aided by scanning electron microscopy images, once high magnification of images presents a better definition of the interaction zone between the material and the laser beam in a micrometer precision; stereoscopic microscope; and visual and tactile perception. The results obtained from the use of equipment located in LdSM / UFRGS and CTPedras / Soledade with their respective lenses, power and speed are of great value for the development of quantitative and qualitative analysis of the interaction of the laser beam with agate. The study of the interaction between laser and materials is still a vast field to be explored. This masters dissertation provides innovative results compared to laser engraving type CO₂ in gemological materials, providing standardization of the ideal parameters for the equipment and for developing jewelry creations.

Keywords: *Agate, laser engraving process, jewelry design.*

LISTA DE FIGURAS E OBSERVAÇÕES

Figura 1: Fotomicrografias de seções de geodos vistas ao microscópio óptico de luz transmitida.....	26
Figura 2: Ágata.....	27
Figura 3: Ágata na Alemanha.....	28
Figura 4: Variedades de ágata.....	30
Figura 5: Mapa gemológico da Região Sul do Brasil.....	31
Figura 6: Distrito Mineiro de Salto do Jacuí.....	32
Figura 7: Fluxograma das etapas de beneficiamento dado a ágata.....	33
Figura 8: Corte de chapas e polimento de ágata.....	34
Figura 9: Tingimento orgânico sintético de ágata.....	35
Figura 10: Adornos, ornamentos e objetos de arte produzidos em ágata.....	36
Figura 11: Beneficiamento e produtos disponíveis para venda no comércio em Soledade.....	39
Figura 12: Joias criadas por designers.....	42
Figura 13: Gravação e corte a laser.....	43
Figura 14: Empresas que utilizam a gravação a laser.....	44
Figura 15: Amostras em ágata gravadas a laser.....	45
Figura 16: Processo de gravação a laser na ágata.....	47
Figura 17: Reprodução da janela do programa CorelDRAW X4 [®] , para a exportação de arquivos do tipo plt.....	49
Figura 18: Método de investigação de configuração de arquivo do tipo plt.....	49
Figura 19: Testes de gravação para traços retos, nos diferentes equipamentos, em ágata tingida e sem tingimento.....	53
Figura 20: Testes de gravação em formas arredondadas, com potência de 60 W, no equipamento localizado no LdSM, lentes de 10 x 10 e de 30 x 30; e lente de 20 x 20.....	54

Figura 21: Testes de interação dos traços retos entre o equipamento localizado no LdSM e a ágata.....	55
Figura 22: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos e círculos com a utilização de lente 10 cm x 10 cm.....	57
Figura 23: Imagens eletrônicas de varredura em traços curvos com diferentes configurações de exportação e diferenciação de gravação em traços retos.....	58
Figura 24: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos e círculos com a utilização de lente 30 cm x 30 cm.....	59
Figura 25: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos com a utilização de lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W.....	61
Figura 26: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em círculos, com a utilização de lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W	62
Figura 27: Imagens eletrônicas de varredura com lente de 10 cm x 10 cm, potência de 30 W e velocidades de 20 m/min a 40 m/min.....	64
Figura 28: Representação esquemática da distância focal para cada diferente lente utilizada neste estudo para gravação a laser em ágata.....	65
Figura 29: Imagens dos traçados observadas ao microscópio estereoscópico, para delimitação das distâncias.....	66
Figura 30: Esquematização das áreas e suas intensidades, onde A indica área e I indica intensidade.....	67
Figura 31: Conjunto de amostras de ágata com gravação a laser, em arquivo plt., com lente de 10 cm x 10 cm, nas 6 cores de tingimento	69
Figura 32: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento azul.....	70
Figura 33: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento preto.....	72
Figura 34: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento verde.....	73
Figura 35: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento vermelho.....	74
Figura 36: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento rosa.....	76
Figura 37: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras com tingimento roxo.....	77

Figura 38: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras de ágata sem tingimento.....	78
Figura 39: Exemplos da área de interação entre linhas na criação de desenhos.....	79
Figura 40: Testes de gravação a laser de espaçamento entre linhas.....	80
Figura 41: Desenho ilustrativo da forma como foi gravada a amostra de ágata.....	83
Figura 42: Amostras gravadas para análises de superfícies.....	83
Figura 43: Imagens estereoscópicas de amostras com a utilização de velocidade de 2 m/min.....	84
Figura 44: Imagens estereoscópicas de amostras com a utilização de lente de 30 cm x 30 cm.....	86
Figura 45: Formas geométricas com variação de tons de cinza, onde a porcentagem representa a saturação em preto.....	89
Figura 46: Amostra gravada com as resoluções de 300, 200 e 150 dpi.....	90
Figura 47: Gravação a laser de quadrados com 150 dpi visualizados em microscópio estereoscópico.....	91
Figura 48: Gravação a laser de quadrados com 200 dpi visualizados em microscópio estereoscópico.....	92
Figura 49: Gravação a laser de quadrados com 300 dpi visualizados em microscópio estereoscópico.....	92
Figura 50: Amostras com tingimento azul, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	95
Figura 51: Amostras com tingimento preto, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	96
Figura 52: Amostras com tingimento verde, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	97
Figura 53: Amostras com tingimento vermelho, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	99
Figura 54: Amostras com tingimento rosa, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	100
Figura 55: Amostras com tingimento roxo, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	101

Figura 56: Amostras sem tingimento, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico.....	102
Figura 57: Conjunto de amostras de ágata gravadas a laser com lente de 20 cm x 20 cm e potência de 30 W	104
Figura 58: Amostras gravadas a laser com resultados considerados satisfatórios (CTPedras).....	108
Figura 59: Gravação a laser de quadrados com 150 dpi, 200 dpi e 300 dpi visualizados em microscópio estereoscópico.....	109
Figura 60: Ambientação com imagens do material gemológico ágata.....	111
Figura 61: Ficha Técnica do pingente em ágata, com a utilização de arquivo do tipo plt.....	114
Figura 62: Ficha Técnica do bracelete com utilização de ágata, com arquivos jpeg e do tipo plt.....	118
Figura 63: Fabricação das joias.....	119
Figura 64: Joias com a utilização da ágata gravadas e cortadas a laser.....	120

SOBRE AS IMAGENS

A fonte de referência das imagens está indicada abaixo das mesmas. Na ausência dessa informação, deve-se considerar que a autoria das imagens é da pesquisadora.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados utilizados para a obtenção da intensidade das lentes.....	67
Tabela 2: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 10 cm x 10 cm com potência de 60 W (LdSM).....	85
Tabela 3: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 30 cm x 30 cm com potência de 60 W (LdSM).....	86
Tabela 4: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 20 cm x 20 cm com potência de 30 W (CTPedras).....	87
Tabela 5: Parâmetros utilizados nas gravações de 150 dpi (CTPedras).....	105
Tabela 6: Parâmetros utilizados nas gravações de 200 dpi (CTPedras).....	106
Tabela 7: Parâmetros utilizados nas gravações de 300 dpi (CTPedras).....	107
Tabela 8: Amostras com gravações satisfatórias.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Amostras de ágata com linhas gravadas, espaçadas entre si, com 1,5; 1,2; 0,9; 0,6; 0,3; 0,2; 0,15 e 0,1 mm, dispostas em ordem decrescente de espaçamento, do topo para a base.....81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A - Área

AEPSENAI – Agência de Educação Profissional SENAI

APL - Arranjo Produtivo Local

BSE - *Back Scattered Eletron*

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNC - Comando Numérico Computadorizado

CTPedras - Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul

CNPq – Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico

cm – centímetro

D – Distanciamento das espessuras das linhas

DEMIPE – Departamento de Mineralogia e Petrologia

dpi – *dot per inch* ou *pixels* por polegada

GIA – Gemological Institute of America

I - Intensidade

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos

jpeg – bitmap jpeg

LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais

LIPs – *large Igneous Provinces*

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

mm – milímetro

m/min – metros por minuto

MNA – Museu Nacional de Arqueologia

P – Potência

PIB – Produto Interno Bruto

PGDesign – Programa de Pós – Graduação em Design

plt. – Arquivo de Plotadora HPGL

RS - Rio Grande do Sul

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SINDIPEDRAS - Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Transformação e Beneficiamento de Pedras Preciosas do Estado do Rio Grande do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UPF – Universidade de Passo Fundo

W - watt

ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está inserida e focada no design e tecnologia, e estruturada em seis capítulos, da seguinte maneira:

Capítulo 1: Apresenta a parte introdutória desta dissertação juntamente com a formulação do problema e os objetivos gerais e específicos.

Capítulo 2: É apresentada a fundamentação teórica, abordando as características, variedades, denominações, classificações, e beneficiamento do material gemológico e a utilização da ágata em joalheria e ornamentos. Outro ponto abordado neste capítulo é a tecnologia de gravação a laser.

Capítulo 3: Apresenta os métodos de investigação específicos a serem utilizados para a aplicação dos testes de interação entre o material gemológico e a tecnologia de gravação a laser.

Capítulo 4: É constituído pela apresentação dos resultados a partir dos métodos desenvolvidos para a aplicação dos testes de interação.

Capítulo 5: Aborda o desenvolvimento de gravações a laser para a aplicação de duas peças joalheiras, para uma aplicabilidade e entendimento de todos os resultados satisfatórios dos métodos de investigação executados.

Capítulo 6: Apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros desta dissertação. As referências citadas no corpo deste trabalho são apresentadas e listadas em ordem alfabética. Os apêndices apresentados são referentes à criação das peças joalheiras e a artigos e capítulos de livro com a utilização da gravação a laser e o material gemológico.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E OBSERVAÇÕES.....	08
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	14
ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	20
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	24
1.2 OBJETIVOS.....	24
1.2.1 Objetivo Geral.....	24
1.2.2 Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1 CALCEDÔNIA: VARIEDADE ÁGATA.....	25
2.1.1 Variedades de ágata.....	29
2.1.2 Ágata no Rio Grande do Sul.....	30
2.1.3 Beneficiamento de Ágata no RS.....	32
2.1.3.1 Corte de Chapas.....	33
2.1.3.2 Tingimento.....	34
2.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGATA EM JOALHERIA E ORNAMENTOS.....	36
2.3 LASER.....	43
2.3.1 Laser em gemas.....	44
CAPÍTULO III – MÉTODOS.....	46
3.1 PROCESSO DE GRAVAÇÃO A LASER.....	46

3.2 MÉTODOS DESENVOLVIDOS PARA A APLICABILIDADE DO PROCESSO DE GRAVAÇÃO A LASER NA ÁGATA.....	48
3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV.....	50
3.4 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANALISAR A SUPERFÍCIE DO MATERIAL.....	51

CAPÍTULO IV - RESULTADOS52

4.1 GRAVAÇÃO EM ARQUIVO DO TIPO plt. (<i>arquivo de plotadora HPGL</i>).....	53
4.1.1 Formas Retas e Arredondadas.....	53
4.1.2 Análise da interação entre o laser e o material ao Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV: arquivo do tipo plt.....	55
4.1.2.1 Lente 10 cm x 10 cm e potência de 60 W - LdSM.....	55
4.1.2.2 Lente 30 cm x 30 cm e potência de 60 W - LdSM.....	58
4.1.2.3 Lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W - CTPedras.....	60
4.1.2.4 Lente 10 cm x 10 cm e potência de 30 W - LdSM: velocidades de 20 m/min a 40 m/min.....	63
4.1.3 Lentes utilizadas.....	65
4.1.4 Avaliação da gravação a laser do tipo plt. em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados.....	68
4.1.5 Testes de espaçamento entre os traçados e espessuras da zona de influência da área gravada.....	79
4.1.6 Análise da Superfície do Material: exportação do tipo plt.....	82
4.2 GRAVAÇÃO EM ARQUIVOS DE IMAGENS EM jpeg (<i>bitmaps jpeg</i>).....	88
4.2.1 Formas geométricas.....	88
4.2.1.1 Testes de gravação a laser – LdSM / UFRGS.....	89
4.2.1.2 Avaliação da gravação a laser do tipo jpeg em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados.....	93
4.2.1.3 Testes de gravação a laser – CTPedras / Soledade.....	103

CAPÍTULO V - DESENVOLVIMENTO DE GRAVAÇÕES A LASER PARA A APLICAÇÃO EM JOALHERIA.....	110
CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
6.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	126
REFERÊNCIAS.....	127
APÊNDICE A.....	135
APÊNDICE B.....	137

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia tem sido uma das grandes forças propulsoras no desenvolvimento de produtos. Niemeyer (1998) já aponta que, nas últimas décadas a procura por inovações tecnológicas que possam auxiliar o processo produtivo industrial se tornou importante ferramenta para manter empresas competitivas e atuantes frente a seus mercados. Pesquisadores e empresas qualificadas de diversas áreas estudam e buscam novas formas de processar os materiais, aumentando a produtividade e minimizando esforços humanos. Moura (2005) define a tecnologia como uma aplicação do conhecimento científico, envolvendo pessoas e seus sistemas sociais, sendo uma ferramenta viável, e o homem o seu guia.

A joalheria tem seu desenvolvimento juntamente com a evolução da tecnologia e com as mudanças na arte, moda, sociedade e aspectos culturais. As formas de processar as diversas matérias-primas estão sendo refinadas com o passar dos séculos. Entre os materiais que geram desejo e fascínio nos seres humanos estão os metais e os materiais gemológicos. O homem ao longo dos séculos deu forma aos materiais encontrados na natureza, confeccionando suas ferramentas, armas e utensílios, bem como, melhorando continuamente sua qualidade de vida (COSTA, 2007). A atração pela arte, o desejo de expressar-se e o costume de adornar-se, constituem elos com nossos antepassados. Segundo Gola (2008, p.07),

o homem, desde o início de sua existência, produz elementos artísticos associados a ornamentos – as joias - , revelando assim sua criatividade , representando os símbolos de cada época e colocando em destaque a dimensão estética do mundo material, ou mesmo, das formas naturais.

No contexto vivido atualmente, o designer tem papel fundamental na criação e escolha do melhor modo de produção das joias. Os processos tecnológicos somente serão eficazes quando possuírem um objetivo claro e específico, aliando a concepção e fabricação de peças como um sistema definido e orientado pelo seu criador (MOURA, 2005). O designer tem como função principal utilizar a tecnologia disponível de modo eficiente, onde a liberdade de criação é potencialmente aumentada, visto a facilidade gerada pelas tecnologias. O processo artístico não pode ser esquecido, ele deve sim ser desempenhado em conjunto com as inovações

disponíveis de forma harmoniosa, pois a joia é um produto com apelo estético e funcional. A tecnologia é simplesmente o meio facilitador e inovador de materializar produtos com elevado nível de precisão e detalhamento. Ela não pode substituir o criador e sim auxiliá-lo. As regras e fundamentos do design não podem ser deixados de lado, devendo ser estudados e compreendidos de forma plena visando o uso eficiente de ferramentas facilitadoras.

Nos últimos anos ocorreram grandes mudanças no cenário mundial. O crescimento econômico devido a globalização, entre muitos fatores, geram uma evolução nos conceitos de mercado, implicando em várias mudanças em todos os setores industriais. Segundo estatísticas divulgadas pelo IBGM (Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos), o mercado mundial de joias é liderado pela Itália, seguida pelos Estados Unidos, Hong Kong, Suíça, China e Índia. O Brasil possui o 29º lugar na produção de joias, e o 18º como exportador de minerais (IBGM, 2005). Com todas estas mudanças através dos anos, o mercado esta buscando a cada dia se adequar aos processos tecnológicos para continuar se desenvolvendo. O Brasil é considerado uma das maiores províncias gemológicas, sendo o estado do Rio Grande do Sul, um dos maiores produtores de ágata e ametista (JUCHEM *et al.*, 2010; IBGM, 2005). O estado responde por 20% das exportações brasileiras de minerais e joias, com um montante equivalente a US\$ 47 milhões anuais (IBGM, 2005).

O Rio Grande do Sul destaca-se também como um dos mais importantes centros de comércio de gemas e materiais gemológicos. No município de Soledade estão localizadas cerca de 180 indústrias de beneficiamento, comércio e exportação de artefatos (DUARTE *et al.*, 2010a; SILVA *et al.*, 2010). Segundo matéria publicada no jornal Zero Hora, caderno Dinheiro, na data de 20 de maio de 2012, o município gera 3 mil empregos com 99% da produção destinada ao mercado nacional, correspondendo a 25% do PIB (Produto Interno Bruto) com um volume de negócio atingindo US\$ 60 milhões, valor este 30% superior ao ano de 2011 (BECKER, 2012).

Outras cidades se destacam como sendo parte do roteiro das gemas e joias, tais como: Salto do Jacuí, onde se encontra uma das maiores jazidas de ágata de que se tem conhecimento; Ametista do Sul, o maior distrito de mineração de ametista, que tem 80% de sua arrecadação proveniente da atividade extrativa; e

Guaporé, um dos maiores pólos de produção de joias e folheados da América Latina, com cerca de 120 indústrias (IBGM, 2005).

Apesar da valorização dos materiais gemológicos do Rio Grande do Sul pelo comércio externo, as indústrias do estado utilizam usualmente de maneira discreta esses materiais no desenvolvimento de produtos inovadores e diferenciados (CIDADE *et al.*, 2012). Os mesmos são geralmente utilizados para o desenvolvimento de objetos de decoração ou exportados em bruto para outros estados e países, como China, Índia, Itália e Alemanha (SCHUMANN, 2006). Nestes destinos, os materiais são beneficiados e, por vezes, retornam para ser comercializados com valor agregado (CIDADE *et al.*, 2011).

A ágata do Rio Grande do Sul é utilizada, muitas vezes, fora do país por artesãos habilidosos que produzem peças de alta qualidade e acabamento como esculturas e glíptica. É ponto importante frisar que todo material beneficiado atualmente em Idar-Oberstein, na Alemanha, é proveniente do Rio Grande do Sul.

As indústrias de joalheria e beneficiamento no Brasil, geralmente, carecem de maquinário e equipamentos inovadores para alcançar uma produtividade qualificada, visando um melhor posicionamento no mercado mundial. No país existem dois tipos de empresas, as que inovam e diferenciam-se, e as que produzem produtos padronizados com menor inovação e pouca tecnologia incorporada, reduzindo seu poder competitivo (COSTA, 2007).

Novas tecnologias vêm sendo estudadas na área da joalheria, dentre estas podemos citar a pesquisa voltada ao estudo de usinagem CNC em opala, para o desenvolvimento de camafeus (TESSMANN, 2009); o estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas (BARP, 2009); e a utilização do processo de corte e gravação a laser em materiais naturais no desenvolvimento de joias inspiradas na cultura gaúcha (GABERT, 2010). Segundo Zhou e Mahdavian (2004), os lasers têm progressivamente substituído métodos convencionais nas indústrias. Os principais critérios para tais substituições são menor custo, maior velocidade de fabricação e melhor qualidade (ZHOU e MAHDAVIAN, 2004).

O design de joias busca na atualidade uma aceleração dos processos de produção através da inovação, reduzindo o tempo entre criação e comercialização através de novas soluções e experimentações estéticas e funcionais (SIQUEIRA & MAGALHÃES, 2010). O design de produto se apóia no desenvolvimento

tecnológico, a fim de tornar os objetos mais adequados para suprir as necessidades dos consumidores (GABERT, 2010).

Muitas são as possibilidades de processos tecnológicos na área da fabricação, trazendo melhores condições e maior eficiência na execução de bens de consumo de forma mecanizada e seriada. Porém, a base da criação contínua dependendo do processo de criação do pensamento humano, mesmo com todas as mudanças que a humanidade tem passado. Geralmente as empresas e designers têm investido na busca de estratégias para posicionarem suas marcas de forma diferenciada em um mercado cada vez mais competitivo. O investimento em design, em tecnologia, em pesquisa e em marketing está atualizando o mercado joalheiro.

Desta forma o material gemológico deve ser estudado e analisado de outras maneiras, buscando novas formas de processamento para que indústrias e designers da área possam agregar valor tanto no processo tecnológico como no valor final da peça. Neste contexto, para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se por utilizar a tecnologia de gravação a laser, por possuir grande eficácia e precisão na gravação de materiais. Visto à carência em inovação tecnológica aplicada a ágata e a busca por métodos de processamento mais eficientes que venham agregar valor aos produtos, este estudo busca um diferencial com a utilização de tecnologia de ponta.

Esta é uma pesquisa de caráter teórico-prático, tendo uma parte expressiva de coleta de dados e de materiais nos principais pontos de extração e comércio de materiais gemológicos do RS; compilação e levantamento bibliográfico em livros e periódicos científicos das publicações referentes à ágata e ao processo de gravação a laser; pesquisas de campo, visando conhecer as tecnologias e locais de beneficiamento de gemas e joias, nos municípios gaúchos de Gaurama e Soledade, pesquisa está vinculada ao CNPq (Projeto nº 18431: Uso da Tecnologia de Corte e Gravação a Laser, como Ferramenta de Inovação para o Design de Gemas e Joias); missão científica de curta duração ao exterior tendo como objetivo visitação a centros de pesquisas em universidades e escolas especializadas em técnicas e processos de joalheria e museus, nas cidades de Lisboa, Porto e Matosinhos, em Portugal (EDITAL 001/2011 para estudante do Programa de Pós-Graduação da UFRGS); análises de fotomicrografias em microscópio óptico de luz transmitida; e análises de caracterização antes e após a aplicação das tecnologias que vierem a ser empregadas.

Para o andamento desta dissertação, as técnicas analíticas foram realizadas no Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM, e no Departamento de Mineralogia e Petrologia - DEMIPE, ambos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; e no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul / CTPedras localizado no município de Soledade / RS, sede mantida pela Universidade de Passo Fundo, Prefeitura Municipal de Soledade, Sindipedras (Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Transformação e Beneficiamento de Pedras Preciosas do Estado do Rio Grande do Sul), tendo como instituição conveniada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As amostras de ágata são oriundas de empresas de beneficiamento e comércio do município de Soledade.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Como é possível padronizar e caracterizar o processo de gravação a laser aplicado aos materiais gemológicos do Rio Grande do Sul?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O projeto tem como objetivo principal a caracterização do processo de gravação a laser na ágata, padronizando a utilização do equipamento para auxiliar no desenvolvimento de produtos na área da joalheria e adornos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o estado da arte do material gemológico e da tecnologia de gravação a laser;
- Caracterizar as superfícies gravadas a laser; definir parâmetros de potências, lentes e velocidades;
- Padronizar o processo de gravação a laser para utilização em joalheria e adornos.

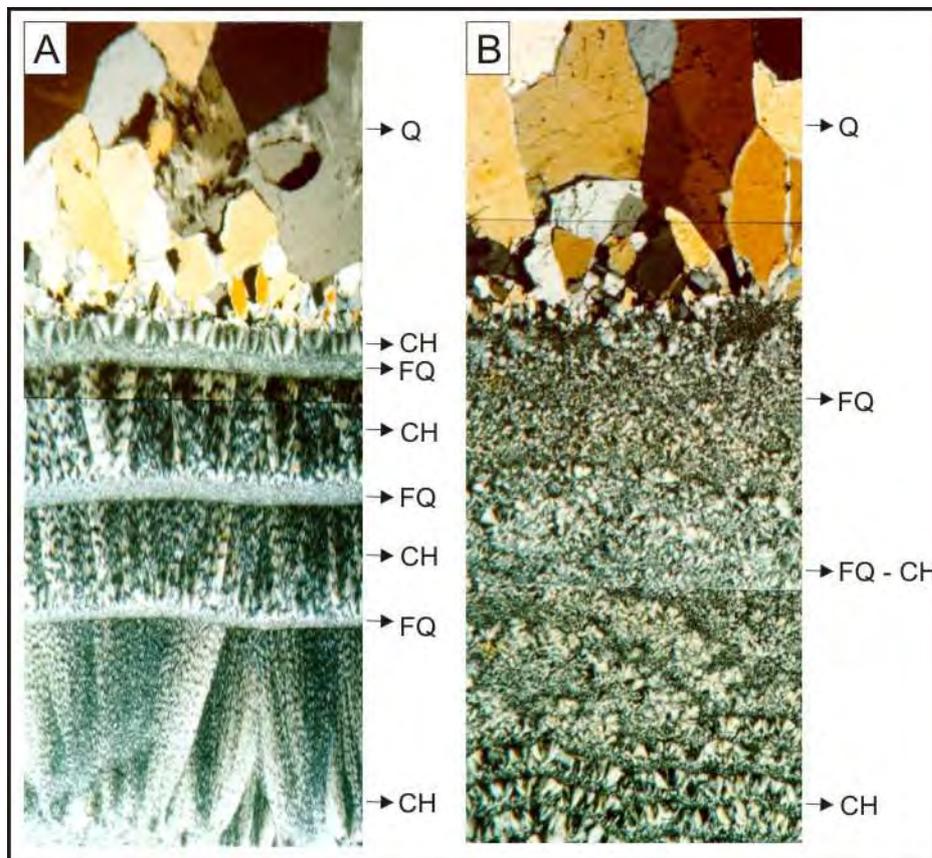
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo trata da fundamentação teórica deste trabalho, na qual estão inseridos os tópicos relacionados com o material gemológico e a tecnologia laser. No tópico “calcedônia: variedade ágata”, são abordadas todas as características como, composição, estrutura e variedades do material gemológico. Neste tópico estão inseridos os sub-tópicos: “variedades de ágata”, abordando as denominações e classificações do material perante as regiões e aos mercados compradores; “ágata no Rio Grande do Sul”, delimitando a abundância deste material no estado; e “beneficiamento de ágata no RS”, apresentando as etapas envolvidas no beneficiamento dado a ágata. Outro tópico abordado é a “utilização da ágata em joalheria e ornamento”, apresentando a utilização deste material desde a antiguidade até os dias atuais. Para a finalização deste capítulo, o tópico “laser”, aborda toda a tecnologia utilizada neste trabalho, delimitando todo o funcionamento do laser com base na literatura. Neste último tópico esta inserido o sub-tópico “laser em gemas”, abordando a utilização do processo de gravação em gemas nas empresas e entidades com agregação de inovação tecnológica aplicada.

2.1 CALCEDÔNIA: VARIEDADE ÁGATA

Calcedônia é o nome geralmente dado para designar as variedades de quartzo micro a criptocristalino, granular ou fibroso, com um grande número de microporos (DEER *et al.*, 1981; JUCHEM 1999). Os grãos de quartzo são aciculares e formam bandas fibrosas, produzindo diferentes graus de porosidade, característica física fundamental para a impregnação por agentes corantes (SILVA, 2006; DUARTE *et al.*, 2003). Estudos anteriores elaborados sobre as mineralizações de ágata e ametista (FLÖRKE *et al.* 1982; JUCHEM 1999) indicam sucessivas camadas e intercalações entre quartzo fino (FQ), calcedônia (CH) e quartzo macrocristalino (Q) preenchendo os geodos; por vezes as camadas podem ser facilmente visualizadas (Figura 1A) e por vezes esta sucessão de camadas não possui contatos bem definidos (Figura 1B), quando observadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Figura 1 - Fotomicrografias de seções de geodos vistas ao microscópio óptico de luz transmitida, mostrando a seqüência de preenchimento de minerais da parte mais externa (base das fotos) em direção ao centro (topo das fotos):



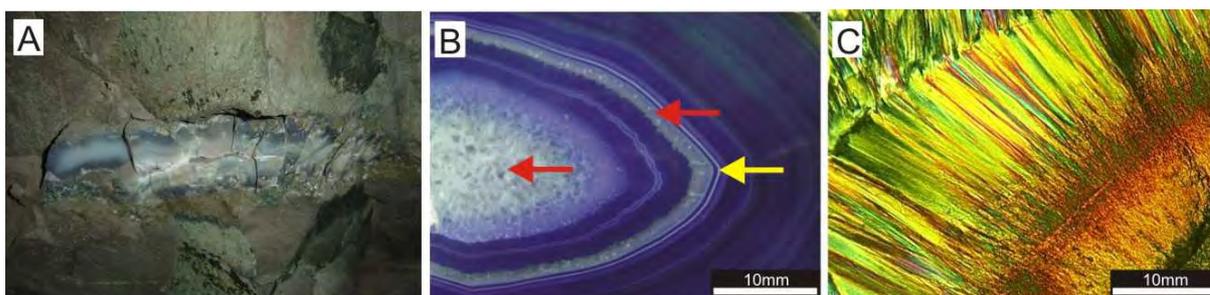
(A) lâmina petrográfica de geodo com bandamento aparente com uma alternância de camadas bem definidas de calcedônia (CH) e quartzo fino (FQ) e contatos nítidos com o quartzo macrocristalino (Q). Em (B) lâmina petrográfica de parte de um geodo com calcedônia composto por quartzo microcristalino sem bandamento evidente, sendo que ao microscópio petrográfico podem ser observadas a intercalação entre quartzo fino (FQ) e calcedônia (CH), misturadas, ou em seqüências não muito bem definidas, e na parte superior observa-se macrocristais de quartzo (Q). Lâminas observadas com magnificação de 50X e dimensão, desde a base até o topo de aproximadamente 5 mm (Modificado de Juchem, 1999).

A ágata é uma variedade formada por sucessivas bandas de calcedônia (Figura 1A), e ocorre como um material compacto preenchendo geodos (DEER *et al.*, 1981), que são cavidades total ou parcialmente alojadas em rochas vulcânicas com formas arredondadas e ovóides (Figura 2A), tendo seu dimensionamento entre 20 e 50 cm de diâmetro, embora não seja incomum a ocorrência de geodos maiores (STRIEDER & HEMANN, 2006; JUCHEM *et al.*, 2007; DUARTE *et al.*, 2009).

O bandamento pode ser composto por camadas sucessivas de calcedônia ou pode, por vezes, estar mesclado com opala, visualizado na Figura 2B (SCHUMANN, 2006). A opala é uma gema amorfa constituída por sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). As bandas de calcedônia são constituídas de quartzo fibroso (Figura 2C), orientado perpendicularmente em relação à superfície das camadas de bandas

individuais (FRONDEL, 1962; SCHUMANN, 2006). Este material gemológico tem dureza entre 6,5 a 7 na escala Mohs, índice de refração entre 1,530 – 1,540, composição química SiO_2 , sendo transparente a opaca, com densidade entre 2,60 a $2,64 \text{ g/cm}^3$ (IBGM, 2005; DEER *et al.*, 1981; SCHUMANN, 2006).

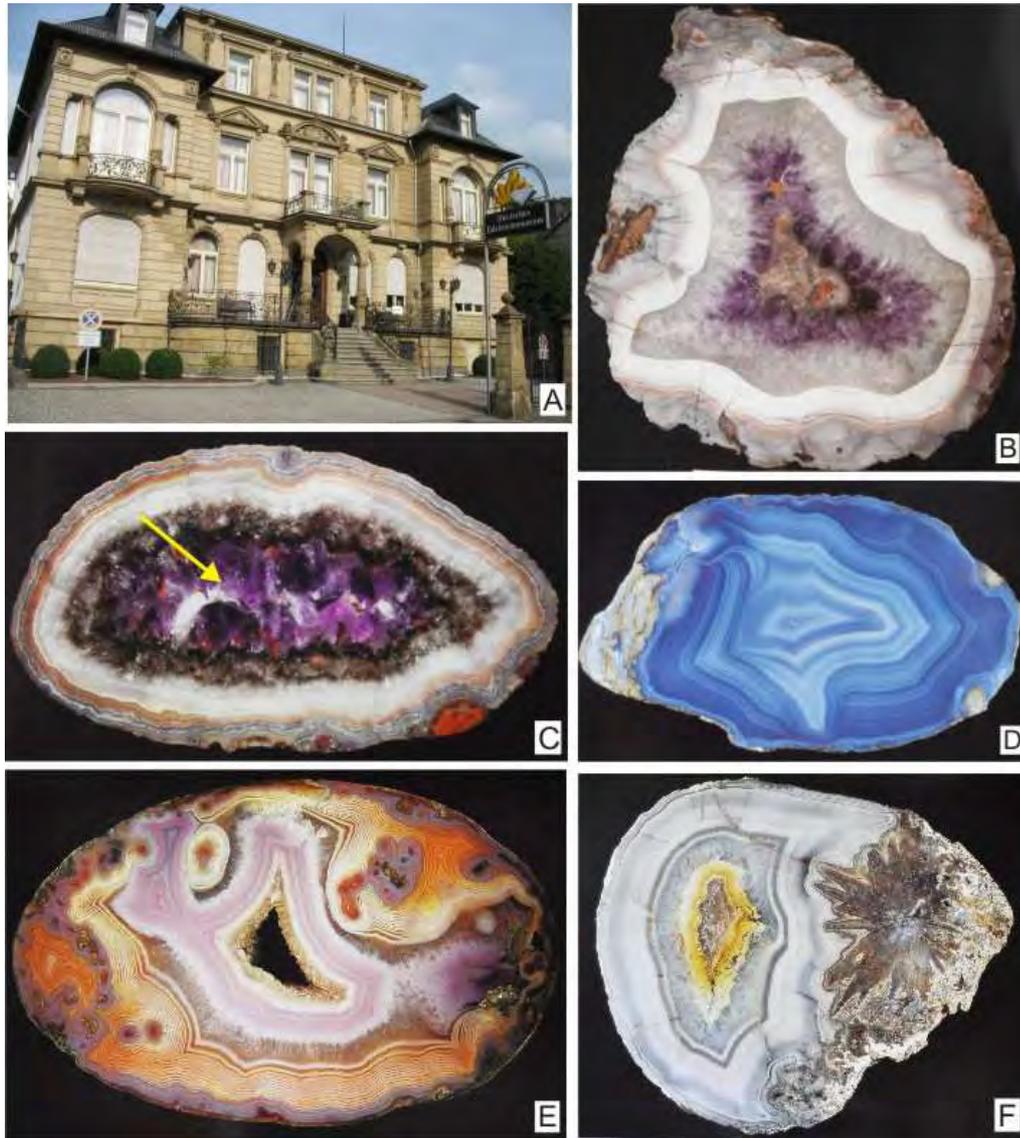
Figura 2: Ágata:



(A) geodo de ágata (~ 60cm de comprimento) alojado em rocha vulcânica, fotografado dentro de uma mina subterrânea de exploração de geodos em Ametista do Sul / RS, (B) amostra de ágata tingida, mostrando intercalação entre camadas de caldedônia (CH), opala representada pelo material branco (seta amarela) e quartzo incolor macrocristalino (Q) (seta vermelha), e (C) fotomicrografia da ágata obtida em microscópio óptico de luz transmitida, a luz polarizada, visualizando detalhe dos cristais aciculares que formam o bandamento desta variedade de material gemológico.

As jazidas mais importantes de ágata, até princípios do século XIX, estavam localizadas em Idar-Oberstein, na Alemanha (SCHUMANN, 2006). Atualmente estas jazidas encontram-se esgotadas. Este país foi considerado, por vários anos, uma excelente fonte de extração deste material, dividido em três grandes regiões: Idar-Oberstein / Vale de Fischbach, Baumholder e Oberkirchen – Freisen (ZENZ, 2005). As variedades de materiais nestas regiões eram de grande estima, com geodos de diferentes cores e dimensões (Figura 3).

Figura 3: Ágata na Alemanha:



(A) Edelstein Museum na cidade de Idar-Oberstein, na Alemanha, que possui grande acervo mundial do material gemológico ágata; (B) geodo com ágata, quartzo incolor e ametista; (C) geodo com ágata e ametista na parte central; (D) e (E) ágata da região de Oberkirchen - Freisen e (F) ágata da região de Baumholder (Fonte: ZENZ, 2005).

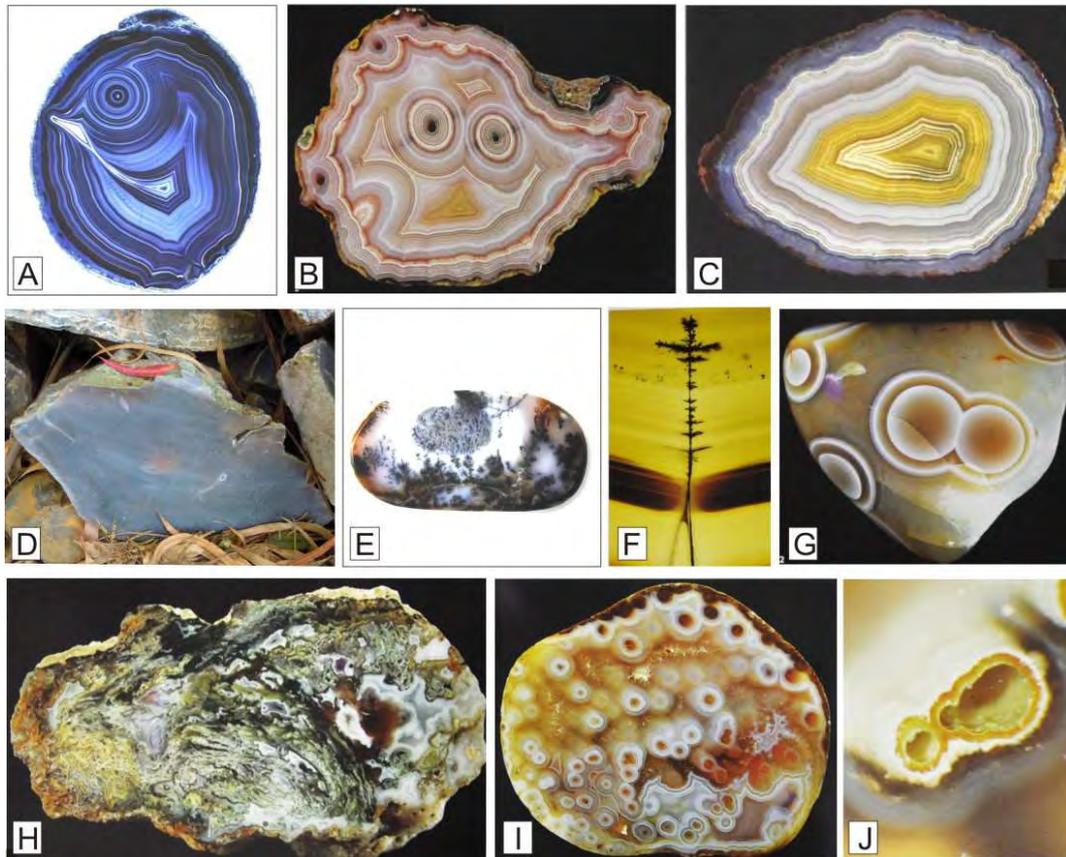
Na atualidade, a maior concentração deste material gemológico encontra-se no Brasil (Rio Grande do Sul) e no norte do Uruguai. A Alemanha, até o ano de 1960, foi a única importadora de ágata do Rio Grande do Sul, sendo então seguida pelo Japão, China e Estados Unidos, aumentando significativamente a demanda (AGOSTINI, 1998; SCHUMANN, 2006).

2.1.1 Variedades de ágata

As denominações da ágata variam de região para região, sem padrões estabelecidos, adequando-se ao mercado comprador. A estrutura das camadas da ágata pode ser classificada com uma variedade de nomes, sendo algumas destas citadas abaixo e visualizadas na Figura 4 (SCHUMANN, 2006; ZENZ, 2005; SGARBI, 2000).

A primeira classificação referenciada pelos autores é a “ágata olho”, denominada desta forma por possuir desenho anular com um ponto central. Outra denominação é a “ágata bandada”, que possui bandas paralelas à parede exterior. A “ágata umbú” possui cor acinzentada e com bandamento fraco ou imperceptível, sendo muito utilizada para tingimento. Já a denominação de “ágata dendrítica” é uma calcedônia incolor com desenhos em formas de árvores ou samambaias. Cientificamente não é considerada como ágata, pois não apresentam bandas de cor. Estas dendritas são inclusões de minerais de ferro e manganês que variam de cor, com tonalidades de preto a pardo. Outra variação classificada é a “ágata orbicular”, constituída por círculos de camadas de ágata, dispostas concêntricamente ao redor de um ponto central. A “ágata musgosa” é uma calcedônia incolor ou translúcida com inclusões em forma de musgo, com tonalidades em tons de pardo e vermelho. A última denominação é de “ágata tubular” que consiste em seu interior canais de transporte percorridos por tubos margeados concêntricamente.

Figura 4: Variedades de ágata:



(A) e (B) variedade de ágata olho; (C) ágata bandada; (D) ágata umbú; (E) ágata dendrítica e (F) detalhe de dendritas formando o desenho de uma árvore; (G) variedade ágata orbicular; (H) ágata musgosa; (I) ágata tubular e (J) detalhe dos tubos (Fonte: ZENZ, 2005; SGARBI, 2000).

2.1.2 Ágata no Rio Grande do Sul

A ágata é bastante abundante no Brasil e em países vizinhos (DUARTE *et al.*, 2010a). No estado do Rio Grande do Sul, existem importantes jazidas deste material, associadas às rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. O grupo Serra Geral (WILDNER *et al.*, 2004) é parte do registro da Bacia do Paraná, e é considerado um dos maiores derrames de lavas do planeta, denominadas LIPs – *large Igneous Provinces* (MORGAN *et al.*, 2004). São identificadas as rochas deste grupo nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, partes da Argentina, do Uruguai e do Paraguai. Na Região Sul existe inúmeros materiais de interesse gemológico, dentre os quais se destacam a ágata e a ametista, em jazidas, e muitas ocorrências de jaspe, opala, dentre outros (Figura 5). A maioria dos materiais de

do estado do Rio Grande do Sul. Neste município, às margens do Rio Jacuí e Ivaí, a principal extração é de ágata denominada “Umbú”, de cor acinzentada e com bandamento fraco, muito utilizada para tingimento. A extração da ágata é executada em minas a céu aberto, a partir da utilização de máquinas escavadeiras para desmonte da rocha alterada e posterior coleta dos geodos feita manualmente (Figura 6).

Figura 6: Distrito Mineiro de Salto do Jacuí:



(A) Vista geral da extração de geodos de ágata a céu aberto; (B) detalhe de (A) onde se observa a utilização de máquinas escavadeiras para a retirada da terra e a coleta manual dos geodos e (C) geodos estocados.

2.1.3 Beneficiamento de Ágata no RS

O município de Soledade é o principal centro de beneficiamento, comercialização e exportação de artefatos em materiais gemológicos, e possui as maiores empresas do setor. O processo de beneficiamento abrange desde o armazenamento dos geodos de ágata até o corte e processos diversos de interferência no material.

Na Figura 7, podemos visualizar o fluxograma das etapas envolvidas no beneficiamento dado à ágata, dando ênfase ao desenvolvimento de produtos apresentado na última etapa do processo. O beneficiamento dado a ágata no Rio Grande do Sul é carente no que diz respeito à inovação tecnológica, pois o tratamento usual dado a este material é a seleção dos geodos, lavagem, corte de chapas, lavagem das chapas, tingimento, lixamento e polimento (TUBINO, 1998; AGOSTINI, *et al.*, 1998; BRUM & SILVA, 2010).

Figura 7: Fluxograma das etapas de beneficiamento dado a ágata.



* Desenvolvimento de produtos com a utilização da ágata, criados e produzidos por designers e profissionais qualificados.

2.1.3.1 Corte de Chapas

Para o beneficiamento da ágata, os geodos são previamente selecionados por tipo de preenchimento e dimensão, e lavados para a retirada do excesso de material existente (SCHMITT *et al.*, 1991). Logo após passam pelo setor de corte de geodos (Figura 8A e B), onde são serrados em chapas planas de espessura em torno de 2 a 6 milímetros. Os processos de corte são tradicionais e efetuados em máquinas automáticas, a partir de serras circulares diamantadas com refrigeração feita por água, óleo marítimo ou biodiesel (SCHUMANN, 2006).

Após o corte, as chapas são enviadas ao setor de limpeza para a remoção da película de óleo oriunda do corte. As chapas são lavadas em água corrente com o uso de detergentes industriais, ácidos ou soda quente, e seca com o auxílio de estufas industriais (BARP, 2009; SILVA 2006; BRUM & SILVA, 2010).

Figura 8: Corte de chapas e polimento de ágata:



(A) equipamentos de corte de geodos de ágata; (B) detalhe do processo de corte, indicando serra diamantada e geodo; (C) processo de polimento.

2.1.3.2 Tingimento

O processo de tingimento na ágata é utilizado a milhares de anos. Podemos citar os antigos romanos que utilizavam o tingimento para realçar a beleza deste material gemológico (SCHUMANN, 2006).

A forma e as características internas dos geodos de ágata favorecem o corte e o sucessivo tingimento de chapas. O sucesso desta técnica de tingimento se deve ao arranjo dos microcristais de quartzo que formam uma estrutura porosa (Figura 1) aceitando corantes em variadas cores (SILVA, 2006).

As cores da ágata freqüentemente distribuídas em faixas nítidas, muitas vezes, são obtidas por tingimento e revelam com mais clareza a estrutura bandada deste material gemológico. Neste processo, a cor sem tingimento, que normalmente é acinzentada, passa à verde, azul, rosa, preto, roxo, dentre outras (SILVA, 2006; FRONDEL, 1962). As bandas brancas normalmente constituídas por opala, cristobalita e/ou tridimita não são afetadas pelo processo de tingimento, por não possuírem porosidade (SCHUMANN, 2006).

Para o processo de tingimento, são utilizados dois tipos de corantes, os inorgânicos e os orgânicos sintéticos (BRUM & SILVA, 2010). Os inorgânicos são compostos principalmente por: ácido crômico para tingimentos na tonalidade verde; ácido nítrico e percloroato de ferro para tons em vermelho; ferrocianeto de potássio ou cobre com ácido clorídrico para tingimentos em azul; e açúcar queimado para tingimento preto. Para este processo de tingimento a ágata é imersa em uma solução que contém íons metálicos, onde após impregnarem os poros do material, são submetidos a uma reação química com a finalidade de convertê-los em um

composto colorido e insolúvel (SILVA, 2006; AGOSTINI, *et al.*, 1998). Já os corantes orgânicos sintéticos são constituídos por anilinas, sendo estas: corante cristal violeta para ágata em tonalidade roxa, rodamina B para tingimentos na cor rosa; verde brilhante para tons em verde; e anilina vermelha para tingimentos em ágata com tons em vermelho. O processo de coloração orgânico (Figura 9) é basicamente caracterizado pela imersão do material gemológico em soluções alcoólicas de corantes (anilinas) por um período de três a cinco dias para a penetração das moléculas no material (KNECHT, 1957). Muitas vezes, o ferro está presente na ágata como impureza, preenchendo a porosidade, o que faz que, após um simples aquecimento a tonalidade é evidenciada em tons avermelhados (BRUM & SILVA, 2010; AGOSTINI, *et al.*, 1998).

Figura 9: Tingimento orgânico sintético de ágata:



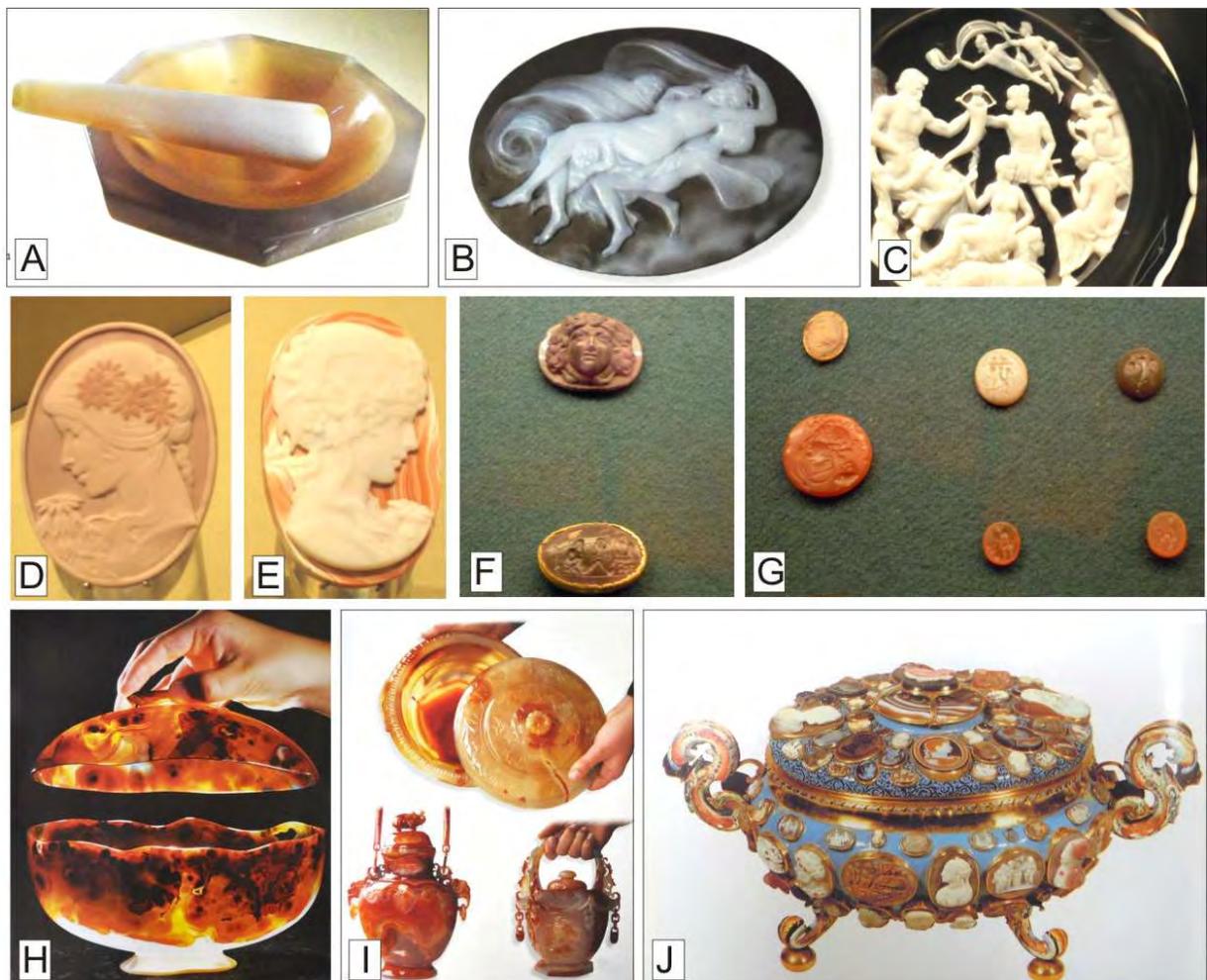
(A) tingimento orgânico com rodamina B; (B) detalhe de chapas tingidas na tonalidade rosa; (C) chapas tingidas estocadas.

