

RUBI E SAFIRA TRATADOS COM VIDRO ADICIONADO DE CHUMBO COMERCIALIZADOS NO BRASIL

LEAD GLASS–FILLED RUBY AND SAPPHIRE IN BRAZILIAN GEM MARKET

Pedro Luiz Juchem¹, Jurgen Schnellrath², Tania Mara Martini de Brum³, Gabriel Barbieri⁴, Lauren da Cunha Duarte¹

¹Laboratório de Gemologia (Depto. de Mineralogia e Petrologia – Instituto de Geociências) e Programa de Pós-Graduação em Design (PGDesign) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mail: labogem@ufrgs.br; lauren.duarte@ufrgs.br

²Laboratório de Análises Gemológicas – Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro. E-mail: jurgen@cetem.gov.br

³Laboratório de Gemologia (Depto. de Mineralogia e Petrologia – Instituto de Geociências) UFRGS. labogem@ufrgs.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PGDesign-UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mail: gabrielbarbieri22@gmail.com

RESUMO

A análise para fins de certificação de um lote de gemas lapidadas do mineral coríndon, nas variedades rubi e safira, indicou que esse material possui fraturas preenchidas por vidro com chumbo. Esse processo tem como objetivo melhorar a qualidade de cristais de coríndon muito fraturados e por isso geralmente opacos, sem qualidade gemológica. O preenchimento das fraturas desse mineral por vidro com chumbo se mostra muito efetivo em reduzir o efeito de turbidez provocado pelo excesso de fraturas, deixando as pedras translúcidas e às vezes quase transparentes, melhorando muito a sua qualidade para lapidação. A adição de chumbo confere ao vidro um índice de refração próximo ao do coríndon, dificultando assim sua identificação, já que o seu brilho fica praticamente idêntico ao do rubi e safira.

Palavras-chave: coríndon, rubi, safira, tratamento, vidro

ABSTRACT

A parcel of cut gems of corundum, ruby and sapphire varieties, analyzed for certification purposes showed that the fractures of this mineral were filled with lead enriched glass. This process aims to improve the quality of corundum crystals highly fractured, which are therefore opaque, without gemological quality. The fractures filling of this mineral with lead glass is very effective in reducing the turbid effect caused by the excess of fractures, enhancing their clarity, which make the stones appear translucent and sometimes almost transparent. Lead is intended to turn this glass with a refractive index close to that of the corundum, making it difficult to identify, since its luster is almost identical to that of ruby and sapphire.

Keywords: corundum, ruby, sapphire, enhancement, glass

1. INTRODUÇÃO

Processos de tratamento em materiais gemológicos, seja para melhoria de qualidade (*enhancement*) ou para utilizar esses materiais como imitação de outras gemas, já foram realizados há alguns milhares de anos atrás. Os primeiros relatos são de 4.000 anos AC, quando os Egípcios

desenvolveram processos de vitrificação e tingimento de pedra-sabão para imitar lápis-lazuli. Plínio em suas publicações (37 livros) sobre o conhecimento acumulado até o primeiro século da Era Cristã, já relata tratamentos em gemas como o tingimento, impregnação com óleos e a fabricação de compósitos (Nassau, 1984). Esses processos, geralmente realizados de forma empírica, passaram a ter uma abordagem mais científica a partir dos séculos XVII e XVIII, quando passou a ser conhecida a composição química e a estrutura cristalina dos minerais e os processos de formação das rochas. A partir da metade do século XX até os dias de hoje, os processos de melhoria de qualidade em gemas tiveram um incremento muito grande, à medida que foram se desenvolvendo tecnologias cada vez mais avançadas (Nassau, 1988). Certas tecnologias permitem hoje, por exemplo, gerar novas cores em materiais gemológicos a partir do implante de elementos químicos nos minerais (e.g. Emmett, *et al.*, 2003)

Processos de tratamento como o tingimento (realizado na ágata do RS) e tratamento térmico (realizado na ametista do RS, transformando-a em citrino) já são conhecidos há mais de cem anos e são bem aceitos no mercado. Da mesma forma, o revestimento de gemas porosas (como a turquesa) com ceras ou polímeros e a impregnação com óleo em gemas muito fraturadas (como a esmeralda), são processos comuns e também aceitos no mercado.