Posteriormente o tingimento das chapas é realizado as etapas de lixamento e polimento para a retirada de riscos e possíveis marcas da serra circular (Figura 8C). O acabamento é realizado com a utilização de lixas contínuas contendo grãos abrasivos de carbureto de silício, movimentadas com o uso de motor elétrico (AGOSTINI, *et al.*, 1998). Para o lixamento e polimento são utilizadas lixas de granulometrias diversas, onde as chapas de ágata são pressionadas manualmente contra a lixa visando o desbaste.

2.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGATA EM JOALHERIA E ORNAMENTOS

A ágata vem sendo utilizada a milhares de anos, em forma de adorno, ornamento, objetos de arte ou artefatos (Figura 10). O homem, desde o início de sua existência, produz elementos artísticos associados a ornamentos, revelando assim, seu poder de criatividade, representando os símbolos de cada época e colocando em destaque a dimensão estética do mundo material, ou mesmo das formas naturais.

Figura 10: Adornos, ornamentos e objetos de arte produzidos em ágata:



(A) gral / amofariz e pistilo em ágata (Fonte: ZENZ, 2005); (B) camafeu produzido com utilização da técnica de glíptica em Idar – Oberstein (Fonte: ZENZ, 2005); (C), (D) e (E) camafeus em ágata expostos no Museu em Idar – Oberstein; (F) e (G) camafeus em ágata da época romana expostos no Museu Nacional de Arqueologia em Portugal; (H) e (I) utensílios feitos em ágata (Fonte: ZENZ, 2005) e (J) sopeira em ouro e esmalte com camafeus do ano de 1649, ourivesaria barroca (Fonte: SILVA, 2009).

Segundo Gola (2008), ser adorno, geralmente usado no corpo, é uma das primeiras características da joia, ao servir-se de materiais metálicos e gemológicos. Esta característica faz com que a joia possa ser um artefato portador de significativo valor estético. Ornamento, ornamentação, ornamental, são derivações do verbo latino *ornare*, que significa, na acepção latina original, “adornar”, que exprime um acréscimo de qualidade e melhoria. Em todos os tempos, a joia, como adorno, tem a intenção de construir novas linguagens, e com elas significados eficientes na elaboração de identidades (GOLA, 2008).

Na antigüidade, sumérios, assírios, egípcios, babilônios, gregos e romanos, utilizavam a ágata como forma de proteção. Nesta época, os homens não tinham conhecimento científico, e as gemas eram utilizadas como amuletos, consideradas como algo misterioso ou ligadas ao espiritualismo. Muitos mitos e lendas foram surgindo neste período, gemas almagoadas ou curativas eram estabelecidas conforme o passar dos anos (ZENZ, 2005).

O atual Museu Nacional de Arqueologia (MNA) na cidade de Lisboa, em Portugal, fundado em 1893, possui em suas coleções um número notável de objetos de joalheria antiga, provenientes desde os primórdios da metalurgia até a Alta Idade Média. A tabela cronológica dos setores do museu conta com as épocas desde a Invasão Árabe até o período Calcolítico Tardio e Antigo. O setor delimitado como sendo da época romana é constituído de inúmeros camafeus em calcedônia (Figura 10F e G).

Na Idade Média, a ágata era apreciada e desejada por sua magia, enquanto que durante o Renascimento, as gemas eram utilizadas na produção de bacias e vasos (ZENZ, 2005). Na produção destes “objetos de arte”, o desenvolvimento se dava através da técnica da glíptica, que consiste na arte de gravar ou esculpir. Esta foi criada pelas civilizações mesopotâmicas a milhares de anos antes de Cristo, denominada a mais antiga arte de escultura em gemas (MOL, 2009).

Com esta técnica se produzem os camafeus, do latim *cammaeus*, que são objetos para adorno, feito em materiais compostos por camadas ou bandas de cores distintas, formando uma gema entalhada ou esculpida (SCHUMANN, 2006). Os primeiros camafeus datam por volta de 300 AC, confeccionados em Alexandria, no Egito, e eram utilizados em joias, adornos para vestimentas, e também eram esculpidas como selos ou carimbos, para serem usadas como assinatura legal, utilizando cera ou argila (PEDROSA, 2011).

Segundo Pedrosa (2011), os antigos gregos e romanos apreciavam intensamente o camafeu com imagens de deuses e deusas, em cenas mitológicas. O Papa Renascentista Paulo II era um ávido colecionador de camafeus e de acordo com a lenda, sua morte foi causada pelo número excessivo de joias em camafeus que portava nos dedos, as quais teriam, devido à temperatura fria das gemas, o levado a uma pneumonia.

Lendas à parte, até o século XIX os camafeus eram portados também por homens, decorando elmos, capacetes, peitorais de armaduras e punhos de espada, assim como broches e anéis (SILVA, 2009). Ao longo dos séculos, não somente joias, mas também vasos, baixelas, taças e copos foram produzidos em ágata, e apreciados por nobres e pessoas abastadas, entre os séculos XV e XIX.

Por volta de 1828, emigrantes alemães chegaram ao Rio Grande do Sul em busca de calcedônia e encontraram nos cursos de alguns rios uma vasta quantidade de ágata. Com isto, no ano de 1893 começou a exportação de milhares de toneladas deste material à Idar-Oberstein (LEONARDOS, 1973).

O atual centro de excelência na produção de peças gravadas pela arte da glíptica é Idar- Oberstein, na Alemanha, onde são produzidos camafeus e objetos de arte, utilizando ágata, cornalina e ônix (Figura 10B, C, D e E). Antigamente as gemas eram gravadas e esculpidas manualmente com a ajuda de tornos com eixos horizontais, onde o gravador manuseava a gema com precisão adequada para a reprodução dos relevos (SCHUMANN, 2006). Com o avanço da tecnologia, atualmente, as gemas são gravadas e esculpidas com a ajuda de *softwares* especializados (NADUR, 2009).

No Rio Grande do Sul a produção atual destina-se para fins ornamentais, as gemas são trabalhadas para confecção de artefatos e adornos (Figura 11), entre os quais chapas finas e grossas, encosto de livros, cinzeiros, relógios, pirâmides, esferas, obeliscos, espátulas, gemas com lapidação do tipo cabochão, entre outros (SILVA, 2006).

Grande parte das empresas responsáveis pelo beneficiamento da ágata no estado está sediada na região de Soledade, município que faz parte do Arranjo Produtivo Local (APL) de Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. O que se percebe, e que é notável, apesar da abundância de material, é que a maioria dos objetos produzidos e comercializados venha a apresentar baixo grau de inovação no que diz respeito à tecnologia empregada (DUARTE *et al.* , 2010a).

Figura 11: Beneficiamento e produtos disponíveis para venda no comércio em Soledade:



(A) chapas de ágata tingida e expostas para venda; (B) suportes com rolhas feitos em ágata; (C) suporte para canetas em ágata ;(D) geodos tingidos com imagem de Jesus Cristo; (E) conjunto de porta copos associando chapa de ágata e madeira ; (F) relógios; (G) conjunto de abridores de garrafa e saca-rolhas feito com ágata e madeira e (H) pingentes de ágata em formato de trevo.

Está situado no município de Soledade/RS o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas, e Joias do Rio Grande do Sul – CTPedras, sede mantida pela Universidade de Passo Fundo, Prefeitura Municipal de Soledade, e Sindipedras (Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Transformação e Beneficiamento de Pedras Preciosas do Estado do Rio Grande do Sul), com sua implantação no ano de 2006, tendo como instituição conveniada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Sua missão de atuação se baseia em três frentes de fomento: qualificação profissional, através de cursos para a comunidade; desenvolvimento de pesquisa científica e tecnológica; e transferência de tecnologia agregada à prestação de serviços especializados para o setor (SILVA *et al.*, 2010). Este centro é voltado exclusivamente para o setor de gemas e joias, tendo como foco a aquisição de equipamentos para auxiliar o setor industrial deste município e regiões do Vale do Taquari.

A região de Soledade necessita qualificar e inovar seus produtos para competir com o mercado interno e externo. Buscando suprir esta carência dos municípios, o Centro Tecnológico conta com diversos equipamentos de ponta, tais como: digitalizador tridimensional portátil, impressora 3D para prototipagem rápida, máquina de corte e gravação a laser; equipamento de corte por jato d'água, mini-estação para fundição por cera perdida, cabocheira (máquina utilizada para produzir lapidação tipo cabochão), bancadas para ourives, lapidação com catracas mecânicas, laser para corte e gravação, e máquina de estereolitografia.

Segundo pesquisa realizada pelo CTPedras, identificou-se junto as empresas do setor, da região de Soledade, que cerca de 65% do maquinário tem mais de 11 anos de funcionamento, além disto os processos mais utilizados são de baixa complexibilidade, sem a aquisição de equipamentos que possam inovar e agregar valor ao produtos desenvolvidos para o mercado (SILVA *et al.*, 2010).

Até o presente ano, foram qualificadas mais de quinhentas pessoas, através de cursos de capacitação, em parceria com o Senai / RS, Sebrae / RS e Universidade de Passo Fundo, sendo eles: joalheria básica; joalheria contemporânea; desenho de joias; capacitação para a comercialização turística; lapidação de ágata; aprendendo a empreender; redescobrimdo o processo gerencial; projeto virtual de artefatos e joias; e prototipagem rápida (SILVA *et al.*, 2010).

Outros dois municípios gaúchos destacam-se no setor joalheiro com importantes empresas de beneficiamento de gemas e joias, tais como: Guaporé e Gaurama. A região de Guaporé foi colonizada por imigrantes italianos, que trouxeram juntamente com sua cultura a técnica de fabricação de joias. As principais indústrias pioneiras na cidade são da família Sebben e Irmãos Pasquali, que na atualidade contam com equipamentos de última geração para a produção de seus produtos. Atualmente neste município existem cerca de 120 indústrias de joias e folheados.

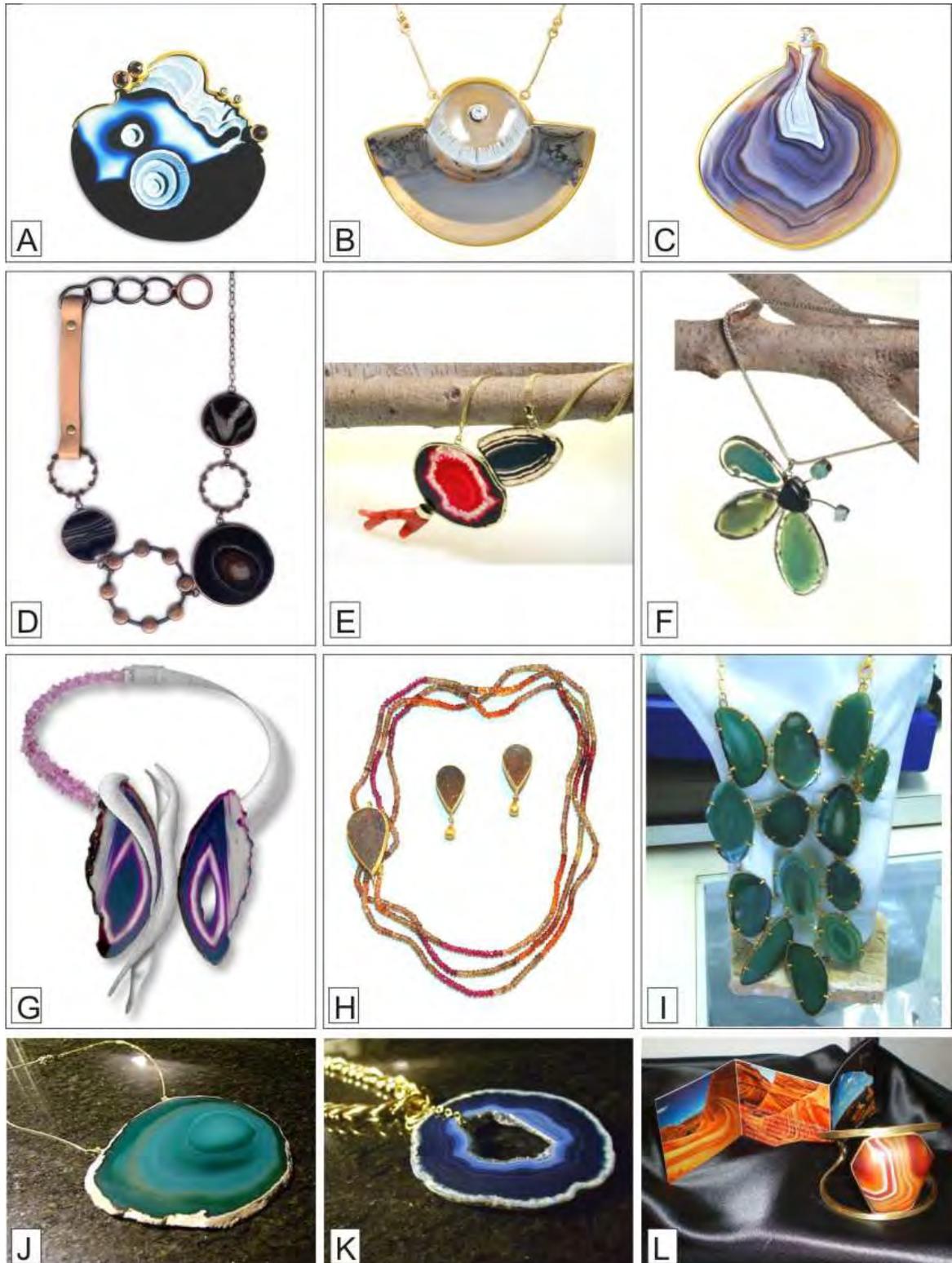
Na cidade de Gaurama situada perto de Erechim, no norte do Rio Grande do Sul, encontra-se localizada a empresa “Belapedra” que trabalha com beneficiamento de diversos materiais gemológicos aliando inovação tecnológica através de equipamentos de ponta e técnicas artesanais na criação de joias e bijuterias. Os processos utilizados nesta empresa são: corte de chapas com disco diamantado, corte manual em chapas planas, e lapidação mecânica manual na forma de cabochões. Entre os processos envolvendo tecnologias, destacam-se: usinagem CNC para anéis em madeira, corte de ágata e metais por jato d’água com abrasivos, maquinário de prototipagem por estereolitografia de moldes em resina, corte a laser para metais, entre outros. A “Belapedra”, por sua vez, possui em sua produção um panorama adequado do ponto de vista do design, tendo um setor de desenvolvimento de novos produtos e execução de projetos.

A lapidação de gemas para uso em joalheira no estado é pequena se comparado com o volume da produção, onde as peças encontradas no comércio são muito parecidas entre si. As joias encontradas no mercado, usualmente são

produzidas com metais de baixo valor agregado (latão, níquel e zamac) e banhadas em metais nobres, como ouro (Au) e prata (Ag).

Muitas vezes para o desenvolvimento de produtos, o designer tem de criar mecanismos com outros materiais para agregar valor a sua coleção (Figura 12). O artista contemporâneo Bernd Munsteiner, nascido em Mörschied, cidade localizada perto de Idar-Oberstein na Alemanha, utiliza em sua criação a ágata, com formas abstratas e tridimensionais. Em suas peças, objetos de arte, esculturas, joias e gemas lapidadas, o artista busca trabalhar com a execução de relevos em partes estratégicas da gema, com diferentes alturas, permitindo a diferenciação do material (MUNSTEINER, 2004). No Brasil podemos citar o trabalho da designer paulista Elisa Stecca, com suas criações inovadoras, explorando a fronteira entre a arte e o design, principal característica de suas peças escultóricas que privilegiam materiais expressivos, como a ágata. Alguns designers e empresas se destacam no estado do Rio Grande do Sul, tais como: Gloria Corbetta, com a produção do colar intitulado “ágata borboleta”, peça exposta na "The soul of Brazil", da GIA (GEMOLOGICAL INSTITUTE of AMERICA), nos Estados Unidos; Claudete Stumpf, com brincos e colares em ágata; Mr Lodi, empresa de Soledade com produção diversificada de peças em ágata; Eliana Colognese com a utilização deste material em chapa, na produção de colares; e Marlova Sperotto com a coleção Deserto do Arizona, bracelete em ouro e ágata.

Figura 12: Joias criadas por designers¹ :



(A), (B) e (C) peças de Bernd Munsteiner (Fonte: MUNSTEINER, 2004); (D), (E) e (F) coleção de colares de Elisa Stecca; (G) Gloria Corbetta, com a produção do colar intitulado "ágata borboleta", peça exposta na "The soul of Brazil", da GIA (GEMOLOGICAL INSTITUTE of AMERICA), nos Estados Unidos; (H) brinco e colar com ágata de Claudete Stumpf; (I) Mr Lodi, colar com chapas de ágata; (J) e (K) peças de Eliana Colognese; (L) Marlova Sperotto com a coleção Deserto do Arizona, bracelete em ouro e ágata fosca.

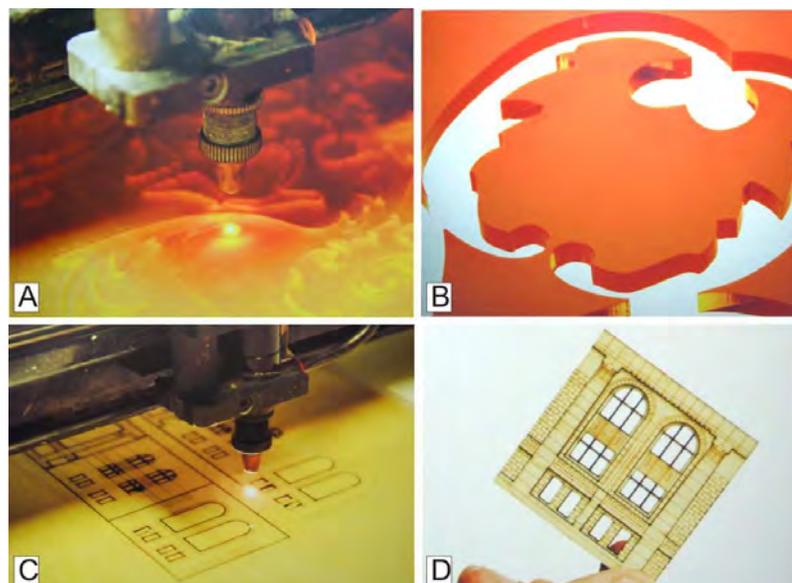
¹ As imagens (D), (E), (F), (G), (H), (I), (J), (K) e (L) que estão sem fonte foram fornecidas pelas designers, como mostra a legenda da figura.

2.3 LASER

O laser (*Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*) é um instrumento de altíssima precisão geométrica, criando inúmeras aplicações às indústrias. Seu funcionamento baseia-se nas leis fundamentais da interação entre a radiação luminosa e a matéria. Esta tecnologia destaca-se pela diversidade de aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento técnico e científico (BAGNATO, 2008).

Com o passar dos anos, o físico americano Charles Hard Townes realizou inúmeros estudos que permitiram o desenvolvimento desta fundamental e importante tecnologia (BAGNATO, 2008; HECHT & TERESI, 1998). Segundo Hecht & Teresi (1998), o princípio básico do laser, é caracterizado por uma fonte de luz que devido à forma com que gera radiação eletromagnética acaba tendo características específicas. É uma ferramenta que permite o usuário controlar a forma e a quantidade de energia dirigida a um determinado lugar (THOMPSON, 2011). Os principais tipos de laser são: gasoso, sólido e líquido (HECHT & TERESI, 1998). Um dos lasers gasosos mais importantes e utilizados para a gravação e corte de materiais é o laser de dióxido de carbono, CO_2 (Figura 13). Ele é constituído de uma ampola contendo uma mistura de dois gases: N_2 e CO_2 .

Figura 13: Gravação e corte a laser:



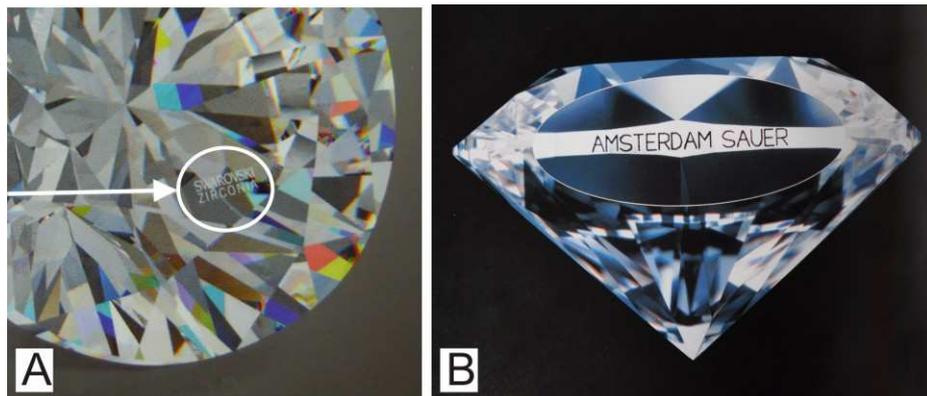
(A) execução do corte a laser em acrílico; (B) peça finalizada; (C) gravação e corte em madeira; (D) detalhe da peça (em C) finalizada (Fonte: Adaptado de Thompson, 2011).

2.3.1 Laser em Gemas

O laser é certamente uma das maiores inovações do século XX, emergindo como uma atrativa ferramenta de pesquisa com grande potencial para diversas aplicações (THOMPSON, 2011).

Neste contexto o processo de gravação a laser em gemas é utilizado muitas vezes por grandes empresas, como forma de garantia e autenticidade. Um exemplo disto é a empresa SWAROVSKI™ Pure Brilliance, que utiliza esta técnica para garantir a seus clientes plena segurança na autenticidade de suas gemas artificiais. A gravação da marca "Swarovski Zircônia" é visualizada com o auxílio de uma lupa (Figura 14A), observando-se o brilho e a perfeição das facetas lapidadas com a mesma técnica do mais perfeito diamante (GENTH, 2010). A Amsterdan Sauer também utiliza este processo para certificar os diamantes. A gravação é feita na parte do rondiz do diamante (Figura 14B), sendo visualizada com auxílio de microscópios ou lupas (SAUER, 2003). Rondiz ou cintura é a linha em torno da parte mais larga de uma gema lapidada, onde a coroa, parte superior da gema, encontra-se com o pavilhão, parte inferior da gema (SCHUMANN, 2006; SAUER, 2003; HALL, 1997).

Figura 14: Empresas que utilizam a gravação a laser:



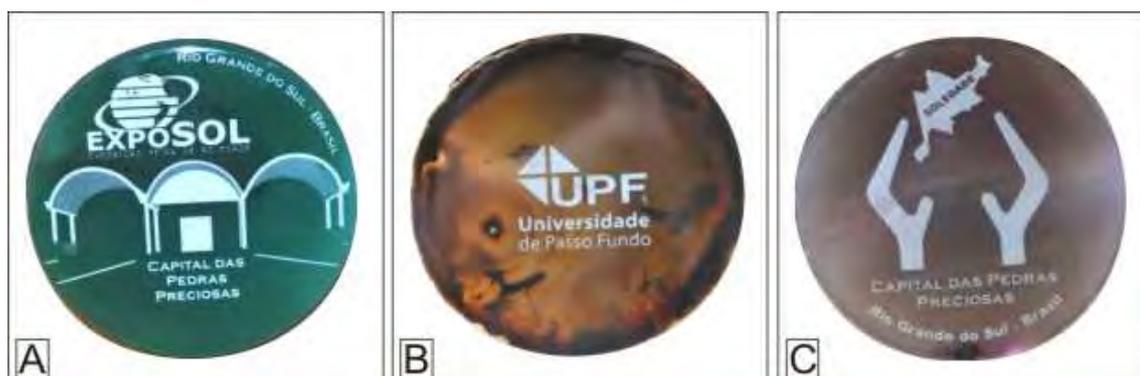
(A) zircônia com gravação a laser (Fonte: GENTH, 2010); (B) diamante com gravação a laser, detalhe da gravação na parte do rondiz (Fonte: SAUER, 2003).

No Rio Grande do Sul, a gravação a laser em ágata é utilizada pelo CTPedras em Soledade; e pela empresa Export Pedras Roque Lopes (<http://www.exportpedras.com.br>), localizada no município de Lajeado, pioneira neste

processo. Desde 1981 a Export Pedras Roque Lopes industrializa, beneficia, comercializa e exporta seus produtos para todo o Brasil. Atualmente outra instituição a ter esta tecnologia laser é o AEPSENAI / Soledade (Agência de Educação Profissional SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) com o equipamento Laser LL – 9060, da empresa Lampe®.

No CTPedras esta tecnologia é utilizada para a prestação de serviços especializados a empresas do setor. O equipamento utilizado é da marca Mira, da empresa Automatisa Sistemas®, onde o meio ativo para a geração da radiação é de CO₂ dopado com N, potência máxima de 30W e lente que define a área de trabalho em 20cm x 20cm (400cm²). A Figura 15 nos mostra algumas peças com gravação a laser na ágata, sendo utilizada a potência de 15W com velocidade de 20 m/min.

Figura 15: Amostras em ágata gravadas a laser:



(A), (B) e (C) peças em ágata gravadas a laser com dimensionamento de 50cm. (Fonte: CTPedras).

No âmbito deste trabalho identificaram-se apenas três locais que possuem o equipamento e a tecnologia de gravação a laser no estado, apresentando condições hábeis na fabricação de produtos com a utilização da ágata.

3. MÉTODOS

Este capítulo apresenta os métodos de investigação específicos a serem utilizados para a aplicação dos testes de interação entre os equipamentos laser e a ágata, para a obtenção da caracterização e padronização do processo. Nele estão inseridos os tópicos “processo de gravação a laser”, abordando as características e localização dos equipamentos utilizados; “métodos desenvolvidos para a aplicabilidade do processo de gravação a laser na ágata”, na qual estão inseridos todos os métodos criados para o desenvolvimento da investigação da tecnologia; “Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV”, método de caracterização da gravação a laser perante o material; e por fim o tópico “métodos utilizados para analisar a superfície do material”, abordando a análise visual das amostras e a utilização de microscópio estereoscópico.

3.1 PROCESSO DE GRAVAÇÃO A LASER

O laser - *Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*, é caracterizado basicamente como um processo tecnológico rápido e muito eficaz, com alto grau de detalhamento nas peças a serem cortadas ou gravadas (BAGNATO, 2008; HECHT & TERESI, 1998). Seu processo se dá através de milhões de pontos que unidos reproduzem a forma do objeto a ser gravado, onde o laser funde o material no local delimitado, removendo o restante do material, sem interferir no detalhamento da peça (DUARTE *et al.*, 2010c; THOMPSON, 2011). Segundo Zhou e Mahdavian (2004), toda a energia do laser é absorvida pelo material e toda a energia absorvida é convertida em calor.

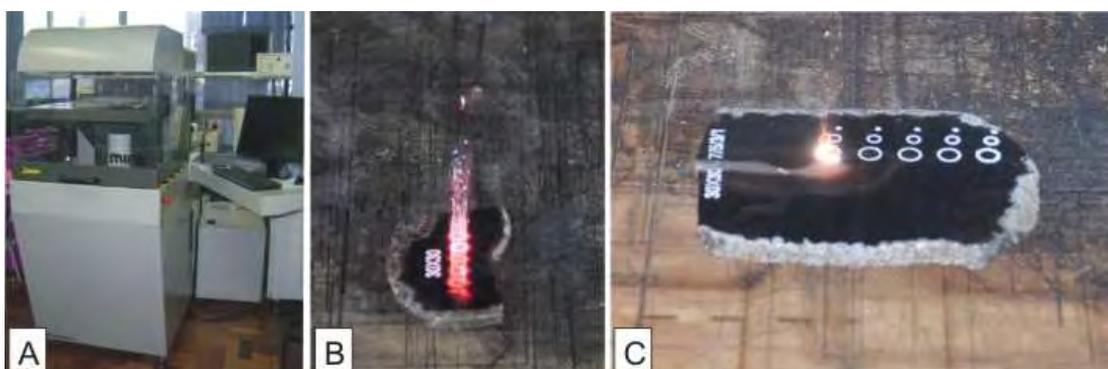
Para o desenvolvimento dos testes de interação entre a ágata e o laser, foram utilizados dois equipamentos da marca Mira, da empresa Automatisa Sistemas[®], localizados no Laboratório de Design e Seleção de Materiais / LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS, e no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul / CTPedras localizado no município de Soledade / RS. O meio ativo para a geração da radiação é de CO₂ dopado com nitrogênio. A movimentação do feixe funciona com sistema galvanométrico e as

áreas de trabalho das máquinas possuem limitações devido aos tipos de lentes acopladas.

Neste trabalho foram utilizados três tipos de lentes e duas potências máximas: lente de 10 cm x 10 cm (100 cm²) e 30 cm x 30 cm (900 cm²) com utilização de potência de 60 W, referente ao laser localizado no LdSM; e lente de 20 cm x 20 cm (400 cm²) com potência de 30 W, equipamento localizado no CTPedras. As lentes utilizadas são do tipo convexo-côncava, ou seja, uma das superfícies é esférico-convexa e a outra esférico-côncava.

A gravação ocorre na ágata pela fusão localizada (Figura 16), produzindo um material vitrificado de coloração branca devido ao aquecimento, fusão e solidificação em um espaço de tempo restrito, centésimos de segundo (DUARTE *et al.*, 2010c; DUARTE *et al.*, 2010b; CIDADE *et al.*, 2011). O rápido resfriamento do material gera uma textura porosa, especificada como porosidade secundária, dado o fato da ágata já ser um material poroso (JUCHEM, 1999). As dimensões e distribuição desta porosidade gerada são resultantes das variações de velocidades e potências a que as amostras são submetidas considerando as lentes utilizadas, Para este processo foram selecionadas, com critérios visuais, as amostras a serem gravadas, tendo sido excluídas as amostras com presença de quartzo macrocristalino, indenticado na Figura 1.

Figura 16: Processo de Gravação a laser na ágata:



(A) máquina de corte e gravação a laser localizado do LdSM / UFRGS; (B) e (C) processo de gravação na ágata.

3.2 MÉTODOS DESENVOLVIDOS PARA A APLICABILIDADE DO PROCESSO DE GRAVAÇÃO A LASER NA ÁGATA

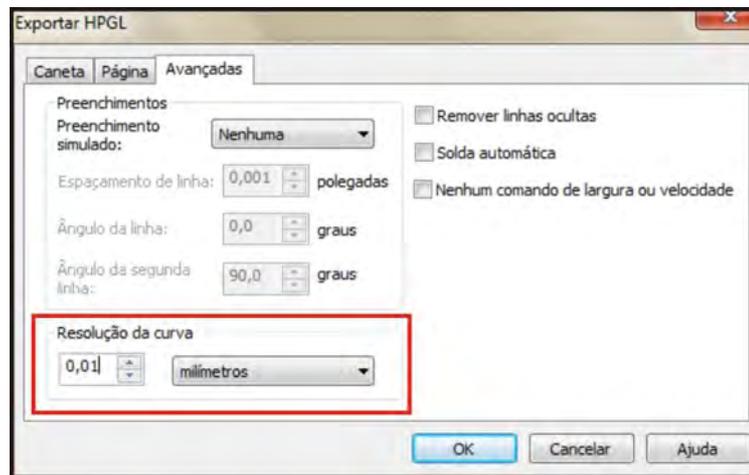
Para a obtenção dos estudos de interação entre o laser e a ágata foram desenvolvidos dois métodos de investigação: a criação de formas gráficas para a gravação, e a utilização de dois tipos de exportação de arquivos. Estes métodos foram aplicados tanto em ágata com tingimento bem como em ágata sem tingimento.

Primeiramente foram criados desenhos com formas retas, a fim de testar diferentes graus de detalhamento em dimensões variadas. Os traços retos foram criados no programa CorelDRAW X4[®], caracterizado por ser um *software* de desenho vetorial bidimensional, onde foram exportados em plt. (*arquivo de plotadora HPGL*). As formas retas são caracterizadas por não apresentarem o uso de grandes complicações visuais, utilizando traços simples (FRUTIGER, 1999). Para estas formas serão utilizados traços simples, com linhas retas e com grande espaçamento (1.5mm) entre elas.

Posteriormente foram criadas formas arredondadas, utilizando quatro dimensões de círculos (7, 5, 3 e 1 milímetros) para verificar a resolução da curvatura do traçado. As formas arredondadas envolvem as propriedades de todo um conjunto, ou seja, uma linha não tem início nem fim e circunda em um centro invisível, dando origem a uma linha circular ideal (FRUTIGER, 1999).

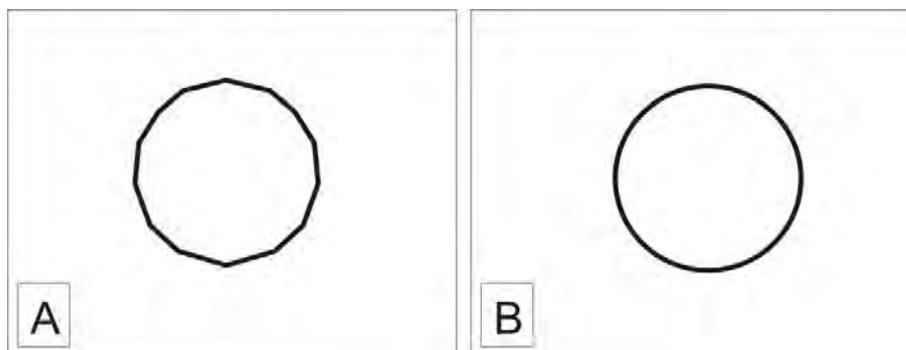
Os círculos foram desenhados e exportados em extensão do tipo plt., tal como nas formas retas. Com a utilização destes arquivos, observou-se que no *software* Automatisa Laser Draw[®], os círculos ficavam com arestas em seu traçado. Optou-se então por adotar dois tipos de configurações de exportação. A primeira configuração analisada foi determinada automaticamente pelo programa, e a segunda programada no formato avançado com resolução de curvatura de 0,01 mm, como pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17: Reprodução da janela do programa CorelDRAW X4[®], para a exportação de arquivos do tipo plt., onde são definidos os parâmetros avançados para exportação de linhas curvas, com resolução de 0,01 mm (indicação em vermelho).



Estes procedimentos foram utilizados para melhorar o traçado da curvatura, gerando uma gravação contínua e uniforme. Com esta investigação observou-se que utilizando resoluções maiores ($>0,01$ mm) às formas arredondadas reproduzem arestas (Figura 18A), gerando uma gravação não uniforme e segmentada. Quando é utilizada a resolução pré-determinada por esta pesquisa (Figura 18B), ou seja, a configuração de exportação no formato avançado, o traçado de gravação é contínuo e não há a presença de arestas.

Figura 18: Método de investigação de configuração de arquivo do tipo plt.:



(A) configuração programada pelo *software* com resoluções maiores ($>0,01$ mm), indicando as arestas do traçado; (B) configuração para exportação de curvatura com resolução de 0,01 mm (adequada).

Outro tipo de teste submetido para a interação do laser foi a utilização de arquivos de imagens em jpeg (bitmaps JPEG - *Joint Photographic Experts Group*). Os “objetos de uma imagem” são formados pela junção de pequenos pontos chamados “pixels”. A composição ordenada dos pixels, na forma de uma grade, compõe uma imagem digital (MARTINS, 2003). Dessa forma, uma imagem inteira é representada por um conjunto de pixels que constituem uma matriz (linhas e colunas). A quantidade de pixels por unidade física em uma imagem é chamada de resolução. Segundo Martins (2003), a resolução de uma imagem é geralmente medida em dpi (*dot per inch* ou *pixels por polegada*). A resolução de uma imagem refere-se ao número de pixels que a compõe. A qualidade de uma imagem depende exclusivamente de sua resolução. Isto é, quanto maior a resolução, mais pontos estão sendo utilizados para determinar a riqueza de detalhes da própria imagem, melhorando sua qualidade.

Foram criados no *software* CorelDRAW X4[®], a forma geométrica de dez (10) quadrados, sendo o primeiro preenchido com 100% de saturação em preto, e decrescendo de 10 em 10% de tons de cinza para cada quadrado subsequente. Estes conjuntos de quadrados foram exportados com resoluções de 150 dpi, 200 dpi e 300 dpi, e testados em amostras de ágata nos equipamentos, localizados no LdSM e no CTPedras.

Entre a simplicidade e a complexidade das formas desenvolvidas para a aplicação do processo de gravação a laser, se analisou qual o melhor desenho e parâmetro a ser aplicado. Após as delimitações dos melhores métodos de investigação, tanto nos processos tecnológicos como na formatação e criação dos desenhos a serem empregados, parte-se para a etapa de aplicação destas tecnologias no material gemológico, a fim de verificar, caracterizar e padronizar o processo.

3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV

A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura é hoje considerada uma das mais importantes ferramentas de investigação disponíveis para o estudo de estruturas superficiais de amostras. As imagens são de alta resolução, sendo na atualidade o equipamento mais utilizado na pesquisa de materiais. As superfícies

das amostras a serem examinadas são varridas com um feixe de elétrons que são refletidos e retroespalhados, dentre outros efeitos (CANEVAROLO, 2003; CALLISTER, 2006).

Para caracterizar a interação entre o laser e o material gemológico utilizou-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) em equipamento Hitachi® modelo TM 3000, com imagens eletrônicas do tipo BSE (*back scattered electron*). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, sendo que o equipamento opera com aumentos de até 30.000 vezes. O total de imagens eletrônicas observadas foi de 561.

3.4 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANALISAR A SUPERFÍCIE DO MATERIAL

O processo de gravação a laser na ágata produz um material vitrificado de tonalidade branca (DUARTE *et al.*, 2010c; CIDADE *et al.*, 2011). Este material vitrificado de tonalidade branca é o resultado da fusão da calcedônia pela ação do laser, sob elevadas temperaturas ($\geq 1700^{\circ}\text{C}$), que transforma o material cristalino em amorfo, ou seja, um material vitrificado, tendo sido esta destruição da estrutura cristalina caracterizada por difratometria de raio X - DRX (DUARTE *et al.*, 2010c). Este material vitrificado gera uma rugosidade (aspereza) nas superfícies das amostras gravadas. Estas irregularidades nas superfícies da ágata são perceptíveis ao reconhecimento pela mão humana, em especial a ponta dos dedos, chamada de percepção tátil. Essas irregularidades são entendidas como rugosidade, que é toda característica encontrada na superfície de um material, após ser exposto a algum processo tecnológico (SILVA, F. P., 2006). Para analisar e avaliar melhor as superfícies gravadas das amostras de ágata com as lentes, velocidades, potências e intensidades delimitadas, utilizou-se o microscópio estereoscópico SZX16, da marca Olympus®, localizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – UFRGS. A visualização e análise das imagens geradas neste microscópio é feita pelo *software* AnalySIS Starter®. Este equipamento possui uma abertura numérica máxima (N.A.) de 0.30, produzindo resolução de 900 pares de linhas por milímetro.

Após a delimitação dos métodos de investigação a serem utilizados nesta dissertação, parte-se para a etapa dos resultados e análises apresentadas conforme a aplicação das tecnologias.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados a partir dos métodos desenvolvidos e descritos no capítulo 3, abordando todos os passos e procedimentos utilizados para a realização deste estudo. Nele está inserido primeiramente o tópico “gravação em arquivo do tipo plt.”, com os sub-tópicos de aplicação das “formas retas e arredondadas”; apresentando todos os parâmetros utilizados nos testes de gravação em ágata, tingida e sem tingimento, “análise da interação entre o laser e o material ao Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV: arquivos do tipo plt.”, para análises de lentes, velocidades e potências, tanto do equipamento localizado no LdSM, quanto do equipamento localizado no CTPedras. Os resultados obtidos por microscopia e análise da intensidade do laser em cada lente, no sub-tópico “lentes utilizadas”, auxiliam na definição dos melhores parâmetros para a gravação.

A partir desta definição, foi realizada a “avaliação da gravação a laser do tipo plt. em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados”, em 5 amostras de ágata tingida em 6 cores diferentes (azul, preto, verde, vermelho, rosa, roxo) e cinco amostras de ágata sem tingimento, totalizando 35 amostras, buscando validar os parâmetros estatisticamente. Após, em amostras de ágata tingida foram realizados os “testes de espaçamento entre os traçados e espessuras da zona de influência da área gravada”, que visam identificar a espessura da zona de influência do laser, em escala micrométrica, que irá determinar o espaçamento entre as linhas. Este ponto é extremamente importante, pois padroniza que parâmetros devem ser levados em consideração durante o processo criativo dos desenhos em arquivos do tipo plt. a serem gravados na ágata. Por fim, no sub-tópico “análise da superfície do material: exportação do tipo plt.”, é de grande importância nesta pesquisa, pois irá qualificar e quantificar a superfície de todas as amostras de ágata.

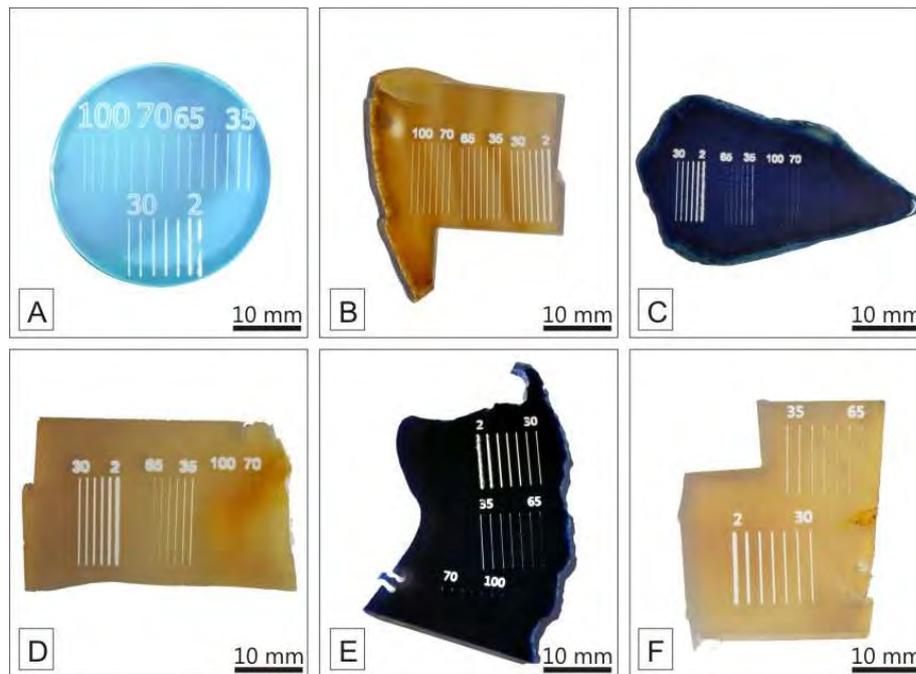
Com a investigação finalizada no tópico acima, partiu-se para a análise da “gravação em arquivos de imagens em jpeg (*bitmaps jpeg*), em 131 amostras de ágata, apresentando os métodos de investigação tanto nos equipamentos do LdSM quanto no CTPedras das “formas geométricas”, e “avaliação da gravação a laser do tipo jpeg em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados”.

4.1 GRAVAÇÃO EM ARQUIVO DO TIPO plt. (arquivo de plotadora HPGL)

4.1.1 Formas Retas e Arredondadas

Os traços retos criados para a aplicação do processo de gravação foram abertos no *software* Automatisa Laser Draw[®], desenvolvido pela empresa Automatisa Sistemas[®]. Os ensaios foram feitos com potências de 60 W e 30 W, velocidades variando entre 2 a 100 m/min, quais sejam 2, 5, 10, 15, 20, até 100, variando de 5 em 5 m/min. Foram utilizadas todas as lentes delimitadas anteriormente, como podemos observar na Figura 19.

Figura 19: Testes de gravação para traços retos, nos diferentes equipamentos, em ágata tingida e sem tingimento, nos intervalos de velocidades de 100 a 70 m/min, 65 a 35 m/min e 30 a 2 m/min:

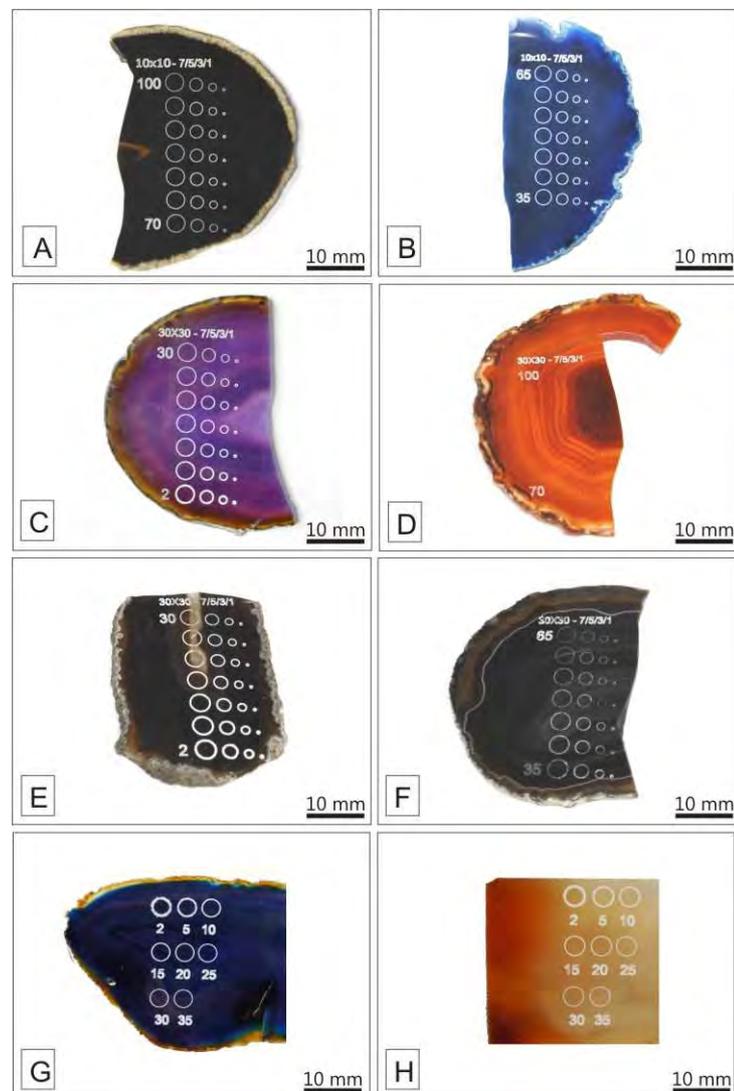


(A) gravação a laser em ágata tingida, com a utilização de lente 10 cm x 10 cm, potência de 60 W, equipamento LdSM; (B) gravação em amostra sem tingimento, lente de 10 cm x 10 cm, potência de 60 W, equipamento LdSM; (C) gravação a laser em ágata tingida utilizando lente 30 cm x 30 cm, potência de 60 W no equipamento LdSM; (D) gravação a laser em ágata sem tingimento utilizando lente 30 cm x 30 cm, potência de 60 W no equipamento LdSM; (E) gravação em amostra de ágata tingida, utilizando lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W do equipamento CTPedras; e (F) amostra de ágata sem tingimento, utilizando lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W do equipamento CTPedras.

Nas formas arredondadas, com a utilização de círculos, foram utilizadas as mesmas programações de variação de velocidade, potência e resolução de lentes descritas anteriormente. Os ensaios foram feitos no equipamento localizado no

LdSM / UFRGS, com potência de 60 W, velocidades variando entre 2 a 100 m/min, com o uso da lente de 10 cm x 10 cm (Figura 20A, B e C) e 30 cm x 30 cm (Figura 20D, E e F); e no equipamento do CTPedras / Soledade, lente de 20 cm x 20 cm, com potência de 30 W e velocidades variando de 2 m/min a 35 m/min (Figura 20G e H). Estas velocidades foram delimitadas conforme a gravação satisfatória dos traços retos (Figura 19E e F).

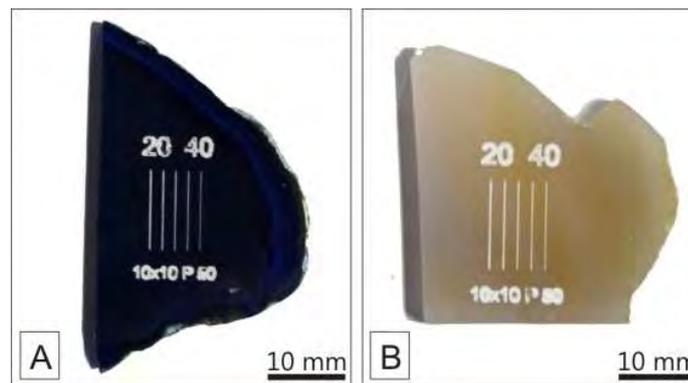
Figura 20: Testes de gravação em formas arredondadas, com potência de 60 W, no equipamento localizado no LdSM, e lentes de 10 x 10 (A, B e C) e de 30 x 30 (D, E e F); e potência de 30 W, no equipamento localizado no CTPedras com lente de 20 x 20 (G e H):



(A) utilização de lente de 10 cm x 10 cm, gravação com velocidade de 100 a 70 m/min; (B) utilização de lente de 10 cm x 10 cm, gravação com velocidade de 65 a 35 m/min; (C) utilização de lente de 10 cm x 10 cm, gravação com velocidade de 30 a 2 m/min; (D) utilização de lente de 30 cm x 30 cm, gravação com velocidade de 100 a 70 m/min; (E) utilização de lente de 30 cm x 30 cm, gravação com velocidade de 65 a 35 m/min; (F) utilização de lente de 30 cm x 30 cm, gravação com velocidade de 30 a 2 m/min; (G) e (H) utilização de lente de 20 cm x 20 cm, gravação com velocidade de 2 a 35 m/min.

Após os testes com as três lentes, quais sejam, a de 10 x 10 e 30 x 30 no LdSM e a de 20 x 20 no CTPedras, com os equipamentos operando em potência máxima, de 60 e 30 W, respectivamente, achou-se coerente utilizar a lente de 10 x 10 com potência reduzida para 50 % no equipamento do LdSM, que passou a operar então com potência de 30 W. O intervalo selecionado para este ensaio foi o que mostrou os resultados mais satisfatórios, tanto do aspecto tátil, quanto no visual, que é de velocidades entre 20 m/min e 40 m/min, para os traços retos (Figura 21). O motivo para a execução deste teste foi a verificação da utilização da lente encontrada no equipamento do LdSM / UFRGS com a utilização da mesma potência do equipamento do CTPedras / Soledade.

Figura 21: Testes de interação dos traços retos entre o equipamento localizado no LdSM e a ágata:



(A) linhas com velocidades de 20 a 40 m/min e potência de 30 W, em amostra de ágata tingida; (B) linhas com velocidades de 20 a 40 m/min e potência de 30 W, em amostra de ágata sem tingimento.

4.1.2 Análise da interação entre o laser e o material ao Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV: arquivos do tipo plt.

Nas imagens eletrônicas de varredura todas as amostras de ágata analisadas nesta etapa de pesquisa são tingidas e sem tingimento.

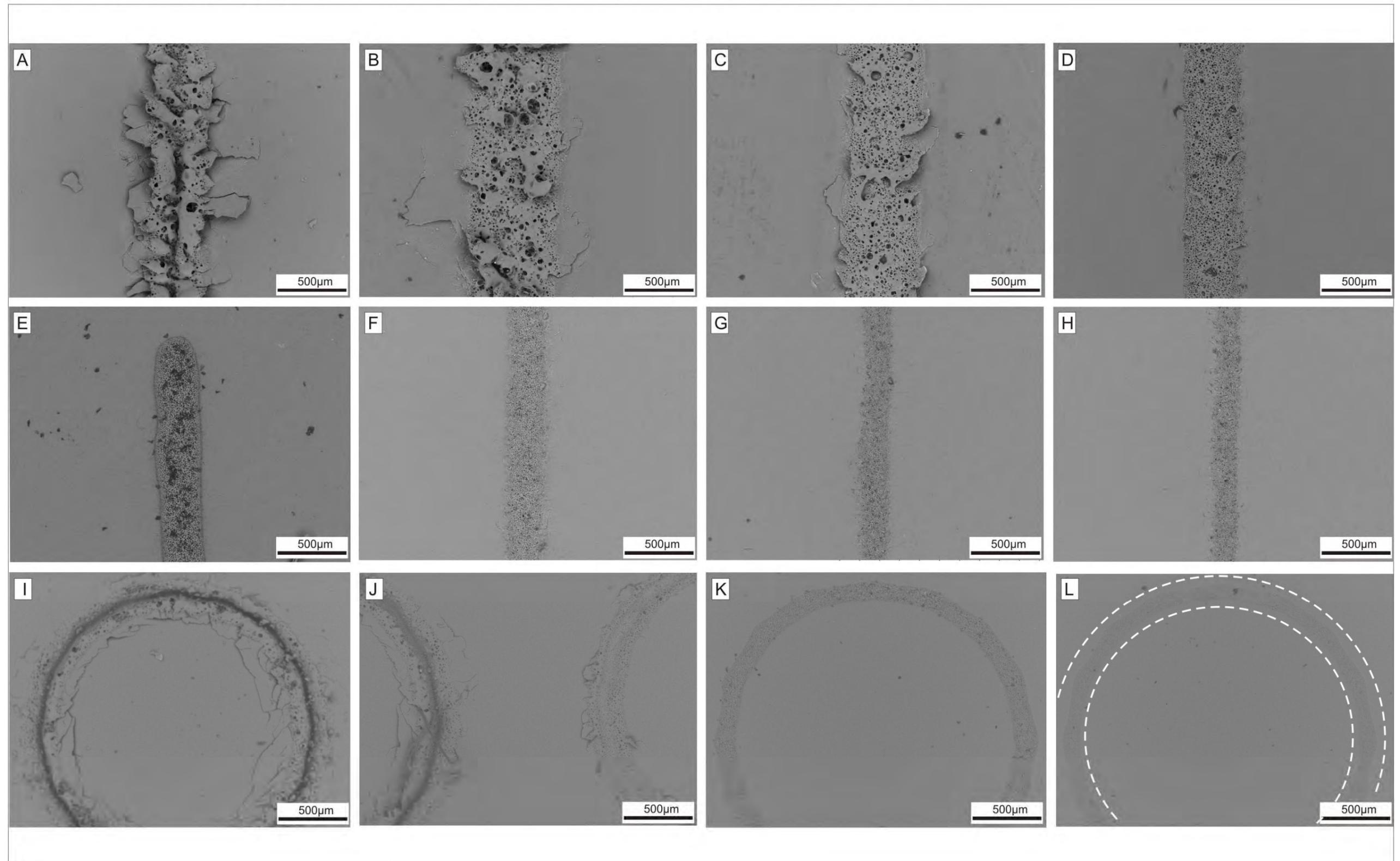
4.1.2.1 Lente 10 cm x 10 cm e potência de 60 W - LdSM

Nos resultados obtidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm, potência de 60 W, podemos analisar que

tanto nas amostras de traços retos e círculos (Figura 22), com velocidade de 2 m/min o traçado do laser fica mais profundo e com maior área de abrangência (Figura 22A, I e J). A área de abrangência é de aproximadamente 1 mm, pois a alta temperatura do feixe laser interage por mais tempo no material gerando fraturas de expansão térmica nas adjacências do traçado (JUNKE, J. & XINBING, W., 2008). Quanto mais lenta a velocidade em que o laser passa pelo material, mais fraturas são observadas nas adjacências, devido a pouca capacidade deste material em conduzir calor. Com esta velocidade a gema permanece por um intervalo maior a temperaturas extremas, ocorrendo fusão localizada e solidificação mais lenta.

A gravação das linhas com velocidades progressivamente superiores a 2 m/min (Figura 22A), quais sejam de 5 m/min (Figura 22B), 10 m/min (Figura 22C) e 20 m/min (Figura 22D), também têm como resultado um traçado profundo e de área de abrangência significativa, mas fraturas com menor frequência de ocorrência por área que as observadas na velocidade de 2 m/min. Já na gravação do círculo com velocidade de 2 e 5 m/min, o traçado fica um pouco menos profundo mas com menor visibilidade (Figura 22J). Os traçados com velocidades de 30 m/min, tanto em linhas (Figura 22E) e círculos (Figura 22K), apresentaram melhores resultados de gravação, com bom acabamento e poucas fraturas aparentemente. O traçado com esta velocidade fica mais bem definido, pois o tempo de interação do laser diminui e não acumula calor suficiente para fraturar o material. As velocidades de 40 m/min e 55 m/min (Figura 22F e G), apresentam uma gravação com linhas finas e irregulares, com pouca visibilidade do traçado, mesmo ao MEV. Para as velocidades acima ou igual a 65m/min, as linhas (Figura 22H) começam a ficar pouco perceptíveis e com menor espessura do traçado, os círculos, nas imagens de BSE a partir desta velocidade, são pouco perceptíveis (Figura 22L), dificultando a análise do resultado na imagem. As diferentes configurações para exportação das formas arredondadas, conforme descritas anteriormente (Figuras 17 e 18) podem ser mais bem analisadas por imagens eletrônicas. Ao ser utilizada a configuração de exportação de curva em 0,5 mm, os segmentos de reta com esta resolução de curvatura, são facilmente percebidos tanto a vista desarmada quanto ao MEV (Figura 23A), tendo a presença de arestas. Quando a resolução é de 0,01 mm, o segmento de reta que forma este traço curvo não é percebido nem a vista desarmada, nem mesmo nas imagens eletrônicas (Figura 23B), sendo o resultado desta gravação um traço curvo mais uniforme, tanto em espessura quanto a percepção tátil.

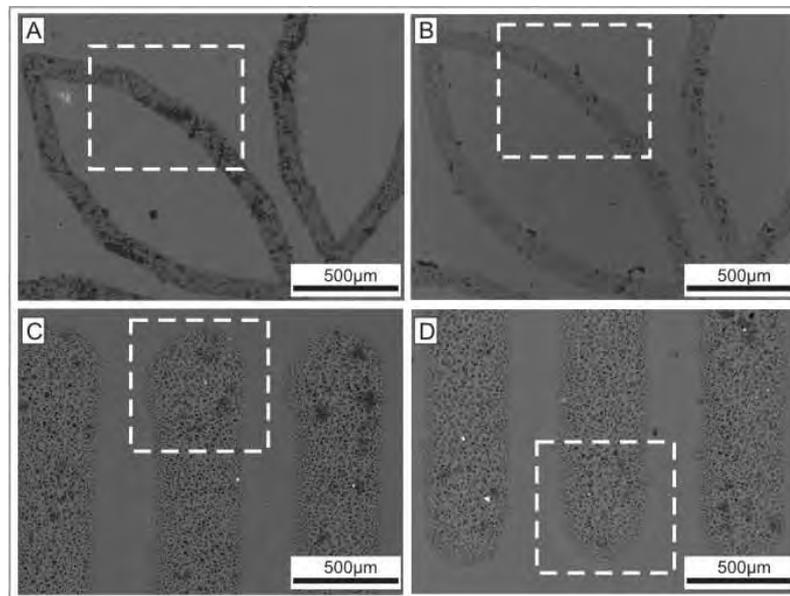
Figura 22: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos (A, B, C, D, E, F, G e H) e círculos (I, J, K, L) com a utilização de lente 10 cm x 10 cm:



(A) velocidade de 2 m/min,(B) velocidade de 5 m/min; (C) velocidade de 10 m/min; (D) velocidade de 20 m/min;(E) velocidade de 30 m/min;(F) velocidade de 40 m/min;(G) velocidade de 55 m/min;(H) velocidade de 65 m/min; (I) velocidade de 2 m/min; (J) velocidades de 2 m/min à esquerda da imagem e 5 m/min à direita; (K) velocidade de 30 m/min; e (L) velocidade de 65 m/min delimitada através de tracejado para uma melhor visualização.

A presença de diferenciação em todos os segmentos dos traços curvos (Figura 23A e B), e no início (Figura 23C) e final (Figura 23D) das linhas gravadas também podem ser visualizados nas imagens obtidas ao MEV. A interação do laser durante o segmento curvo, e no início e final das linhas, apresentam uma maior descarga de fonte CO₂, por esta razão os formatos das gravações apresentam uma leve deformação.

Figura 23: Imagens eletrônicas de varredura em traços curvos com diferentes configurações de exportação (A e B) e diferenciação de gravação em traços retos (C e D):

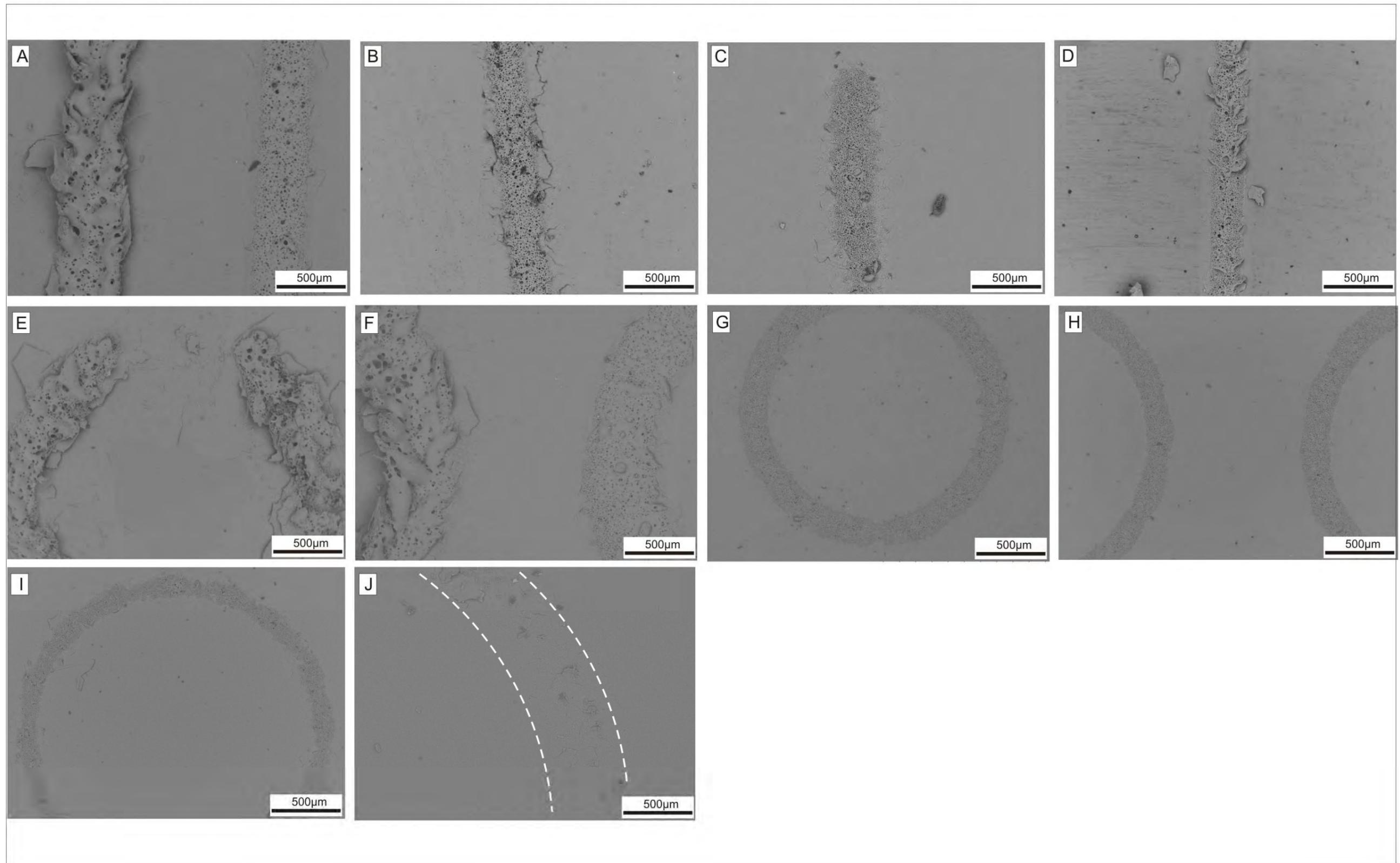


(A) visualização da gravação dos traçados curvos com configuração de exportação de curvatura em 0,5 mm, detalhe tracejado identificando segmento com a presença de arestas; (B) gravação com traçados curvos com resolução de curvatura de 0,01 mm, detalhe com a visualização de uma gravação uniforme e definida; (C) imagem da interação no início da gravação a laser, e detalhe da deformação executada; e (D) imagem da interação no final da linha com demarcação da área gravada.

4.1.2.2 Lente 30 cm x 30 cm e potência de 60 W - LdSM

Para os desenhos feitos com a lente de 30 cm x 30 cm e potência de 60 W fica evidente a presença de fraturas e traços com menor profundidade para velocidades entre 2 e 30 m/min, tanto para os traços retos bem como para os círculos (Figura 24). Nas linhas e círculos com velocidade de 30 m/min (Figura 24C, H e I) ainda persistem fraturas de expansão térmica, ocasionando uma gravação com rugosidade na superfície perceptível ao tato e visível à vista desarmada.

Figura 24: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos (A, B, C e D) e círculos (E, F, G, H, I, J, K e L) com a utilização de lente 30 cm x 30 cm:



(A) velocidade de 2 m/min à esquerda da imagem e 5 m/min à direita, (B) velocidade de 20 m/min; (C) velocidade de 30 m/min; (D) velocidade de 65 m/min; (E) velocidade de 2 m/min; (F) velocidade de 2 m/min à esquerda da imagem e 5 m/min à direita; (G) velocidade de 10 m/min; (H) velocidade de 25 m/min à esquerda da imagem e 30 m/min à direita; (I) velocidade de 30 m/min; e (J) velocidade de 45 m/min delimitada através de tracejado para uma melhor visualização.

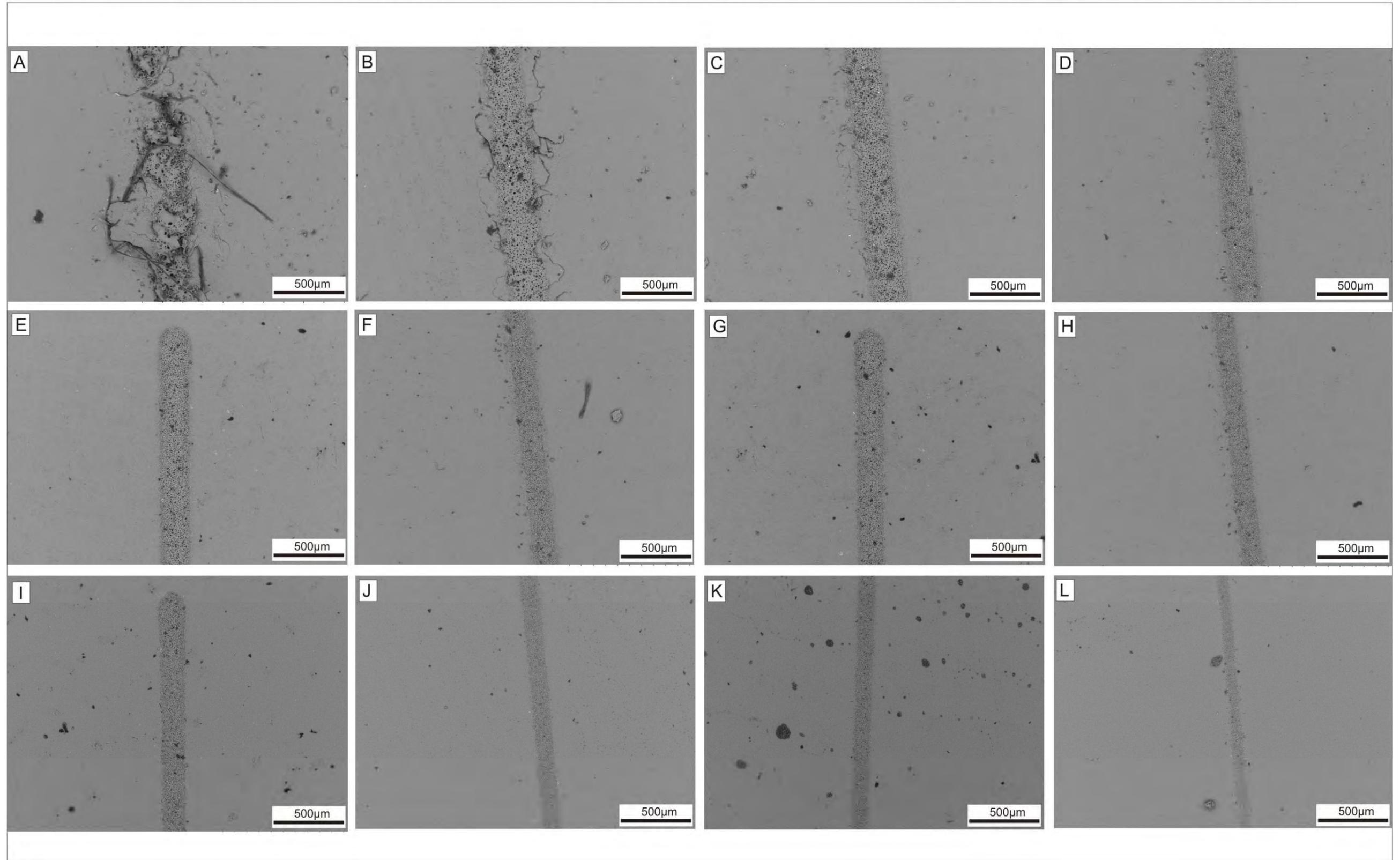
A partir da velocidade de 45 m/min (Figura 24J) a análise por imagem eletrônica fica dificultada, pois o contraste entre a zona de interação do laser com o material é pouco perceptível.

4.1.2.3 Lente 20 cm x 20 cm e potência de 30 W - CTPedras

Nas imagens eletrônicas de varredura das linhas e círculos gravados com a lente de 20 cm x 20 cm e potência de 30 W é observado que na velocidade de 2 m/min (Figuras 25A e 26A), o traçado do laser não é tão profundo quanto os observados nas imagens referentes aos traços feitos com as lentes de 10 cm x 10 cm e 30 cm x 30 cm, com potência de 60 W (Figuras 22A, 22I e 24A, 24E). As gravações com esta velocidade, tanto na linha como no círculo, apresentam inúmeras fraturas de expansão térmica, irregularidades na espessura dos traçados, mais evidentes do que com os outros parâmetros (lente e potência). A gravação das linhas e círculos com velocidades de 5 m/min e 10 m/min (Figuras 25B, C e 26B, C), também têm áreas de abrangências não tão definidas, ocasionando uma gravação com acabamento ruim e sem uniformidade. Já às velocidades de 20 m/min, 25 m/min e 30 m/min (Figuras 25D, F, H e 26D, E, F) os resultados são melhores, pois há ocorrência de poucas fraturas. Foi analisado ao MEV, também, a interação, nestas mesmas velocidades (20, 25 e 30 m/min), em amostras de ágata sem tingimento, tendo sido percebido um traçado mais bem definido, com áreas de abrangência constante em espessura (Figura 25E, G e I). Nas linhas e círculos gravados em ágata tingida e sem tingimento, com velocidades de 35 m/min e 45 m/min (Figuras 25J, K, L e 26G), pode-se observar que as espessuras dos traçados são mais finas, sendo que a velocidade de 35 m/min (Figuras 25J, K e 26G) as gravações adquirem os melhores resultados para esta lente, com traços bem definidos e pouca rugosidade.

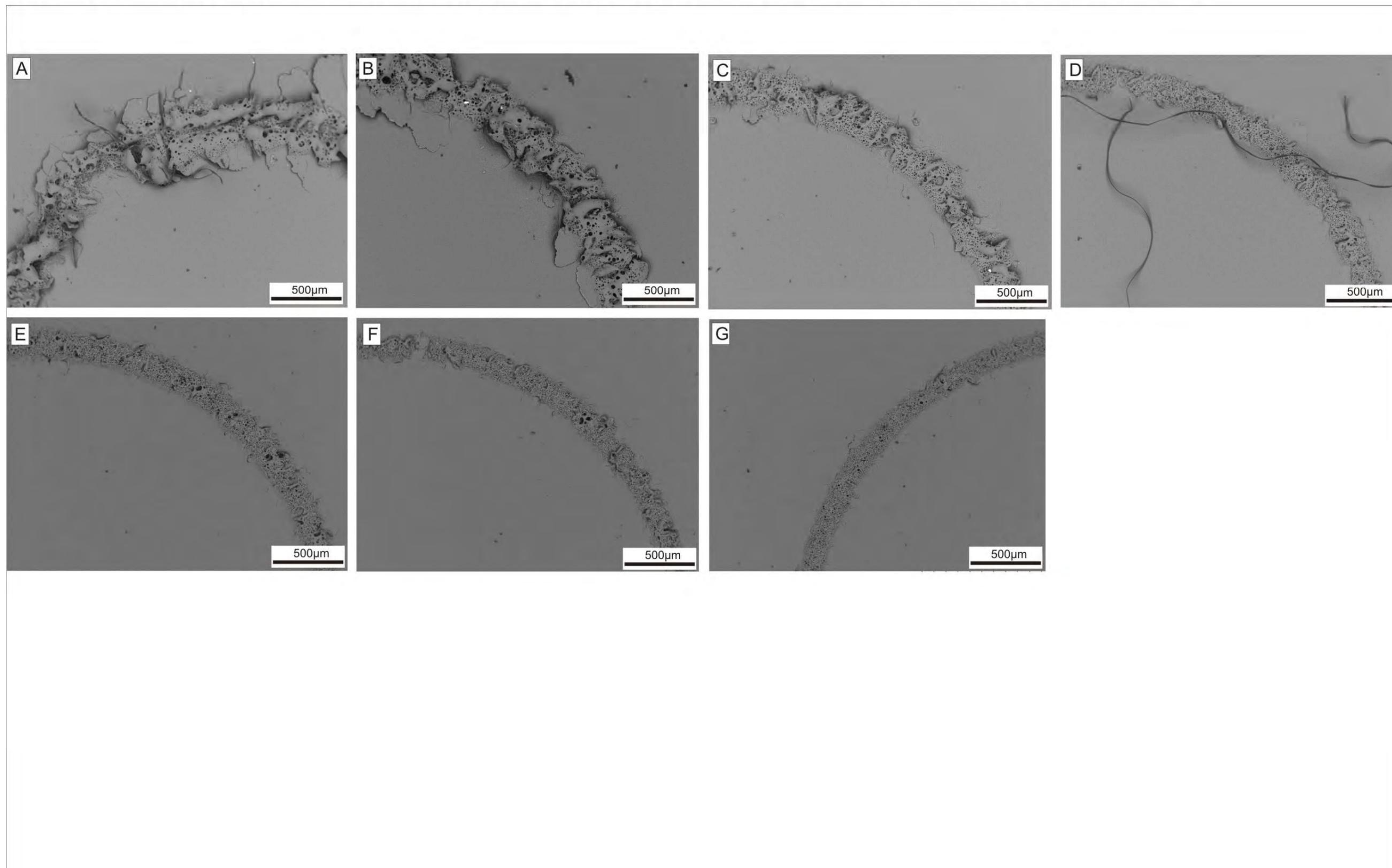
Analisando todas as imagens ao MEV, com esta lente e potência delimita-se que os resultados apresentados nos intervalos de velocidade de 20 m/min a 35 m/min (Figuras 25D, E, F, G, H, I, J, K e 26D, E, F, G), apresentam uma gravação satisfatória com um traço exato, preciso e uniforme.

Figura 25: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos (A, B, C, D, E, F, G, H, I, K e L), amostras tingidas e naturais, com a utilização de lente 20 cm x 20 cm (400 m²) e potência de 30 W (CTPedras):



(A) velocidade de 2 m/min, (B) velocidade de 5 m/min; (C) velocidade de 10 m/min; (D) velocidade de 20 m/min; (E) velocidade de 20 m/min, amostra natural; (F) velocidade de 25 m/min; (G) velocidade de 25 m/min, amostra natural; (H) velocidade de 30 m/min; (I) velocidade de 30 m/min, amostra natural; (J) velocidade de 35 m/min; (K) velocidade de 35 m/min; amostra natural e (L) velocidade de 45 m/min.

Figura 26: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em círculos (A, B, C, D, E, F e G) amostra tingida e natural, com a utilização de lente 20 cm x 20 cm (400 m²) e potência de 30 W (CTPedras):

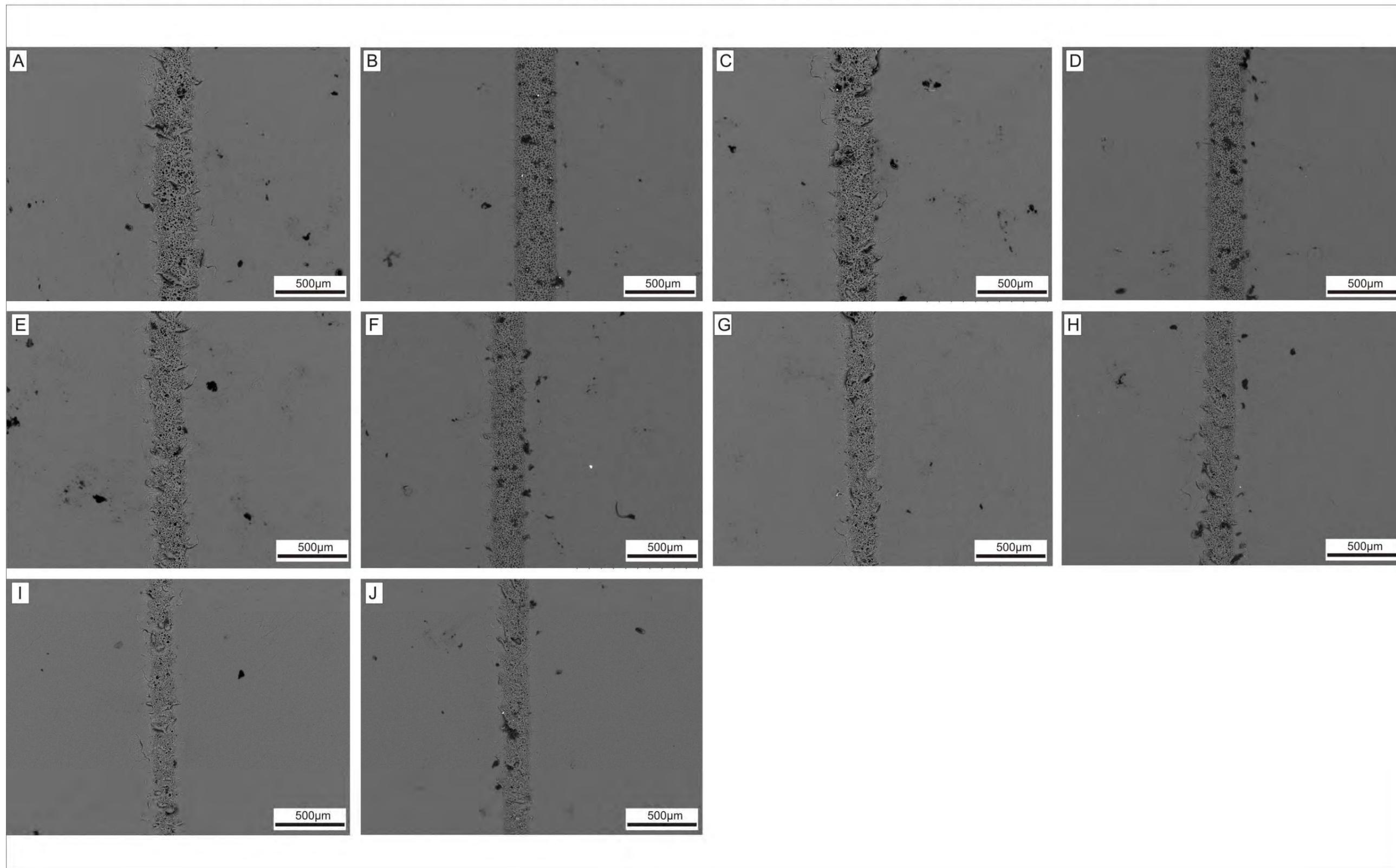


(A) velocidade de 2 m/min, (B) velocidade de 5 m/min; (C) velocidade de 10 m/min; (D) velocidade de 20 m/min; (E) velocidade de 25 m/min; (F) velocidade de 30 m/min; (G) velocidade de 35 m/min.

4.1.2.4 Lente 10 cm x 10 cm e potência de 30 W - LdSM: velocidades de 20 m/min a 40 m/min

As imagens eletrônicas de varredura dos traçados feitos com a lente de 10 cm x 10 cm e potência de 50% da capacidade do equipamento do LdSM, qual seja, 30 W, e para os intervalos com velocidades entre 20 m/min e 40 m/min são mostradas na Figura 27. Observa-se que os traços das amostras com tingimento possuem fraturas nas adjacências (Figura 27A, C, E, G e I) e consecutivamente com o aumento da velocidade a espessura do traçado vai diminuindo, passando de 300 micrometros, aproximadamente, para a velocidade de 20 m/min (Figura 27A) à aproximadamente 150 micrometros para a velocidade de 40 m/min (Figura 27I). Para os traçados observados nas amostras sem tingimento o limite entre a zona de interação do laser e a zona do material gemológico é bem definido, com ausência de fraturas, principalmente para as velocidades de 20 e 25 m/min (Figura 27B e D). Para as velocidades de 30, 35 e 40 m/min, há ocorrência de fraturas pouco pronunciadas e descontínuas (Figura 27F, H e J).

Figura 27: Imagens eletrônicas de varredura com lente 10 cm x 10 cm (100 m²), potência de 30 W (Ldsm) e velocidades de 20 m/min a 40 m/min, amostras tingida (A, C, E, G, I) e natural (B, D, F, H, J):



(A) velocidade de 20 m/min, amostra tingida, (B) velocidade de 20 m/min, amostra natural; (C) velocidade de 25 m/min, amostra tingida; (D) velocidade de 25 m/min, amostra natural; (E) velocidade de 30 m/min, amostra tingida; (F) velocidade de 30 m/min, amostra natural; (G) velocidade de 35 m/min, amostra tingida; (H) velocidade de 35 m/min, amostra natural; (I) velocidade de 40 m/min, amostra tingida; (J) velocidade de 40 m/min, amostra natural.

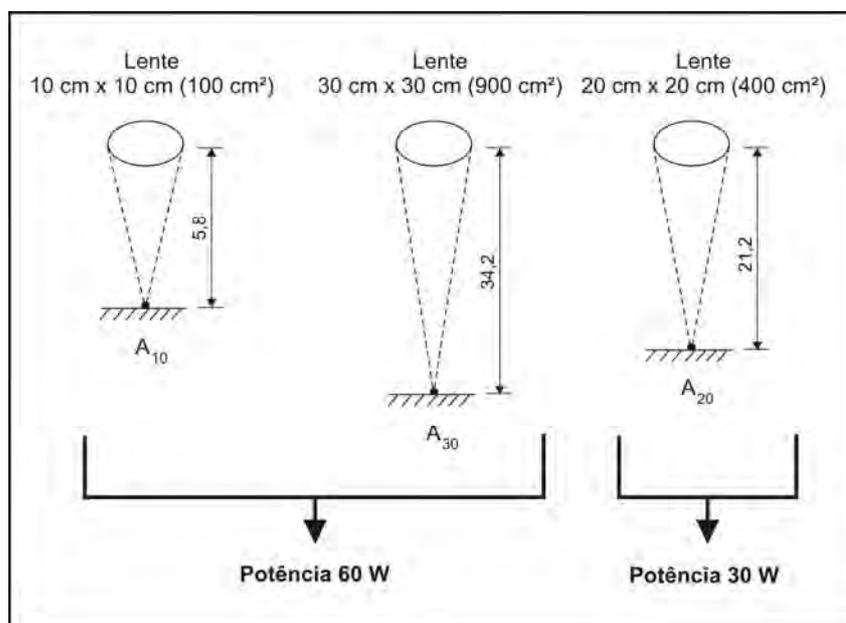
4.1.3 Lentes utilizadas

Com o desenvolvimento dos testes em traços retos e curvos feitos anteriormente observou-se uma diferenciação na gravação a laser conforme a utilização das diferentes lentes e velocidades nos equipamentos. Para avaliar melhor esta constatação, foi efetuada uma análise de cada lente para reconhecer os diferentes parâmetros nos seus manuseios.

No equipamento localizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais / LdSM, com potência de 60 W, a distância focal delimitada pelo fabricante do equipamento, entre a lente e a mesa de trabalho para a lente de 10 cm x 10 cm é de 5,8 cm e para a lente de 30 cm x 30 cm é de 34,2 cm.

Para o equipamento com utilização da lente de 20 cm x 20 cm, CTPedras / Soledade, com potência de 30 W, a distância focal é de 21,2 cm, com uma área de trabalho maior, 400 cm², do que a lente de 10 cm x 10 cm, que tem área de 100 cm², e menor do que a lente de 30 cm x 30 cm, com área de 900 cm². O equipamento utilizado com esta lente (20 cm x 20 cm) possui uma potência 50% menor, se comparada ao equipamento das outras lentes utilizadas (10 cm x 10 cm e 30 cm x 30 cm). Na Figura 28 foi elaborado um esquema comparativo entre as distâncias focais para cada lente.

Figura 28: Representação esquemática da distância focal para cada diferente lente utilizada neste estudo para gravação a laser em ágata.



Outro fator analisado foi a intensidade do feixe laser para os dois equipamentos, que é relacionado à potência e à área. Para a delimitação exata de cada intensidade foi utilizado a fórmula física abaixo (ZHOU e MAHDAVIAN, 2004; GARCEZ *et al.*, 2012), onde I = intensidade, P = potência e A = área:

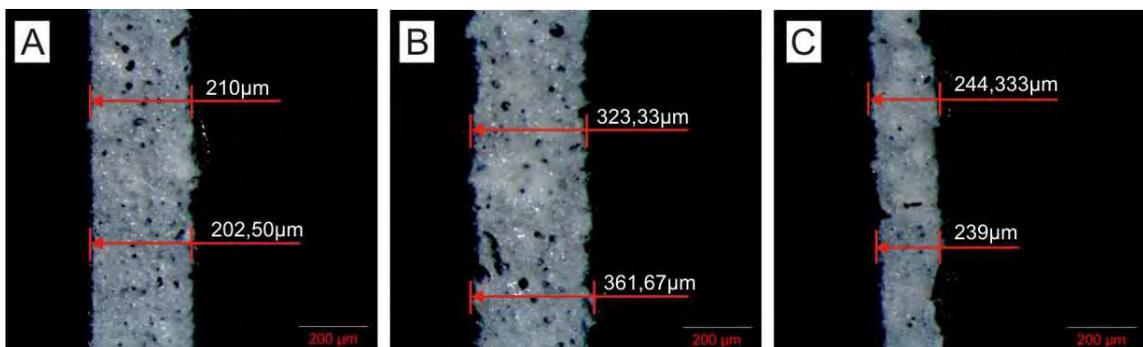
$$I = \frac{P}{A}$$

Para o cálculo da área foi utilizada a fórmula abaixo, onde D = distanciamento das espessuras das linhas:

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

Com esta fórmula pode ser calculado com precisão a intensidade do laser para cada lente. Para a delimitação do D, foram gravados em amostras de ágata, linhas com cada uma das lentes e potências. Estas amostras foram visualizadas no microscópio estereoscópico, com o intuito de delimitar as espessuras para diferentes pontos do traçado, onde este tem limite bem definido, denominadas aqui de distância 1 e distância 2, sendo calculada para fins analíticos a média (Figura 29).

Figura 29: Imagens dos traçados observadas ao microscópio estereoscópico, para delimitação das distâncias 1 e 2, relativas às diferenças de espessura das linhas gravadas a laser para cada diferente lente e potência:



(A) gravação com lente de 10 cm x 10 cm; (B) gravação com lente de 30 cm x 30 cm, e (C) gravação com lente de 20 cm x 20 cm.

Com a definição das espessuras dos traçados pelas medidas, foram calculadas as intensidades das lentes nas relativas potências, distanciamento das espessuras das linhas e áreas, como podemos visualizar na Tabela 1.

Tabela 1: Dados utilizados para a obtenção da intensidade das lentes.

Lente (cm ²)	Veloc. (m/min)	Pot. (W)	Distância 1 (m)	Distância 2 (m)	Média D (m)	Área (m ²)	Intensidade (w/m ²)
10x10	30	60	0,00021	0,0002025	0,00020625	3,34101x10 ⁻⁸	1,7959x10 ⁹
30x30	30	60	0,00036167	0,00032333	0,0003425	9,21321x10 ⁻⁸	6,5124x10 ⁸
20x20	30	30	0,000244333	0,000239	0,000241667	4,58694x10 ⁻⁸	6,5403x10 ⁸

Os resultados obtidos indicam que a área de gravação da lente de 10 cm x 10 cm com potência de 60 W, é menor se comparada com as áreas das outras lentes. Já, para esta lente (10 cm x 10 cm) a intensidade do laser é maior, também se comparada às outras lentes. A intensidade do feixe se dá pela colimação do laser, sendo que a lente de 10 cm x 10 cm o colima com maior eficácia.

Já a lente de 30 cm x 30 cm, com a mesma potência de 60 W, a área de gravação é maior se comparada com as lentes de 10 cm x 10 cm e 20 cm x 20 cm, mas sua intensidade é menor do que a lente de 10 cm x 10 cm.

Na lente de 20 cm x 20 cm, com potência de 30 W, a área é maior que a lente de 10 cm x 10 cm e menor que a de 30 cm x 30 cm, mas por ter sido utilizada em um equipamento com a metade da potência das outras lentes, tem uma intensidade aproximadamente igual a lente de 30 cm x 30 cm. Para o melhor entendimento da intensidade (I) perante as áreas (A) das lentes, pode-se visualizar abaixo a Figura 30.

Figura 30: Esquemática das áreas e suas intensidades, onde A indica as áreas das lentes e I indica as intensidades.

$$A_{30} > A_{20} > A_{10}$$

$$I_{10} > I_{30} \cong I_{20}$$

Com estes dados analisados entende-se melhor porque nos testes executados anteriormente com a lente de 10 cm x 10 cm obteve-se um melhor traçado nas gravações das amostras. Isto se deve à sua intensidade, que é superior as outras lentes. Ainda, verifica-se que a intensidade é inversamente proporcional a área e diretamente proporcional a potência do equipamento.

4.1.4 Avaliação da gravação a laser do tipo plt. em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados

Para se proceder com a padronização dos resultados a serem apontados por este estudo, é pertinente avaliar o desempenho de um dado parâmetro (lente, potência e velocidade) para uma população de amostras representativas. O objetivo destes testes é de verificar se há diferenças no comportamento da gravação a laser para os diferentes tipos de tingimentos feitos com substâncias inorgânicas e orgânicas e para amostras sem tingimento.

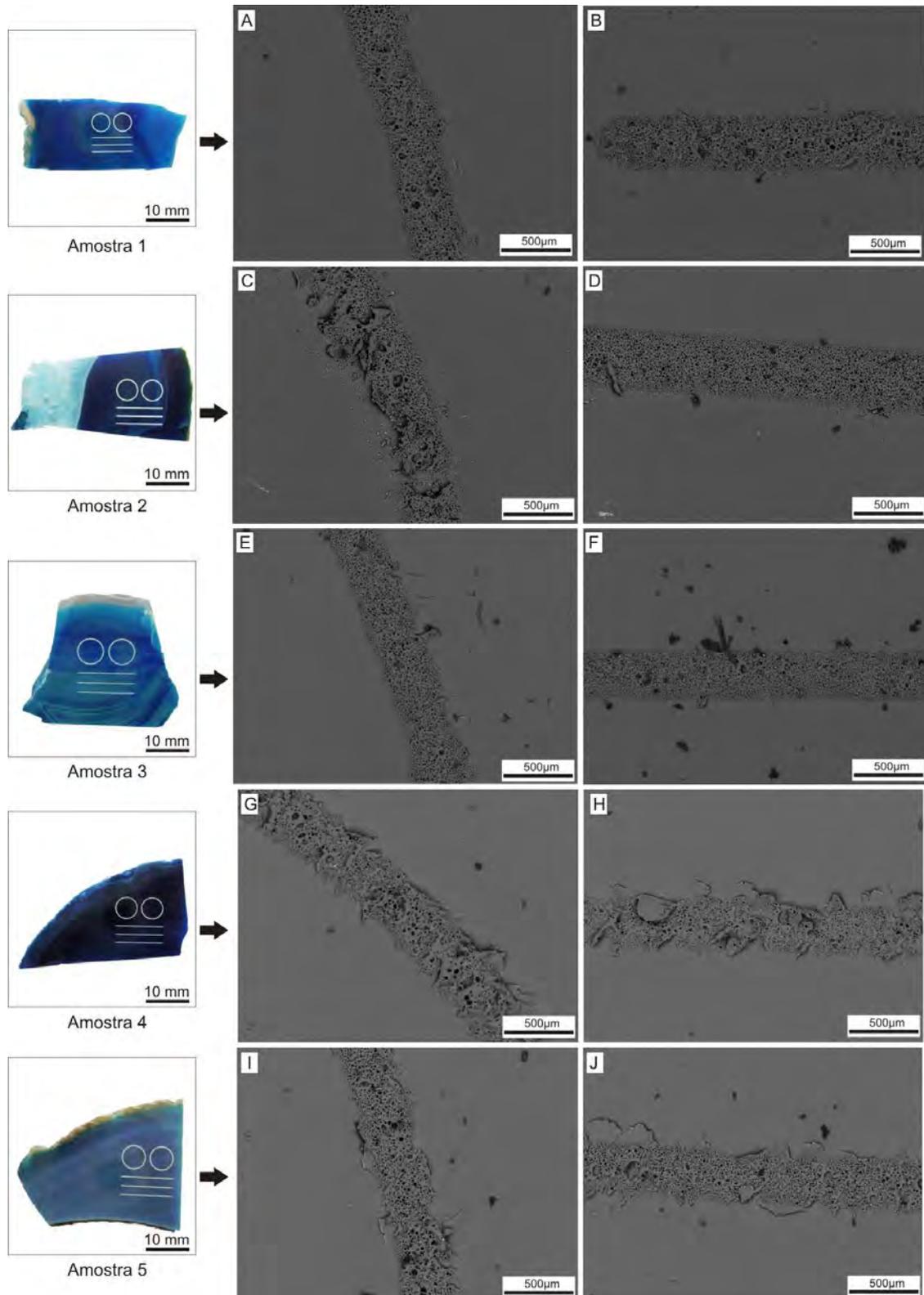
Dentre as características satisfatórias encontradas nos tópicos 4.1.2 e 4.1.3 optou-se por utilizar os desenhos de círculos e linhas com a lente de 10 cm x 10 cm, potência de 60 W e velocidade de 30 m/min. Foram selecionadas cinco amostras (numeradas de 1 a 5) para cada diferente cor de ágata tingida, selecionadas entre as cores de tingimento mais recorrentes feitas pelas indústrias de Soledade, quais sejam: azul, preto, verde, vermelho, rosa e roxa. Ainda foram selecionadas cinco amostras sem tingimento. As amostras possuem tingimento com tonalidades variando de forte a fraco, presença ou ausência de bandamento, e muitas vezes porções de calcedônia que não adquirem tingimento. Com um total de 35 amostras (Figura 31), partiu-se para análise ao MEV, dos dois círculos e das três linhas gravadas.

Figura 31: Conjunto de amostras de ágata com gravação a laser, em arquivo plt., com lente de 10 cm x 10 cm, nas 6 cores de tingimento mais utilizadas em Soledade (a partir do topo: preto, azul, vermelho, verde, rosa e roxa) e em amostras sem tingimento (abaixo).



As primeiras amostras selecionadas foram com tingimento azul escuro e azul claro com bandamento aparente. Nas imagens eletrônicas de varredura (Figura 32A e B) verifica-se que a amostra 1 (tingimento escuro), obteve uma gravação bem definida mas com algumas fraturas nas adjacências dos traçados. Já na amostra 2 (tingimento escuro com bandas de calcedônia sem tingimento), a gravação do círculo apresentou uma gravação insatisfatória, apresentando fraturas de expansão térmica no traçado (Figura 32C). Na amostra 3 (tingimento fraco e com bandas), tanto na gravação dos círculos como nas linhas, o traçado apresentou uma excelente gravação com um traço definido e uniforme (Figura 32E e F). Na Figura 32G e H, da amostra 4 (tingimento forte), os traçados apresentaram inúmeras fraturas de expansão térmica nas adjacências, com uma gravação insatisfatória se comparada com as outras amostras analisadas até o presente momento. Observando visualmente a amostra, nota-se que a chapa de ágata possui um tingimento com uma tonalidade muito forte em relação às outras amostras tingidas. Já na Figura 32I e J, da amostra 5 (tingimento fraco com leve bandamento) visualizam-se algumas fraturas, mas em menor quantidade se comparada com a amostra 4.

Figura 32: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento azul, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para algumas das amostras o traçado é bem definido (A e E), por vezes o traçado é pouco uniforme (I) e para duas amostras (C e G) a presença de fraturas nas adjacências, torna o resultado insatisfatório. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios, linhas com limites bem definidos, podem ser observados nas imagens B, D e F, e as imagens H e J, a presença de fraturas nas adjacências é freqüente.



Para o tingimento inorgânico preto (Figura 33) foi selecionado amostras com tingimento escuro e claro com algumas bandas. Nas imagens eletrônicas de varredura observa-se que nas amostras 1, 3, 4 e 5 (Figura 33A, B, E, F, G, H, I e J), as gravações dos traçados ficaram definidas e uniformes perante as análises das amostras. Já na amostra 2 (tingimento escuro, mas se visualizado a luz sem tingimento observa-se a ocorrência de bandas e calcedônia sem tingimento), a gravação do círculo apresentou fraturas na área do traçado, visualizado na Figura 33C.

As amostras com tingimento na cor verde (Figura 34) foram selecionadas com a tonalidade de tingimento forte, fraco com bandamento, e amostras com tingimento fraco com calcedônia sem tingimento. As imagens obtidas ao MEV das amostras 1 (tingimento fraco com bandamento e calcedônia sem tingimento) e 2 (tingimento forte com calcedônia sem tingimento) apresentaram melhores definições nos traçados (Figura 34A, B e D). Na amostra 2 (Figura 34C), podemos salientar que a gravação do círculo apresenta algumas fraturas de expansão térmica, mas de pouca relevância. Já na amostra 3, com bandamento e calcedônia sem tingimento, os traçados apresentaram inúmeras fraturas, salientadas nas gravações das linhas (Figura 34E e F). A amostra 4 (amostra com bandamento) apresentou tanto na gravação dos círculos como nas linhas, um traçado definido em todos os segmentos (Figura 34G e H). No último teste analisado com a tonalidade de tingimento forte com bandamento, da amostra 5, observou-se que as gravações dos círculos obtiveram algumas falhas nas adjacências dos traçados (Figura 34I). Estas fraturas persistem em menos evidência no traçado da linha gravada (Figura 34J).