Rubi e safira, variedades do mineral coríndon, estão entre as gemas mais apreciadas em joalheria. Ao longo dos anos, esse mineral foi submetido a vários tipos de tratamento para melhorar ou mudar sua cor, como o tratamento térmico; e para melhorar a sua transparência, utilizando-se também tratamento térmico e a impregnação de fraturas e cavidades com diferentes óleos. Nos anos 1980, surgiram no mercado cristais de rubi e safira com fraturas preenchidas por vidro. Esse processo se mostrou mais eficiente do que a impregnação com óleo, pois este deixava a superfície da gema engordurada e com o passar do tempo ele simplesmente escorria das pedras. No entanto, inicialmente era utilizado o vidro comum, à base de sílica, com baixo índice de refração e por isso facilmente identificado em uma análise gemológica de rotina (McClure *et al.*, 2006). Em 2004 foi relatado pela primeira vez um novo tratamento de melhoria da transparência em rubi, na forma de um alerta postado na internet por gemólogos da Associação Gemológica do Japão, que identificaram fraturas preenchidas por vidro com chumbo em exemplares dessa gema. Esse processo de tratamento foi inicialmente descrito por McClure *et al.*, (2006), como sendo utilizado pela primeira vez em cristais de rubi de baixa qualidade gemológica provavelmente provenientes de Moçambique. Hoje em dia, no entanto, esse tratamento já se tornou mais comum e é utilizado em rubi e safira provenientes de vários depósitos no planeta. Esse tratamento se mostra muito efetivo em reduzir o efeito de turbidez provocado pelo excesso de fraturas, deixando as pedras translúcidas e às vezes quase transparentes, o que melhora muito a sua qualidade para lapidação. A adição de chumbo deixa o vidro com um índice de refração próximo ao do coríndon, dificultando assim sua identificação pelos métodos de análise gemológica tradicionais, já que o seu brilho fica praticamente idêntico ao do rubi e da safira.

Segundo os autores acima mencionados, esse tratamento é realizado em três etapas. A primeira etapa consiste em pré-formar as pedras brutas, eliminando as partes mais opacas e que contenham restos da rocha hospedeira, que são características visíveis à vista desarmada. A segunda etapa é um tratamento térmico realizado a temperaturas entre 900 e 1400 °C, que remove impurezas das fraturas e geralmente provoca um incremento na cor do coríndon. Na terceira etapa, o material gemológico ainda pré-formado é misturado a um material pulverizado que contém principalmente sílica (SiO₂) e chumbo (Pb), mas também menores quantidades de sódio (Na) e potássio (K) e alguns óxidos metálicos como cobre (Cu) e Bismuto (Bi). Essa mistura é então aquecida até uma temperatura de aproximadamente 900 °C, fundindo o material pulverizado que é transformado em vidro e penetra nas fraturas e cavidades das pedras. Essa penetração do vidro é facilitada pela abertura das fraturas que se expandem devido à alta temperatura em que é realizado esse procedimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para identificação das propriedades físicas e ópticas, as amostras foram examinadas no Laboratório de Gemologia (LABOGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre (RS), aplicando-se as técnicas clássicas de descrição e identificação de gemas, descritas por diferentes autores (e.g. Webster, 1983 e Juchem & Ipar, 2014). Foram utilizadas lupa de mão de 10 aumentos, dicrossópio, polariscópio e microscópio gemológico binocular (iodeto de metileno como líquido de imersão, com índice de refração = 1,741), todos da marca *Schneider*; lupa de mesa e lâmpadas de luz ultra-violeta marca *Krüss*; refratômetro gemológico de contato marca *Topcon*; e balança analítica/hidrostática marca *Marte*, para obtenção de medidas de densidade. No Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), ligado ao Programa de Pós-Graduação em Design (PGDesign) da UFRGS, foram realizadas análises em um Microscópio eletrônico de varredura (MEV) de baixo vácuo da marca *ITACHI*, modelo *TM3000*, onde foram obtidas imagens de elétrons retroespalhados; foram realizadas também análises químicas semi-quantitativas no coríndon e no material que está preenchendo fraturas e cavidades nas amostras estudadas, com equipamento acoplado a esse MEV, utilizando-se a técnica de dispersão de energia de Raios X, conhecida como EDS (*Energy Dispersive System*). Esse equipamento foi escolhido, pois permite a realização de análises não destrutivas em gemas lapidadas. A obtenção de imagens e a realização de análises químicas é feita em baixo vácuo e sem a necessidade de metalização das amostras, o que garante que as gemas não sejam danificadas durante as observações (Hinrich & Vasconcelos, 2014; Vasconcelos & Hinrich, 2014).