Nas imagens observadas ao MEV das amostras de ágata em tonalidade vermelha (Figura 35), nota-se que nas amostras 1 (tingimento contendo bandas), 2 (bandamento e presença de opala), 3 (tingimento e calcedônia sem tingimento) e 4 (bandamento, opala e calcedônia sem tingimento), as gravações estão uniformes em todas as imagens eletrônicas de varredura (Figura 35A, B, C, D, E, F, G e H). A amostra 5 (Figura 35I e J), com tingimento forte e sem bandamento, apresentou uma leve diferença das demais amostras, com algumas trincas nos traçados das gravações.

Figura 33: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento preto, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para algumas das amostras o traçado é bem definido (A, G, E e I), e para a amostra da imagem C a presença de fraturas nas adjacências, torna o resultado insatisfatório. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios, linhas com limites bem definidos, podem ser observados nas imagens B, F, H e J, e a imagem D a presença de fraturas nas adjacências é freqüente.

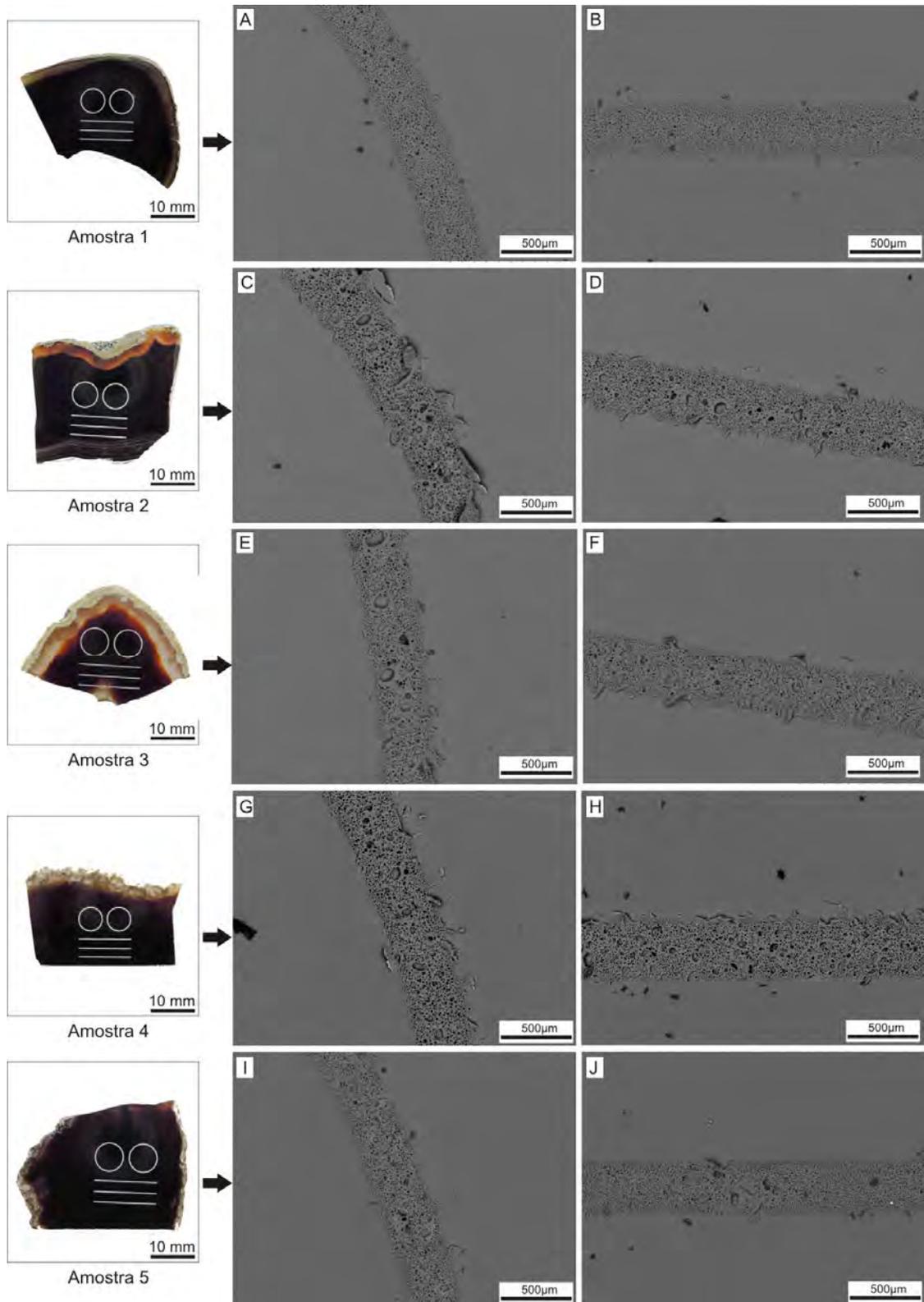


Figura 34: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento verde, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para algumas das amostras o traçado é bem definido (A e G), e para três amostras (C, E e I) a presença de fraturas nas adjacências, torna o resultado insatisfatório. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios, linhas com limites bem definidos, podem ser observados nas imagens B, D e H, e as imagens F e J, a presença de fraturas nas adjacências é freqüente.

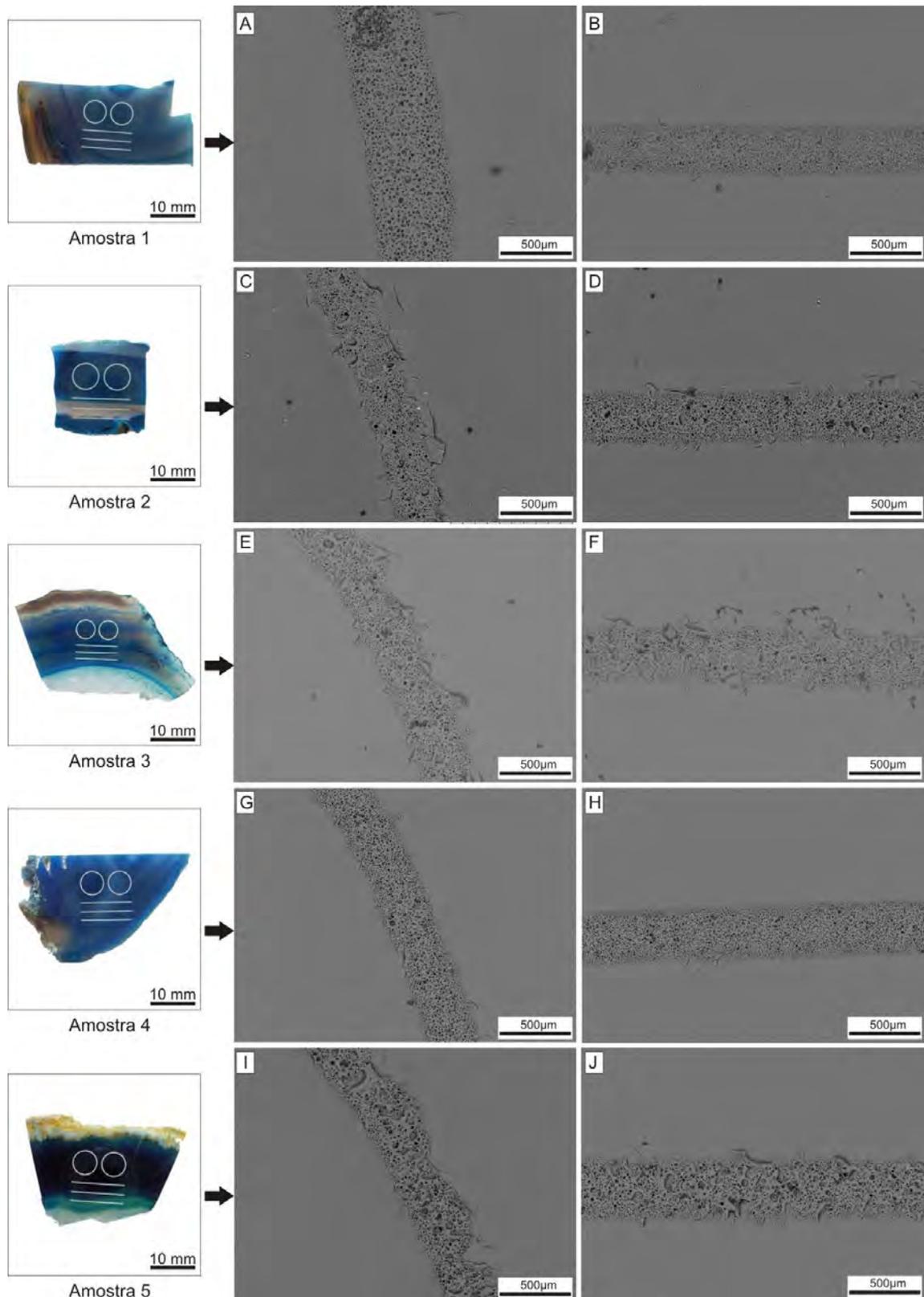
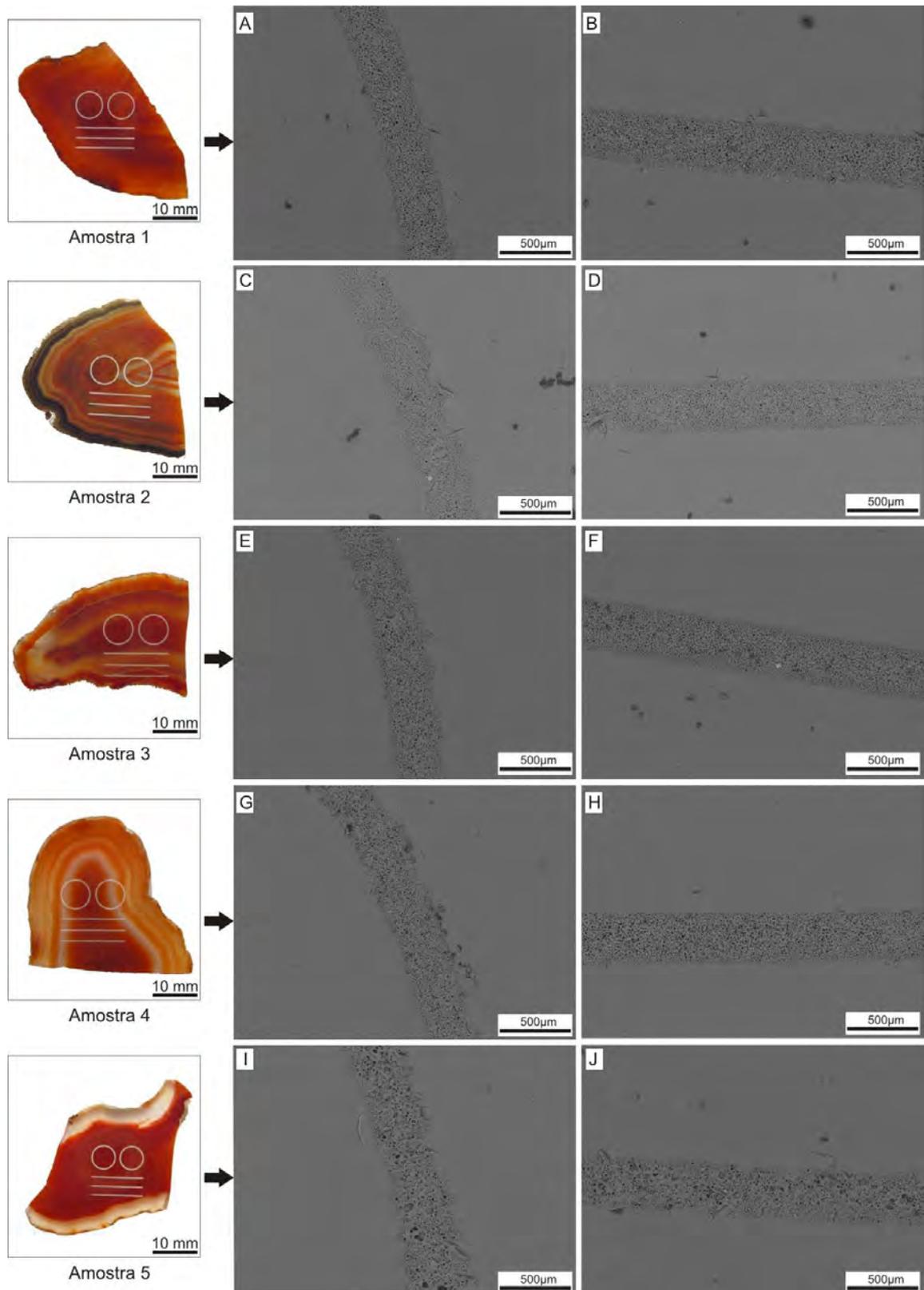


Figura 35: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento vermelho, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para a maioria das amostras o traçado é bem definido (A, C, E e G), por vezes o traçado é pouco uniforme com a presença de fraturas nas adjacências (I). Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios, linhas com limites bem definidos, podem ser observados nas imagens B, D, F e H, e a imagem J, a presença de algumas fraturas nas adjacências.



As amostras selecionadas com tingimento orgânico sintético rosa (Figura 36) é sempre de mesma tonalidade, com peças contendo bandamento, porções de calcedônia sem tingimento e opala. Nas imagens eletrônicas de varredura da amostra 1 (tingimento com bandas de calcedônia sem tingimento) visualiza-se que a gravação da linha (Figura 36B) contém poucas trincas no traçado do laser, se comparado com a gravação do círculo (Figura 36A). A amostra 2, (Figura 36C e D), possui fraturas de expansão térmica maiores se comparado com a amostra anterior. Já nas amostras 3, 4 e 5 (Figura 36E, F, G, H, I e J) as fraturas persistem em todas as áreas de abrangência, gerando uma gravação irregular e sem uniformidade em todos os traçados das amostras.

Nas amostras de tonalidade roxa (Figura 37), o tingimento é forte com bandamento e eventualmente presença de calcedônia sem tingimento. A amostra 1, (Figura 37A e B), apresenta um traçado regular nas adjacências. Já a amostra 2 nota-se fraturas no decorrer da gravação (Figura 37C e D). Nas amostras 3 e 4, (Figura 37E, F, G e H), os traçados apresentam trincas de expansão térmica. A mostra que melhor apresentou resultado é a de número 5 (Figura 37I e J) com um traçado contínuo, regular e muito uniforme. Esta amostra possui bandamento evidenciado e contém partes com presença de porções de calcedônia sem tingimento.

Com todas as amostras tingidas verificadas conforme as imagens efetuadas ao MEV partiu-se para análises de amostras de ágata sem tingimento (Figura 38). A amostra 1 (Figura 38A e B) com bandamento, apresentou algumas fraturas nos traçados das gravações, principalmente para o círculo. As amostras 2, 3 e 4 (Figura 38C, D, E, F, G e H) apresentaram um traçado uniforme nas gravações dos desenhos. Já a amostra 5 teve uma gravação insatisfatória em todos os traçados (Figura 38I e J), possivelmente devido à descontinuidades físicas do bandamento da ágata, que podem ser apropriadas à presença de camadas de opala intercaladas às de calcedônia.

Figura 36: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento rosa, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com resultados insatisfatórios, com presença de fraturas nas adjacências. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), na imagem B visualiza-se uma uniformidade no traço da linha, e a presença de fraturas nas adjacências dos traçados das imagens D, F, H, e J.

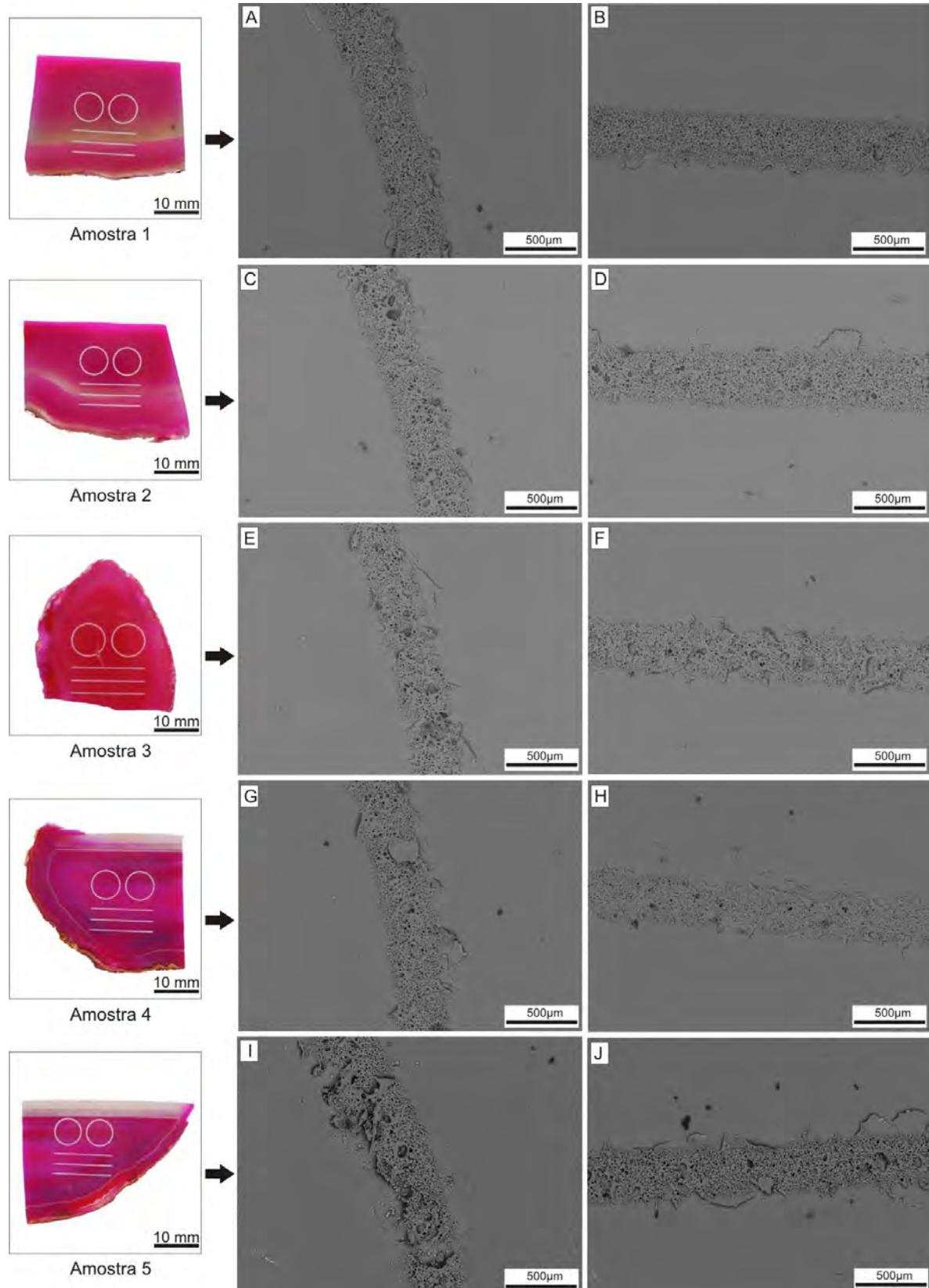


Figura 37: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) com tingimento roxo, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para algumas das amostras o traçado é bem definido (A e I), e para três amostras (C, E e G) a presença de fraturas nas adjacências, torna o resultado insatisfatório. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios, linhas com limites bem definidos, podem ser observados nas imagens B e J, e as imagens D, F e H com presença de fraturas nas adjacências dos traçados.

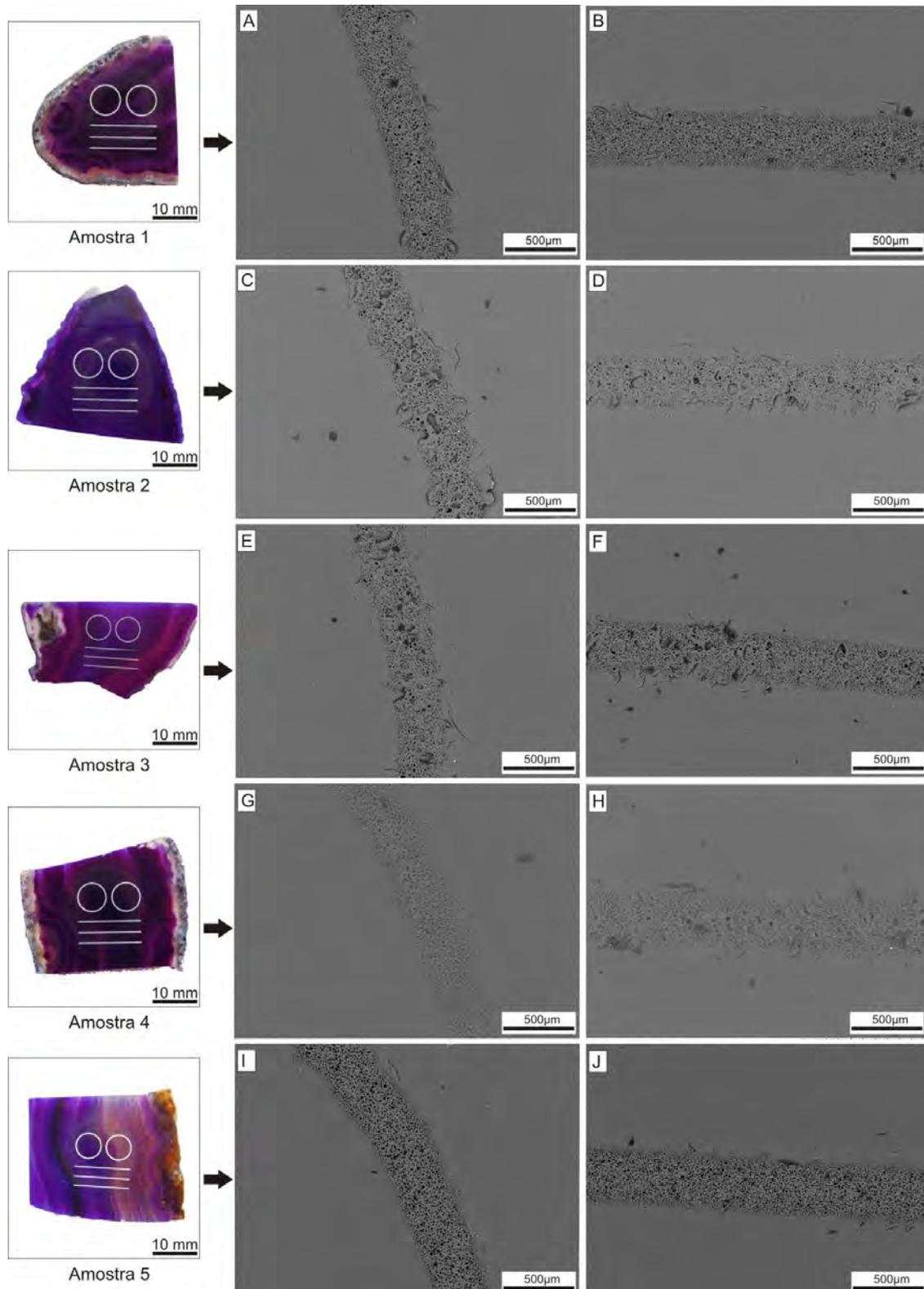
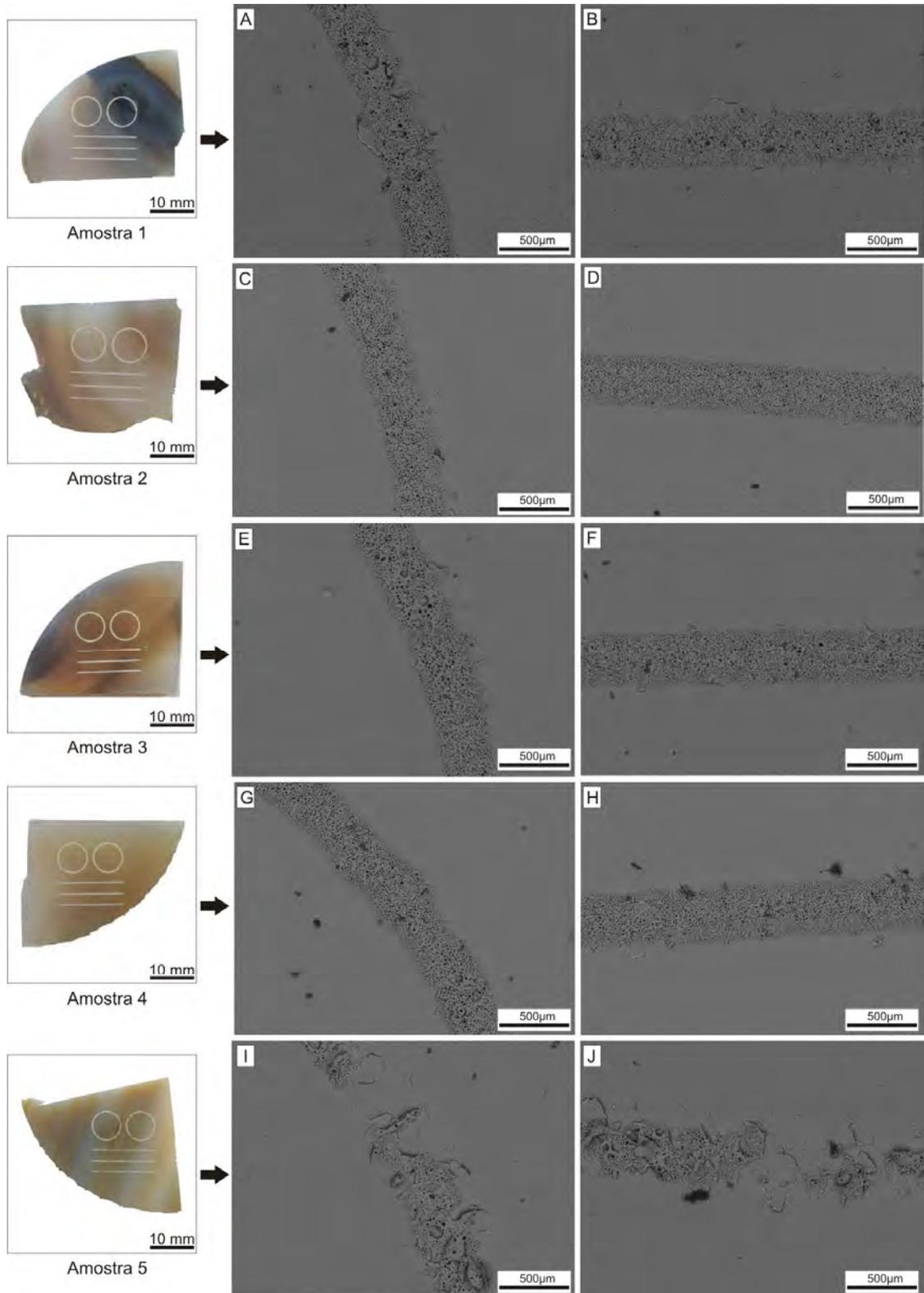


Figura 38: Imagens eletrônicas de varredura representativas dos traçados gravados nas 5 amostras (1, 2, 3, 4 e 5) de ágata sem tingimento, à esquerda. Na coluna ao centro (A, C, E, G e I), estão às imagens representativas dos traçados dos círculos, com diferentes resultados, sendo para algumas das amostras o traçado é bem definido (C, E e G), e para as amostras A e I a presença de fraturas nas adjacências, torna o resultado insatisfatório. Para as imagens representativas dos traços retos (à direita), resultados satisfatórios podem ser observados nas imagens D, F e H, e as imagens B e J, a presença de fraturas nas adjacências é freqüente.

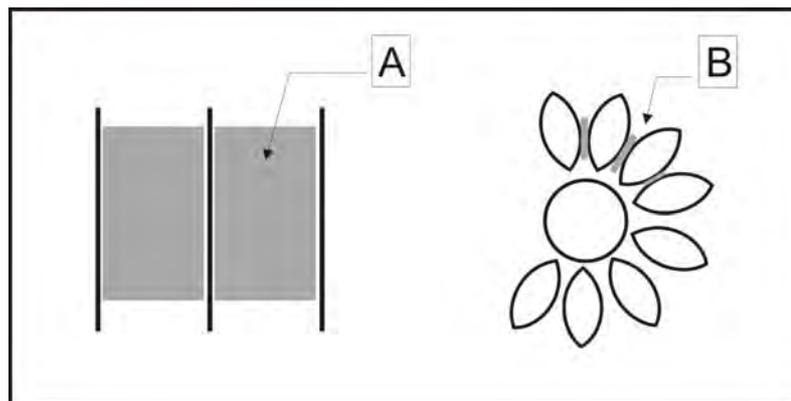


4.1.5 Testes de espaçamento entre os traçados e espessuras da zona de influência da área gravada

Após ter submetido às amostras de ágata à interação com o laser em gravações de linhas e círculos, foi observado que a pesquisa deveria ter continuidade identificando a relação entre os espaçamentos entre as linhas a serem gravadas. O intuito destas análises é de verificar a ação do laser no material conforme seu dimensionamento, e a interação das espessuras das linhas gravadas, evitando assim a interferência entre elas (Figura 39).

Estes dados são de grande importância, pois assim poderão ser definidos os melhores espaçamentos entre os traçados no processo de criação de desenhos.

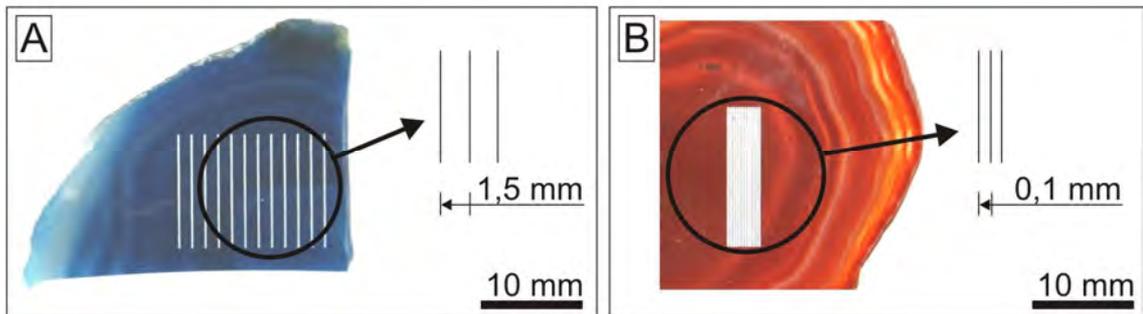
Figura 39: Exemplos da área de interação entre linhas na criação de desenhos:



(A) visualização da área de interação entre as linhas, representado na cor cinza; (B) demonstração de um exemplo de desenho com a delimitação da área de interação entre as pétalas, representado em cinza.

Para a gravação destas linhas na ágata foi utilizado a lente de 10 cm x 10 cm, potência de 60 W e velocidade de 30 m/min, por ter os melhores resultados observados perante a ação do laser no material, tendo como base todos os testes anteriores, por análise visual e com o auxílio de microscopia eletrônica de varredura. Foram desenhadas em *software* linhas com espaçamentos entre 1,5; 1,2; 0,9; 0,6; 0,3; 0,2; 0,15 e 0,1 milímetros (Figura 40) e exportadas em extensão do tipo plt. para o programa da máquina de gravação a laser.

Figura 40: Testes de gravação a laser de espaçamento entre linhas:

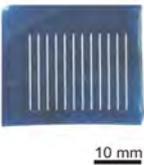
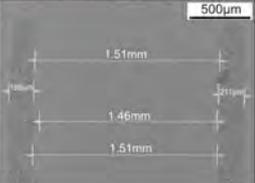
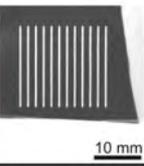
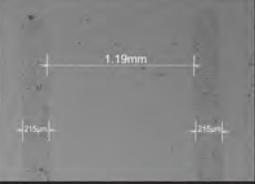
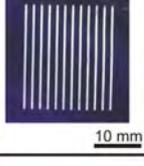
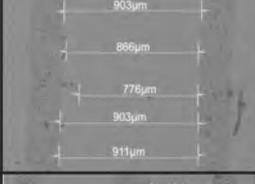
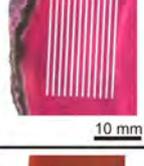
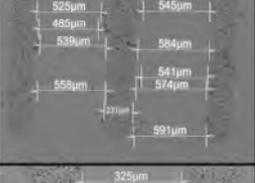
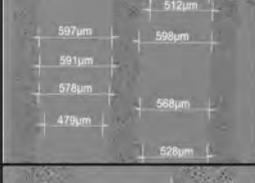
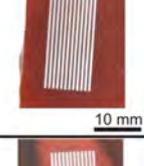
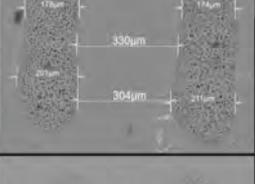
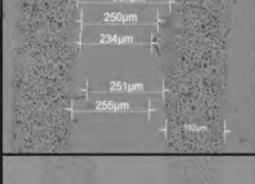
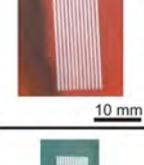
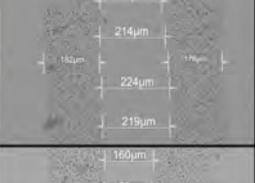
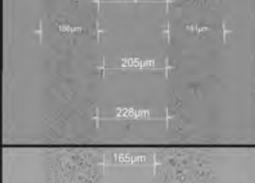
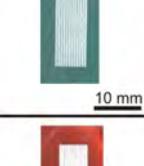
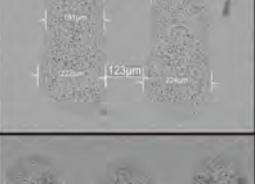
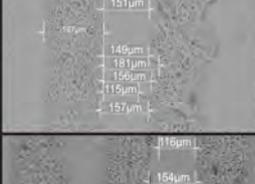
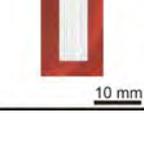
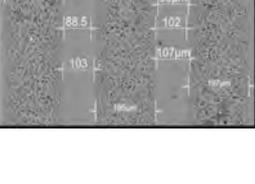
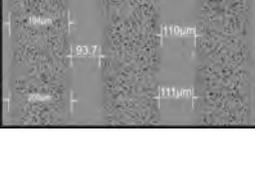


(A) linhas com 1,5 milímetros de espaçamento, com a representação gráfica do desenho gravado, à direita e (B) linhas com espaçamento de 0,1 mm, com a respectiva representação gráfica do espaçamento entre as mesmas.

Os resultados analisados por MEV das linhas gravadas com espaçamentos delimitam a zona de influência da interação do feixe laser com o material gemológico. As imagens foram analisadas em três pontos diferentes do seguimento de cada linha, a fim de obter o melhor resultado.

Os resultados podem ser visualizados no Quadro 1, que contém em cada coluna: imagens das amostras gravadas a laser, espaçamento entre as linhas, imagens de MEV; variação da distância entre as linhas com e sem fraturas aparentemente e delimitação do ajuste da medida adicional (média) a ser adotada conforme as dimensões de espaçamento entre as linhas.

Quadro 1: Amostras de ágata com linhas gravadas, espaçadas entre si, com 1,5; 1,2; 0,9; 0,6; 0,3; 0,2; 0,15 e 0,1 mm, dispostas em ordem decrescente de espaçamento, do topo para a base. À esquerda estão fotografias das amostras, na coluna seguinte o espaçamento entre as linhas, seguido de duas imagens representativas de microscopia eletrônica para cada amostra. Na próxima coluna, em milímetros, estão resultados representativos efetuadas entre as linhas, levando em consideração a presença de fraturas e quando estas não estão presentes, e por fim, o resultado do distanciamento adicional a ser dados durante a fase de criação do desenho. A escala gráfica na primeira imagem eletrônica é aplicada a todas as demais imagens.

Ágata com gravação a laser	Esp. entre linhas	MEV		Esp. entre linhas (MEV)	Medida adicional (média)
	1,5mm			Sem fraturas: 1.49mm a 1.52mm Com fraturas: 1.44mm a 1.48mm	0,1mm
	1,2mm			Sem fraturas: 1.15mm a 1.19mm Com fraturas: 1.10mm a 1.15mm	0,1mm
	0,9mm			Sem fraturas: 0.877mm a 0.9mm Com fraturas: 0.776mm a 0.869mm	0,2mm
	0,6mm			Sem fraturas: 0.584mm a 0.598mm Com fraturas: 0.479mm a 0.558mm	0,2mm
	0,3mm			Sem fraturas: 0.304mm a 0.325mm Com fraturas: 0.234mm a 0.251mm	0,2mm
	0,2mm			Sem fraturas: 0.214mm a 0.224mm Com fraturas: 0.202mm a 0.205mm	0,2mm
	0,15mm			Sem fraturas: 0.151mm a 0.165mm Com fraturas: 0.115mm a 0.123mm	0,1mm
	0,1mm			Sem fraturas: 0.099mm a 0.107mm Com fraturas: 0.0885mm a 0.0937mm	0,1mm

O processo criativo no desenvolvimento de desenhos futuros para a utilização do processo de gravação a laser em ágata deverá conter os espaçamentos entre as linhas mostrado nas descrições do Quadro 1. A média do distanciamento adicional da linha a ser traçada deverá ser levada em consideração, evitando assim a presença de proximidade entre as fraturas de expansão térmica. Para os espaçamentos de 1,5; 1,2; 0,15 e 0,1 mm o distanciamento extra que deverá ser adicionado será de 0,1 mm. Já os com distanciamento de 0,9; 0,6; 0,3 e 0,2 mm o espaçamento delimitado na análise é de 0,2 mm.

4. 1. 6 Análise da Superfície do Material: arquivo do tipo plt.

Com os métodos desenvolvidos até o presente momento deste estudo observou-se que todas as amostras gravadas apresentaram uma aspereza, rugosidade, em suas superfícies. Estas características são percebidas visualmente e pelo toque dos dedos da mão passando nas superfícies. Esta situação pôde ser verificada quando comparado aos resultados das gravações obtidos para as lentes de 10 cm x 10 cm com potência de 60 W e lente de 20 cm x 20 cm com potência de 30 W, onde os traçados das gravações em todas as amostras ficou com melhor definição e acabamento, quando comparado aos resultados para as amostras com a utilização da lente de 30 cm x 30 cm, onde o material ficou rugoso e áspero em sua superfície.

A fim de analisar e verificar mais precisamente estas superfícies rugosas optou-se por utilizar o microscópio estereoscópico, para a geração de imagens estereoscópicas. As amostras foram preparadas com gravações de traços retos, com o intuito de extrapolar a área do material, a fim de observar o resultado da gravação em um plano perpendicular a esta, sendo que nesta situação o feixe laser interage com a amostra e finaliza o percurso na superfície da mesa do equipamento (Figura 41). Foram gravadas três amostras de ágata tingida e três amostras de ágata sem tingimento (Figura 42).

Figura 41: Desenho ilustrativo da forma como foi gravada a amostra de ágata.

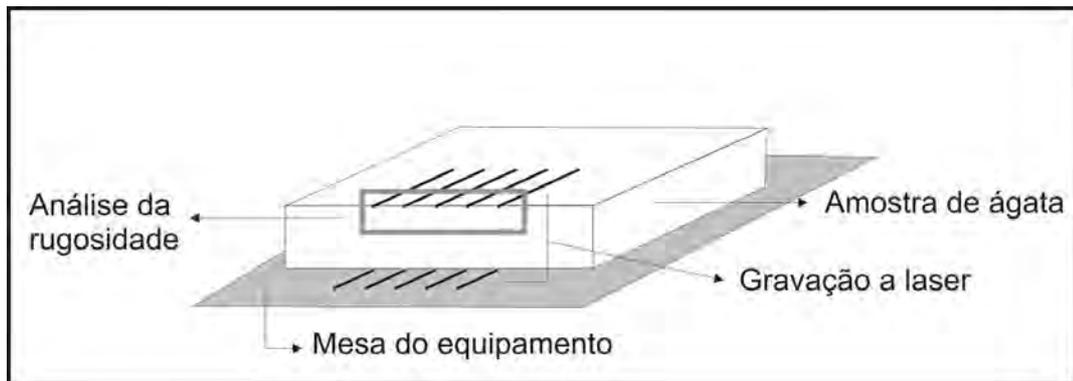
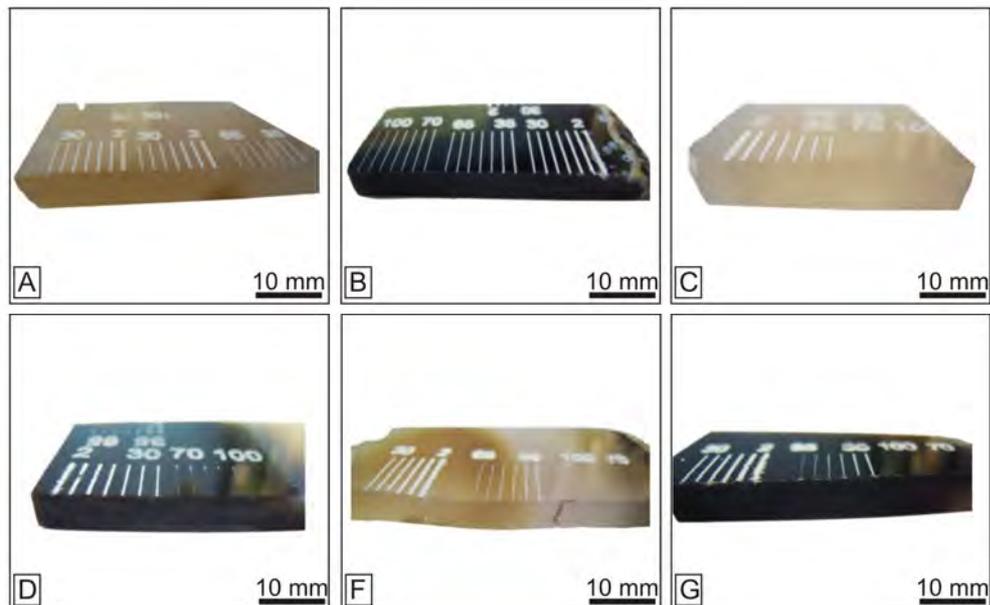


Figura 42: Amostras gravadas para análises de superfícies:

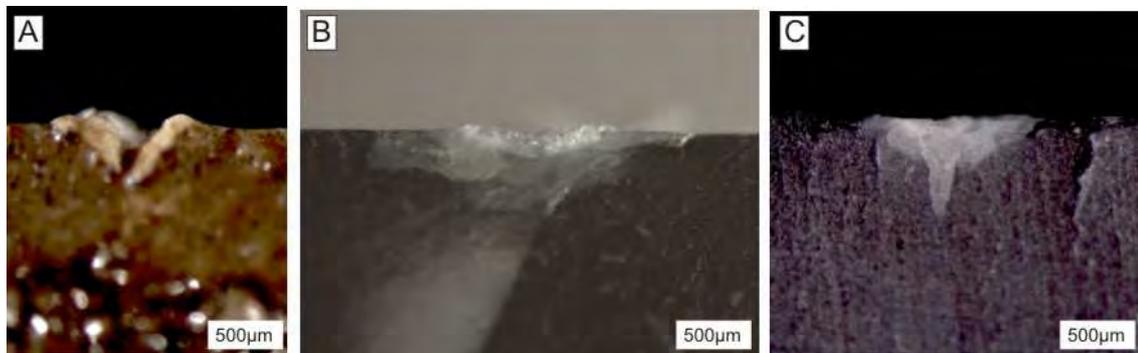


(A) amostra sem tingimento gravada com lente de 10 cm x 10 cm; (B) amostra tingida gravada com lente de 10 cm x 10 cm; (C) amostra sem tingimento gravada com lente de 30 cm x 30 cm; (D) amostra tingida gravada com lente de 30 cm x 30 cm; (F) amostra sem tingimento gravada com lente de 20 cm x 20 cm e (G) amostra tingida gravada com lente de 20 cm x 20 cm.

A primeira análise verificada foi com a velocidade de 2 m/min em todas as amostras com suas respectivas lentes. Esta velocidade foi escolhida, para esta primeira análise, por apresentar em testes anteriores (visual e tátil) uma rugosidade superior perante as outras velocidades. Nas imagens estereoscópicas da Figura 43, podemos observar que a fusão gerada no material forma uma cavidade no traçado da gravação e uma vitrificação nas bordas desta cavidade. Cada lente utilizada

possui um tamanho e formato de cavidade. Na Figura 43A nota-se que com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm a cavidade é mais profunda e pontiaguda. Já a Figura 43B, gravação com a lente de 30 cm x 30 cm, apresenta uma cavidade menos pontiaguda com uma vitrificação mais extensa nas bordas da superfície. Com a utilização da lente de 20 cm x 20 cm (Figura 43C), nota-se que a cavidade é um pouco mais extensa do que a visualizada na letra B, e menos pontiaguda, como a observada na letra A com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm.

Figura 43: Imagens estereoscópicas de amostras com a utilização de velocidade de 2 m/min:



(A) amostra gravada com lente de 10 cm x 10 cm; (B) amostra gravada com lente de 30 cm x 30 cm; (C) amostra gravada com lente de 20 cm x 20 cm.

Após esta verificação optou-se por analisar separadamente cada amostra gravada. Para um melhor entendimento foram criadas tabelas mostrando as velocidades utilizadas, o dimensionamento do material vitrificado nas bordas das cavidades, e em alguns casos, a presença de material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade da gravação. Neste o material fica vitrificado na parte interna da cavidade, sem a obtenção de uma medição exata.

Conforme os testes realizados ao MEV foram delimitados os intervalos de velocidades variando de 2 m/min a 40 m/min. Nas duas primeiras amostras, tingida e sem tingimento, com potência de 60 W e lente de 10 cm x 10 cm (LdSM) nota-se na Tabela 2 que a quantidade de material vitrificado fora da cavidade vai diminuindo conforme a velocidade aumenta. O feixe laser permanece por menos tempo nas adjacências dos traçados, gerando menos aspereza a gravação em sua superfície.

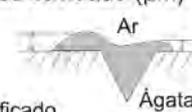
Com a velocidade de 30 m/min observa-se um traçado mais uniforme e definido, com uma variação de dimensionamento de material vitrificado nas bordas

da cavidade de 10,33 μm e 3,10 μm para a amostra sem tingimento, e de 5,17 μm e 1,03 μm na ágata tingida. Estes valores definem o que as análises visuais e da percepção dos dedos das mãos mostram conforme sentimos quando observamos as amostras.

Tabela 2: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 10 cm x 10 cm com potência de 60 W (LdSM).

Lente 10 cm x 10 cm - Potência 60 W		
Velocidade (m/min)	Material vitrificado nas bordas da cavidade (μm)	
	Sem tingimento	Tingida
2	35,12/33,06	105,37/20,66
5	24,79/33,06	72,31/28,93
10	24,79/16,53	20,66/18,60
15	18,60/12,40	18,60/53,72
20	●	30,99/16,53
25	12,40	11,36/12,40
30	10,33/3,10	5,17/1,03
35	4,13/3,10	4,13/ ●
40	4,13/6,20	8,26

● Material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade



Nas amostras com potência de 60 W e lente de 30 cm x 30 cm (LdSM) (Tabela 3) a vitrificação possui uma extensão maior nas extremidades das superfícies se comparada com as bordas das cavidades da velocidade de 2 m/min com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm (LdSM), observado na Figuras 43A e B.

Analisando as imagens estereoscópicas feitas dos intervalos de velocidades, foi observado que as medidas dos materiais vitrificados nas bordas das cavidades oscilam conforme o aumento das velocidades, sem um padrão definido (Tabela 3). Podemos analisar que na amostra sem tingimento nos intervalos com as velocidades de 10 m/min a 40 m/min existe uma oscilação no dimensionamento das vitrificações.

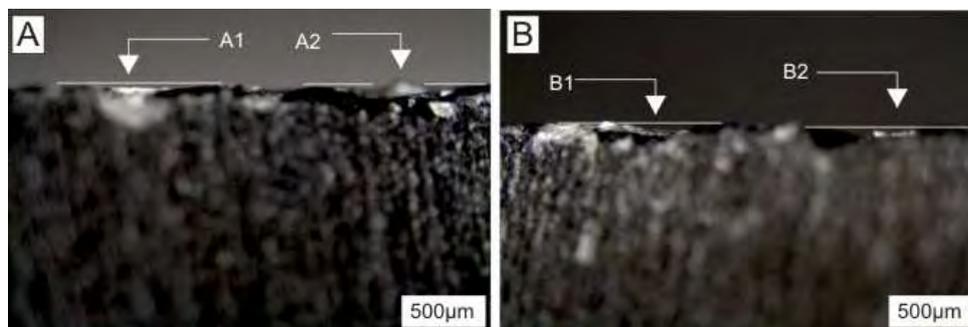
Tabela 3: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 30 cm x 30 cm com potência de 60 W (Ldsm).

Lente 30 cm x 30 cm - Potência 60 W		
Velocidade (m/min)	Material vitrificado nas bordas da cavidade (μm)	
	Sem tingimento	Tingida
2	55,79/53,72	80,58/97,11
5	57,85/47,52	16,53
10	18,60/12,40	●
15	41,32/14,46	10,33
20	20,66/10,33	●
25	20,66/12,40	●
30	8,26	12,40
35	3,10	●
40	17,56/14,46	●

□ Mat. vitrificado
 ● Material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade

Já na amostra tingida muitas vezes o material vitrificado fica parcialmente preenchido na parte interna da cavidade (Figura 44). Por esta razão algumas medidas observadas na Tabela 3 não seguem uma seqüência decrescente conforme o aumento da velocidade.

Figura 44: Imagens estereoscópicas de amostras com a utilização de lente de 30 cm x 30 cm:

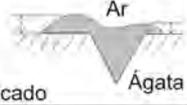


(A) amostra gravada com velocidades de 25 m/min e 30 m/min, com visualização de detalhe A1 com material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade, e A2; vitrificação saliente (B) amostra gravada com velocidades de 35 m/min e 40 m/min, detalhes B1 e B2 com material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade.

Nas amostras com a lente de 20 cm x 20 cm, potência de 30 W (CTPedras) as imagens estereoscópicas indicam uma vitrificação mais extensa nas superfícies, como o observado anteriormente na Figura 43C com a velocidade de 2 m/min. A quantidade de material vitrificado nas bordas das cavidades é irregular conforme as variações de velocidades (Tabela 4). Isto pode ser verificado entre os intervalos com as velocidades de 10 m/min a 30 m/min.

Tabela 4: Análise da superfície das amostras gravadas com lente de 20 cm x 20 cm com potência de 30 W (CTPedras).

Lente 20 cm x 20 cm - Potência 30 W		
Velocidade (m/min)	Material vitrificado nas bordas da cavidade (µm)	
	Sem tingimento	Tingida
2	●	●
5	●	32,02/105,37
10	19,93	27,89/46,49
15	13,43	24,79/37,19
20	13,43	25,83/9,30
25	16,53/14,46	16,53/9,30
30	18,60	7,23/2,07
35	17,56/6,20	1,03
40	7,23	1,03



 ■ Mat. vitrificado

● Material vitrificado preenchendo parcialmente a cavidade

Nas imagens analisadas no microscópio eletrônico de varredura, com a lente de 20 cm x 20 cm e potência de 30 W, foram delimitados os intervalos de velocidade de 20 m/min a 35 m/min com um traçado mais satisfatório perante as outras velocidades utilizadas. Analisando as superfícies das amostras com a utilização do microscópio estereoscópico com estas velocidades, nota-se que na amostra sem tingimento existem irregularidades nos dimensionamentos do material vitrificado nas bordas das cavidades, e na amostra tingida a espessura do material vitrificado decresce com o aumento da velocidade. Estas análises definem mais

precisamente a diferenciação perante a percepção visual e principalmente tátil visualizada em todas as amostras gravadas a laser.

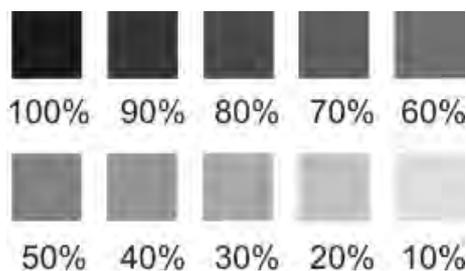
4. 2 GRAVAÇÃO EM ARQUIVOS DE IMAGENS EM jpeg (*bitmaps jpeg*)

Neste item serão apresentados os métodos desenvolvidos e investigados para a exportação de arquivos de imagens em jpeg. Esta etapa mostra de que forma estes arquivos se comportam perante a aplicação da tecnologia de gravação a laser, mostrando os resultados e análises dos métodos empregados. Os estudos detalhados destes arquivos são de grande importância, pois poderão ser utilizados pelas indústrias melhorando a qualidade das gravações.

4. 2. 1 Formas geométricas

As formas geométricas dos quadrados foram desenvolvidas no programa CorelDRAW X4[®], em tons de cinza variando de 100% a 10% de tonalidade (Figura 45). Estas formas foram utilizadas no *software* Automatisa Laser Draw[®], desenvolvido pela empresa Automatisa Sistemas[®]. Os ensaios foram feitos com potência de 60 W e lente de 10 cm x 10 cm (LdSM), e potência de 30 W com lente de 20 cm x 20 cm (CTPedras). A lente de 30 cm x 30 cm e potência de 60 W foram excluídas deste ensaio para gravação de arquivos do tipo jpeg, por terem sido qualificadas como resultados menos satisfatórios. Para estes testes foram gravadas e analisadas um total de 131 amostras de ágata, tendo sido todas analisadas visualmente e com a percepção tátil dos dedos das mãos, sem a utilização de equipamentos. Após esta primeira verificação, partiu-se para uma análise mais aprofundada e detalhada com a utilização de microscópio estereoscópico SZX16, da marca Olympus[®].

Figura 45: Formas geométricas com variação de tons de cinza, onde a porcentagem representa a saturação em preto.



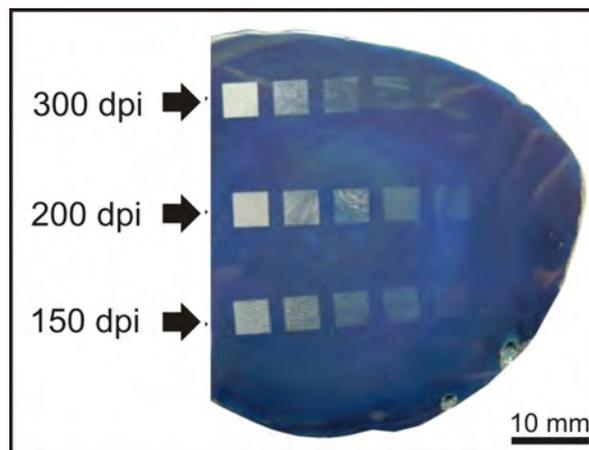
4. 2. 1. 1 Testes de gravação a laser – LdSM / UFRGS

Para a gravação no equipamento do LdSM, foram utilizadas as extensões de resolução em 150, 200 e 300 dpi. Com estas resoluções observou-se que o tamanho do desenho quando aberto no programa da máquina tem suas dimensões alteradas, para dimensões maiores quando o arquivo original tem resolução de 300 dpi, e para dimensões menores quando o arquivo original tem resolução em 150 dpi. Estas alterações necessitariam ser modificadas conforme as delimitações estipuladas no programa CorelDRAW X4[®], mantendo assim as propriedades das imagens perante seus pixels. Para os arquivos com 200 dpi as imagens não são alteradas dimensionalmente quando abertas no programa da máquina laser.

O *software* Automatisa Laser Draw[®] possui uma programação automática para arquivos do tipo jpeg. Nesta programação o *software* especifica velocidade limitante que é fixa, resultante do balanço entre a saturação em tons de cinza com a resolução de pixels da imagem. Para a imagem utilizada neste estudo (Figura 45) as velocidades limitantes foram de 204 m/min para 150 dpi, 152 m/min para 200 dpi, e 102 m/min para a resolução de 300 dpi. Para que o estudo possa ser comparativo, optou-se por utilizar a velocidade desejada de 100 m/min, que pode ser estipulada pelo usuário (ao contrário da limitante que é fixa), para todas as resoluções. Este valor foi definido por estar abaixo das velocidades limitantes especificadas pelo *software*, como mencionadas acima. As gravações com as três resoluções foram feitas na mesma amostra de ágata, para ter uniformidade do material. Após a gravação de todos os quadrados com as diferentes resoluções, detectou-se por percepção visual, a vista desarmada, e tátil, uma gravação satisfatória para a

resolução de 300 dpi, com uma superfície mais uniforme e uma variação visível conforme as porcentagens de tons de cinza (Figura 46).

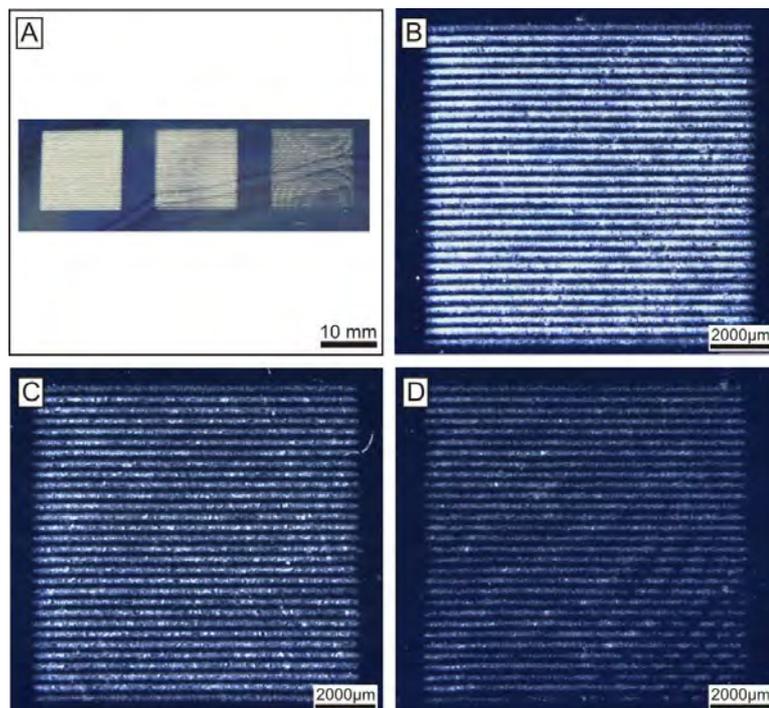
Figura 46: Amostra gravada com as resoluções de 300, 200 e 150 dpi, tal como o arquivo da Figura 45, sendo o primeiro com 100% de saturação em preto, e decrescendo de 10 em 10 para cada quadrado subsequente. Nota-se que para a resolução de 300 dpi são bem evidentes os intervalos entre 100 e 70% de saturação, para o jpeg com 60% de saturação a visualização a vista desarmada é comprometida, e abaixo deste ($\leq 50\%$), nenhum quadrado é visualizado. Para as resoluções de 200 e 150 dpi, todas estão visíveis entre 100 e 60%.



Para avaliar estas informações das superfícies das amostras foram feitas imagens no microscópio estereoscópico das extensões de exportação, tanto em 150, 200 e 300 dpi.

As primeiras gravações analisadas foram com a resolução de 150 dpi, na qual podemos constatar que em todas as formas geométricas das imagens em jpeg as gravações a laser são compostas por linhas espaçadas, sendo que o maior espaçamento entre as linhas é para a resolução de 150 dpi e o menor é para a resolução de 300 dpi. Ainda, a variação na saturação é dada por diferentes intensidades do laser, conforme pode ser visualizado na Figura 47, exemplificando a saturação de 100, 90 e 80%, que melhor representam esta diferença de intensidade.

Figura 47: Gravação a laser de quadrados com 150 dpi visualizados em microscópio estereoscópico:



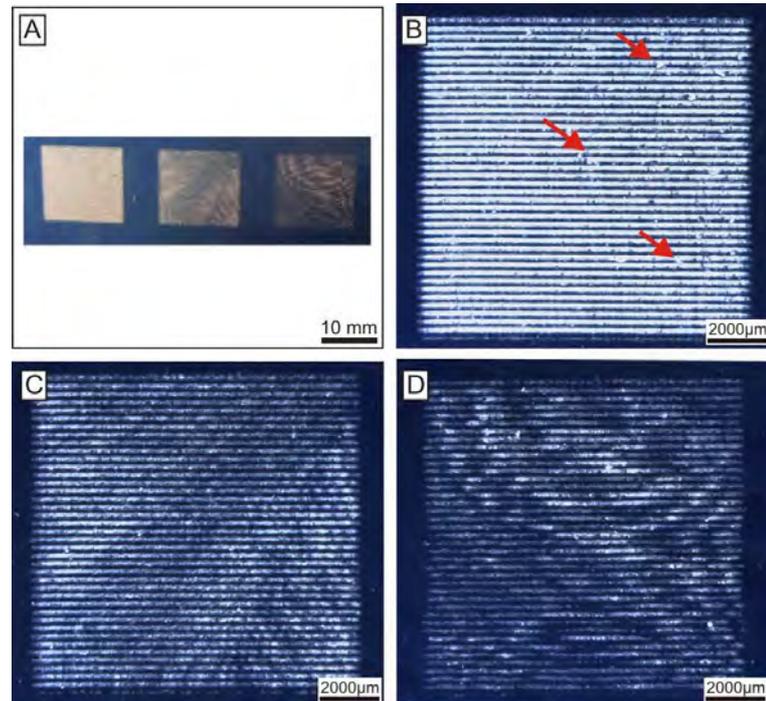
(A) amostra de ágata com gravação a laser de 150 pdi; (B) imagem estereoscópica de 100% de tonalidade; (C) imagem estereoscópica de 90%;(D) imagem estereoscópica de 80%.

Na amostra de 200 dpi (Figura 48) observa-se que o espaçamento entre as linhas é menor em relação à resolução de 150 dpi. A diferenciação da porcentagem de tons de cinza de 100% (Figura 48B) a 80% (Figura 48D) também é visualizada satisfatoriamente. Nesta resolução, podem-se perceber pequenas fraturas nas adjacências, devido à proximidade entre as linhas (Figura 48B).

Para a resolução de 300 dpi as gravações ficam mais uniformes nos traçados, tanto visualmente como nas imagens estereoscópicas. Na Figura 49 nota-se que as linhas que compõe as imagens gravadas têm menor espaçamento, quando comparadas às outras resoluções. Nesta resolução a gravação é mais uniforme e a qualidade da imagem é melhor se comparada com as outras resoluções.

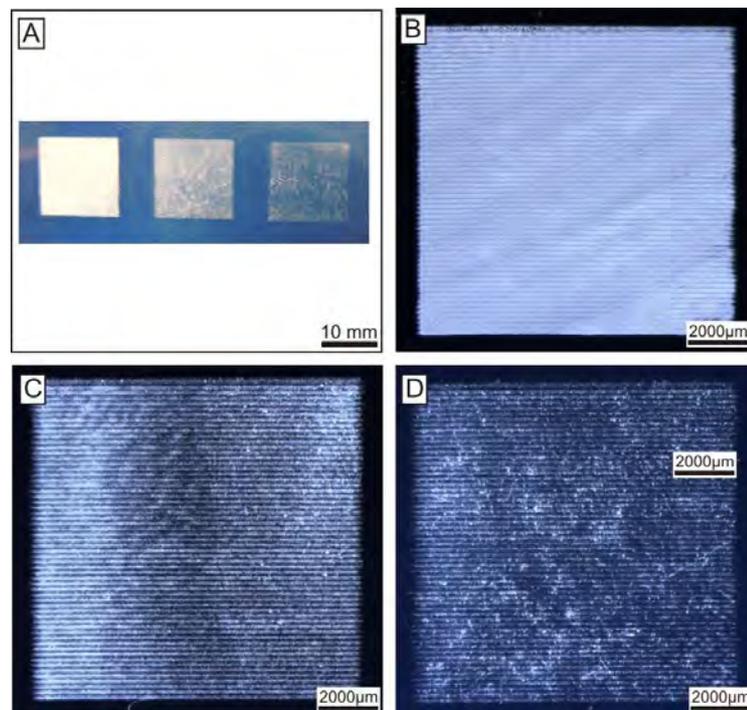
Em todas as tonalidades (Figura 49B, C e D) verifica-se que a diferenciação na gravação é pequena se comparada com as gravações de 150 dpi. Nota-se visualmente e nas imagens estereoscópicas que até as gravações com as tonalidades de 90% e 80% ficaram claras e com um bom nível de demonstração de suas porcentagens.

Figura 48: Gravação a laser de quadrados com 200 dpi visualizados em microscópio estereoscópico:



(A) amostra de ágata com gravação a laser de 200 pdi; (B) imagem estereoscópica de 100% de tonalidade, indicando pequenas fraturas (seta); (C) imagem estereoscópica de 90%;(D) imagem estereoscópica de 80%.

Figura 49: Gravação a laser de quadrados com 300 dpi visualizados em microscópio estereoscópico:



(A) amostra de ágata com gravação a laser de 300 pdi; (B) imagem estereoscópica de 100% de tonalidade; (C) imagem estereoscópica de 90%;(D) imagem estereoscópica de 80%.

Analisando as três resoluções observa-se que a gravação para a imagem com resolução de 300 dpi é satisfatória. O arquivo com esta resolução de dpi torna-se um pouco maior (em tamanho de arquivo digital) em relação ao de 150 dpi, mas o traçado da gravação fica mais bem definido e sem aspereza em sua superfície. A quantidade de pixels da resolução de 300 dpi é maior gerando uma imagem com mais pontos e detalhes, melhorando assim a sua qualidade. Delimitando a resolução de arquivo a ser utilizado nas gravações partiu-se para os testes em amostras com tingimento e amostras sem tingimento.

4. 2. 1. 2 Avaliação da gravação a laser do tipo jpeg em ágata tingida e sem tingimento para controle estatístico dos resultados

A intenção destes testes é de verificar o comportamento das gravações a laser em resolução de 300 dpi, para amostras de ágata com tingimentos inorgânicos e orgânicos sintéticos, e amostras sem tingimento. As formas geométricas de quadrados foram utilizadas com as saturação de 100% a 10% de cinza, com a lente de 10 cm x 10 cm (LdSM), potência de 60 W, velocidade limitante de 102 m/min e velocidade máxima desejada de 100 m/min.

Foram selecionadas para este teste cinco amostras de cada ágata tingida, nas tonalidades azul, preto, verde, vermelho (estas 4 amostras com tingimento inorgânico), rosa e roxa (tingimento orgânico sintético); e cinco amostras sem tingimento. Todas as amostras foram analisadas em microscópio estereoscópico. Com as gravações a laser dos quadrados observou-se visualmente que as tonalidades de 100% e 90% obtiveram uma gravação mais satisfatória perante às outras porcentagens. Por esta razão foram delimitadas para serem analisadas estas duas tonalidades de tons de cinza.

As primeiras cinco amostras observadas foram as com tingimento na tonalidade azul. Estas estão numeradas de 1 (um) a 5 (cinco) para um melhor entendimento (Figura 50). Em todas as amostras gravadas com a tonalidade de 100% nota-se uma boa qualidade nos traçados das linhas que compõe a imagem (Figura 50A, C, E, G e I). A amostra 2 visualizada na Figura 50C e D, possui um bandamento aparente, tanto na percepção visual bem como nas imagens estereoscópicas. Este bandamento persiste mais evidentemente na tonalidade de

90% de tons de cinza, tanto na amostra 2 (Figura 50C e D) como também nas amostras 3 (Figura 50E e F) e 5 (Figura 50I e J). Nas gravações a laser das imagens em jpeg com tingimento azul é perceptível a presença de pequenas fraturas de expansão térmica nos traçados que compõem as linhas, mas estas não são observadas a vista desarmada.

As amostras com tingimento inorgânico preto (Figura 51) apresentaram uma gravação satisfatória nas tonalidades de 100% de cinza (Figura 51A, C, G, E e I). Na Figura 51A, amostra 1, nota-se uma gravação com bandamento levemente aparente, e na Figura 49B a gravação ficou insatisfatória com o não preenchimento total do quadrado da imagem em jpeg. Visualiza-se na amostra 2 (Figura 51C e D), algumas trincas nas adjacências do traçado, mas visualmente a gravação é satisfatória. Já na amostra 3 com tonalidade de 100% as imagens estereoscópicas nos indicam a presença de bandamento (Figura 51E). A tonalidade de 90%, da amostra 3, não obteve uma gravação contínua e uniforme (Figura 51F). A amostra 5 apresentou algumas fraturas mas estas não são perceptíveis a vista desarmada (Figura 51I e J).

As amostras com o tingimento na tonalidade verde (Figura 52) obtiveram resultados bastante heterogêneos. A amostra 1 com gravação de 100% apresentou inúmeras fraturas (Figura 52A). Já a gravação em 90% de tonalidade de cinza, amostra 1, apresentou um traçado não uniforme, observado tanto nas imagens estereoscópicas bem como sem a utilização de equipamentos (Figura 52B). A amostra 2 apresentou uma gravação satisfatória com 100% e uma gravação não uniforme na tonalidade de 90% (Figura 52C e D). Nas imagens da amostra 3 observa-se uma gravação muito ruim perante as outras (Figura 52E e F). E por último nas amostras 4 e 5 as gravações com 100% e 90% obtiveram um traçado satisfatório, com um pouco de bandamento aparentemente (Figura 52G, H, I e J).

Figura 50: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento azul, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. Nas imagens A, C, E, G e I com 100% de saturação em preto (ao centro), apresentam resultados satisfatórios, e nas imagens com 90% de tonalidade de cinza, à direita (B, D, F, H e J) visualiza-se bandamento aparente.

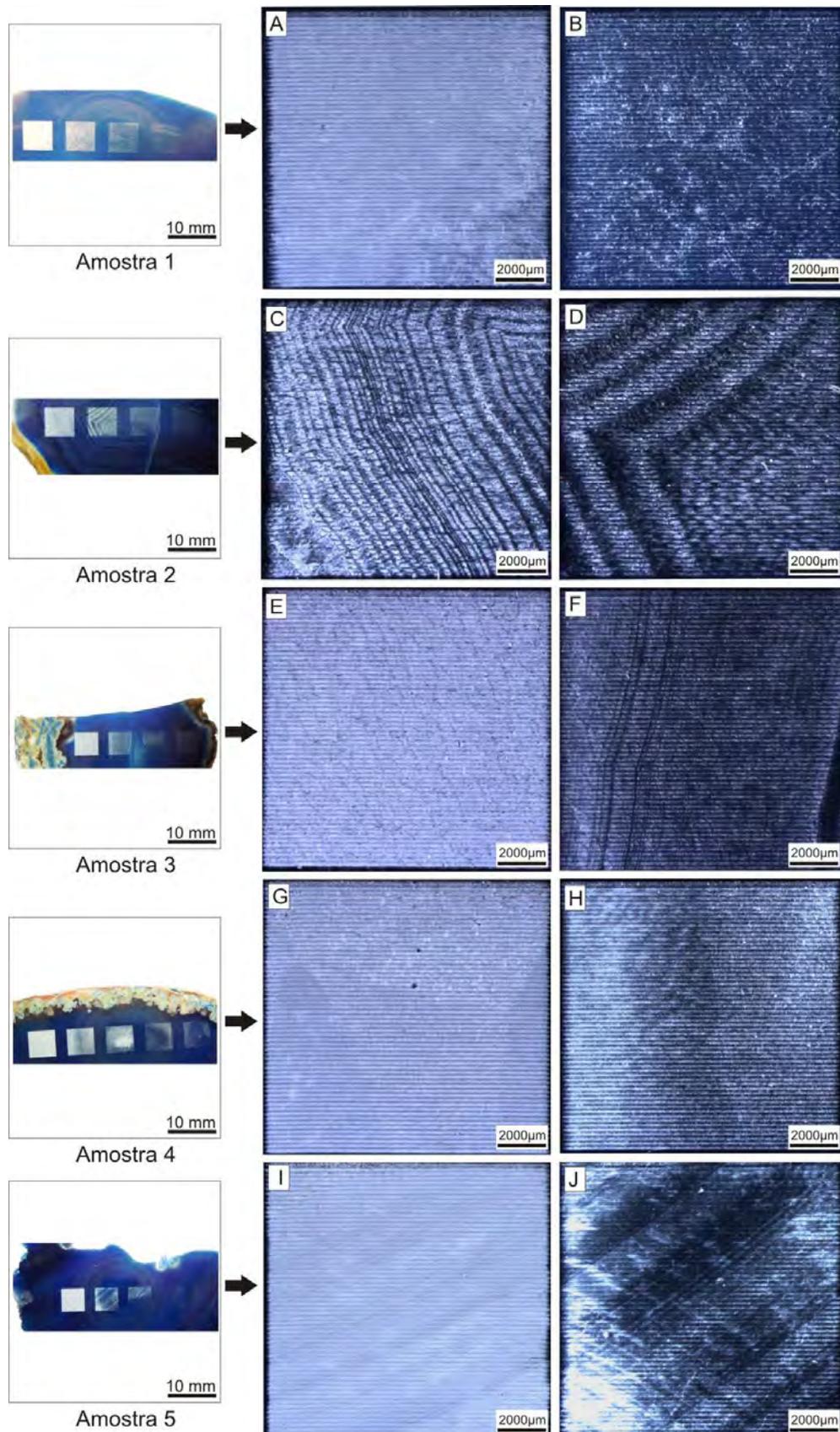


Figura 51: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento preto, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. Nas imagens A, C, E, G e I com 100% de saturação em preto (ao centro), apresentam resultados satisfatórios, e nas imagens com 90% de tonalidade de cinza, à direita (B, D, F, H e J) visualiza-se bandamento aparente e algumas fraturas de expansão térmica.

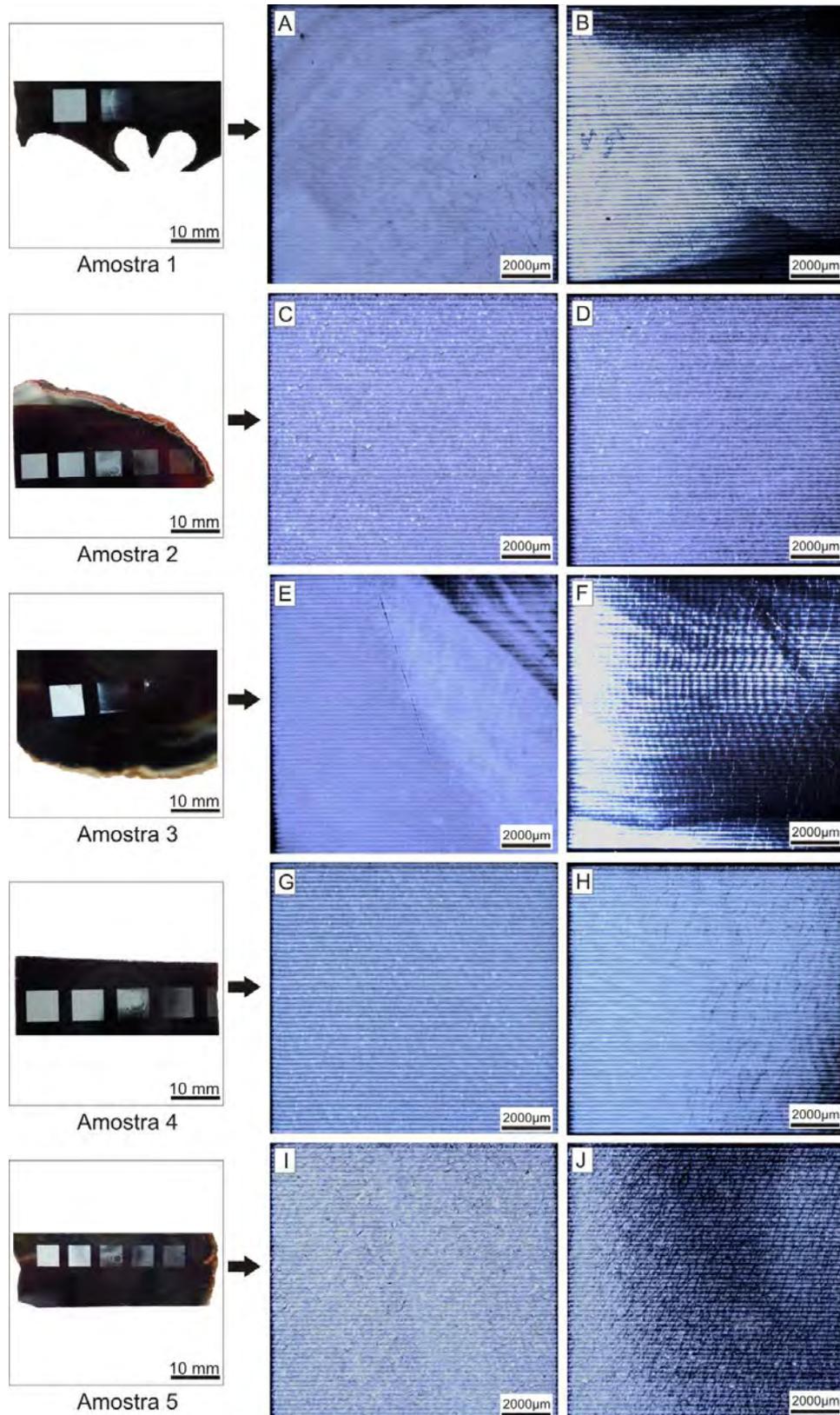
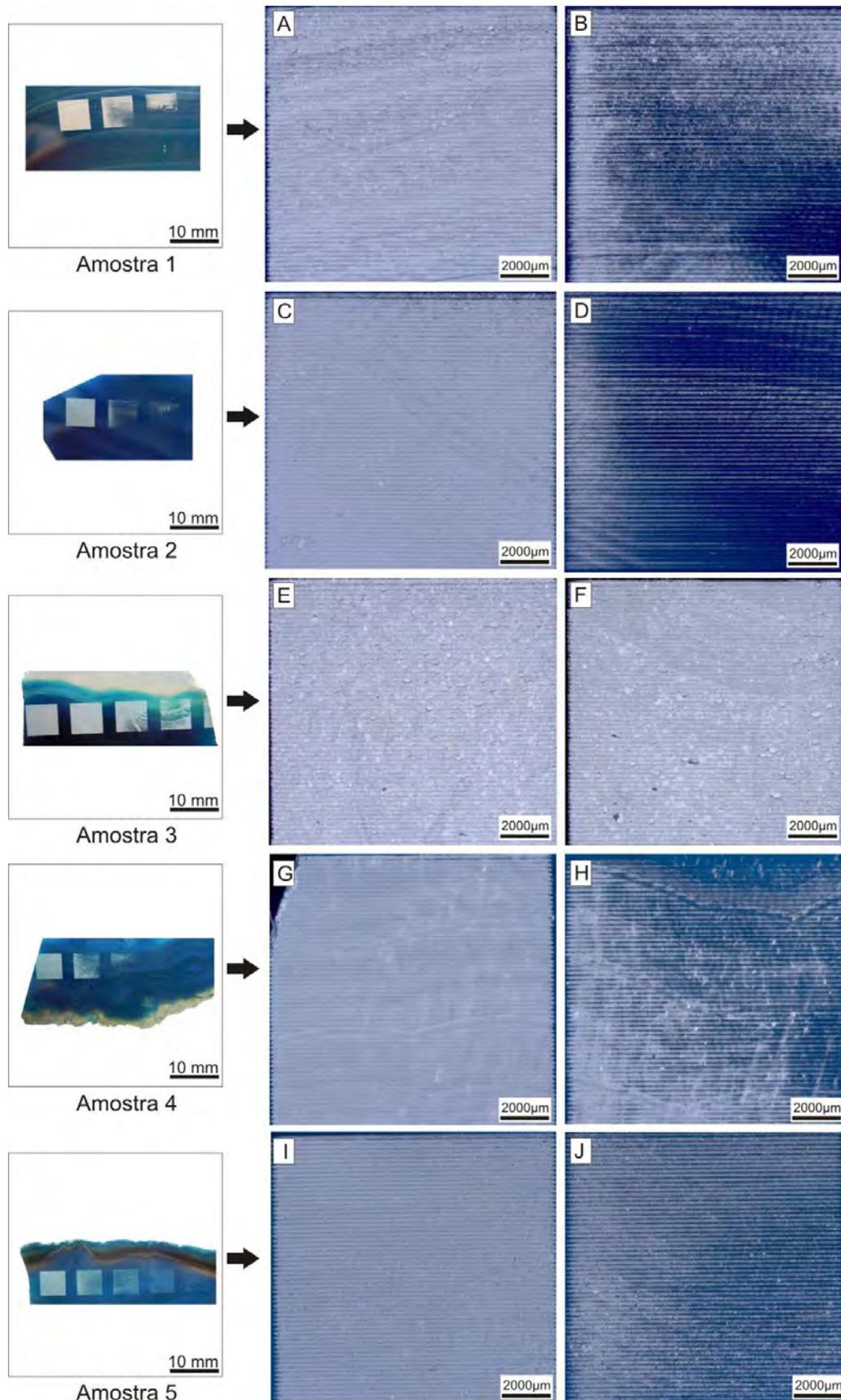


Figura 52: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento verde, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. As imagens A, C, E, G e I representam 100% de saturação em preto (ao centro), e as imagens B, D, F, H e J com 90% de tonalidade de cinza, à direita.



As amostras com tingimento inorgânico vermelho (Figura 53), apresentaram uma melhor gravação a vista desarmada nas tonalidades de 100% (Figura 53A, C, E, G e I), mas ao microscópio estereoscópico apresentam algumas fraturas. Na amostra 1, nota-se na tonalidade de 90% uma gravação não satisfatória, com fraturas e algumas falhas nos traçados (Figura 53B). Já a amostra 2, apresenta na tonalidade de 90% uma diminuição da gravação no bandamento da amostra (Figura 53D). Na gravação da amostra 3, visualiza-se fraturas nas adjacências dos traçados (Figura 53E e F). Na amostra 4 (Figura 53G e H) as gravações foram satisfatórias com um traçado uniforme nas duas tonalidades de cinza. Já a amostra 5 (Figura 53I e J) as gravações apresentam fraturas nos traçados da imagem.

Com o tingimento orgânico sintético na tonalidade rosa (Figura 54), visualiza-se que na amostra 1 (Figura 54A e B) o traçado apresentou no começo da gravação algumas fraturas de expansão térmica, mas no decorrer da gravação o traçado está uniforme. Na gravação de 90% de tonalidade, da amostra 1, nota-se a presença de falhas na parte do bandamento da gema (Figura 54B). Já a amostra 2 observa-se uma gravação não uniforme com fraturas no traçado com tonalidade de 90% (Figura 54D). Nas amostras 4 e 5 a gravação ficou satisfatória com uma clara definição das porcentagens de saturação (Figura 54G, H, I e J).

As gravações com o tingimento roxo (Figura 55) apresentaram visualmente, a vista desarmada, uma boa uniformidade nos traçados. Na amostra 1 (Figura 55A e B) a gravação ficou uniforme em todas as tonalidades. Já a amostra 2 obteve uma gravação com poucas fraturas aparentemente e uma diminuição da gravação na parte do bandamento (Figura 55C e D). Nas gravações da amostra 3, as fraturas são evidenciadas na Figura 55E, e um traçado uniforme na Figura 55F. Nas gravações da amostra 4 (Figura 55G) com tonalidade de 100% observa-se que o traçado apresentou uma uniformidade em toda a imagem gravada. Já na tonalidade de 90%, amostra 4 (Figura 55H), a gravação perdeu a intensidade em alguns trechos do traçado. A amostra 5 apresentou em todos os traçados fraturas de expansão térmica (Figura 55I e J).

Nos testes realizados com as amostras de ágata sem tingimento (Figura 56), nota-se uma uniformidade nas gravações das imagens, sendo todos os resultados satisfatórios (Figura 56A, B, C, D, E, F, G e H). Na amostra 5 (Figura 56I e J) o bandamento fica evidente após a gravação a laser.

Figura 53: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento vermelho, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. As imagens A, C, E, G e I representam 100% de saturação em preto (ao centro), e as imagens B, D, F, H e J com 90% de tonalidade de cinza, à direita.

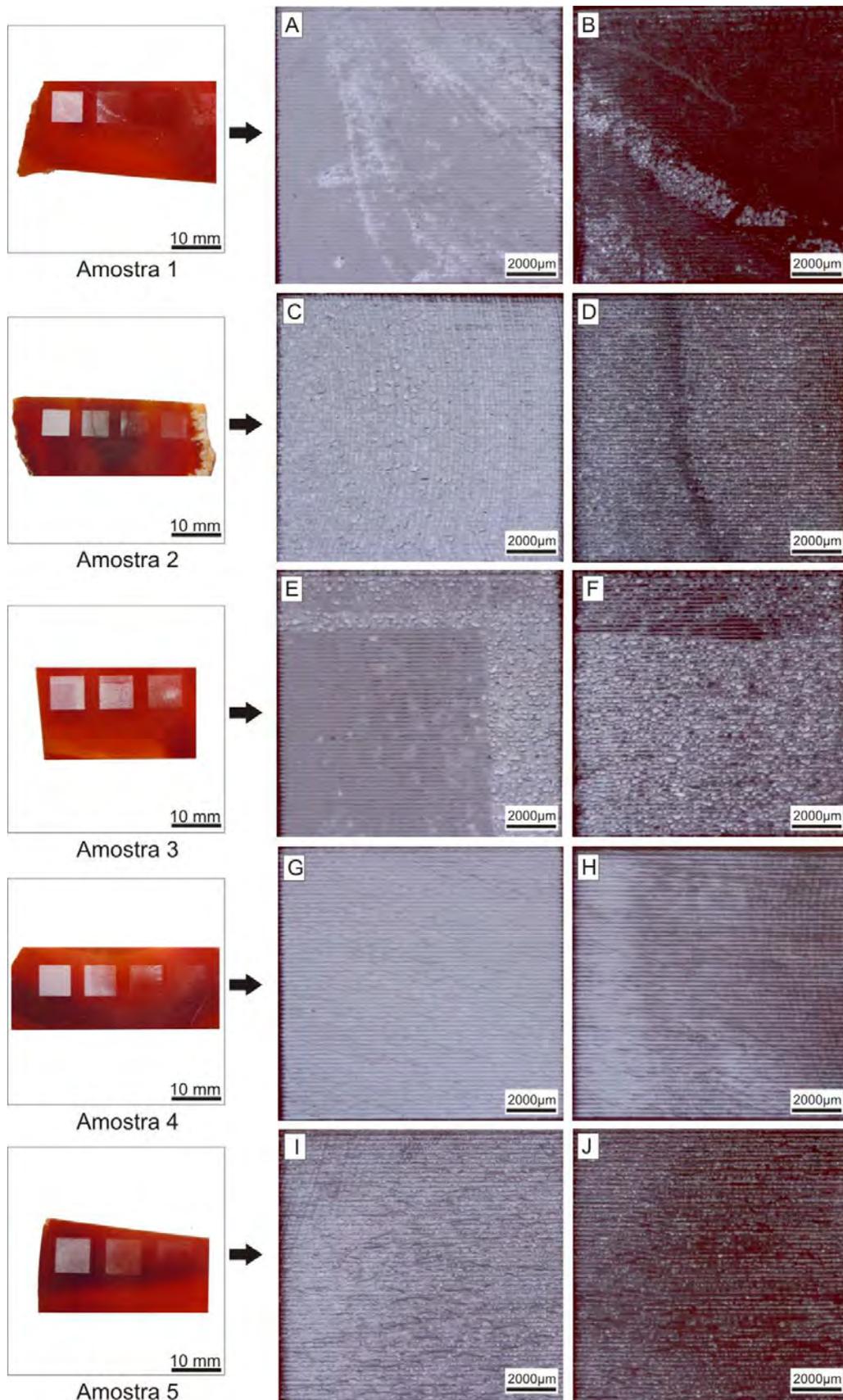


Figura 54: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento rosa, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. As imagens A, C, E, G e I representam 100% de saturação em preto (ao centro), e as imagens B, D, F, H e J com 90% de tonalidade de cinza, à direita.

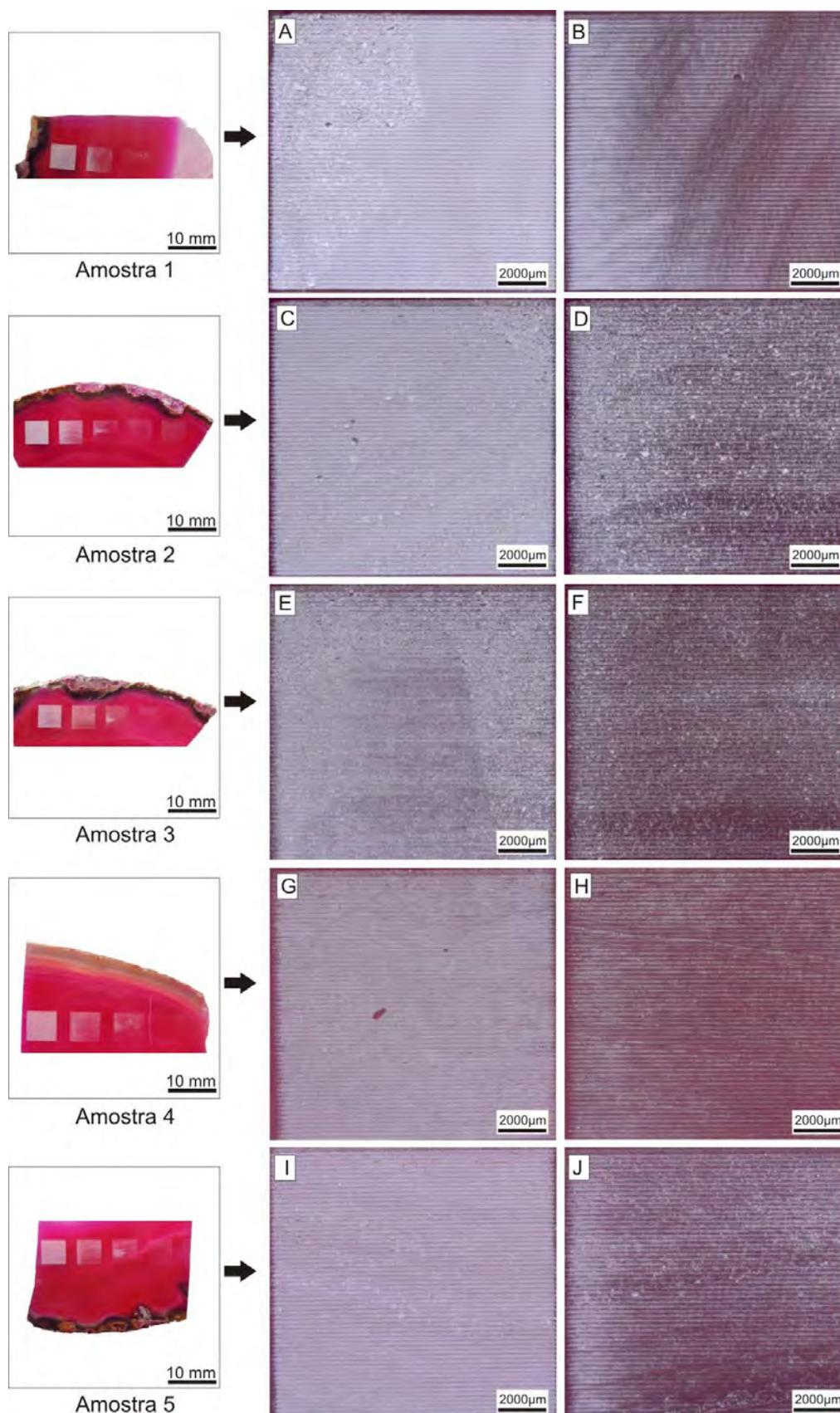


Figura 55: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) com tingimento roxo, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. As imagens A, C, E, G e I representam 100% de saturação em preto (ao centro), e as imagens B, D, F, H e J com 90% de tonalidade de cinza, à direita.

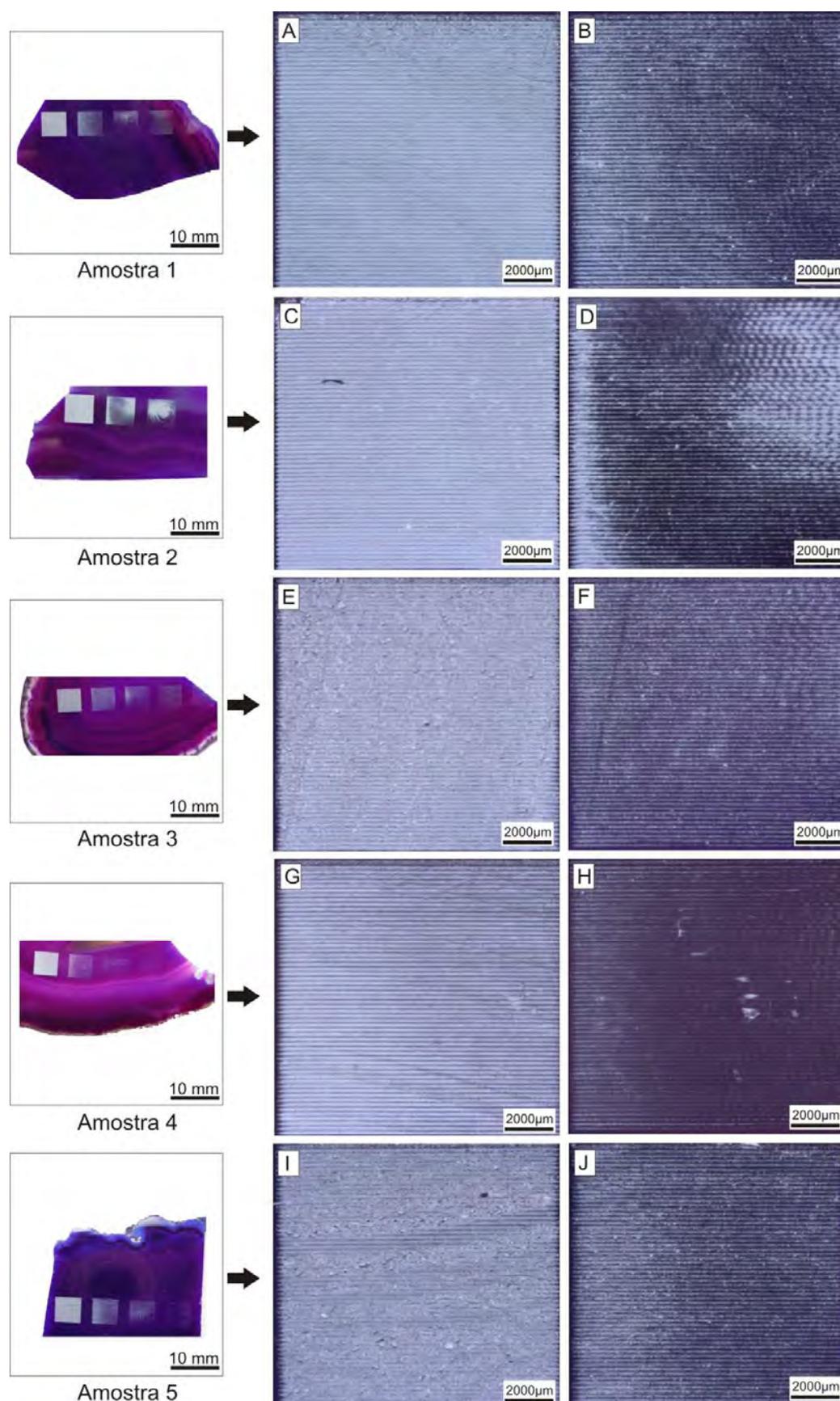
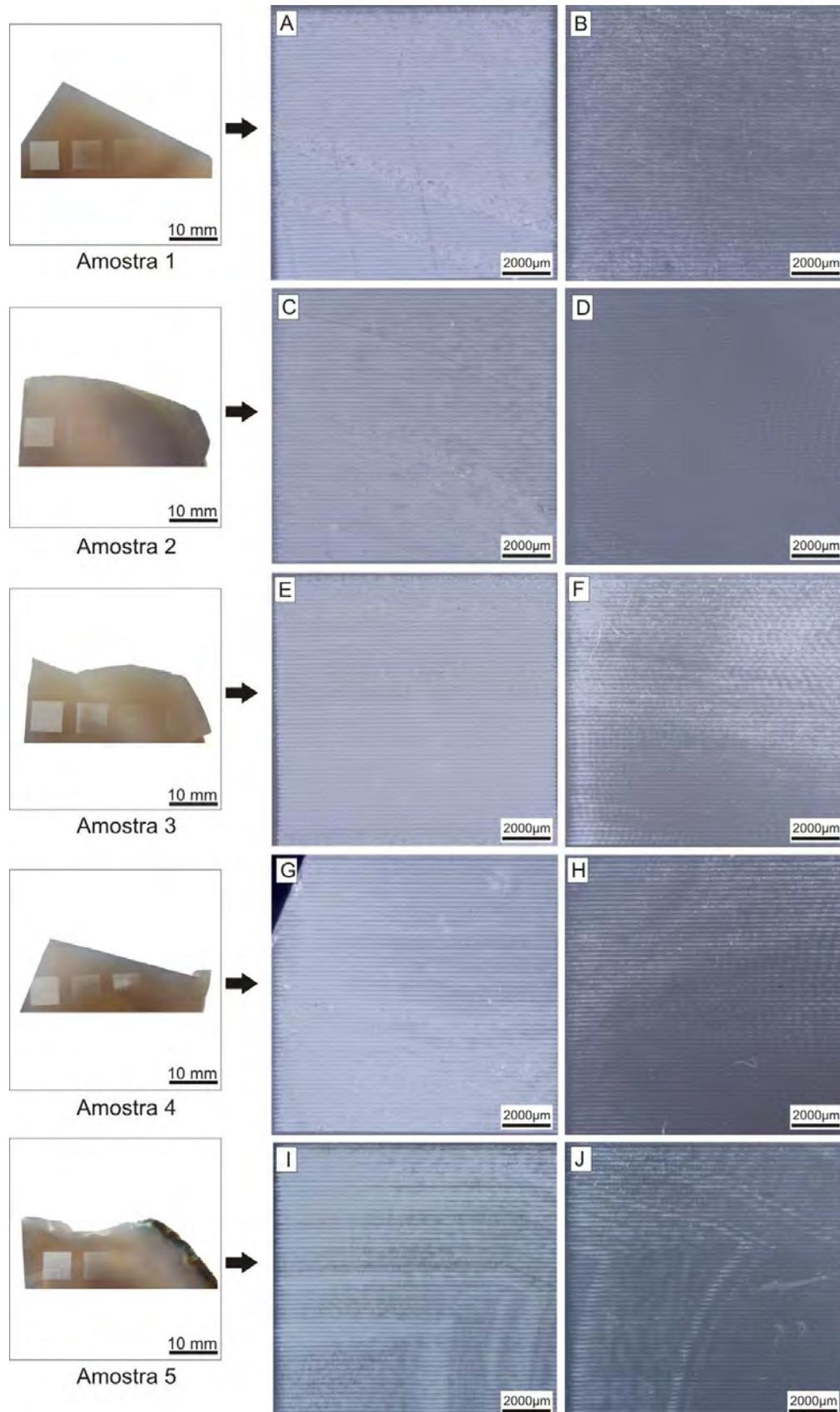


Figura 56: Amostras 1, 2, 3, 4, e 5 (lado esquerdo da figura) sem tingimento, gravadas a laser, com resolução de 300 dpi e visualizados em microscópio estereoscópico. As imagens A, C, E, G e I representam 100% de saturação em preto (ao centro), e as imagens B, D, F, H e J com 90% de tonalidade de cinza, à direita.