Em uma segunda etapa de estudos, as amostras foram analisadas no Laboratório de Pesquisas Gemológicas (LAPEGE), do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), no Rio de Janeiro. Nesse Laboratório, foram feitos estudos mais aprofundados utilizando-se lupa binocular e microscópio gemológico binocular, ambos da marca *SCHNEIDER* e modelo *Stemi 200-C*, com óptica *ZEISS*, utilizando-se o iodeto de metileno como líquido de imersão no microscópio. Com a lupa binocular pode-se fazer observações com luz transmitida, luz refletida e com “iluminação de campo escuro” (*dark-field illumination*), que consiste em se colocar um anteparo no centro da fonte de luz, permitindo somente a entrada de luz indireta nas laterais das amostras, o que facilita a observação de certas inclusões. Fotomicrografias digitais foram obtidas à lupa e ao microscópio com câmara digital *Canon*, modelo *EOS-6D*. Foram realizadas também análises químicas com fluorescência de Raios X, com equipamento marca *EDAX/AMETEK* modelo *ORBIS PC*, no material de preenchimento das fraturas e cavidades das amostras.

3. RESULTADOS

As gemas descritas neste trabalho foram levadas ao LABOGEM/UFRGS para certificação, separadas em cinco lotes (Fig. 1). São 40 gemas lapidadas em facetas, com formato predominante oval e algumas retangulares e quadradas, peso variando entre 1,69ct e 9,38ct, totalizando 186,52ct. As principais propriedades físicas e ópticas estão sumarizadas na Tabela 1.

Nos lotes A, B, C e E, a cor das gemas é vermelha, com pequenas variações de tonalidade, caracterizando a variedade rubi. No lote E observou-se uma fraca tonalidade púrpura em algumas pedras e em outras uma fraca tonalidade amarelada. O lote D é constituído de gemas de cor púrpura, por vezes com tonalidades rosadas, caracterizando a variedade safira púrpura.

Todas as gemas dos cinco lotes são translúcidas, sendo essa característica relacionada à presença de fraturas e de inclusões, facilmente observadas à vista desarmada. Algumas gemas são quase opacas, enquanto que raras tendem a quase transparentes. Em muitos exemplares é possível identificar partição basal e romboédrica já na análise visual, sem uso de equipamentos ópticos.

Embora todas as gemas tenham um bom polimento e por isso um brilho vítreo evidente, a lapidação em geral não é de boa qualidade. Observam-se muitos erros de simetria, sendo os principais a desproporção entre o pavilhão e a coroa e a desproporção de medidas, tanto no comprimento como na largura das gemas. Observam-se ainda arestas desencontradas e danificadas, facetas que deveriam ser simétricas com dimensões desiguais, rondiz desalinhado de espessura variável e bordos franjados, além de culaça não centralizada.

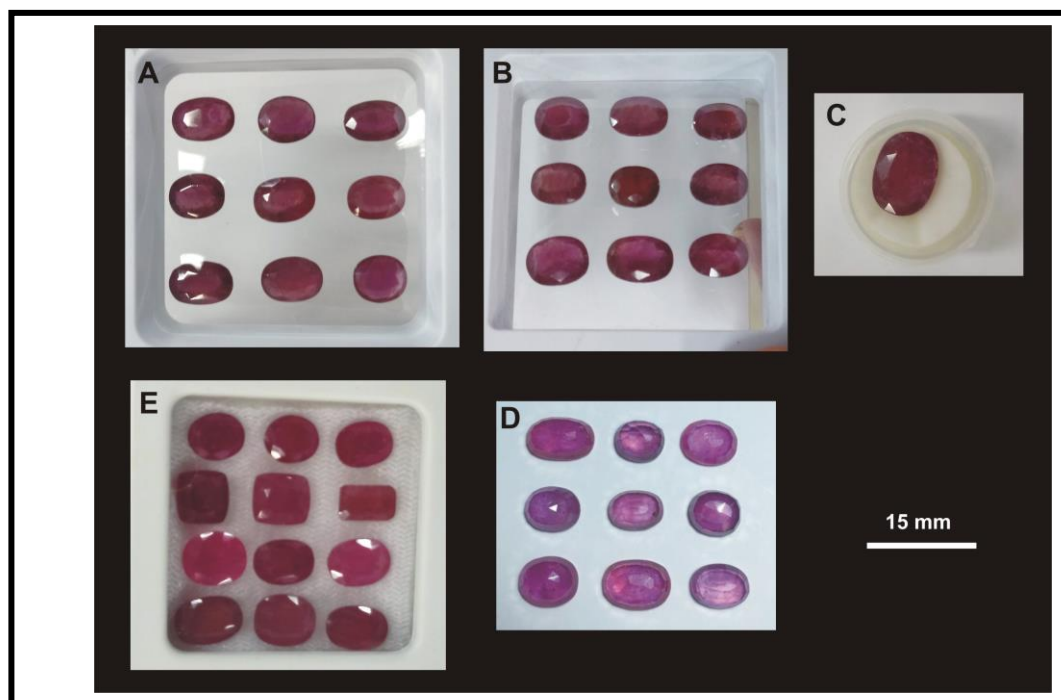


Figura 1 – Conjunto de 40 gemas lapidadas em facetas, analisadas neste trabalho, constituídas do mineral coríndon, nas variedades rubi (Lotes A, B, C e E) e safira púrpura (Lote D).

As gemas são anisótropas, mas muitas exibem um comportamento anômalo quando examinadas no polariscópio (ficam sempre iluminadas), efeito causado pelo grande número de fraturas e de inclusões. O pleocroísmo é difícil de observar e quando identificado é muito fraco, em tons de vermelho a vermelho amarelado. No entanto, algumas gemas do Lote E apresentam um pleocroísmo forte, em tons de vermelho a vermelho amarelado. Com densidade, índices de refração, birrefringência e caráter óptico típicos de coríndon, muitas gemas ao refratômetro mostram sempre as mesmas leituras de índices de refração em diferentes posições, quando giradas de 360°; devido à baixa transparência das amostras, não foi possível observar figuras de interferência para localizar a posição do eixo óptico do mineral nas gemas lapidadas e entender porque elas apresentam esse comportamento. Quando examinadas sob luz ultravioleta de onda longa, as pedras são fracamente reativas, emitindo luz vermelha muito escura. Somente alguns exemplares dos lotes D e E são fortemente reativos, emitindo luz vermelha alaranjada, lembrando a reação apresentada por cristais de coríndon sintético.