4. 2. 1. 3 Testes de gravação a laser – CTPedras / Soledade

Para o equipamento localizado no CTPedras foram utilizadas as mesmas resoluções de 150 dpi, 200 dpi e 300 dpi (Figura 57). A utilização da resolução de 200 dpi é freqüentemente utilizada nas gravações feitas pelos funcionários do CTPedras. Esta resolução é escolhida por não ter alteração na dimensão do desenho quando aberto no *software* Automatisa Laser Draw[®]. Outras delimitações utilizadas freqüentemente nas gravações do CTPedras é a potência de 15 W e velocidade de 20 m/min, sugeridas inicialmente pelo fabricante do equipamento. Dentre todas estas delimitações utilizadas atualmente, partiu-se para as análises destas e de novos testes para a caracterização e padronização de amostras de ágata.

Após estas informações de utilização do equipamento pelos funcionários foram feitas novas investigações de potências e velocidades. Primeiramente foi delimitada as potências de 12, 15, 18, 21 e 24 W; e velocidade de 40, 20, 15, 10 e 5 m/min. Tanto as resoluções, potências e velocidades foram testadas em variações maiores e menores que estas apresentadas, mas não foram obtidas gravações aparentes nas amostras de ágata. Um exemplo desta constatação é a utilização da potência máxima do equipamento, de 30 W, com estas velocidades delimitadas acima, ocasionando uma gravação não aparente visualmente sem nenhuma presença de fusão localizada no material. Todas as amostras gravadas para a execução destes testes foram inicialmente analisadas e delimitadas visualmente e pelo nível de rugosidade apresentado, ao tato, na superfície do material.

Figura 57: Conjunto de amostras de ágata gravadas a laser com lente de 20 cm x 20 cm e potência de 30 W (CTPedras).



A resolução de 150 dpi, para a potência de 12 W com as velocidades especificadas na Tabela 5, e tonalidades de 100% a 10%, apresentou uma gravação ruim ou não aparente. Com a potência de 15 W à 40, 20 e 10 m/min de velocidade, as gravações também não foram satisfatórias, sendo considerado um bom resultado a velocidade de 5 m/min, com tonalidade de cinza de 50% (Tabela 5). Utilizando a potência de 18 W, com velocidades de 20 m/min e 10 m/min, observou-se uma gravação satisfatória com a porcentagem de 100% de preto. Para a potência de 21 W as velocidades de 20 m/min e 15 m/min também obtiveram uma boa gravação nas tonalidades de 100% e 90%. Com a última potência verificada com esta resolução, de 24 W, nota-se que à velocidades mais baixas (15 m/min e 10 m/min) a gravação é satisfatória para 80% a 60% de saturação.

Tabela 5: Parâmetros utilizados nas gravações de 150 dpi (CTPedras).

dpi	Lente	Potência	Velocidade	Tonalidade de preto (%):										
				100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
150	20x20	12W	20m/min	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□
150	20x20	12W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
150	20x20	12W	5m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
150	20x20	15W	40m/min	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□
150	20x20	15W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
150	20x20	15W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
150	20x20	15W	5m/min	■	■	■	■	■	★	■	■	■	□	□
150	20x20	18W	20m/min	★	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
150	20x20	18W	15m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
150	20x20	18W	10m/min	★	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
150	20x20	18W	5m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□
150	20x20	21W	40m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
150	20x20	21W	20m/min	★	★	■	■	■	■	■	■	□	□	□
150	20x20	21W	15m/min	★	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
150	20x20	21W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□
150	20x20	24W	40m/min	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□
150	20x20	24W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
150	20x20	24W	15m/min	■	■	★	■	■	■	■	■	■	□	□
150	20x20	24W	10m/min	■	■	★	★	★	■	■	■	■	■	□

★ bom ■ ruim □ gravação não aparente

Com a resolução de 200 dpi a primeira potência utilizada foi a de 12 W, com as velocidades especificadas na tabela 6. Todas as tonalidades, de 100% a 10%, não obtiveram como resultado uma boa gravação (Tabela 6). Já à potência de 15 W, somente a gravação com velocidade de 15 m/min foi satisfatória com a saturação de 90% de tons de cinza. A única amostra que obteve uma gravação satisfatória nas tonalidades de 100% e 90% foi a com potência de 18 W e velocidade de 15 m/min. Os outros testes analisados, com potências maiores, não obtiveram uma gravação satisfatória e regular (Tabela 6).

Tabela 6: Parâmetros utilizados nas gravações de 200 dpi (CTPedras).

dpi	Lente	Potência	Velocidade	Tonalidade de preto (%):										
				100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
200	20x20	12W	20m/min	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
200	20x20	12W	15m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
200	20x20	12W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
200	20x20	15W	40m/min	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□
200	20x20	15W	20m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
200	20x20	15W	15m/min	■	★	■	■	■	■	□	□	□	□	□
200	20x20	15W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	18W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	18W	15m/min	★	★	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	18W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	18W	5m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	21W	20m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
200	20x20	21W	15m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
200	20x20	21W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
200	20x20	24W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
200	20x20	24W	15m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□

★ bom ■ ruim □ gravação não aparente

Na resolução de 300 dpi as potências de 12, 18 e 21 W com velocidades de 40, 20, 15 e 10 m/min, apresentou uma gravação insatisfatória em todas as porcentagens de saturação (Tabela 7). O único parâmetro com resultado satisfatório foi à potência de 15 W e velocidades de 15 m/min e 10 m/min, com tonalidade de 100% de preto (Tabela 7).

Tabela 7: Parâmetros utilizados nas gravações de 300 dpi (CTPedras).

dpi	Lente	Potência	Velocidade	Tonalidade de preto (%):										
				100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
300	20x20	12W	20m/min	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
300	20x20	12W	15m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
300	20x20	15W	40m/min	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□
300	20x20	15W	20m/min	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
300	20x20	15W	15m/min	★	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
300	20x20	15W	10m/min	★	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
300	20x20	15W	5m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□
300	20x20	18W	40m/min	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
300	20x20	18W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
300	20x20	18W	15m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
300	20x20	18W	10m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
300	20x20	21W	40m/min	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
300	20x20	21W	20m/min	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□

★ bom ■ ruim □ gravação não aparente

Para uma melhor avaliação destas gravações optou-se por selecionar os melhores resultados referidos nas Tabelas 5, 6 e 7 para serem analisados mais precisamente (Figura 58).

Figura 58: Amostras gravadas a laser com resultados considerados satisfatórios (CTPedras).



Estas novas análises foram executadas com a utilização do microscópio estereoscópico SZX16. As amostras selecionadas com as suas configurações podem ser visualizadas na Tabela 8 abaixo.

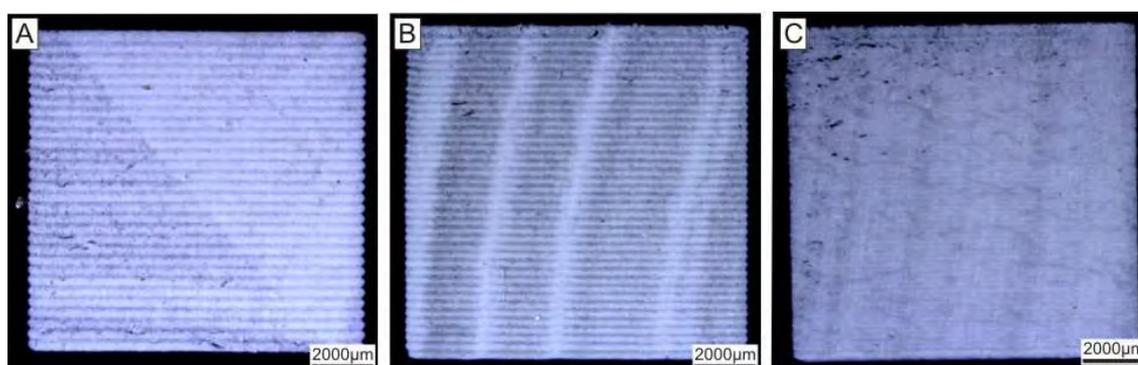
Tabela 8: Amostras com gravações satisfatórias.

dpi	Lente	Potência	Velocidade	Tonalidade de preto (%):												
				100	90	80	70	60	50	40	30	20	10			
150	20x20	15W	5m/min							★						
150	20x20	18W	20m/min	★												
150	20x20	18W	10m/min	★												
150	20x20	21W	20m/min	★	★											
150	20x20	21W	15m/min	★												
150	20x20	24W	15m/min						★							
150	20x20	24W	10m/min						★	★	★					
200	20x20	15W	15m/min						★							
200	20x20	18W	15m/min	★	★											
300	20x20	15W	15m/min	★												
300	20x20	15W	10m/min	★												

★ bom

Observando todas as gravações satisfatórias mostradas na Tabela 8, com tonalidades de 100%, percebe-se que mesmo com potências e velocidades diferentes os espaçamentos entre as linhas são mínimos entre si (Figuras 59A e B). Como observado para a gravação em jpeg para o equipamento do LdSM, conforme é aumentada a resolução é visualizado uma diminuição no espaçamento entre as linhas. Deste modo, para a resolução de 300 dpi feita no CTPedras, o distanciamento entre as linhas é imperceptível, causando uma interferência entre estas e ocasionando inúmeras fraturas de expansão térmica nos traçados das linhas que compõe a imagem (Figura 59C).

Figura 59: Gravação a laser de quadrados com 150 dpi, 200 dpi e 300 dpi visualizados em microscópio estereoscópico:



(A) resolução de 150dpi com potência de 21 W e velocidade de 15 m/min; (B) resolução de 200 dpi com potência de 18W e velocidade de 15 m/min; e (C) resolução de 300 dpi com potência de 15 W e velocidade de 15 m/min.

5. DESENVOLVIMENTO DE GRAVAÇÕES A LASER PARA A APLICAÇÃO EM JOALHERIA

Para uma aplicabilidade e entendimento de todos os resultados dos métodos de investigação executados nesta dissertação, será apresentado, a seguir, um apanhado de todas as análises consideradas satisfatórias, aplicando-as no desenvolvimento de peças joalheiras com a utilização do material gemológico gravado a laser.

Com as análises e delimitações dos melhores parâmetros para a utilização do processo de gravação a laser na ágata, partiu-se para o desenvolvimento de desenhos para a aplicabilidade da gravação na produção de duas peças joalheiras.

Para o processo de criação no desenvolvimento destes desenhos aplicou-se os ensinamentos que autores na atualidade transmitem em suas bibliografias (BACK, 1983; BAXTER, 2000; BOMFIM, 1995; LÖBACH 2001; OSTROWER, 1977), acompanhando a velocidade e exigências do mercado. O designer vem ao longo dos anos apresentando um papel fundamental no processo de criação de produtos. A atividade de desenvolvimento de um novo produto não é tarefa simples, requer pesquisa, planejamento cuidadoso e uma visão global, abrangendo conhecimentos de mercado, processos de fabricação, de arte e de estilo.

Para auxiliar a criação dos desenhos a serem gravados a laser, foram selecionadas algumas imagens relacionadas ao contexto do material gemológico para a construção de uma ambientação através de imagens visuais (Figura 60). A escolha do tema destas imagens é para referenciar a beleza do próprio material, na qual, a inspiração, a ágata e a utilização da tecnologia unem-se para o desenvolvimento de um pingente e de um bracelete.

Figura 60: Ambientação com imagens do material gemológico ágata (ZENZ, 2005; SGARBI, 2000).



Com a interpretação do sentido das imagens da ambientação, através da rápida visualização e compreensão de significados, é produzida mentalmente uma nova composição gráfica facilitando o raciocínio projetual. Deste ponto parte-se para a criação de desenhos rápidos para a geração de ideias (APÊNDICE A). Para a criação foram levadas em consideração todas as análises e resultados satisfatórios dos testes feitos anteriormente. No desenvolvimento dos desenhos foi criada uma peça utilizando a exportação de arquivo do tipo plt. (pingente), e uma peça utilizando arquivo de imagem em jpeg (bracelete). As amostras de ágata utilizadas foram adquiridas no comércio do município de Soledade / RS.

Para a criação do pingente foi utilizado juntamente com a ágata, uma base de prata (Ag 925) e um colar em couro. A padronização utilizada na criação do desenho e no processo de gravação e corte a laser, do pingente, para os arquivos do tipo plt., são descritas abaixo e visualizadas na ficha técnica (Figura 61):

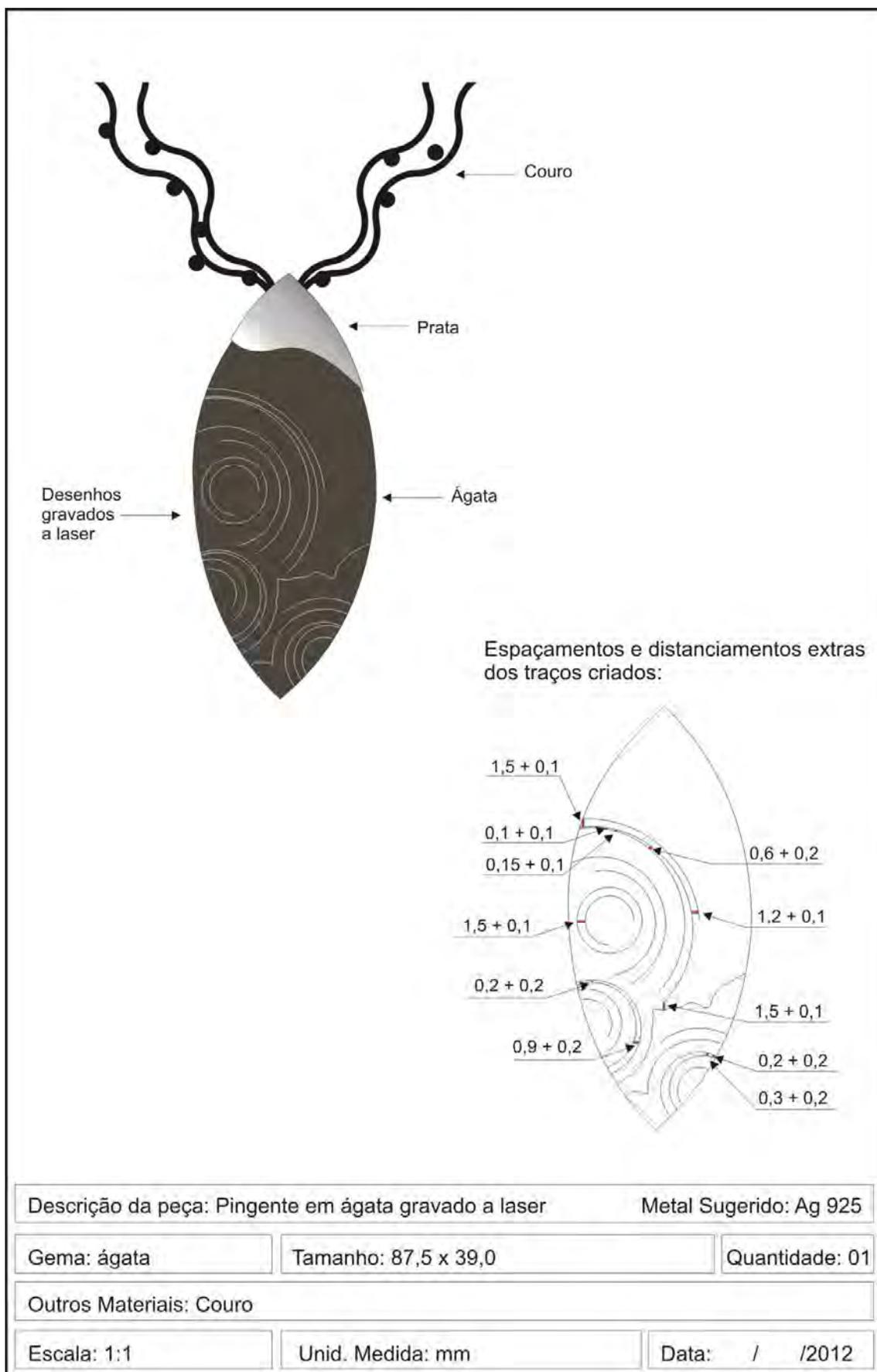
1. Para a **gravação na ágata** foi utilizado a **lente de 10 cm x 10 cm**, por apresentar nos resultados maior intensidade e traços com maior precisão;
2. Para esta criação a amostra de ágata foi selecionada com o intuito de **descartar peças com a presença de quartzo macrocristalino**;

3. A criação dos desenhos foi desenvolvida no programa CorelDRAW X4[®] tendo como limitante para a **área de criação** a medida de **100 cm²**, dada pela utilização da lente de 10 cm x 10 cm;
4. Em todos os traços desenvolvidos foi adotada a média de distanciamento adicional para os espaçamentos entre as linhas e curvas, evitando assim a presença de proximidade entre as fraturas de expansão térmica e a sobreposição de linhas. Para os espaçamentos de **1,5; 1,2; 0,15 e 0,1 mm** o distanciamento extra a ser acrescentado foi de **0,1 mm**. Já para os distanciamentos de **0,9; 0,6; 0,3 e 0,2 mm**, o espaçamento a ser acrescentado, delimitado pelos resultados, é de **0,2 mm**;
5. Para os traços curvos criados foi adotada a configuração de exportação programada no **formato avançado com resolução de curvatura de 0,01 mm**, para a obtenção de uma gravação contínua e uniforme, sem a presença de arestas;
6. No software do equipamento, Automatisa Laser Draw[®], foi utilizado a programação com **potência de 60 W (100%) e velocidade de 30 m/min**, por terem sido os ensaios com melhores resultados de acabamento e poucas fraturas de expansão térmica nas gravações, quando observadas ao MEV, por percepção tátil e visual, e ao microscópio estereoscópico;
7. Após a programação, deve-se ajustar a distancia focal da mesa de trabalho, que é de **5,8 cm, acrescentando-se a mais a espessura da ágata** a ser gravada, para que a superfície da amostra esteja localizada na distância focal nominal da lente, qual seja 5,8 cm;
8. Com o ajuste da distancia focal da mesa de trabalho deve-se **localizar a área ou o contorno** do desenho criado para o posicionamento adequado do material gemológico a ser gravado;
9. Com todas estas delimitações seguidas a gravação na ágata pode ser executada;

10. Para compor o pingente foi criado um **colar em couro**, desenhado no programa CorelDRAW X4[®] e **cortado a laser**. Como referência para parâmetros de corte a laser em couro foi utilizado os resultados obtidos por Gabert (2010). O arquivo foi exportado em **plt.**, e adotado a configuração de exportação programada no **formato avançado com resolução de curvatura de 0,01 mm**, para a obtenção de um corte contínuo e uniforme, sem a presença de arestas. Para este colar foi utilizado a **lente de 30 cm x 30 cm**, por ter seu dimensionamento maior do que a área da lente de 10 cm x 10 cm;

11. No software do equipamento, Automatisa Laser Draw[®], foi utilizado a programação com **potência de 60 W (100%)** e **velocidade de 2 m/min** sob refrigeração, para conter a queima do couro com a ação do feixe laser. Após a programação foi ajustada a distancia focal da mesa de trabalho, de **34,2 cm mais a espessura do couro** a ser cortado, e a localização da área do desenho. Com todas estas delimitações seguidas o corte a laser, foi executado.

Figura 61: Ficha Técnica do pingente em ágata, com a utilização de arquivo do tipo plt.



Para a criação do bracelete foi utilizado juntamente com o metal e a ágata, uma base de couro. A peça criada foi inspirada na ambientação da ágata, tanto para a gravação a laser na gema, como no corte do couro. Para a aplicação do processo laser foi utilizado os dois tipos de exportação, arquivo do tipo plt. para o corte do couro, e arquivo de imagem jpeg para a gravação na ágata.

A padronização utilizada para o processo de gravação e corte a laser para os arquivos são descritas abaixo e visualizadas na ficha técnica (Figura 62):

1. Para a **gravação na ágata** foi utilizado a **lente de 10 cm x 10 cm**, por apresentar nos resultados maior intensidade e traços com maior precisão;
2. A amostra de ágata foi selecionada com o intuito de **descartar peças com a presença de quartzo macrocristalino**;
3. A imagem delimitada a ser gravada na ágata foi inspirada na ambientação construída, sendo modificada no programa Adobe Photoshop CS6[®], para **salientar o contraste entre o preto e o branco**. Estas modificações foram feitas com base nos resultados mais satisfatórios identificados pelos métodos de investigação. Para isto foi utilizada a ferramenta **níveis de ajuste** no *software*, que possibilita a correta programação da imagem com as tonalidades em tons de cinza variando de **100% a 60% e branco**;
4. Após os ajustes na imagem foi adotada a exportação de **arquivo jpeg** com **resolução de 300 dpi**, por ter uma melhor qualidade de pixels, e por ter sido selecionado como tendo apresentado os resultados de gravação mais satisfatórios, perante as análises de percepção visual, tátil, e ao microscópio estereoscópico;
5. No *software* do equipamento, Automatisa Laser Draw[®], foi programado nas **propriedades** do programa o **dimensionamento exato da imagem**. Logo após foi utilizado a programação com **potência de 60 W (100%)** e **velocidade limitante de 102 m/min**, e **velocidade desejada de 100 m/min**, por apresentarem nos métodos investigados melhores resultados

de acabamento e poucas fraturas de expansão térmica nas gravações analisadas;

6. Após a programação foi ajustada a distancia focal da mesa de trabalho, que é **de 5,8 cm mais a espessura da ágata** a ser gravada, tal como descrito acima na gravação do pingente;
7. Com o ajuste da distancia focal da mesa de trabalho deve-se **localizar a área ou o contorno** do desenho criado para o posicionamento adequado do material gemológico a ser gravado;
8. Com todas estas delimitações seguidas a gravação na ágata com o arquivo jpeg pode ser executada;
9. A criação do desenho para o **corte a laser no couro**, base do bracelete, foi desenvolvido no programa CorelDRAW X4[®] sendo utilizado a **exportação de arquivo do tipo plt.**, e **lente de 30 cm x 30 cm**, por esta base ter seu dimensionamento maior do que a área da lente de 10 cm x 10 cm;
10. Para as formas arredondadas criadas foi adotada a configuração de exportação programada no **formato avançado com resolução de curvatura de 0,01 mm**, para a obtenção de um corte contínuo e uniforme, sem a presença de arestas;
11. No *software* do equipamento, Automatisa Laser Draw[®], foi utilizado a programação com **potência de 60 W (100%)** e **velocidade de 2 m/min**, sob refrigeração, tal como descrito acima na gravação do colar do pingente;
12. Após foi ajustada a distancia focal da mesa de trabalho que é **de 34,2 cm mais a espessura do couro** a ser cortado;

13. Com o ajuste da distancia focal da mesa de trabalho deve-se **localizar a área ou o contorno** do desenho criado para o posicionamento adequado do couro;

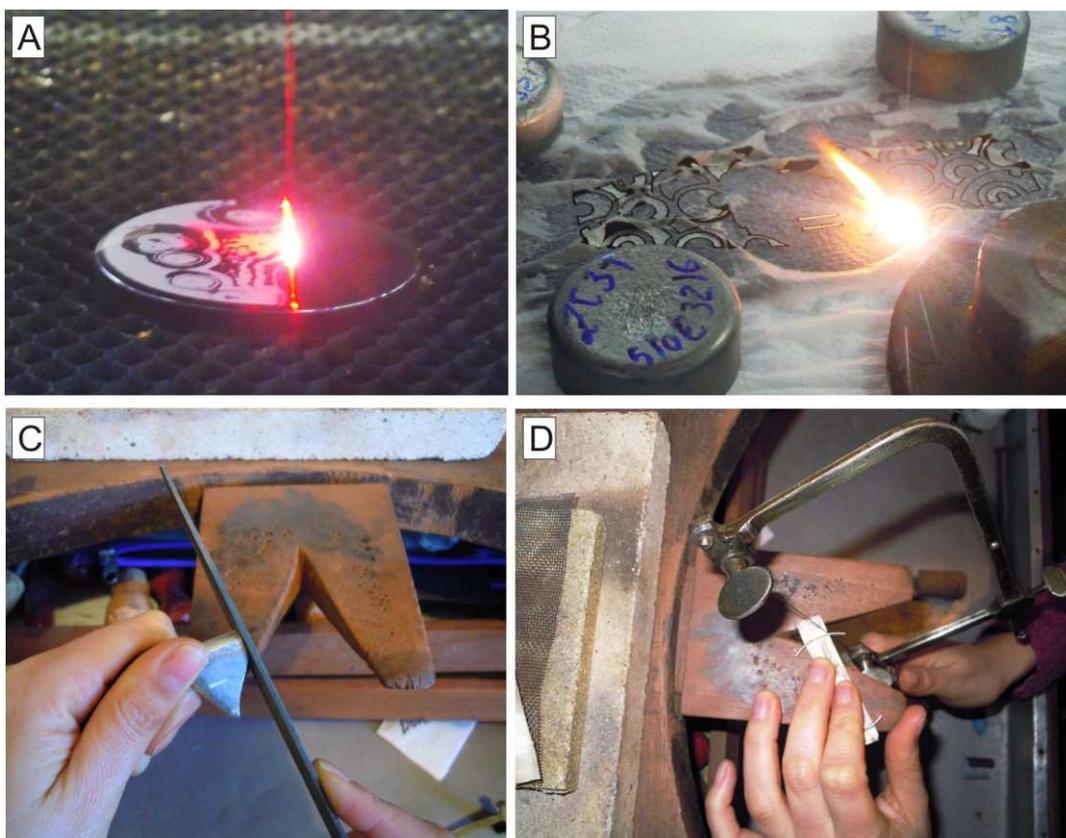
14. Com todas estas delimitações seguidas o corte a laser foi executado.

Figura 62: Ficha Técnica do bracelete com utilização de ágata, com arquivos jpeg e do tipo plt.



Na Figura 63 visualiza-se a aplicação dos processos de corte e gravação a laser e de fabricação para a construção das peças. Toda a estrutura em metal, prata (Ag 925), foi produzida de forma manual por processos artesanais de ourivesaria.

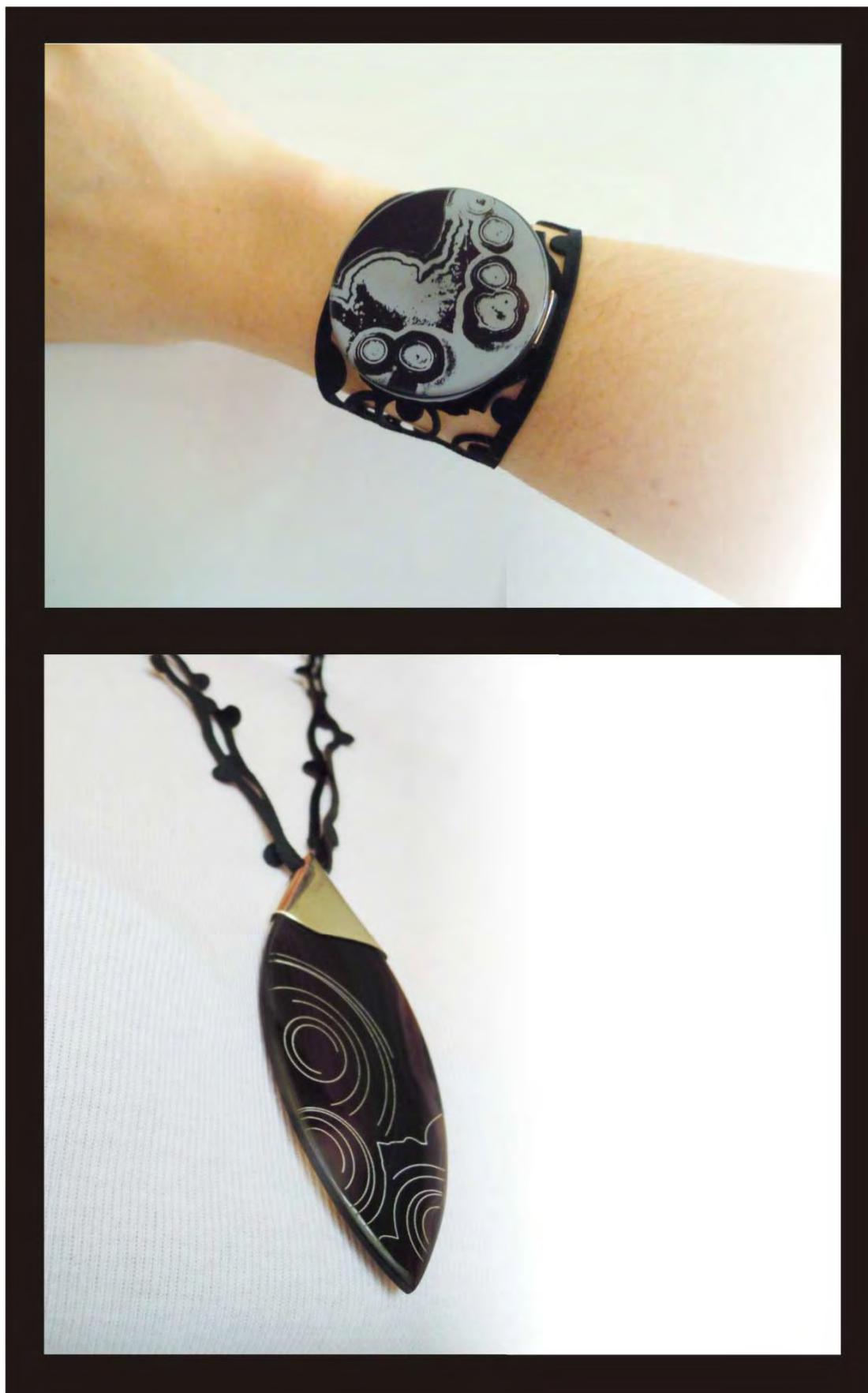
Figura 63: Fabricação das joias:



(A) processo de gravação a laser na ágata; (B) processo de corte a laser da parte em couro do bracelete; (C) fabricação da base em prata para o pingente em ágata; e (D) corte com arco de serra da caixa em prata para sustentação da gema.

Após a aplicação do processo laser, de gravação na ágata e corte no couro, e de fabricação das partes em metal, as peças foram acabadas e polidas. As joias finalizadas podem ser visualizadas na Figura 64.

Figura 64: Joias com a utilização da ágata gravadas e cortadas a laser.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia é a ferramenta facilitadora e inovadora para materializar produtos com elevado nível de precisão, detalhamento e auxilia nos processos de fabricação. Apesar da valorização e disponibilidade do material gemológico no Rio Grande do Sul, o baixo desenvolvimento tecnológico aplicado e a carência de design são observados nos produtos desenvolvidos pelas indústrias do estado. O município de Soledade comercializa gemas e materiais gemológicos e estão estabelecidas neste município cerca de 180 empresas. Apesar de toda riqueza mineral, o beneficiamento é muito pouco elaborado e pouco inovador, pois as possibilidades são limitadas do ponto de vista tecnológico dentro de cada empresa. Para o desenvolvimento dos produtos em ágata, design e tecnologia são utilizados eventualmente para a agregação de valor, resultando em uma produtividade baixa e pouco qualificada. As indústrias carecem introduzir produtos inovadores e qualificados para atender o mercado comprador e estar à frente no cenário mundial.

Os processos a laser têm evoluído progressivamente com o passar dos anos, substituindo ou adequando-se aos métodos convencionais utilizados nos processos de produção de produtos. A gravação a laser aliando-se aos materiais gemológicos no desenvolvimento de produtos com melhor qualidade e diferencial, é um dos fatores que esta dissertação buscou alcançar. A padronização e a caracterização deste processo visam auxiliar as indústrias e os profissionais da área de design no que tange à fabricação de produtos inovadores e com maior valor agregado.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, desde a coleta de dados; coleta de materiais nos principais pontos de extração, de comércio e de beneficiamento; compilação e levantamento bibliográfico; pesquisas de campo; análises do processo tecnológico; caracterização do material, antes e após a aplicação do laser; testes de aplicabilidade do processo laser para a criação do desenho a ser gravado; análises dos resultados; e desenvolvimento de gravações a laser para a aplicação em joalheria, considera-se que:

- A padronização da técnica de gravação a laser pode agregar valor à criação de novos produtos em ágata, criando um diferencial para as

peças de joalheria e adornos, sendo facilmente aplicada em escala industrial;

- As formas gráficas criadas no programa CorelDRAW X4[®] para a aplicabilidade do processo de gravação a laser foram fielmente reproduzidas nas superfícies dos materiais gemológicos, quando aplicadas a estas os parâmetros definidos nesta dissertação;
- Para a adequada exportação de formas arredondadas em arquivos do tipo plt., é de grande importância, para obtenção de um traçado uniforme, contínuo e sem a presença de arestas, que sejam apropriados os parâmetros de exportação definidos nesta dissertação. Estes parâmetros já estão sendo adotados por alunos e pesquisadores da UFRGS, quando da utilização do equipamento localizado no LdSM, sendo os resultados satisfatórios para inúmeros materiais, quais sejam: Poli (metacrilato de metila) – PMMA, madeira, papel e papelão, dentre outros;
- A utilização dos equipamentos localizados no LdSM / UFRGS com as lentes de 10 cm x 10 cm e 30 cm x 30 cm, e no CTPedras / Soledade com a lente de 20 cm x 20 cm, com potências de 60 W e 30 W, respectivamente, e velocidades de 2 m/min a 100 m/min, para ambos, foram de grande valia para o desenvolvimento de análises quantitativas e qualitativas da interação do feixe laser com a ágata, proporcionando identificar e comparar os resultados e as variações para cada um dos parâmetros pré-definidos;
- A análise do resultado da interação entre o laser e o material, para arquivos do tipo plt., por imagens eletrônicas de varredura, possibilitou a observação de microestruturas, auxiliando na identificação dos resultados considerados satisfatórios;
- Para arquivos do tipo plt., resultados satisfatórios podem ser atingidos com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm, potência de 60 W e

velocidade de 30 m/min para linhas e círculos bem definidos, uniformes e sem a presença de fraturas de expansão térmica nas adjacências. Para a lente de 20 cm x 20 cm, potência de 30 W, os melhores resultados foram identificados para o intervalo de velocidades entre 20 m/min a 35 m/min, tendo sido obtido traços precisos e uniformes, sendo que para se obter um taçado mais fino (menor espessura) é sugerida a utilização da velocidade de 35 m/min;

- Resultados satisfatórios também foram identificados quando utilizada a lente de 10 cm x 10 cm e potência de 30 W (50% da potência do equipamento do LdSM), para a ágata sem tingimento gravada com velocidades entre 20 e 25 m/min. Nestes parâmetros o limite entre a zona de interação do laser com o material gemológico é bem definido e com ausência de fraturas;
- A velocidade de gravação é um dos parâmetros mais importantes, visto que o material gravado (calcedônia) não é bom condutor de calor. Para velocidades baixas (e.g. 2 m/min) o laser permanece mais tempo em contato com o material do que a velocidades mais altas (e.g. 30 m/min), gerando fraturas de expansão térmica ao longo das adjacências do traçado;
- A qualificação da área de gravação e intensidade do laser, para cada lente foi avaliada. Com os resultados obtidos considera-se que a área de gravação da lente de 10 cm x 10 cm quando utilizada a potência de 60 W é menor, se comparada com as áreas das outras lentes. Para esta mesma lente e potência a intensidade do laser é maior com uma colimação mais eficiente. Estes resultados elucidam, em parte, a obtenção das melhores gravações com a lente de 10 cm x 10 cm;
- Na avaliação estatística da gravação a laser em ágata tingida e sem tingimento para arquivos do tipo plt., os resultados mais satisfatórios foram reconhecidos nas amostras de ágata tingidas de preto, vermelho e verde, e na ágata sem tingimento. Para os tingimentos em azul, rosa

e roxo os resultados não foram conclusivos, sendo que uma população maior de amostras deve ser testada. Estes dados indicam que tanto corantes inorgânicos quanto os orgânicos sintéticos podem ter bons resultados;

- O estudo detalhado dos traços retos e curvos definiu e especificou os melhores parâmetros para a criação de desenhos. O espaçamento entre linhas gravadas a laser é fator limitante para a criação, pois define o distanciamento ideal entre os traços para que não ocorra interferência entre as linhas e sobreposição das mesmas;
- A média do distanciamento adicional da linha a ser traçada deverá ser levada em consideração, evitando assim a presença de proximidade entre as fraturas de expansão térmica. Para os espaçamentos de 1,5; 1,2; 0,15 e 0,1 mm considera-se que o distanciamento ideal extra a ser adicionado é de 0,1 mm. Já para distanciamentos entre linhas de 0,9; 0,6; 0,3 e 0,2 mm o espaçamento ideal a ser adicionado é de 0,2 mm;
- A variação dos parâmetros (potência, lente e velocidade) gera diferenças na rugosidade da superfície das amostras;
- Para arquivos do tipo plt. com a utilização da lente de 10 cm x 10 cm, observa-se que a cavidade gerada pelo laser é mais profunda e definida, com material vitrificado preenchendo a cavidade e também nas adjacências desta. Na velocidade de 30 m/min, com a lente de 10 cm x 10 cm, observa-se um traçado mais uniforme e definido, com uma variação mínima de dimensionamento de material vitrificado nas bordas da cavidade;
- Para as lentes de 30 cm x 30 cm e 20 cm x 20 cm o material vitrificado nas bordas das cavidades geradas pelo laser é mais expressivo em volume e extensão dimensional;

- A rugosidade percebida pelo tato é resultante do material vitrificado alojado fora das cavidades;
- A intensidade do laser condiciona o tipo de cavidade, sendo que a lente de 10 cm x 10 cm gera cavidades mais profundas e com menores dimensões, condicionando à estas o material vitrificado;
- A intensidade do laser para as lentes de 20 cm x 20 cm e de 30 cm x 30 cm gera progressivamente cavidades menos profundas e com maiores dimensões, acarretando um material vitrificado mais facilmente alojado ao longo do limite das cavidades do que no interior destas. O resultado desta situação é uma maior rugosidade percebida ao tato;
- Para arquivos em jpeg com potência de 60 W e lente de 10 cm x 10 cm os resultados com gravação uniforme e sem rugosidade são os obtidos para arquivos com resolução de 300 dpi;
- Arquivos do tipo jpeg gravados em ágata tingida e sem tingimento são satisfatórios para tonalidade de 100% de preto, quando utilizada a lente de 10 cm x 10 cm. Para saturação menor que 100%, em algumas amostras, a estrutura das camadas da ágata ficou realçada, prejudicando a homogeneidade da gravação;
- Para a lente de 20 cm x 20 cm em arquivos jpeg somente poucos parâmetros foram satisfatórios;
- O material gemológico em questão é heterogêneo, pois possui por vezes intercalações de materiais com grau de cristalinidade diferenciado, o que pode por vezes, ocasionar dificuldade de se obter imagens (jpeg) de qualidade satisfatória, quanto à homogeneidade da gravação. Este aspecto pode ser contornado na etapa de criação, projetando imagens com menores dimensões aumentando a possibilidade de que fiquem sobrepostas sobre porções mais homogêneas do material;

- O estudo da interação entre laser e materiais é ainda um vasto campo a ser explorado. Esta dissertação de mestrado disponibiliza resultados inovadores em relação à gravação por laser do tipo CO₂ em materiais gemológicos, disponibilizando a padronização dos parâmetros ideais para o equipamento e para o desenvolvimento de desenhos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No intuito de dar continuidade, sugerindo estudos futuros referente ao tema desta dissertação, podem-se indicar novos caminhos para a pesquisa:

- Ampliar a população de amostras azul, rosa e roxo, em arquivos do tipo plt., para a obtenção de resultados mais conclusivos;
- Averiguar a utilização do laser em amostras úmidas, para analisar se o equipamento necessita estar localizado em um ambiente climatizado, ou se as amostras devem estar sem umidade;
- Em estudos preliminares de aplicação de microcápsulas em ágata gravadas a laser, os resultados foram satisfatórios, e estudos neste campo devem ser aprofundados.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, *et al.* **Ágata do Rio Grande do Sul. Ministério de Minas e Energia;** Departamento de Produção Mineral. Brasília: DNPM, 1998.

BAGNATO, Vanderlei Salvador. **Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

BARP, D. R. A. **Design e Materiais: Contribuição ao Estudo do Processo de Corte de Ágata por Jato d'Água em Formas Complexas.** 2009, 95 fls. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto:** guia prático para o projeto de novos produtos. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

BACK, Nelson. **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.

BECKER, L. **Do bruto ao brilho.** Zero Hora, Porto Alegre, 20 de maio de 2012. Caderno Dinheiro.

BOMFIM, G. A. **Metodologia para o desenvolvimento de projetos.** João Pessoa, Editora Universitária / UFPB, 1995.

BRUM, I. A. S., SILVA, R. A. **Sistemas de tingimento em gemas** In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. ed. Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010, p. 205 - 217.

CANEVAROLO, JR, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros.** São Paulo: Editora Artliber , 2003.

CALLISTER, JR, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.

CIDADE, M. K.; DUARTE, L. C.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **Caracterização da Técnica de Gravação a Laser em Água para Aplicação em Design de Produtos**. In: VI Congresso Internacional de Materiales, 2011, Bogotá D.C. Colômbia, 2011.

CIDADE, M. K.; SILVEIRA, F. L. ; DUARTE, L. C. **Gravação a Laser e Corte por Jato d' Água em Água para Design de Produtos**. In: Léo Afraneo Hartmann; Juliano Tonezer da Silva. (Org.). Mostra de resultados de pesquisas aplicadas ao arranjo produtivo de gemas e joias do Rio Grande do Sul. 1ed. Porto Alegre: Instituto de Geociências, v. 1, p. 20-21, 2012.

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, UFRGS, 2007.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas – uma introdução**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L. ; PULZ, G. M. ; BRUM, T. M. M. ; CHODUR, N. L. ; LICCARDO, A. ; FISCHER, A. C. ; ACAUAN, R. B. . **Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: Exemplos Brasileiros**. Pesquisas em Geociências (UFRGS. Impresso), Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 3-15, 2003.

DUARTE, L.C, *et al.* **Potencialidades do design aplicado a utilização de novos materiais gemológicos no Rio Grande do Sul**. In: Seminário Sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do RS, 1., 2009, Soledade. Anais... Soledade: UPF Editora, 2009.

DUARTE, L. C.; CIDADE, M. K.; GOMES, L. E. S.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **Interação Entre Laser e Materiais Naturais: Exemplos em Ágata**. In: 5 Workshop Design&Materiais, 2010, Lorena: Faculdades Integradas Teresa D'ávila, 2010 a.

DUARTE, L. C., KINDLEIN JUNIOR, W., SILVA, F.P., STÜRMER, P.G.S., TESSMANN, C.S., SILVEIRA, F. L., CIDADE, M. K., GOMES, L. E. S. **Técnicas inovadoras e materiais naturais em joalheria no Laboratório de Design e Seleção de Materiais** In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. ed. Porto Alegre : IGEO/UFRGS, p. 148-164. ,2010 b.

DUARTE, L. C.; ROCHA, T. L. A. C. ; ROLDO, L.; KINDLEIN JR.W. ; CIDADE, M.K.; PEDROTTI JÚNIOR, S.L. **Design de produto para a ágata: aplicação de microcápsulas fluorescentes em superfícies gravadas a laser**. Design & Tecnologia, v. 1, p. 114-118, 2010 c.

FLÖRKE OW, KOHLER-HERBERTZ B, LARGER K, TONGES I. **Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: agates**. Contrib Mineral Petrol 80: 324-333, 1982.

FRONDEL, Clifford. **The system of mineralogy**. John Wiley and Sons, Inc., New York and London, 1962.

FRUTIGER, Adrian. **Sinais e Símbolos: desenho, projeto e significado**. São Paulo: Martins Fontes, p. 21-38, 1999.

GABERT, P. S. **Materiais Naturais: Design e Tecnologia no Desenvolvimento de Joias Inspiradas na Cultura Gaúcha**. 2010, 161fls. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GARCEZ, A. S.; RIBEIRO, M. S.; NÚÑEZ, S., C. **Laser de Baixa Potência: Princípios básicos e aplicações clínicas na odontologia**. São Paulo: Editora Elsevier Ltda, 2012.

GENTH, D. A. **Collecting Swarovski: Identification & Price Guide**. Editora Krause Publications, 2010.

GOLA, Eliana. **A Joia: história e design**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008.

HALL, Cally. **Pedras preciosas: um guia ilustrado com mais de 130 variedades de gemas**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1997.

HECHT, J.; TERESI, D. **Laser: light of a million uses**. New York: Dover Publications, 1998.

KNECHT, T. **Coloração artificial de ágatas**. Revista da Associação Brasileira de Gemologia, v. 7, p. 1-9, 1957.

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

JUCHEM, P. L. **Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul**. São Paulo. 1999, 225fls. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1999.

JUCHEM, P. L.; STRIEDER, A. J.; HARTMANN, L. A.; BRUM, T. M. M.; PULZ, G. M.; DUARTE, L. C. **Geologia e mineralogia das gemas do rio grande do sul**. In: Roberto Lannuzzi, José Carlos Frantz. (Org.). *50 Anos de Geologia*. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, p. 177-197, 2007.

JUCHEM, P. L., BRUM, T. M. M., FISCHER, A. C., LICCARDO, A., CHODUR, N. L. **Geology of gemstone deposits in South Brazil**. In: Actas XIII Cong. Latinoamericano Geologia. Lima. Sociedad Geol. Peru, v. 01. p. 01-06, 2008.

JUCHEM, P. L., BRUM, T. M. M., RIPOLL, V. M. **O laboratório de gemologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul** In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. ed. Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010, p. 133 - 147.

JUNKE, JIAO; XINBING, WANG. **A numerical simulation of machining glass by dual CO₂-laser beams**; Optics & Laser Technology 2008; 40: 297–301.

LEONARDOS, O. H. **Geociências no Brasil : contribuição germânica**. Rio de Janeiro : FORUM/SULINA, 1973, 345 p.

LÖBACH, Bernd. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

MARTINS, Nelson. **A imagem digital na editoração: manipulação, conversão e fechamento de arquivos**. Rio de Janeiro: Editora SENAC Nacional, 2003.

MOL, A. **Manual de Lapidação Diferenciada de Gemas**. IBGM. Ed. Athalaia. Brasília, 2009.

MOURA, M. **Design, Arte e Tecnologia**. São Paulo: Edições Rosari, 2005. v.1.

MORGAN, J. P.; RESTON, T. J.; RANERO, C.R **Contemporaneous mass extinctions, continental flood basalts, and ‘impact signals’: are mantle plume-induced lithospheric gas explosions the causal link?** Earth and Planetary Science Letters, 217: 263-284, 2004.

MUNSTEINER, B. **Reflexionen in Stein**. Ed. Arnoldsche. Stuttgart, 2004.

NADUR, A. V. **A lapidação de gemas no panorama brasileiro**. 2009, 158fls. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NIEMEYER, L. **Design no Brasil: origens e instalação**. Rio de Janeiro: 2AB, 1998.

OSTROWER, Fayga. **Criatividade e processos de criação**. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 1977.

SAUER, Jules Roger. **As Eras do Diamante**. Editora Códice, 2003.

SCHIMITT, José Cláudio C.; CAMATTI, César; BARCELLOS, Rachel Cardoso. **Depósitos de Ametista e Ágata no Estado do Rio Grande do Sul**. In: Depto Nacional da Produção Mineral. Brasília, 1991, v. IV, p. 271 – 285.

SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. Rio de Janeiro: Editora ao Livro Técnico, 2006.

SGARBI, Vittorio. **Arte di Dio**. Edizioni Grafiche Francesco Ghezzi STM S.r.l.: Província di Milano, 2000.

SIQUEIRA, M. A. C., MAGALHÃES, C. F. **A Inovação como Estratégia no Design de Jóias**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Anais 2010.

SILVA, F. P. **O uso da Digitalização Tridimensional a Laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao Design de Produtos**. Dissertação de mestrado, PPGEM/UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

SILVA, Juliano Tonezer; HARTMANN, Léo Afraneo; HAUSCHILD, Carlos Arthur. **O Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul no ambiente de um arranjo produtivo local** In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. ed.Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010, p. 17 - 29.

SILVA, Nuno Vassallo. **Arte Portuguesa: da pré-história ao século XX**. Fabu Editores, S.A. , Portugal, 2009.

SILVA, R. A. **Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas**. 2006, 98 fls. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

STRIEDER, A. J.; HEEMANN, R. **Structural constraints on Paraná Basalt Volcanism and their implications on agate Geode mineralization** (Salto do jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências* 33, p.35-50, 2006.

TESSMANN, C. S. **Importância do Binômio Design e Engenharia no Beneficiamento de Regeito Mineral de Opala e Água na Produção de Camafeus por Usinagem CNC**. 2009, 109 fls. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

THOMPSON, Rob. **The manufacturing Guides: Prototyping and Low-volume Production**. United Kingdom: Thames & Hudson, 2011.

TUBINO, L. C. B. **Tratamento Industrial da Água em Bruto no Estado do Rio Grande do Sul**. 1998, 177fls. Dissertação, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

WILDNER, W. **Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná – Conceitos básicos e divisão faciológica**. In: Reunião aberta da comissão brasileira de estratigrafia, 2004, Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre, RS, UFRGS. P 66-78, 2004.

ZENZ, Johann. **Agates**. Haltern: Bode Verlag, Germany, 2005.

ZHOU, BAI HUA; MAHDAVIAN, S. M. **Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO2-laser**; *Journal of Materials Processing Technology*, 146 (2004): 188–192.

Sites de Referência

PEDROSA, Julieta. História da Joalheria. Disponível em: <http://www.joiabr.com.br/artigos/nov03.html>. Acessado em 20/11/11.

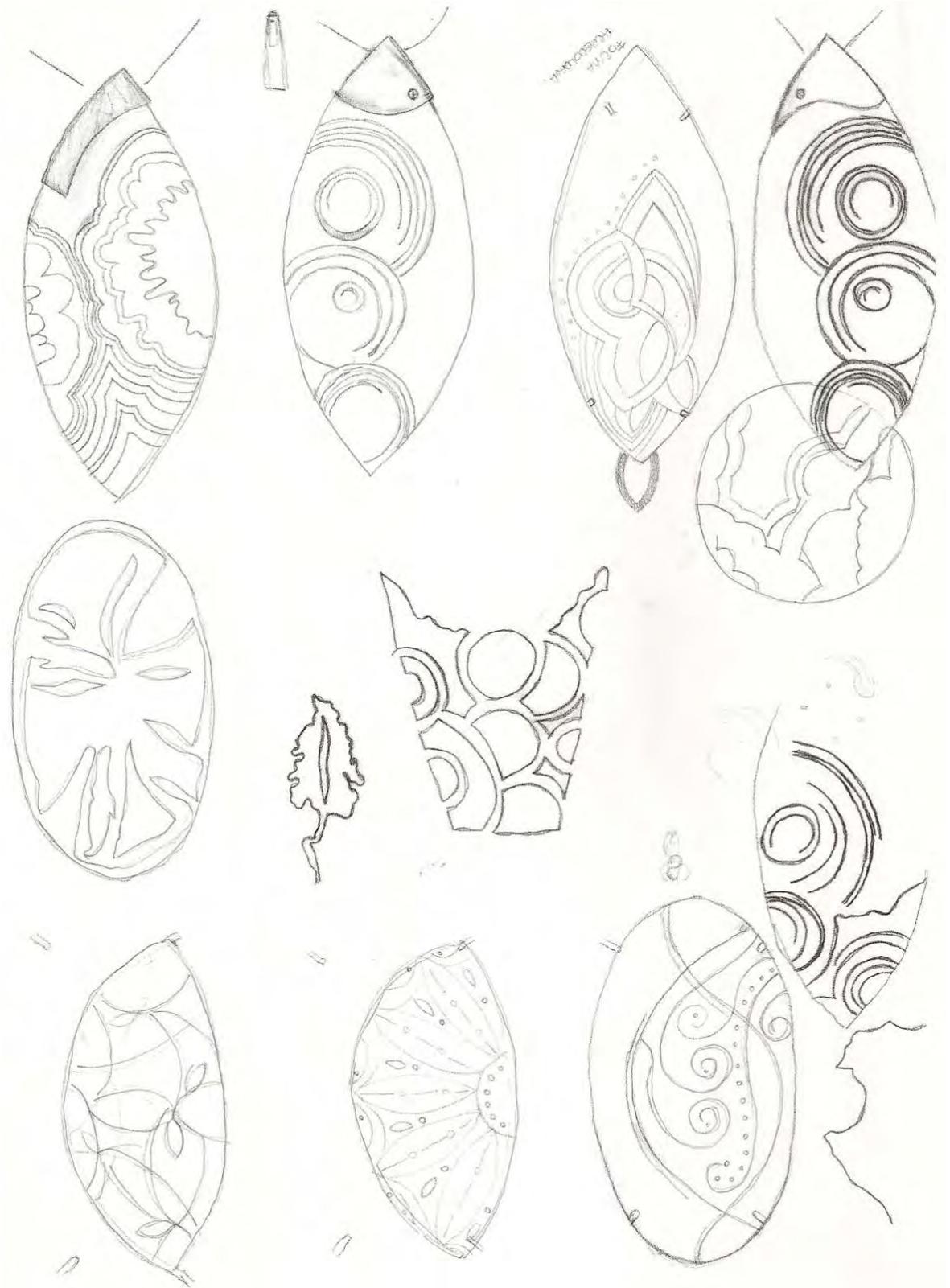
Elisa Stecca. Disponível em: <http://www.elisastecca.com.br>. Acessado em 22/11/11.

Automatisa: Tecnologia em Corte e Gravação a Laser. Disponível em: <http://www.automatisa.com.br>. Acessado em 05/11/11.

Export Pedras Roque Lopes. Disponível em: <http://www.exportpedras.com.br>. Acessado em 10/01/12.

Este trabalho foi realizado com apoio da CAPES e CNPq.

APÊNDICE A



APÉNDICE B

**MOSTRA DE RESULTADOS DE PESQUISAS APLICADAS AO ARRANJO
PRODUTIVO DE GEMAS E JOIAS DO RIO GRANDE DO SUL**

Soledade - 3 de maio de 2012.

Gravação a Laser e Corte por Jato d' Água em Água para Design de Produtos
CIDADE, Mariana Kuhl; Mestranda, PGDesign/UFRGS; maricidade5@hotmail.com
SILVEIRA, Flávia Lopes da; Mestre em Design; UFRGS; silveira.f@hotmail.com
DUARTE, Lauren da Cunha; Professor UFRGS; lauren.duarte@ufrgs.br

1. Introdução

A água é um material gemológico abundante no Rio Grande do Sul (Juchem *et al.* 2007). A disponibilidade de água, o baixo desenvolvimento tecnológico aplicado aos produtos e a carência de design são incentivos para as pesquisas desenvolvidas no LdSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais), em conjunto com o CTPedras (Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias). Foram analisados os processos de gravação a laser e de corte por jato d'água para a fabricação de produtos para joalheria e painéis de revestimentos utilizando padrões modulares encaixáveis, respectivamente.

2. Objetivos

O presente trabalho visa caracterizar e padronizar os processos tecnológicos de gravação a laser e de corte por jato d'água para a água. A padronização destes processos visa auxiliar a indústria e os profissionais da área de design no que tange à fabricação de produtos inovadores e com maior valor agregado.

3. Métodos

A gravação a laser foi feita no equipamento Mira, Automatiza Sistemas[®], com fonte de laser CO₂ (Bagnato, 2008), potência de 30 e 60 watts, localizadas no CTPedras e no LdSM, área de trabalho, definida pela lente de 10cm² e 20cm² e velocidade regulável entre 2 e 500 m/min. A gravação foi analisada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), em aumentos da ordem de 500 vezes. Neste equipamento foram obtidas imagens eletrônicas do tipo BSE (*back scattered electron*). O corte por jato d'água foi feito no CTPedras, no equipamento Water Jet, Jet Tek[®].

4. Resultados e Discussões

Os parâmetros para a gravação a laser incluem as variáveis: potência, velocidade e lente. Para a lente de 10cm²: 30m/min e 60W são parâmetros considerados satisfatórios. Para a lente de 20cm² e 30W, a pesquisa continua em andamento. Os parâmetros para corte por jato d'água incluem pressão e velocidade. Para os segmentos retos, têm-se: 280 MPa e 250 mm/min. Para as curvas, têm-se: 360 MPa e 200m/min.

5. Conclusões

A gravação a laser pode agregar valor para produtos feitos em água, criando um diferencial para as peças de joalheria. O corte de água para painéis de revestimento é eficiente e o produto final tem valores competitivos no mercado.



Figura 1: (A) anel em água gravado a laser; (B) detalhe do desenho gravado e (C) painel de revestimento.

6. Referências Bibliográficas

BAGNATO, Vanderlei Salvador. *Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008. 87 p.

JUCHEM, P.L.; STRIEDER, A.; HARTMANN, L.A.; BRUM, T.M.M.; PULZ, G.M.; DUARTE, L.C. *Geologia e mineralogia das gemas do RS*. In: 50 anos de geologia: Instituto de Geociências. Contribuições / Editores Iannuzzi & Frantz. Porto Alegre: Comunicação e identidade, 2007. 399 p.

IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE MATERIALES
Bogotá, D.C., Colômbia – 27 a 30 de Novembro de 2011.
Universidad de los Andes.

Caracterização da Técnica de Gravação a Laser em Ágata para Aplicação em Design de Produtos

Mariana Kuhl Cidade ^{1*}, Lauren da Cunha Duarte ², Wilson Kindlein Júnior ²

1: Estudante de Pós-graduação em Design e Tecnologia, PGDesign, UFRGS, Porto Alegre, Brasil

2: LdSM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Brasil

* maricidade5@hotmail.com

Abstract

The interaction of laser engraving processes in agate, a variety of chalcedony, is qualified in this paper. The agate material is highly valued by foreign markets. One of the focuses of this study is the lack of improvement and innovation given to this material nowadays. The conditions for laser process in agate were defined varying scanning speed in a fixed power (60 W). The analysis of these highly qualified engraving parameters was aided by scanning electron microscopy images. The high magnification of the images presents a better definition of the interaction zone between the material and the laser beam in a micrometer precision. Thus, this paper aims to characterize and create parameters for laser engraving process, to add design, value and innovation in agate products.

Keywords: *Agate, laser, product design.*

INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado uma das maiores províncias gemológicas, sendo o estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil, um dos maiores produtores de ágata, com as principais jazidas deste material localizadas próximo ao município de Salto do Jacuí. O Rio Grande do Sul destaca-se também como um dos mais importantes centros de comércio de gemas e materiais gemológicos, sendo que no município de Soledade estão localizadas as principais indústrias de beneficiamento, comércio e exportação de artefatos (DUARTE *et al.*, 2010a). Apesar da valorização da ágata pelo comércio externo, as indústrias do estado utilizam, usualmente, de maneira discreta esses materiais no desenvolvimento de produtos inovadores e diferenciados. Os mesmos, são geralmente utilizados para o desenvolvimento de objetos de decoração ou exportados em formato bruto para outros estados, ou para países como China, Índia, Itália e Alemanha. Nestes destinos, os materiais são beneficiados e, por vezes, retornam para ser comercializados com valor agregado.

Nas últimas décadas, a procura por inovações tecnológicas que possam auxiliar o processo produtivo industrial se tornou importante ferramenta para manter empresas competitivas e atuantes frente a seus mercados (NIEMEYER, 1998). No país existem dois tipos de empresas, as que inovam e diferenciam-se através de técnicas qualificadas, e as que produzem produtos padronizados com menor inovação e pouca tecnologia incorporada, reduzindo seu poder competitivo (COSTA, 2007).

Os processos tecnológicos somente serão eficazes quando possuírem um objetivo claro e específico, aliando a concepção e fabricação de peças como um sistema definido e orientado pelo seu criador (MOURA, 2005). O designer tem como função principal utilizar a tecnologia disponível de modo eficiente, onde a liberdade de criação é potencialmente aumentada, visto a facilidade gerada pelas tecnologias. A grande abundância de ágata no Rio Grande do Sul e a carência de tecnologia e design aplicado é o principal fator que esta pesquisa busca abordar. Com este intuito, o presente trabalho visa caracterizar o processo e os parâmetros para a gravação a laser em ágata, a fim de agregar valor e diferencial aos produtos desenvolvidos com este material gemológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Calcedônia: Variedade da ágata

Calcedônia é o nome dado a um grupo de variedades compactas de sílica compostas por microcristais de quartzo (DEER *et al.*, 1981). Nesta variedade, os grãos de quartzo são aciculares e formam bandas fibrosas, produzindo diferentes graus de porosidade, característica física fundamental para a impregnação por agentes corantes (SILVA, 2006; DUARTE *et al.*, 2003). A ágata é uma variedade bandada de calcedônia (DEER *et al.*, 1981), e ocorre como um material compacto preenchendo geodos, que são cavidades preenchidas por minerais. Geodos ocorrem em rochas vulcânicas e têm formas arredondadas e ovóides, com dimensões entre 20 e 50 cm de diâmetro, embora não seja incomum a ocorrência de geodos maiores (STRIEDER & HEMANN, 2006; JUCHEM *et al.*, 2007; DUARTE *et al.*, 2009). O bandamento é um agregado cristalino em camadas de cores e espessuras diferentes, podendo ser milimétrico a centimétrico, e se dispõe de forma concêntrica ou paralela no interior de cavidades (SCHUMANN, 2006). Este material gemológico tem dureza entre 6,5 a 7 na escala Mohs, índice de refração entre 1,530 – 1,540, composição química SiO₂, sendo transparente a opaca, com densidade entre 2,60 a 2,64 g/cm³ (IBGM, 2005; DEER *et al.*, 1981; SCHUMANN, 2006). No Distrito mineiro de Salto do Jacuí, existe cerca de duzentas frentes de lavra abertas. A extração da ágata é executada a céu aberto, a partir da utilização de máquinas escavadeiras para desmonte da rocha alterada e posterior coleta dos geodos feita manualmente (Fig. 1).



Figura 1: (A) Vista geral da extração de geodos de ágata a céu aberto; (B) detalhe de (A) onde se observa a utilização de máquinas escavadeiras para a retirada da terra e a coleta manual dos geodos e (C) geodos estocados.

O beneficiamento da ágata é carente em inovação tecnológica, sendo usualmente feito o corte em chapas com espessuras entre 2 e 6 mm, que são posteriormente polidas e tingidas (Duarte *et al.*, 2010b). A produção atual, com este material gemológico, destina-se para fins ornamentais, onde as gemas são trabalhadas para confecção de artefatos e adornos (Fig. 2), tais como: conjunto de abridores, encosto de livros, cinzeiros, relógios, pirâmides, esferas, obeliscos, porta copos, gemas com lapidação do tipo cabochão, pingentes, colares, entre outros.



Figura 2: Beneficiamento e produtos disponíveis para venda no comércio em Soledade: (A) processo de corte de geodo em serra circular diamantada; (B) chapas de ágata tingidas expostas para venda; (C) colar elaborado com chapa de ágata; (D) geodo tingido de ágata com imagem de Jesus Cristo; (E) conjunto de porta copos associando chapa de ágata e madeira; (F) relógios; (G) conjunto de abridores de garrafa e saca-rolhas feito com ágata e madeira e (H) pingentes de ágata em formato de trevo.

2.2 Processo de gravação a laser na ágata

O laser - *Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*, é caracterizado basicamente como um processo tecnológico rápido e muito eficaz, com alto grau de detalhamento nas peças a serem cortadas ou gravadas (BAGNATO, 2008; HECHT & TERESI, 1998). Seu processo se dá através de milhões de pontos que unidos reproduzem a forma do objeto a ser gravado ou cortado, onde o laser vaporiza o material no local delimitado, removendo o restante do produto sem interferir no detalhamento da peça. A gravação ocorre na ágata pela fusão localizada, produzindo um material vitrificado de coloração branca devido ao aquecimento, fusão e solidificação em um espaço de tempo restrito, centésimos de segundo (DUARTE *et al.*, 2010c). Para os testes de interação entre a ágata e o laser, foi utilizado o equipamento da marca Mira, da empresa Automatiza Sistemas®, onde o meio ativo para a geração da radiação é de CO₂. A movimentação do feixe se dá por sistema galvanométrico e a área de trabalho da máquina possui uma limitação devido ao tipo de lente acoplada. Neste trabalho foram utilizados dois tipos de lente: 10cm x 10cm (100cm²) e 30cm x 30cm (900cm²). A potência máxima do laser é de 60W, podendo ser ajustada em termos de porcentagem, e a velocidade máxima de corte é de até 500 m/s.

Para a execução dos testes foram criados desenhos com formas retas e arredondadas, a fim de verificar diferentes graus de detalhamento em dimensões variadas. As formas retas são caracterizadas por não apresentarem o uso de grandes complicações visuais, utilizando traços simples. As formas arredondadas envolvem as propriedades de todo um conjunto, ou seja, uma linha que não tem início nem fim e circunda em um centro invisível, dando origem a uma linha circular ideal (FRUTIGER, 1999). Entre a simplicidade e a complexidade das formas desenvolvidas para a aplicação do processo de gravação a laser, podemos analisar qual o melhor desenho a ser aplicado. Para formas simples serão utilizados traços simples, com linhas retas e com grande espaçamento (1,5mm) entre elas. Já nas formas arredondadas serão utilizados quatro dimensões de círculos. Primeiramente foram criados traços retos no programa CorelDRAW X4®, caracterizado por ser um *software* de desenho vetorial bidimensional, onde foram exportados em uma extensão do tipo plt (*arquivo de plotadora HPGL*). Este arquivo foi utilizado no *software* Automatiza Laser Draw, desenvolvido pela empresa Automatiza Sistemas®, e os ensaios feitos com potência de 60W e velocidade variando entre 2 a 100 m/min (Fig. 3) com uso de ambas as lentes.



Figura 3: Testes de interação entre o equipamento e a ágata: (A) máquina de gravação e corte a laser; (B) desenho com traços retos, velocidade de 100 a 75m/min, 65 a 35 m/min e 30 a 2m/min; (C) gravação a laser na ágata utilizando lente de 10cm x 10cm; (D) gravação a laser na ágata utilizando lente 30cm x 30cm.

Posteriormente foram testadas as formas arredondadas (círculos) com dimensões de 7, 5, 3 e 1 milímetros. Os círculos foram desenhados e exportados em extensão do tipo plt, do mesmo modo descrito acima. Para este tipo de desenho foi aplicado em sua configuração formato avançado para exportação, com resolução de curvatura de 0,01mm. Foi adotado este procedimento para melhorar o traçado da curvatura do círculo, gerando uma gravação contínua e uniforme ao desenho, ao contrário, utilizando-se resoluções maiores (> 0,01mm) o círculo é reproduzido com arestas, facetado (Fig. 4).

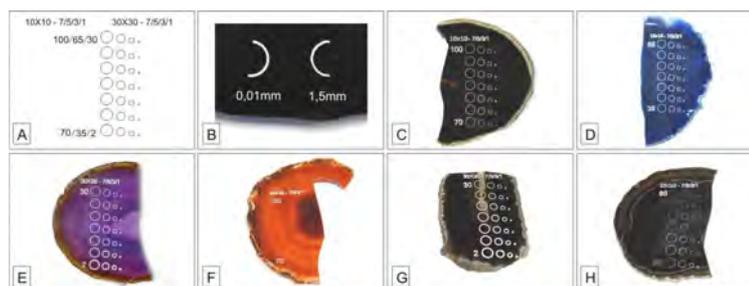


Figura 4: Testes de interação entre o equipamento e a ágata: (A) desenho de círculos com diferentes tamanhos; (B) configurações para exportação de curvatura, resolução de 0,01mm (adequada) e 1,5mm ; (C) utilização de lente de 10cm x 10cm, gravação com velocidade de 100 a 75m/min; (D) utilização de lente de 10cm x 10cm, gravação com velocidade de 65 a 35 m/min; (E) utilização de lente de 10cm x 10cm, gravação com velocidade de 30 a 2m/min; (F) utilização de lente de 30cm x 30cm, gravação com velocidade de 100 a 75m/min; (G) utilização de lente de 30cm x 30cm, gravação com velocidade de 65 a 35 m/min; (H) utilização de lente de 30cm x 30cm, gravação com velocidade de 30 a 2m/min.

2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A caracterização do laser com o material foi feita com auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em equipamento Hitachi® modelo TM 3000, em imagens eletrônicas do tipo BSE (*back scattered electron*). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, e o equipamento opera com aumentos de até 30.000 vezes. O intuito das análises é verificar o que a ação do laser gerou no material, como por exemplo, a dimensão nos traços retos e a espessura da zona de influencia. Estes dados são de grande importância, pois assim pode-se definir o melhor espaçamento entre os traçados. O total de imagens eletrônicas observadas foi de 134, entre formas retas (linhas) e formas arredondadas (círculos).

3. RESULTADOS

Os métodos empregados para a realização deste estudo são de caráter teórico-prático, onde as análises de caracterização foram empregadas antes e após a aplicação das tecnologias. A primeira análise visível feita sem o auxílio de equipamentos, da interação da gravação a laser com o material, identificou-se que utilizando a lente de 10cm x10cm o traçado da gravação em todas as amostras ficou com melhor definição e acabamento. Já nas amostras com a utilização da lente de 30cm x30cm, o material ficou rugoso e aspero em sua superfície.

Nos resultados obtidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV), podemos analisar que nas amostras de traços retos, linhas (Fig. 5) e círculos (Fig. 6) com a utilização da lente de 10cm x 10cm, com velocidade de 2 m/min e potência de 60W, o traçado do laser fica mais profundo e com maior área de abrangência, aproximadamente 1mm ($\pm 0,5$ mm), pois a alta temperatura do feixe laser interage por mais tempo no material, gerando fraturas de expansão térmica nas adjacências do traçado.

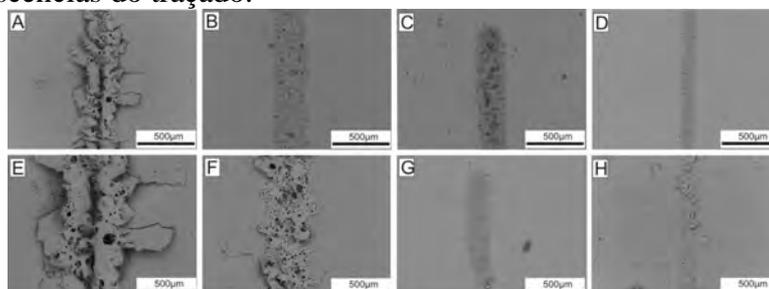


Figura 5: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em traços retos (linhas), lentes 10x10 (A, B, C e D) e 30x30 (E, F, G e H): (A) velocidade de 2m/min, (B) velocidade de 20m/min, (C) velocidade de 30m/min, (D) velocidade de 65m/min, (E) velocidade de 2m/min, (F) velocidade de 20m/min, (G) velocidade de 30m/min e (H) velocidade 40m/min.

A ocorrência destas fraturas persiste até linhas e círculos feitos com velocidades de 100 m/min, porém em áreas de abrangência mais restritas ($\pm 0,5$ mm). Para as velocidades acima

de 65m/min os traçados em todas as imagens eletrônicas ficam pouco visíveis. Os traçados com velocidades de 30m/min, apresentam melhor resultado de interação de gravação, com bom acabamento e poucas fraturas aparentes. Para os desenhos feitos com a lente de 30cm x 30cm, fica evidente a presença de fraturas para velocidades menores (2m/min) e maiores (≤ 30 m/min), tanto para os traços retos (linhas) como para os círculos.

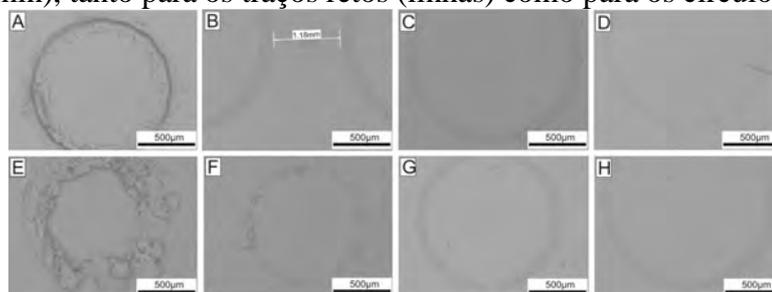


Figura 6: Imagens eletrônicas de varredura dos testes executados em formas arredondadas (círculos), lentes 10x10 (A, B, C e D) e 30x30 (E, F, G e H): (A) velocidade de 2m/min, (B) velocidade de 25m/min e 30m/min, indicando a medida de interação entre os dois círculos (1,18mm), (C) velocidade de 30m/min, (D) velocidade de 65m/min, (E) velocidade de 2m/min, (F) velocidade de 20m/min, (G) velocidade de 30m/min e (H) velocidade 65m/min.

4. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve apoio financeiro do MCT/CNPq –Universal - 014/2008, intitulado: Tecnologia de gravação e corte a laser, como ferramenta de inovação para o design de gemas e joias. Desenvolveu-se no Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM, que localiza-se na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde foram utilizados os equipamentos de gravação a laser e microscopia eletrônica de varredura – MEV.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de gravação a laser pode agregar valor para novos produtos feitos em ágata, criando um diferencial para as peças de design, como joias e adornos. Após a definição dos melhores parâmetros de exportação de arquivos de desenhos, lente, potência e velocidade, a técnica de gravação poderá ser facilmente aplicada em escala industrial. A utilização da lente de 10cm x10cm é mais apropriada para este uso, pois o resultado da gravação são linhas com melhor definição e acabamento. O estudo detalhado dos traços retos e curvos define e especifica resultados muito importantes para a parametrização da criação de desenhos. Estes parâmetros servirão como referência para o espaçamento entre as linhas que compõem o desenho, evitando assim a interferência entre elas. Para velocidades maiores (≤ 30 m/min) as fraturas de expansão térmica são mais restritas e a espessura do traçado vai diminuindo. Para estes intervalos de velocidades, o traço fica pouco visível (a vista desarmada) para a aplicação em desenhos e mesmo as imagens eletrônicas de varredura são de difícil visualização. Neste âmbito, pôde-se visualizar antes e após a utilização de equipamentos microscópicos, tanto em traços retos (linhas) como em círculos, que a melhor velocidade requerida para gravação no material ágata é de 30m/min e a potência é de 60W. A tecnologia é simplesmente o meio facilitador e inovador de materializar produtos com elevado nível de precisão e detalhamento. Ela não pode substituir o criador e sim auxiliá-lo. As regras e fundamentos do design não podem ser deixados de lado e sim devem ser estudados e compreendidos de forma plena, visando o uso eficiente de ferramentas facilitadoras.

6. REFERÊNCIAS

BAGNATO, Vanderlei Salvador. *Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

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, UFRGS, 2007.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. *Minerais constituintes das rochas – uma introdução*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.

DUARTE, L. C. ; JUCHEM, P. L. ; PULZ, G. M. ; BRUM, T. M. M. ; CHODUR, N. L. ; LICCARDO, A. ; FISCHER, A. C. ; ACAUAN, R. B. . *Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: Exemplos Brasileiros*. Pesquisas em Geociências (UFRGS. Impresso), Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 3-15, 2003.

DUARTE, L. C. ; HARTMANN, L. A. ; VASCONCELOS, M. A. Z. ; MEDEIROS, J. T. N. ; THEYE, T. *Epigenetic formation of amethyst-bearing geodes from Los Catalanes gemological district, Artigas, Uruguay, southern Paraná Magmatic Province*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 184, p. 427-436, 2009.

DUARTE, L. C., KINDLEIN JUNIOR, W., SILVA, F.P., STÜRMER, P.G.S., TESSMANN, C.S., SILVEIRA, F. L., CIDADE, M. K., GOMES, L. E. S. *Técnicas inovadoras e materiais naturais em joalheria no Laboratório de Design e Seleção de Materiais* In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. ed.Porto Alegre : IGEO/UFRGS, p. 148-164. ,2010a.

DUARTE, L.C.; CIDADE, M. K.; GOMES, L. E. S.; KINDLEIN JÚNIOR, W. *Interação Entre Laser e Materiais Naturais: Exemplos em Ágata*. In: 5 Workshop Design&Materiais, Lorena: Faculdades Integradas Teresa D'ávila, 2010 b.

DUARTE, L. C. ; ROCHA, T. L. A. C. ; ROLDO, L.; KINDLEIN JR.W. ; CIDADE, M.K.; PEDROTTI JÚNIOR, S.L. *Design de produto para a ágata: aplicação de microcápsulas fluorescentes em superfícies gravadas a laser*. Design & Tecnologia, v. 1, p. 114-118, 2010 c.

FRUTIGER, Adrian. *Sinais e Símbolos: desenho, projeto e significado*. São Paulo: Martins Fontes, p. 21-38, 1999.

HECHT, J.; TERESI, D. *Laser: light of a million uses*. New York: Dover Publications, 1998. Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). *Manual Técnico de Gemas*. 3 ed. Brasília, 2005.

JUCHEM, P. L. ; STRIEDER, A. J. ; HARTMANN, L. A. ; BRUM, T. M. M. ; PULZ, G. M. ; DUARTE, L. C. . GEOLOGIA E MINERALOGIA DAS GEMAS DO RIO GRANDE DO SUL. In: Roberto Iannuzzi, José Carlos Frantz. (Org.). *50 Anos de Geologia*. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, v. , p. 177-197, 2007.

MOURA, M. *Design, Arte e Tecnologia*. São Paulo: Edições Rosari, 2005. v. 1.

NIEMEYER, L. *Design no Brasil: origens e instalação*. Rio de Janeiro: 2AB, 1998.

SCHUMANN, W. *Gemas do Mundo*. Rio de Janeiro: Editora ao Livro Técnico, 2006.

STRIEDER, A. J.; HEEMANN, R. Structural constraints on Paraná Basalt Volcanism and their implications on agate Geode mineralization (Salto do jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências* 33, 35-50, 2006.

SILVA, R. A. *Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas*. 2006, 98 fls. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

2º SEMINÁRIO DE GEMOLOGIA & DESIGN DE GEMAS E JOIAS

Belo Horizonte, de 22 a 23 de novembro de 2011.

Aplicação de microcápsulas aromáticas em ágata

Application of Aromatic Microcapsules on Agate

CIDADE, Mariana Kuhl; Mestranda PGDesign; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
maricidade5@hotmail.com

ROSSI, Wagner Soares; Mestrando PGDesign; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
wsrossi@gmail.com

ELESBAO, Taiane Rodrigues; Mestranda; PGDesign; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
taiane.elesbao@hotmail.com

DUARTE, Lauren da Cunha; Doutora; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
laurenduarte@terra.com.br

ROLDI, Liane; Doutora; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
liane.roldi@ufrgs.br

KINDLEIN JÚNIOR, Wilson; Doutor; Universidade Federal do Rio Grande do Sul
kindlein@portoweb.com.br

Palavras chave: ágata; microcápsulas; gravação à laser; design.

O Brasil possui reconhecimento internacional pelo grande volume de gemas extraídas do seu território, sendo o Rio Grande do Sul um dos maiores produtores de ágata. As principais jazidas deste material estão localizadas próximo ao município de Salto do Jacuí. Apesar de a ágata ser um material gemológico muito valorizado pelo comércio externo, nas indústrias do estado ela ainda é utilizada de maneira discreta para o desenvolvimento de produtos inovadores e diferenciados sendo comumente exportados em formato bruto, onde são beneficiadas e retornam para ser comercializados com valor agregado. Devido a carência em inovação tecnológica aplicada a ágata, a equipe de pesquisadores do Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul vem desenvolvendo pesquisas que buscam agregar um processamento diferencial com utilização de tecnologias como gravação a laser e aplicação de microcápsulas. O objetivo deste artigo é apresentar os resultados da aplicação de microcápsulas aromáticas em ágata, com o intuito de agregar valor a este material gemológico. Após a realização dos experimentos pôde-se concluir que o fator determinante para o sucesso da impregnação das microcápsulas aromáticas em ágata foi o processo de gravação a laser. Somente após este procedimento conseguiu-se observar a presença de poros nas amostras.

Keywords: agate; microcapsules; laser etching; design.

Brazil has international recognition for the great bulk of gems extracted from their territory, and the Rio Grande do Sul, one of the largest producers of agate. The major deposits of this material are located near the city of Salto do Jacuí. Although the agate is a highly valued gemological materials for external trade, industries in the state it is still used in a discreet way for the development of innovative and differentiated products are commonly exported in raw form, where they are processed and marketed to return value the aggregate. Due to the lack of technological innovation applied to agate, a team of researchers from the Laboratory of Materials Design and Selection of the Federal University of Rio Grande do Sul has been developing research that seek to add a differential processing using technologies such as laser etching and application of microcapsules. The aim of this paper is to present the results of applying microcapsules aromatic agate, in order to add value to this material gemological. After the experiments it was concluded that the determining factor for the success of the impregnation of the microcapsules aromatic agate was the process of laser engraving. Only after this procedure it was possible to observe the presence of pores in the samples.

1 Introdução

O Brasil produz um grande volume de minerais-gema e materiais gemológicos, e é reconhecido internacionalmente pela qualidade dos materiais aqui extraídos. Neste panorama, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de ágata de que se tem conhecimento. As principais jazidas deste material estão localizadas no Distrito Mineiro do Salto do Jacuí, próximo ao município homônimo. O estado destaca-se também por ser um dos mais importantes centros de comércio de gemas e materiais gemológicos. No município de Soledade estão localizadas as principais indústrias de beneficiamento, comércio e exportação de artefatos (Duarte *et al.*, 2010a). As opções de beneficiamento nas indústrias de Soledade são feita de maneira discreta, sendo estes materiais pouco utilizados no desenvolvimento de produtos inovadores e diferenciados. A maioria do material é utilizado

para o desenvolvimento de objetos de decoração e adorno, porém o maior volume da produção é destinado à exportação, sendo a maioria exportado no estado bruto ou pouco beneficiado. O principal beneficiamento dado em Soledade é o corte da ágata em chapas, obtidas por corte com discos diamantados. A exportação é destinada principalmente ao mercado asiático, como a China, que adquire matéria-prima no estado bruto para beneficiar no local de destino. Destacam-se entre os principais compradores Índia, Itália e Alemanha.

Visto a carência em inovação tecnológica aplicada a ágata e a busca por métodos de processamento mais eficientes que venham a agregar valor ao produto, a equipe de pesquisadores do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) busca um diferencial com a utilização de tecnologias de ponta, aliando a gravação a laser com a aplicação de microcápsulas aromáticas. A aplicação de microcápsulas em ágata é permitida após a aplicação de laser à superfície do material. Este processo possibilita modificações na morfologia do material que possam conter as microcápsulas (Duarte *et al.* 2010b).

O laser - *Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*, é caracterizado basicamente como um processo tecnológico rápido e muito eficaz, com alto grau de detalhamento nas peças a serem cortadas ou gravadas (Bagnato, 2008; Hecht & Teresi, 1998). Seu processo se dá através de milhões de pontos que unidos reproduzem a forma do objeto a ser gravado ou cortado, onde o laser vaporiza o material no local delimitado, removendo o restante do produto sem interferir no detalhamento da peça. Na ágata a gravação ocorre pela fusão localizada, produzindo um material vitrificado de coloração branca devido ao aquecimento, fusão e solidificação em um espaço de tempo restrito (Duarte *et al.*, 2010b).

O processo de microencapsulação é a técnica de envolvimento de materiais para protegê-los de influências ambientais, isolando e protegendo as substâncias ativas do ambiente externo (Nelson, 2002). A microencapsulação é uma tecnologia de revestimento de pequenas partículas de sólidos, líquidos ou componentes gasosos por uma membrana (Deasy, 1984). Esta tecnologia é utilizada principalmente para efeitos de proteção e liberação controlada (Ghosh, 2006) de substâncias ativas, podendo estas serem essências aromáticas, por exemplo.

Como resultado do processo de microencapsulação obtém-se a "microcápsula". Microcápsulas são cápsulas de tamanho micrométrico ($> 1 \mu m$), com forma esférica ou irregular e dividida em duas partes: o núcleo e o invólucro (Ghosh, 2006). O núcleo (a parte intrínseca) contém o ingrediente ativo, enquanto o invólucro (a parte extrínseca) protege o núcleo permanente ou temporariamente da atmosfera externa (Ghosh, 2006; Dubey, Shami & Rao, 2009).

A utilização de microcápsulas está presente em diferentes segmentos há algum tempo, pode-se destacar seu uso no papel carbono, no cristal líquido, em adesivos, cosméticos, inseticidas, fármacos, na medicina e em alimentos, recentemente também são utilizados na indústria têxtil.

Como se pode observar as microcápsulas podem ser amplamente utilizadas em diferentes áreas, pois a composição da microcápsula dependerá do efeito desejado (Monllor, Bonet & Cases, 2007). Segundo estudos do LdSM/UFRGS, a sua aplicação na concepção de produtos, tem por objetivo agregar valor por meio de informações perceptivas como visão, olfato e tato. Para a obtenção de microcápsulas aromáticas empregou-se a técnica de natureza química de polimerização interfacial, onde o processo de microencapsulação consiste na dissolução de dois monômeros "complementares" em dois solventes imiscíveis.

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados da aplicação de microcápsulas aromáticas em ágata, com o intuito de agregar valor a essa gema considerada de baixo custo que é extraída no estado do Rio Grande do Sul.

2 Materiais e métodos

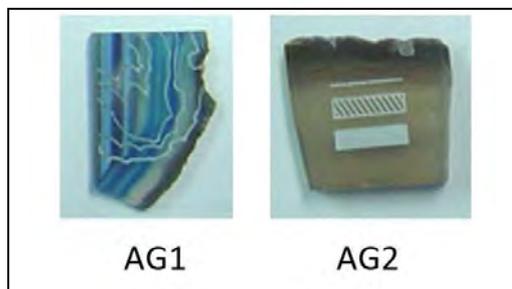
O material para o desenvolvimento de produto, a ágata, é uma variedade da calcedônia, que é o nome dado ao grupo de variedades compactas de sílica compostas por pequeninos cristais de quartzo com poros submicroscópicos (Deer *et al.*, 1981). Este material gemológico que pertence à classe dos silicatos, subclasse dos tectossilicatos, é uma variedade criptocristalina do grupo da sílica, e caracteriza-se por apresentar camadas concêntricas de diferentes tonalidades que variam nos tons terrosos aos acinzentados (Schumann, 2006). As amostras foram disponibilizadas para o LdSM/ UFRGS por indústrias de beneficiamento da cidade de Soledade/RS.

A aplicação de laser à superfície foi uma alternativa encontrada para melhorar a porosidade da superfície da gema conforme indicam estudos anteriores (Duarte *et al.*, 2010b). As amostras foram então submetidas ao processo de gravação a laser por equipamento modelo Mira, da Automatiza Sistemas[®], com laser ativo de fonte CO₂. Essa ferramenta de gravação permite controlar a forma e a quantidade de energia dirigida a um determinado lugar, alterando a aparência de um material de modo permanente por meio do processo de remoção

do mesmo (Hecht & Teresi, 1998). Posteriormente, através do uso de Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV (Hitachi/modelo TM 3000) foram observadas imagens com os poros resultantes do desgaste a laser.

Para o processo de gravação, primeiramente foram selecionadas duas amostras para a aplicação de microcápsulas aromáticas, em desenhos formados por linhas (Figura 1). Os parâmetros de gravação utilizados foram de 60 W de potência e velocidade de 2m/min.

Figura 1: Amostras de ágata gravadas a laser: AG1 e AG2.



Foram utilizadas para este experimento microcápsulas de dimensões nanométricas (~250nm), contendo essências aromáticas no núcleo. Estas microcápsulas são obtidas via técnica de polimerização interfacial, de núcleo composto de óleo essencial de frutas vermelhas e resina melamina formaldeído como material de recobrimento. O procedimento experimental de obtenção destas microcápsulas consiste do preparo de uma emulsão estável óleo/água com adição do surfactante e da preparação do pré-polímero de melamina formaldeído.

Posteriormente as amostras (Figura 1) foram impregnadas com as microcápsulas poliméricas na forma de suspensão em meio aquoso e em pó. Ambas permaneceram no dessecador durante o período de sete dias.

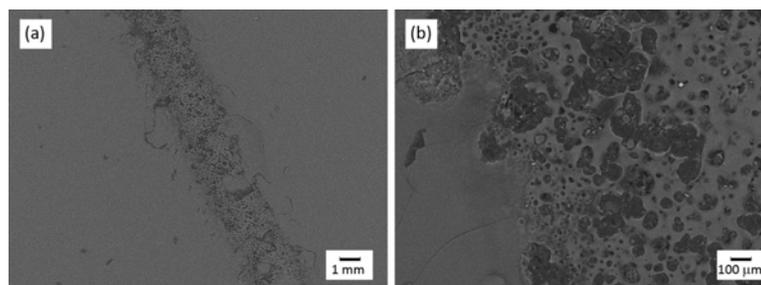
Análises por microscopia eletrônica de varredura foram efetuadas antes e após a impregnação. O equipamento utilizado foi o microscópio da marca Hitachi®, modelo TM 3000. As imagens eletrônicas obtidas são do tipo BSE (*back scattered electron*). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, em magnificação da imagem de até 30.000 vezes. Desse modo, as análises de MEV foram realizadas com o intuito de qualificar as dimensões das cavidades geradas pela técnica de gravação a laser e, conseqüentemente, verificar a possibilidade de impregnação das cavidades por microcápsulas.

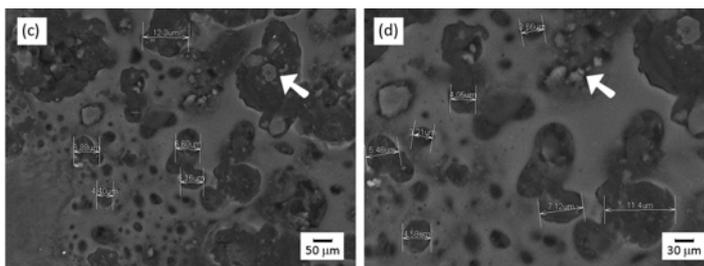
3 Resultados e discussão

As amostras submetidas à técnica de gravação a laser apresentaram variações morfológicas que podem ser visualizadas por MEV, de acordo com os diferentes parâmetros de gravação. Os resultados apresentados neste estudo correspondem às amostras que obtiveram resultados significativos quanto ao tamanho de poros e a possibilidade de impregnação de microcápsulas.

Na seqüência do estudo, as imagens obtidas ao MEV ilustram a amostra AG1 antes e após serem submetidas à aplicação de microcápsulas aromáticas (Figura 2).

Figura 2: Imagens eletrônicas de varredura obtidas ao MEV antes e após as aplicações das microcápsulas: (a) no centro da imagem pode-se ver a linha gerada pela interação do laser com a ágata e (b) o detalhe da porosidade contrastante entre a área afetada pelo laser com a área não afetada; (c) e (d) imagens das amostras com aplicações de microcápsulas, indicando a presença de microcápsulas nas cavidades geradas pelo laser.



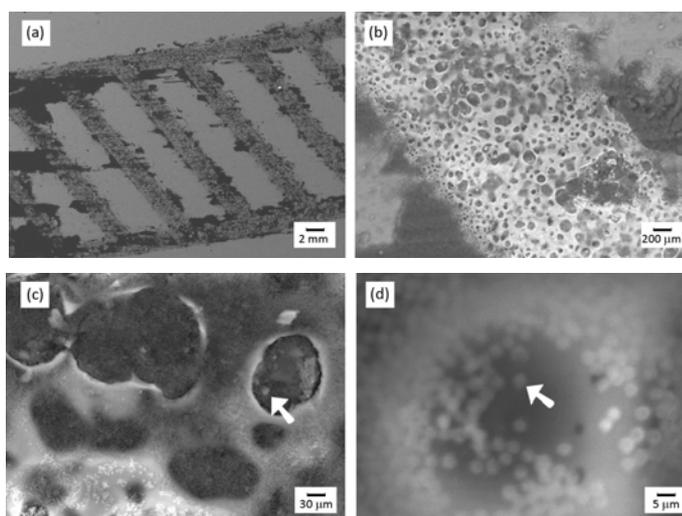


De acordo com a Figura 2 (a) e (b), é possível observar que o tamanho dos poros gerados pela interação do laser sobre a superfície do material variam aproximadamente de $3\mu\text{m}$ a $11\mu\text{m}$.

A amostra de ágata AG2 (Figura 1) - com os mesmos parâmetros de gravação da amostra AG1 - foi impregnada com microcápsulas de melanina formaldeído em solução e secas na forma de pó.

Posteriormente, foram analisadas imagens obtidas ao MEV, da amostra AG2, que ilustram antes e após serem submetidas à aplicação de microcápsulas aromáticas (Figura 3).

Figura 3: Imagens eletrônicas de varredura obtidas ao MEV antes e após as aplicações das microcápsulas: (a) no centro da imagem pode-se ver a linha gerada pela interação do laser com a ágata e (b) o detalhe da porosidade contrastante entre a área afetada pelo laser com a área não afetada; (c) e (d) imagem da amostra com aplicação de microcápsula, indicação da presença da microcápsula nas cavidades geradas pelo laser.



Com estas análises pode-se concluir que a gravação a laser propiciou a presença de poros nas superfícies das amostras, permitindo inclusive, em algumas delas, a impregnação por microcápsulas aromáticas.

4 Conclusões

Após a realização dos experimentos pôde-se concluir que o fator determinante para o sucesso da técnica de impregnação por microcápsulas aromáticas em ágata foi o processo de gravação a laser. Somente após este procedimento conseguiu-se observar a presença de poros nas amostras. A partir daí os procedimentos de impregnação tiveram resultados satisfatórios.

De maneira geral, quanto à impregnação e percepção olfativa conseguiu-se obter resultados satisfatórios. Quanto ao aspecto visual ainda podem ser realizados melhoramentos, pois as linhas gravadas ocasionaram muita remoção de material, deixando a peça marcada, o que prejudica o acabamento.

Constatou-se também a necessidade de prosseguimento nestes estudos, principalmente para verificar a duração da impregnação feita nas amostras. Devido a isto este estudo abre o caminho para futuros desenvolvimentos nas técnicas de impregnação de microcápsulas aromáticas em ágata.

5 Agradecimentos

Ao Laboratório LdSM / UFRGS por disponibilizar o espaço e os equipamentos para a realização deste estudo. Esta pesquisa teve apoio financeiro do MCT/CNPq –Universal - 014/2008, intitulado: Tecnologia de gravação e corte a laser, como ferramenta de inovação para o design de gemas e joias e na forma de bolsas de mestrado, iniciação científica e fomento do projeto Edital MCT/CNPq 06/2008-Faixa A; e a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

6 Referências

- Bagnato, Vanderlei Salvador. (2008) *Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Deasy, P. B. (1984). *Microencapsulation and related drug processes*. New York: Marcel Dekker.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1881). *Minerais constituintes das rochas: uma introdução*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Duarte, L. C. ; Rocha, T. L. A. C. ; Roldo, L.; Kindlein Jr.W. ; Cidade, M.K.; Pedrotti Júnior, S.L. (2010b) Design de produto para a ágata: aplicação de microcápsulas fluorescentes em superfícies gravadas a laser. *Design & Tecnologia*, v. 1, p. 114-118.
- Duarte, L. C., Kindlein Junior, W., Silva, F.P., Stürmer, P.G.S., Tessmann, C.S., Silveira, F. L., Cidade, M. K., Gomes, L. E. S. (2010a) Técnicas inovadoras e materiais naturais em joalheria no Laboratório de Design e Seleção de Materiais In: *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração*. ed.Porto Alegre : IGEO/UFRGS, p. 148-164.
- Dubey, R., Shami, T.C. & Rao, K.U.B. (2009). Microencapsulation Technology and Applications. *Defence Science Journal*. Vol. 59, No. 1, January 2009, pp. 82-952009.
- Ghosh, S.K. (2006). *Functional coatings: by polymer microencapsulation*. Weinheim: Wiley VCH.
- Hecht, J. & Teresi, D. (1998). *Laser light of a million uses*. New York: Dover.
- Monllor, P., Bonet, M. A & Cases, F. (2007). Characterization of the behaviour of flavour microcapsules in cotton fabrics. *European Polymer Journal*. 43, pp. 2481–2490.
- Nelson, G. (2002). Innovative technologies for high performance textiles. *International Journal of Pharmaceutics*. 242, pp. 55 - 62.
- Schumann, W. (2006). *Gemas do Mundo*. Rio de Janeiro: Editora ao Livro Técnico.

5º WORKSHOP DESIGN E MATERIAIS

Lorena, 2010.

Interação entre laser e materiais naturais: exemplos em ágata *Interaction between laser and sem tintimento materials: examples in agate*

Duarte, Lauren da Cunha; Doutor em Ciências; UFRGS
lauren.duarte@ufrgs.br

Cidade, Mariana Kuhl; Designer de Produto; UFRGS
mc.djoias@bol.com.br

Kindlein Junior, Wilson; Doutor em Engenharia; UFRGS
kindlein@portoweb.com.br

Gomes; Lara Elena Sobreira Gomes; Estudante; UFRGS
laraele@gmail.com

Resumo

Este trabalho aborda a interação do processo de gravação a laser com ágata. Foram testadas potências abaixo da capacidade do equipamento a fim de conhecer os limites inferiores de interação do feixe de laser com o material em questão. As velocidades de gravação utilizadas também estão muito abaixo do limite máximo do equipamento, que é de 500 m/s. A observação por microscopia eletrônica de varredura possibilitou a observação em escala micrométrica e indica fusão do material na região de interação do laser com a ágata. Os desenhos a serem gravados na ágata devem ser mais bem especificados, a fim de manter a integridade das curvas sem perder a nitidez.

Palavras-chave: ágata; laser CO₂; joalheria.

Abstract

This paper approaches the interaction of the laser engraving process with agate. It was tested powers below the equipment capacity to know the inferior limits of laser beam interaction with the material used. The engraving velocities used also are bellowed the maximum limit of the equipment, i.e. 500 m/s. The electronic microscopy the images observation allowed viewing the engravings in microscopic details. It indicates the material melt in the region of laser interaction with the agate. The engraved drawings should be more specified in order to maintain the integrity of curves without losing neatness.

Keywords: agate; CO₂ laser; jewelry.

1. Introdução

A tecnologia de corte e gravação a LASER (*Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*) é baseada na interação entre a radiação luminosa com a matéria e destaca-se pela abrangência de aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento científico e técnico. A pesquisa entre a interação do laser com materiais naturais é foco de desenvolvimento científico no LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais, no âmbito de buscar um melhor aproveitamento e inovação tecnológica para o beneficiamento de destes materiais.

O estado do Rio Grande do Sul destaca-se como o maior produtor de ágata de que se têm conhecimento (Juchem & Brum, 2010). As principais jazidas deste material ocorrem próximo ao município de Salto do Jacuí. Há também importantes jazidas de ametista próximas ao município de Ametista do Sul, na região conhecida como Alto Uruguai.

As mineralizações de ágata e ametista como geodos, que são cavidades alojadas em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que compreende uma seqüência com espessura máxima de 1400 m e se estende pelos estados da porção a sul do Brasil, dentre eles: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás. Ainda, há ocorrência das rochas desta formação no Uruguai, Argentina e Paraguai.

O estado do rio Grande do Sul destaca-se também como um dos mais importantes centros de comércio de gemas e materiais gemológicos. A sede deste comércio está concentrada em Soledade. Neste município estão localizadas as principais indústrias de beneficiamento e comércio. O material disponível é advindo do Rio Grande do Sul, mas uma grande diversidade de materiais gemológicos de outros estados do Brasil e também do interior estão disponíveis. Dentre os mercados consumidores destes bens minerais, destaca-se a China, pelo volume de exportações.

Apesar da valorização dos materiais gemológicos do Rio Grande do Sul, pelo comércio externo, principalmente o asiático, como descrito, as indústrias desta região utilizam de maneira pouco diversificada esta matéria-prima. Os geodos de ametista são normalmente comercializados com muito pouco beneficiamento, sendo a finalidade ornamental, somente. Destes geodos de ametista, apenas uma pequena porcentagem é apropriada para lapidação de gemas, uma vez que o tamanho dos cristais é diminuto. Quanto ao beneficiamento dado à ágata, a maioria dos geodos destina-se ao corte em chapas, com espessuras entre 2 e 5 mm, que são posteriormente levadas à processos de tingimento. Neste processo, a cor sem tingimento, que normalmente é de branca a acinzentada, passa a verde, azul, cor-de-rosa, preto, marrom, roxo, dentre outras. As chapas tingidas destinam-se à produção de ornamentos de decoração, como móveis, porta-copo, etc. A partir desta chapas, também se podem obter gemas com lapidação do tipo cabochão, as quais foram selecionadas para este estudo.

Nos países compradores é feito o beneficiamento da matéria-prima e destacam-se neste setor a Índia, a Itália e a Alemanha (Schumann, 2006), além da China. O que se percebe é que é notável, apesar da abundância de material, que a maioria dos objetos aqui no Rio Grande do Sul produzido e comercializado venha a apresentar baixo grau de inovação no que diz respeito à tecnologia empregada. Os produtos oferecidos no mercado são muito semelhantes entre si, tendo em comum a falta de diferencial e de utilização de processos que envolvam tecnologias inovadoras (Barp, 2009).

No que tange às novas tecnologias empregadas ao setor de beneficiamento de materiais gemológicos, esta pesquisa busca aplicar o laser para agregar valor ao material, criar um diferencial ou mesmo personalizar peças de joalheria. Esta pesquisa busca também caracterizar a interação entre o material (ágata) e o feixe a laser e identificar os melhores parâmetros de potência e velocidade para gravação e para corte. O objetivo deste projeto de pesquisa é aprimorar a técnica para a utilização em grande escala, e assim incrementar o beneficiamento feito pelo centro de comércio e beneficiamento de gemas de Soledade, buscando aplicar os processos tecnológicos e de fabricação para agregar valor aos materiais naturais.

2. Materiais e métodos

A pesquisa desenvolve-se nas dependências do LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais, que localiza-se na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

2.1 – Métodos

Equipamento Corte a Laser

O equipamento utilizado para os ensaios de interação entre o laser e a ágata é a Mira, máquina de corte e gravação a laser com fonte de laser de CO₂, da empresa Automatiza

Sistemas[®]. A movimentação do feixe laser funciona com sistema galvanométrico e a área de trabalho é de 10 cm x 10 cm (100cm²). A limitação da área é devida ao tipo de lente acoplado ao equipamento, podendo ser também ampliada ou diminuída. A potência máxima do laser é de 60W e a velocidade máxima de corte é de 500 m/s. O laser - *Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*, é caracterizado basicamente como um processo tecnológico rápido e eficaz, com alto grau de detalhamento nas peças a serem cortadas ou gravadas. Seu processo se obtém através de milhões de pontos que unidos reproduzem a forma do objeto. Para o sistema de corte ou gravação, o laser vaporiza o material no local delimitado, removendo o restante do produto sem interferir no detalhamento da peça.

Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

O material submetido à ação do laser foi observado por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O microscópio eletrônico de varredura utilizado fica no CME – Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O intuito das análises é de verificar o que a ação do laser gera no material. Para isto as imagens eletrônicas obtidas foram do tipo elétrons secundários (SE – *secondary electron*) que são mais específicas para avaliação morfológica do objeto de estudo. A aceleração do feixe de elétrons utilizada para imageamento foi de 15 KeV.

Softwares de desenho, de corte e gravação

O processo de criação dos desenhos para a aplicação do laser foi desenvolvido com o objetivo de testar diferentes graus de detalhamento em peças de tamanhos diminutos, entre 1,5 e 3,0 mm de dimensões. Primeiramente foi selecionado um determinado desenho, trabalhado em *software draw* e exportado em uma extensão compatível com a utilizada pela máquina a laser, que pode ser .plt para ser trabalhado por vetores, ou .jpg para ser trabalhado como imagem. Na máquina de corte a laser é utilizado o software Laser Draw[®], onde são determinadas as potências e velocidades de gravação e corte e também o dimensionamento do desenho. As potências do laser utilizadas foram entre 40 e 60% da potência total da máquina, que corresponde a 24W e 36W, respectivamente. Testes preliminares indicam que as velocidades para gravação em ágata podem ser inferiores à 10m/s.

2.2 Materiais

O material utilizado são gemas de ágata, lapidadas no formato cabochão, que são comercializadas por valores monetários bem baixos, entre R\$1,00 e R\$5,00. A ágata é uma variedade de calcedônia, que é o nome dado a um grupo de variedades compactas de sílica compostas por pequeninos cristais de quartzo com poros submicroscópicos (Deer, et al. 1981). Este material gemológico tem dureza entre 6,5 a 7 na escala Mohs, índice de refração entre 1,530 – 1540, com composição química de óxido de silício, SiO₂, sendo transparente a opaco, com densidade entre 2,60 a 2,64 g/cm³ (Schumann, 2006), organizada em um arranjo criptocristalino. A variedade ágata caracteriza-se por apresentar bandamento marcado por alternância de bandas com cores distintas. Segundo Schumann (2006), a ágata é uma variedade de calcedônia, caracterizada por bandas que podem estar ocasionalmente mescladas com bandas de opala, que é um material de coloração branca e amorfo. Os cabochões utilizados foram adquiridos já com o tingimento nas cores preto e azul e também livre de tingimento, na cor cinza e avermelhada. Ágata com coloração avermelhada corresponde à variedade cornalina, que é um tipo de ágata tingido por processos naturais, devido a impregnação dos poros por óxidos de Fe e Mg pela sua exposição e interação, por longos períodos de tempo, com solos ricos nestes elementos químicos. O tingimento é feito nas empresas que comercializam este material e normalmente se utiliza para se obter a cor azul, corantes inorgânicos do tipo ferrocianeto de potássio (Silva, 2006). O tingimento na cor preta

é feito com mel doluído e posterior queima em temperatura moderada para não atingir o ponto de ebulição (Silva, 2006).

3. Resultados

Os ensaios foram feitos em quatro gemas. A Figura 1 mostra os resultados obtidos. Os melhores resultados obtidos foram observados para os desenhos reproduzidos nos cabochões A e D (Fig. 1). Os cabochões B e C (Fig. 1) tiveram resultados insatisfatórios, pois a riqueza de detalhes dos desenhos originais não foi reproduzida com fidelidade, ocorrendo perda de nitidez. As variações de potência e de velocidade para cada gravação estão na Tabela 1.



Figura 1 – Cabochões de ágata com marcação de gravuras por laser CO₂ para teste de potência invertida e detalhes do desenho: (A) ágata sem tingimento com lapidação do tipo cabochão em formato gota com aplicação de desenho de um passarinho formado por linhas simples e com pouco detalhamento; (B) ágata tingida de preto, com lapidação do tipo cabochão em formato gota onde foi aplicada desenho detalhado de uma formiga; (C) cornalina com lapidação do tipo cabochão em formato navete, com aplicação de gravura de um beija-flor, caracterizado por uma riqueza de detalhes; (D) ágata azul tingida, com lapidação do tipo cabochão em formato navete, com aplicação de desenho de um olho aproveitando o formato da gema.

Tabela 1: Potência e velocidade utilizadas para cada gema no processo de gravação a laser

	Potência (W)	Velocidade (m/s)	Número de passadas
Ágata lapidação cabochão: (Fig. 1A)	24	8m/s	1
Ágata lapidação cabochão: (Fig. 1B)	26	8m/s	1
Ágata lapidação cabochão: (Fig. 1C)	36	8m/s	1
Ágata lapidação cabochão: (Fig. 1D)	24	8m/s	1

A potência utilizada para gravação das gemas é inferior a 50% do potencial numérico do equipamento de corte e gravação a laser, que é de 60W. A velocidade utilizada também está aquém da velocidade limitante do equipamento, que é de 500 m/s. A velocidades tão altas não há tempo de interação suficiente entre o material e o feixe, como consequência a gravura fica muito fraca. Nas potências testadas, vê-se que a interação entre o laser e o material é suficiente para tornar visível a marcação. Quando observado ao MEV, vê-se que há fusão localizada do material (Figura 2).

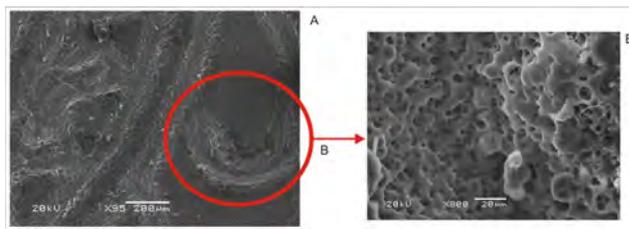


Figura 2 – Imagens SE (*secondary electron*) obtidas por microscopia eletrônica de varredura: (A) resultado da intervenção do feixe laser CO₂ com a ágata, onde se pode quantificar a região de abrangência do efeito do laser em torno de 200 µm; (B) no detalhe, quando observado sob ampliação de 800x, podem-se observar as feições de fusão localizada do material, inclusive com texturas de efervescência, marcada pela presença de bolhas.

4. Considerações finais

Este é um estudo de caráter teórico-prático, de análises de caracterização antes e após a aplicação das tecnologias que foram empregadas. A etapa de caracterização é importante, pois irá qualificar e quantificar a interação do feixe laser com o material, bem como visto nas imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Pôde-se perceber que a potência requerida para gravação no material ágata pode ser feita com aproximadamente 30W, em equipamento laser de fonte CO₂. Quanto a velocidade de gravação, pela faixa de velocidade testada (< 10m/s), há indícios de que esta possa ser ampliada, afim de agilizar o processo de gravação, e com isto ganhar em quantidade de gemas gravadas.

A fusão localizada de material indica altas temperaturas de interação entre o feixe de laser com o material, pois a temperatura de fusão para o quartzo é da ordem de 1720 °C.

A microscopia eletrônica de varredura se mostra como eficiente ferramenta de análise para este tipo de experimento, já que se trata de um método de análise não destrutivo, o que é de extrema importância para técnicas de análise de material gemológico.

Com relação às gravuras a serem desenhadas a laser no material há de se fazer um estudo mais detalhado quanto às especificações a que as mesmas devem seguir, pois preliminarmente, vê-se que desenhos com muitos detalhes perdem a definição quando passados a laser para o material. Pelas imagens eletrônicas é indicado que a região de abrangência do feixe é de aproximadamente 200 µm. Com este dado pode-se projetar gravuras que evitem a interferência entre as linhas. Não há diferença aparente entre o resultado da gravação em ágata com tingimento ou sem tingimento.

A técnica de gravação em gemas com lapidação do tipo cabochão mostra-se promissora, pois o tempo de execução é curto, da ordem de segundo (<10s) e pode ser aplicado em escala comercial, após a definição dos parâmetros de gravação e dos padrões de detalhamento das gravuras.

5. Agradecimentos

Esta pesquisa foi realizada com apoio financeiro do CNPq – Edital MCT/CNPq N° 014/2008 – Universal denominado: Uso da Tecnologia de Corte e Gravação a Laser, como Ferramenta de Inovação para o Design de Gemas e Jóias.

Referências

BAGNATO, Vanderlei Salvador. **Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

BARP, Denise Rippel Araújo. **Design e Materiais: Contribuição ao Estudo do Processo de Corte de Ágata por Jato d'Água em Formas Complexas**. 2009, 95 fls. Dissertação

(Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DEER, William A.; HOWIE, Robert A.; ZUSSMAN, Jack. **Minerais constituintes das rochas – uma introdução**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.

JUCHEM, P; BRUM, T. **Gemologia para designers**. Apostila elaborada ao Programa de Pós-graduação em Design – Laboratório de Gemologia, UFRGS, 2010.

SCHUMANN, Walter. **Gemas do Mundo**. Rio de Janeiro: Editora do Livro Técnico, 2006.

SILVA, Rodrigo de Almeida. **Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas**. 2006 98 fls. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

**TÉCNICAS INOVADORAS E MATERIAIS NATURAIS EM JOALHERIA NO
LABORATÓRIO DE DESIGN E SELEÇÃO DE MATERIAIS**

Tecnologia para o setor de gemas, joias e mineração.

IGEO/UFRGS, 2010, p. 148 – 164.

Técnicas Inovadoras e Materiais Naturais em Joalheria no Laboratório de Design e Seleção de Materiais

Lauren da Cunha Duarte²

Wilson Kindlein Júnior¹

Fábio Pinto da Silva¹

Patrícia Gabert dos Santos Stürmer³

Camila Sieburger Tessmann²

Flávia Lopes da Silveira²

Mariana Kuhl Cidade²

Lara Elena Sobreira Gomes¹

Resumo: Este capítulo trata dos trabalhos realizados pela equipe do LdSM – Laboratório de *Design* e Seleção de Materiais, na área de Joalheria. Os primeiros trabalhos remontam ao ano de 2003, tendo início com o Projeto Arraia. Este projeto trouxe inovação na aplicação de texturas em metais nobres. O método de digitalização e usinagem CNC, aliado com tecnologias de corte e gravação a *laser*, é o principal processo para a produção de peças de joalheria. A utilização de diversos tipos de materiais naturais, dentre os quais gemas, sementes, rejeito de mármore, ossos, chifres e couro, faz da diversidade aliada a tecnologias de ponta a inovação no processo criativo das joias.

Palavras-chave: *Design* de joias, Seleção de materiais, Materiais naturais.

Abstract: The objective of this chapter is to present the studies carried out for the researchers of the Laboratory of *Design* and Materials Selection (LdSM), which belongs to the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) related to the jewelry field. The early works were reported in 2003, that highlight the beginning of the *Arraia Project*. This project resulted in innovation for texture application on noble metal goods. The principle of 3D scanning and cutting on a CNC machine that works together with technologies using engraving laser cutting machine system are the main processes for jewelry manufacturing. There are several types of sem tingimento materials that could be used such as gems, seeds, marble remainders, bones, horns and leather, which turns the diversity, combined with the state of the art, an important tool for achieving innovation on jewelry creative process.

Key words: Jewelry *design*, materials selection, sem tingimento materials.

1 Introdução

O Laboratório de *Design* e Seleção de Materiais (LdSM/UFRGS), é um centro de estudos que tem como foco de pesquisa na área de joalheria a seleção de novos materiais e processos. O histórico deste grupo de pesquisas na área da joalheria remonta ao ano de 2003, quando da execução do Projeto Arraia. O objetivo deste projeto foi estimular as empresas joalheiras à projeção de joias diferenciadas, utilizando-se para isso, técnicas de digitalização tridimensional a *laser*, usinagem em fresadora CNC (controle numérico computadorizado), metodologia de biônica e *design* industrial.

O principal fator de diferenciação nos projetos de joalheria do LdSM é a utilização de digitalização tridimensional, utilizada para a captação de texturas a serem utilizadas em pesquisas de inovação tecnológica. Inúmeras texturas e objetos podem ser escaneados tridimensionalmente e aplicados nos mais diversos materiais, fazendo com que a forma de certo elemento possa ser transposta para materiais diferenciados. Essa transposição de materiais, e também de dimensões, pode ser utilizada como fator de diferenciação nas joias elaboradas por este processo.

² Laboratório de *Design* e Seleção de Materiais. Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre (RS), Brasil. ndsm@ufrgs.br

³ Programa de Pós-graduação em *design* e Tecnologia. Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre (RS).

Neste capítulo são apresentadas algumas peças elaboradas pela equipe de pesquisa em joalheria e seleção de materiais do LdSM. São descritos também os métodos de digitalização tridimensional para *design* tridimensional fixo e móvel, os *softwares* necessários para a adequação dos objetos digitalizados para uso em joalheria, método de usinagem CNC e gravação e corte a *laser*.

2 Métodos e tecnologias aplicados à joalheria

2.1 Digitalização Tridimensional – *Design* Fixo, *laser* de ponto

A digitalização tridimensional é utilizada para capturar dados de objetos em 3D e, auxiliada por *softwares*, permite obter curvas, detalhes de superfícies e texturas com grande precisão. Utilizando-se de modelos digitalizados podem ser realizadas medidas de desgaste, construção de moldes, análises de superfícies, dentre outras, e aplicar os resultados com alta fidelidade formal a produtos inovadores, como por exemplo, em joalheria. Para estas aplicações, normalmente, são utilizados sistemas de alta tecnologia, como o *Design* 3D a *Laser* e sistemas CAD/CAE/CAM. Tais ferramentas requerem elevados investimentos dificultando sua utilização em projetos de mais baixo custo.

O sistema de digitalização tridimensional por *design* fixo consiste na emissão, através de diodo, de um feixe de *laser*, que é refletido por um divisor e incide pontualmente sobre o objeto a ser medido. A luz dispersada retorna, passa novamente pelo divisor de feixe, cristal birrefringente (calcita óptica), e é detectada pelo sensor CCD (Dispositivo de Carga Acoplado). O CCD é um sensor formado por capacitores sensíveis à luz. O cristal birrefringente modifica diferentemente a velocidade de cada raio de luz, criando um padrão de franjas com alto contraste no detector CCD. Uma vez que o ângulo do raio de luz é função da distância entre um plano de referência e o ponto de *laser* projetado no objeto, esta distância pode ser então determinada pela análise das características do padrão criado. A relação entre o sinal no detector CCD e a distância dos objetos é determinada por um processo preciso de calibração realizado para cada lente objetiva utilizada [1].

O Digimill 3D (Fig. 1a,b), fabricado pela Tecnodrill, é um equipamento CNC híbrido (fresa e *design* tridimensional a *laser*) que utiliza o cabeçote *laser* de ponto Optimet, modelo ConoProbe 1.000 (comprimento de onda 655nm), com potência máxima de 1mW. Este cabeçote tem por característica adquirir até 1.000 pontos por segundo, sendo a precisão de sua medida variável conforme a lente utilizada operando em diferentes faixas de aquisição de dados. Essas faixas são menores à medida que é aumentada a resolução da lente. Para grande parte das aplicações pode ser utilizada uma lente de 100mm, devendo-se isso a sua boa resolução e ampla faixa de trabalho. O *Design* 3D funciona movimentando-se no plano dos eixos X e Y, através do CNC, enquanto o *laser* mede a altura no eixo Z. A resolução (devido ao posicionamento X e Y) é de até 0,002mm, e a precisão máxima (medida Z), de 0,0002mm, com lente de 25mm. Os resultados das varreduras são arquivos de texto em coordenadas X, Y e Z, chamados nuvens de pontos [2]. Este equipamento apresenta restrição quanto ao tamanho dos objetos devido ao pouco espaço físico disponível na área de digitalização. Em muitos casos é preciso capturar várias vistas do objeto e, após, combiná-las através da edição dos pontos em *softwares*.



Figura 1 – A) Máquina Digimill para digitalização e usinagem; B) *Design* Tridimensional móvel Minolta; C) equipamento MIRA de corte e gravação a *laser*.

2.2 Digitalização Tridimensional – *Design* Móvel, *laser* de linha

Um feixe pontual de *laser* é emitido e, ao atravessar uma lente cilíndrica se torna uma linha horizontal (eixo X) de *laser* que incidirá sobre o objeto a ser medido. O ângulo de incidência é controlado por um espelho galvânico, o qual possui um eixo de rotação capaz de varrer a superfície verticalmente (eixo Y). A luz refletida pelo objeto passa por uma lente focalizadora até incidir no CCD e, por meio do triângulo formado, é convertida na medida de distância (eixo Z). Adicionalmente, é possível capturar a cor do objeto digitalizado, através de um filtro de cores RGB posicionado em frente ao CCD. Após ser finalizada a varredura da área superficial de interesse, obtém-se o mapeamento ponto a ponto da superfície do objeto, o qual também pode gerar uma nuvem de pontos.

O *Design 3D*, modelo Vivid 9i, da Konica Minolta (Fig. 1b), emite *laser* de linha vermelho (comprimento de onda 690nm), com uma potência máxima de 30mW. Leva 2,5 segundos por varredura, podendo transferir cerca de 3,6 MB de dados (até 340.000 pontos). As lentes do equipamento são intercambiáveis e definem a área de captura e a precisão de cada varredura. Quanto maior for a precisão da lente utilizada, menor será a área adquirida. Assim, para digitalização de objetos maiores é necessário abrir mão da precisão ou realizar várias capturas, para, então, combiná-las com *software*. Tipicamente, a distância do *scanner* ao objeto fica na faixa de 0,5 até 2,5m. A exatidão alcançada é de até 0,05 mm por eixo, sendo a precisão máxima de 0,008mm no cálculo da coordenada Z, por triangulação. A unidade central é portátil, mas deve ser montada em um tripé e acompanhada por um computador (notebook) e um sistema de calibração, por isso, o equipamento foi chamado de Scanner Móvel.

2.3 Processamento dos dados adquiridos por digitalização

Os processos funcionam, em geral, por meio de uma varredura em intervalos regulares medindo a localização de pontos no espaço (X, Y e Z). Com intervalos pequenos entre os pontos obtém-se uma densidade (resolução) regular da superfície do modelo original, chamada nuvem de pontos. Uma nuvem de pontos 3D, adquirida através de digitalização tridimensional, normalmente necessita algum tipo de pós-processamento, como suavização, aplicação de filtros, preenchimento, montagem de partes (registro), triangulação de pontos e geração de malha. Estas operações são realizadas por *softwares* especializados, geralmente de custo alto.

Para as operações de processamento da nuvem de pontos 3D um software bastante conhecido no mercado é o Geomagic Studio, também utilizado em engenharia reversa, *design* de produto e prototipagem rápida. É capaz de transformar dados digitalizados (nuvem de pontos) em malha de polígonos; possui ferramentas para suavização, filtros para aplicação, registro de nuvens, conversão para formatos de padrão comerciais do tipo CAD (STL, IGES, STEP), bem como permite realizar análises e comparações.

No mercado internacional não são muitos os *softwares* que competem no processo de digitalização baseada em fotografia (fotogrametria). Os mais populares são o iModeller da UZR, o ImageModeler da Autodesk e o PhotoModeler *Design* da Eos Systems. Cada fabricante propõe uma técnica diferente para a captura e processamento dos dados, mas o método é semelhante.

2.4 Reprodução dos relevos - Usinagem em Fresadora CNC

Segundo Ferraresi [3], as operações de usinagem são aquelas que, ao conferir à peça, a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco. O cavaco é definido como a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. Os processos de usinagem podem ser classificados em diversos grupos, tais como fresamento, torneamento, aplainamento, furação, serramento, roscamento, retificação, polimento, etc. O trabalho desenvolvido por Kindlein et al. [4] apresenta estes processos de maneira bastante didática. O fresamento é definido como o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas geralmente multicortantes [3]. Para tanto, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam segundo uma trajetória qualquer.

Um sistema de Controle Numérico Computadorizado (CNC) comanda as ações de uma ou mais máquinas por interpretação automática de instruções expressas em números por meio digital. A palavra “interpretação” refere-se à conversão de alguns ou de todos os dados numéricos, como distâncias, ângulos, velocidades, etc. O surgimento dessa tecnologia só foi possível após a criação das máquinas ferramenta, da automação e da informática. Embora a maior parcela das máquinas CNC seja de máquinas ferramenta (ou de usinagem), a cada dia surgem novas operações de manufatura, que são alimentadas com informações CNC. Os sistemas *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Engineering* (CAE) e *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) são as principais tecnologias auxiliares que têm evoluído junto com as máquinas CNC. O primeiro permite integrar as tarefas de projeto; o segundo, simular/otimizar o produto, e o último, efetuar sua prototipagem/fabricação.

2.5 Corte e Gravação a Laser

A tecnologia de corte e gravação a *laser* (*Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*) é baseada na interação entre a radiação luminosa com a matéria e destaca-se pela abrangência de aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento científico e técnico [5]. A interação entre o *laser* e materiais naturais é foco de desenvolvimento científico no LdSM, no âmbito de buscar melhor aproveitamento e inovação tecnológica para o beneficiamento de destes materiais.

O equipamento Mira, da Automatisa Sistemas® (Fig. 1c), grava e corta a *laser*, por mecanismo galvanométrico, onde o ponto do *laser* é fixo e a movimentação do feixe é feita por espelhos. O *laser* é do tipo

fonte CO₂, utilizado preferencialmente para interação com materiais orgânicos, interagindo com couro, madeira, papel, sementes, ossos, chifres, incluindo polímeros, entre outros. A gravação é eficiente para cerâmicas e metais se utilizados aditivos corantes. É apropriada para gravação em materiais gemológicos, tal como na ágata. O equipamento funciona com potência máxima de 60W e pode-se utilizar todo o range, sendo este convertido em relação ao percentual total. As velocidades também podem ser modificadas, entre 0,01 a 500m/s.

Arquivos de gravação e corte podem ser gerados em *softwares* do tipo DRAW e exportados para extensões .stl ou .plt, configurando arquivos vetoriais. Para proceder com gravação de imagens, os arquivos devem estar em tons de cinza com extensões .jpg ou .bmp. No *software* de interface Automatisa Laser Draw[®], pode ser feita a adequação da potência e da velocidade de corte ao tipo de material, ordem de execução dos vetores, edição de contornos, dentre outros parâmetros. Para arquivos de imagem, a quantificação é feita de modo a balancear a potência utilizada entre os diferentes tons de cinza que compõem a imagem. A potência aplicada será maior para o cinza mais saturado e potência menor para tons de cinza menos saturados. Pode-se também ativar o mecanismo de inversão de potência e, com isso, obter variação da intensidade de ação do *laser*. A área de trabalho deste equipamento é limitada a 100 cm². O fator limitante da área de trabalho é a curvatura a lente que também determina a precisão do corte, sendo maior no centro desta área do que nas bordas.

2.6 Shima Seiki

O *software* SDS One Full, SHIMA SEIKI[®], é um sistema CAD utilizado na área do *design* de moda. É originalmente utilizado para promover interatividade entre o estilista, o programador técnico e as outras pessoas envolvidas no projeto. A plataforma de trabalho integra um *software* completo para engenharia do produto de malha, programas específicos para programação de malharia, simulação virtual e ferramentas para simulação de bordados. Possui um banco de dados dotado de pontos de malharia. Através da inspiração das texturas de malharia retilínea torna-se possível construir superfícies que vão além das restrições do tecimento da malha, pois podem também ter as formas aplicadas a outros materiais que podem ser utilizados em joalheria.

A simulação virtual dos pontos que conformam a textura em sistemas CAD possibilita a construção de produtos inusitados, que integram criatividade com a engenharia de construção. O SDS One Full é direcionado ao desenvolvimento de diversos tipos de tramas. Esses modelos podem consistir imagens em tons de cinza (Fig. 2a) e estas imagens podem ser importadas para *softwares* CAM (e.g. Artcam Jewelry[®]) (Fig. 2b) e reproduzidas por usinagem CNC em materiais diversos (Fig. 2c). A mesma imagem, em tons de cinza, também pode ser importada para equipamento de corte e gravação a *laser*, em extensão .jpg, e ser aplicada como gravura em substratos distintos.

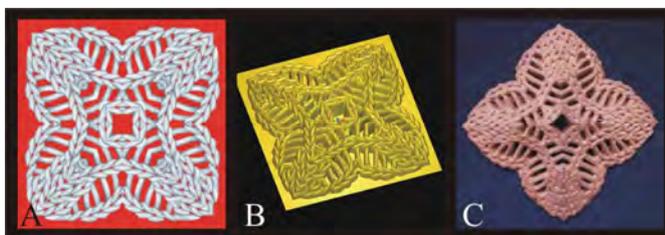


Figura 2: A) Imagem em tons de cinza do padrão de tramas gerado pelo SDS One Full; B) visualização da mesma imagem de (A) *software* CAM e C) peça usinada em madeira.

3 Aplicações das tecnologias em joalheria

3.1 Projeto Arraia

A arraia é um peixe cartilaginoso pertencente à classe dos Condrícteos. A inspiração para o Projeto Arraia surgiu da pesquisa de tendências realizada pelo IBGM (Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos), que constatou o uso de couro da arraia, conhecido como *galuchat*, para a confecção das joias. O abate desses animais se dá exclusivamente para a utilização do couro, já que a carne é pouco apreciada para consumo. O Projeto Arraia visou utilizar a textura do couro da arraia (Fig. 3a), aplicada em metais, de uma maneira ecológica, ou seja, excluindo-se a utilização do couro.



Figura 3 – A) Couro da arraia (preto, à esquerda), seguido da reprodução da textura em cera especial para joalheria (azul, centro) e em metal; e B) joias produzidas com a aplicação da textura do couro da arraia.

A textura foi obtida com as técnicas de digitalização descritas anteriormente. Este projeto contou com a parceria de diversas empresas de fabricação de joias, principalmente do polo joalheiro de Guaporé. A textura foi reproduzida em cera e fundida em metal tendo sido diversas as coleções elaboradas com esta temática. Este projeto abriu novos caminhos para a utilização de tecnologias em joalheria (Fig. 3b).

3.2 Ametista

O Rio Grande do Sul é reconhecido mundialmente pela importância na exploração de ametista e ágata, que ocorrem como preenchimento de geodos, que são cavidades alojadas em rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. Milhares de toneladas de geodos são comercializados no mercado interno e externo, pouco beneficiados. A textura formada por um agregado de cristais de ametista (Fig. 4a) foi capturada para uso em joalheria. Para a digitalização tridimensional dos cristais teve-se de se fazer uso de um pó revelador (pó branco), visto que as faces dos cristais formam planos refletivos ao *laser*. O processo de digitalização e tratamento da nuvem de pontos foi feito com a metodologia adotada pelo LdSM. O ajuste da dimensão final foi realizado com auxílio do *software* Artcam Jewelry® (Fig. 4b). A reprodução do relevo foi feita em cera especial para joalheria e após fundição em prata.

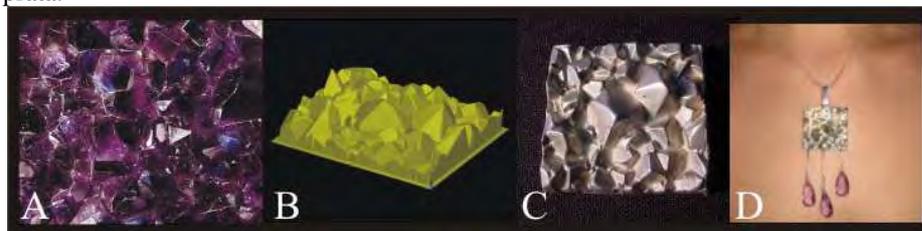


Figura 4– A) Cristais de ametista; B) Modelo tridimensional resultante da digitalização da textura dos cristais; C) Textura da ametista reproduzida em prata e D) Joias utilizando a peça com a textura dos cristais em associação com ametista em gemas com lapidação facetada do tipo gota.

A intenção de utilizar este relevo foi a de transpor a textura e a dimensão dos cristais para um material inusitado, como a prata (Fig. 4c), sendo utilizada juntamente com gemas lapidadas em formato gota (Fig. 4d).

3.3 Fruta do Conde

A utilização de elementos naturais como referência biônica no processo criativo no *design* é ampla. A *Annona coriácea*, uma espécie da família das anonáceas (Annonaceae) foi o modelo biológico selecionado para a captura do relevo. É conhecida no Brasil como fruta-do-conde. A escolha da fruta-do-conde se deu por conta do potencial encontrado em sua morfologia. O estudo dos padrões de crescimento, formato, distribuição e proporção dos gomos da fruta enquanto textura serviu de base para a aplicação em joalheria. O módulo resultante da vetorização dos gomos da fruta, o qual posteriormente foi aplicado nos materiais como textura, foi feito a partir das imagens obtidas no processo de digitalização tridimensional (Fig. 5a), permitindo obter alto grau de precisão dos detalhes da superfície em três ângulos distintos: topo, base e lateral. A reprodução do relevo foi feita por usinagem CNC no mármore, rocha de origem metamórfica, composta predominantemente por dolomita (CaCO_3), proveniente do rejeito de minas da região de Caçapava do Sul, RS. A dolomita possui dureza 3 na escala Mohs, relativamente baixa e de fácil usinagem, tendo sido utilizadas ferramentas com pontas cônica, esférica e topo reto, com ponta diamantada.

O relevo reproduzido no mármore foi o da vista lateral, por ter semelhanças formais com o formato de um coração (Fig. 5b). A peça final elaborada, reproduzida em prata também utiliza tecnologia de digitalização tridimensional, onde um *software* CAM foi utilizado para projetar a cavidade que aloja o mármore, tendo esta o mesmo contorno do mármore usinado. A peça elaborada com o Artcam Jewelry® foi usinada em cera especial para a joalheria. A mesma textura foi usinada em jarina (Fig. 5c), conhecido como marfim vegetal [6]. Esta

semente é bastante utilizada na fabricação de biojoias e se mostrou apropriada para processos de usinagem CNC (Fig. 5).

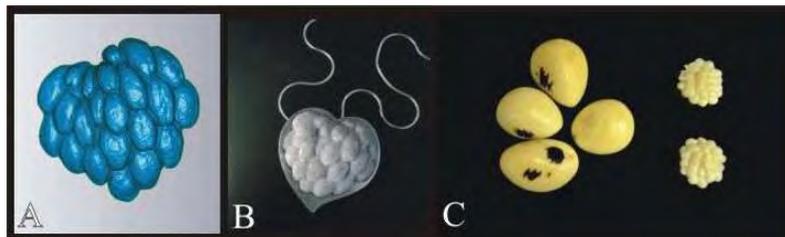


Figura 5 – A) Nuvem de pontos resultante da digitalização da fruta-do-conde; B) joia em prata e mármore usinado com a morfologia dos gomos da fruta-do-conde e C) sementes de jarina e jarina usinada por CNC, reproduzindo a textura da fruta-do-conde.

3.4 Camafeu

O beneficiamento dado à ágata no Rio Grande do Sul é carente no que diz respeito à inovação tecnológica, pois o tratamento usual dado a este material é o corte em chapas, com posterior tingimento, e destes se fabricam produtos diversos. Este material gemológico tem estrutura em camadas com cores distintas, sendo apropriado à arte da glíptica [7]. Dentre os materiais que compõem as camadas ocorre opala branca. A partir disso foi desenvolvida a metodologia para a produção de camafeus por usinagem CNC. Para aproximar esses objetos dos camafeus já produzidos manualmente em outros países, a intenção foi reproduzir um perfil humano, como os produzidos em Idar-Oberstein, na Alemanha, centro de referência para glíptica.

A utilização de digitalização tridimensional em *scanner* móvel é a mais avançada inovação tecnológica para a produção de camafeus, proporcionando, além da riqueza de detalhes, uma peça exclusiva. Os resultados são superfícies diferenciadas e objetos inovadores, no sentido da união entre a seleção do material e da tecnologia. A imagem do modelo a ser digitalizada é capturada pelo *scanner* móvel, em coordenadas *x*, *y* e *z*. Como já descrito, este *scanner* obtém uma fotografia com dados de pigmentação (Fig. 6a). O relevo (Fig. 6b) foi obtido pelo tratamento dos dados e posteriormente passada a nuvem de pontos à superfície no *software* Geomagic® (Fig. 6c).

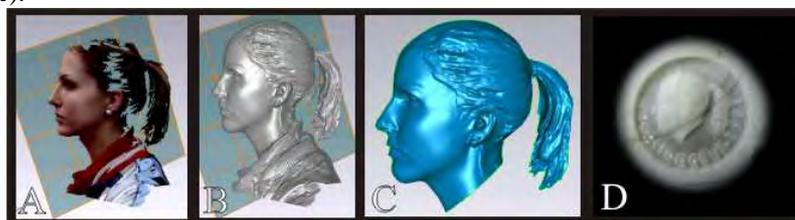


Figura 6 - A) Fotografia com dados de pigmentação; B) relevo obtido do *scanner*; C) nuvem de pontos e D) camafeu reproduzindo o relevo obtido por digitalização tridimensional móvel.

A imagem é transferida ao *software* CAM, para definir volume e parâmetros de usinagem. O processo envolveu a utilização de quatro fresas e seis estratégias de usinagem; algumas destas fresas foram utilizadas mais de uma vez nos processos, apenas se alterando o trajeto sob a peça a fim de aprimorar o acabamento final. A peça-piloto (Fig. 6d) foi esculpida, inicialmente, com fresa diamantada de ponta de 5 mm de diâmetro. O acabamento e o detalhamento foram feitos com uma fresa diamantada com diâmetro de 1mm, tendo sido realizado em dois passes distintos.

3.5 Ossos e chifres

Ossos e chifres são materiais naturais abundantes no Rio Grande do Sul. Estes materiais são utilizados para fins ornamentais, principalmente em objetos de cutelaria. Alguns trabalhos já realizados pela equipe do LdSM tratam do aproveitamento de ossos [8; 9], tanto em relação ao *design* de produto, quanto ao prolongamento da vida útil. O beneficiamento dado a esses materiais é limitado, sendo comercializados pouco beneficiados, como em chapas. Agregar valor a estes materiais pode gerar uma nova perspectiva para a destinação final, podendo ser aplicados em joias.

A textura selecionada foram tramas de tricô para aplicação no osso (Fig. 7a) e no chifre (Fig. 7b), mas também pela escolha inusitada das características distintas entre lã, ossos e chifres. Ambos foram simulados com auxílio do *software* SDS One Full e usinados por comando CNC.

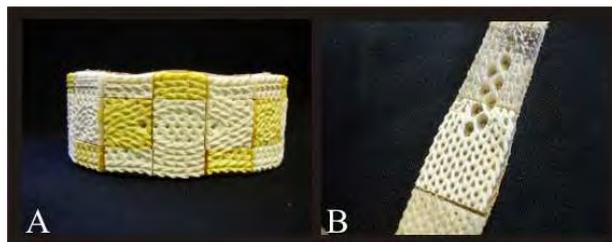


Figura 7 - A) Braclete com base em couro e ossos bovinos em cor sem tingimento e tingidos e B) bracelete com base em couro e chifre bovino.

3.6 Prédios históricos

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) possui um conjunto arquitetônico constituído de doze prédios históricos, construídos entre o final do século XIX e início do século XX. Alguns preservam um estilo neoclássico que começou a ser adotado nas cidades da América do Sul no início do século XX [10].

Os detalhes arquitetônicos digitalizados por *scanner* móvel tridimensional serviram de inspiração para o desenvolvimento de joias. O prédio selecionado foi o da Rádio da Universidade (Fig. 8a), por conter elementos decorativos em metal com grande riqueza de detalhes, servindo como referência às limitações e à resolução da técnica de digitalização tridimensional móvel e aos processamentos de gravação e corte a *laser*.

O modelo virtual em 3 dimensões (Fig. 8b) obtido pelo *scanner* pode ser convertido em uma imagem formada por tons de cinza, e desta maneira, pode ser gravada a *laser* (Fig. 8c). A gravação a *laser* em PMMA gera um relevo na peça, devido às diferentes intensidades de potência. A interação entre o *laser* e o PMMA configura um desgaste do material por vaporização, ocorrendo perda de material. Para se obter a forma desejada do detalhe escaneado do prédio foram elaborados dois arquivos a serem importados para o *software* Automatisa *Laser Draw*[®]: um, para a gravação (fig. 9a), extensão .jpg, e um vetorial (Fig. 9b), contorno da peça, para o corte. A peça final prevê execução em prata e acrílico (Fig. 9c).

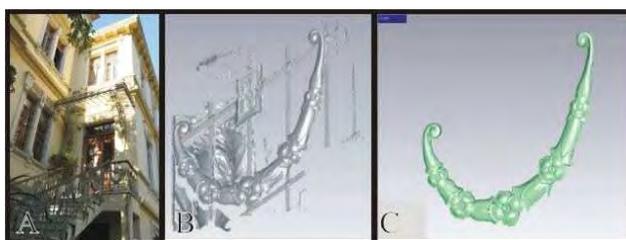


Figura 8 - A) Escadaria do prédio histórico da Rádio da Universidade; B) imagem do arquivo inicial, resultado do processamento da nuvem de pontos provenientes do escaneamento pelo *Design* móvel Vivid 9i[®]; C) mesma nuvem de pontos após a seleção dos pontos de interesse.

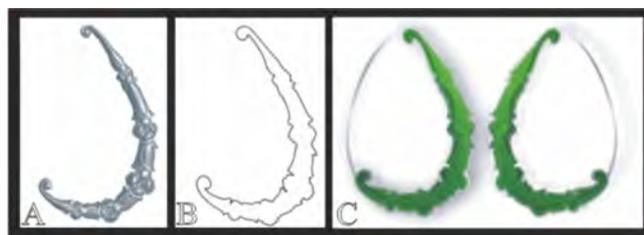


Figura 9 - A) Imagem em tons de cinza preparada para gravação a *laser*; B) contorno para corte e C) simulação virtual de joia desenvolvida a partir da imagem de escaneamento a *laser* 3D.

3.7 Design de superfície – Gravação a *laser* em ágata

No que tange às novas tecnologias empregadas ao setor de beneficiamento de materiais gemológicos, esta pesquisa busca aplicar o *laser* para agregar valor, criar um diferencial ou mesmo personalizar peças de joalheria. A opção foi gravar a microtextura da ágata, obtida em fotomicrografias feitas com auxílio de microscopia óptica de luz transmitida (Figs. 10a,b). Na peça foi aliada a textura microscópica ao material macroscópico (Fig. 10c).

A potência utilizada para gravação das gemas foi de 70% do potencial numérico do equipamento de corte e gravação a *laser* e velocidade de gravação de 24m/s. A velocidade limitante do equipamento é de 500 m/s. A velocidades tão altas não ocorre interação suficiente entre o material e o feixe, ficando muito fraca. Nas

potências testadas, vê-se que a interação entre o *laser* e o material é suficiente para tornar visível a marcação. Quando observado ao MEV, vê-se que há fusão localizada do material (Fig. 11).

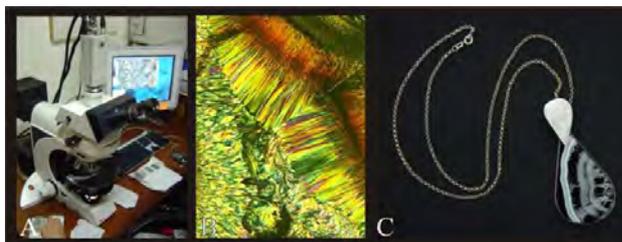


Figura 10 – A) Microscópio óptico de luz transmitida com equipamento de captura de imagens acoplado; B) fotomicrografia da textura da ágata, quando observada a luz polarizada e C) pingente com aplicação a *laser* da imagem obtida por microscopia óptica.

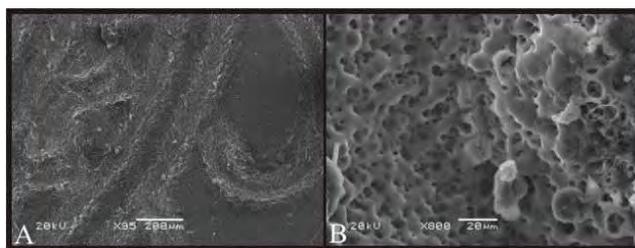


Figura 11 – A) Imagens SE (*secondary electron*) obtida por MEV, onde se pode observar a região de interação do *laser* com o material, em torno de 200 μm ; B) detalhe, quando observado sob ampliação de 800x, podem-se observar feições de fusão localizada do material.

A fusão localizada de material indica altas temperaturas de interação entre o feixe de *laser* com o material, pois a temperatura de fusão para o quartzo (sílica pura) é da ordem de 1732 $^{\circ}\text{C}$. A microscopia eletrônica de varredura mostra-se como eficiente ferramenta de análise para este tipo de experimento, já que se trata de um método de análise não destrutivo, o que é de extrema importância para técnicas de análise de material gemológico. Pelas imagens eletrônicas é indicado que a região de abrangência do feixe é de, aproximadamente, 200 μm . Com este dado podem-se projetar gravuras que evitem a interferência entre as linhas.

3.8 Design de superfície – Corte a *laser* em couro

A geração de módulos para repetição em *rapport* é uma prática utilizada para *design* de superfície. A digitalização da fruta-do-conde foi utilizada para esta técnica, visando ao corte a *laser* de couro. As vistas digitalizadas escolhidas para criação do módulo foram a de base e a lateral. Os gomos da fruta foram vetorizados para a criação do módulo em formato *rapport*, de forma que pudesse ser repetido infinitamente, de modo a ser encaixado em qualquer uma das direções e, deste modo, ter uma superfície ampla a partir de um módulo simples (Fig. 12).

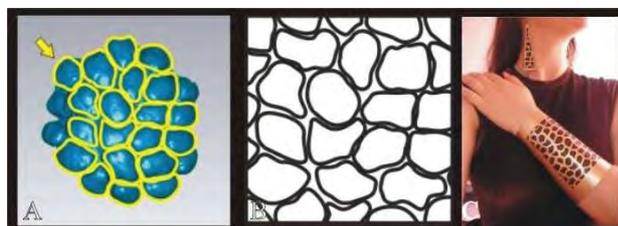


Figura 12 – A) Vetorização dos gomos da fruta-do-conde; B) módulo para *rapport* e C) aplicação dos módulos no bracelete e brincos, em duas cores de couro.

Outra aplicação de corte a *laser* em couro teve como base a pesquisa realizada que busca trazer para a joalheria elementos formais e de materiais da cultura do gaúcho. O colar (Fig. 13) foi vetorizado em *software* DRAW e importado para o *software* de trabalho do equipamento de corte a gravação a *laser* em extensão .plt, conforme descrito anteriormente.

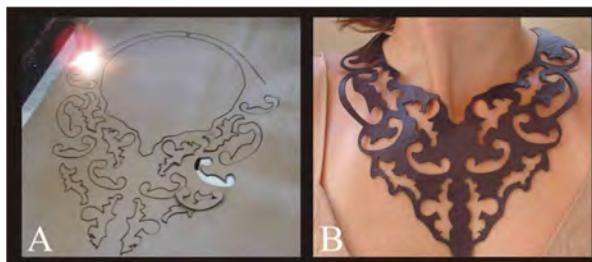


Figura 13 – A) Processo de corte a *laser* em couro e B) colar com inspiração nos adornos gaúchos.

Estes dois exemplos foram executados por máquinas de corte a *laser* do tipo ploter (X,Y), pois a área requerida era superior à de 10cm². Neste equipamento, a fonte de *laser* também é do tipo CO₂, e a potência máxima do equipamento é de 30W.

4 Considerações finais

Na joalheria são vastas as possibilidades de processos de produção, de acabamentos superficiais e de materiais a serem utilizados para a fabricação de peças de adorno. A joia assume um novo papel, não mais apenas o material caracteriza uma joia. Aliados ou não a metais nobres, podem-se utilizar outros materiais em joias originais e diferenciadas, como gemas, couro, ossos, chifres, rochas, além de acrílico (PMMA – polimetilmetacrilato).

A utilização de digitalização tridimensional para a aplicação em joalheria é inovadora no que tange à reprodução de formas e texturas. Dentre as vantagens pode ser destacada a reprodutibilidade do mesmo modelo em vários materiais e do mesmo relevo em dimensões distintas.

Técnicas como usinagem CNC, corte e gravação a *laser*, podem ser processadas em diversos tipos de materiais. As técnicas de usinagem em mármore e jarina e de gravação em gemas mostram-se promissoras, pois o tempo de execução é relativamente curto, podendo ser aplicado em escala industrial. Quanto à usinagem de camafeus em ágata e opala branca, o acabamento é perfeito, porém o tempo de usinagem ainda deve ser otimizado por estratégias mais eficientes.

Tecnologias inovadoras agregam valor a materiais pouco usuais em joalheria, pois conferem a estes materiais um acabamento refinado e diferenciado, ampliando as possibilidades de criação do profissional da área de *design*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq – Projeto Universal 014/2008 – Processo 479421/2008-0. À M. Sc. Thaís Boeira Neves, pelo acesso ao programa SDS One Full, SHIMA SEIKI®. Às agências de fomento Capes e CNPq pelas bolsas de mestrado concedidas.

Referências

- [1] OPTIMET. **Introduction.** In: **OPTIMET, Optical Metrology.** 2003. - Disponível em: <<http://optimet.com/technology.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2006.
- [2] SILVA, F. P. **O uso da Digitalização Tridimensional a Laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao Design de Produtos.** Dissertação de mestrado, PPGEM/UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- [3] FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- [4] KINDLEIN, W. Desenvolvimento de uma interface amigável via internet: materiais e processos de fabricação para o *design* de produto. **5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design,** 2002.
- [5] BAGNATO, V. S. **Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia.** São Paulo. Editora Livraria da Física, 2008.
- [6] COSTA, M. L.; HOHN, H.; RODRIGUES, S. F. S. **Jarina – O Marfim Vegetal.** Belém: Editora Paka-Tatu, 2008.
- [7] SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo.** São Paulo: Disal Editora, 2006.

[8] ETCHEPARE, H. **Contribuição do Ecodesign na Utilização de Materiais de Origem Animal (Ossos e Chifres) para Fabricação de Artefatos Diversos**. Dissertação de mestrado, PPGEM/UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

[9] BARRIONUEVO, P. R. **Impregnação de peças de osso bovino com poli(metilmetacrilato) : um novo material para o *design* de produto**. Dissertação de mestrado, PPGEM/UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

[10] CARVALHAL, T. F. **Os prédios históricos da UFRGS: atualidade e memória**. Porto Alegre: UFRGS, 1998.