Examinadas à lupa binocular observam-se nas gemas planos de partição basal e romboédrica, uma grande quantidade de fraturas irregulares e, o que mais chama a atenção, uma grande quantidade de bolhas, algumas isoladas e outras dentro de cavidades (Figura 2). Dependendo da posição da gema em relação à fonte de luz, é possível se observar o “efeito flash” descrito em McClure *et al.*, (2006) que aparece como reflexões de luz amarelada e por vezes azulada no interior das fraturas, como exemplificado na Figura 2-C. Observou-se ainda, por vezes, manchas irregulares de um material azulado ao longo das fraturas, de difícil identificação, que podem também aparecer na superfície das gemas; algumas destas manchas estão visíveis na Figura 2-C.

TABELA 1 – Principais características físicas e ópticas das amostras estudadas.

Conjunto de 40 gemas, constituídas do mineral coríndon nas variedades rubi e safira, divididas em 05 lotes (Fig. 1).	
Cor	Quatro lotes (A, B, C e E) com gemas de cor vermelha (rubi) e um lote (D) com gemas de cor púrpura (safira púrpura).
Lapidação	Lapidação em facetas, nos formatos oval, retangular e quadrado.
Brilho Transparência	Brilho vítreo. Translúcidas; algumas gemas quase opacas. Inclusões e fraturas visíveis à vista desarmada.
Densidade (d)	3,96 a 4,08
Isotropia Anisotropia	Anisótropas. Algumas gemas anormalmente não exibem variação de iluminação, devido à quantidade de fraturas e de inclusões.
Pleocroísmo	Muito fraco, em tons de vermelho a vermelho amarelado; algumas gemas do lote E apresentam um pleocroísmo forte, em tons de vermelho a vermelho amarelado.
Índices de refração (IR)	No= 1,768 a 1,770; Ne= 1,760 a 1,761 Birrefringência: 0,008 a 0,009 Carater óptico: Uniaxial negativo
Luz ultravioleta UVL	As gemas em geral são fracamente reagentes, emitindo luz vermelha escura; algumas pedras dos Lotes D e E, são fortemente reativas, emitindo luz vermelha alaranjada.
Lupa Microscópio	Partição basal e romboédrica; geminação polissintética; inclusões cristalinas; fraturas preenchidas com vidro enriquecido em chumbo; inclusões de bolhas isoladas alongadas e de bolhas esféricas dentro de cavidades ovaladas, irregulares e poliédricas.

A Figura 3 são imagens representativas das fotomicrografias obtidas ao microscópio gemológico de imersão. As Figura 3-A e B mostram os planos de partição paralelos e bem evidentes que, somados à identificação de algumas inclusões cristalinas e à presença de geminação polissintética (não visíveis nas imagens), indicam se tratar de gemas naturais. No entanto, ao microscópio fica mais evidente a presença anormal de bolhas de ar isoladas e alongadas (Figura 3-A), além de um grande número de bolhas arredondadas dentro de cavidades, visíveis em todas as imagens da Figura 3. Chama a atenção na Figura 3-B, que é uma imagem mais ampliada da mesma gema da Figura 3-A, a presença de cavidades poliédricas, por vezes lembrando cristais negativos, contendo bolhas arredondadas; nessa figura, está visível também o “efeito flash” causado pela reflexão de luz azulada no interior de fraturas irregulares e também ao longo dos planos de partição

paralelos, indicando que deve ter penetrado algum vidro nessas superfícies. A Figura 3-C mostra uma gema com o seu núcleo mais turvo, devido à maior concentração de fraturas, mas mesmo assim é possível se identificar bolhas arredondadas e ovaladas dentro de cavidades; a Figura 3-D é da mesma gema vista em outro ângulo, onde é possível ver a grande quantidade de bolhas dentro de cavidades, além de planos de partição paralelos e o núcleo quase opaco. Foi possível constatar que as bolhas alongadas estão sempre isoladas dentro dos cristais, em geral acompanhado os planos de fraturas. Já as bolhas arredondadas e ovaladas estão sempre dentro de cavidades, estas muitas vezes não visíveis nas imagens mostradas na Figura 3, devido à posição da gema em relação à incidência da luz do microscópio e também devido ao nível de foco naquela posição de observação.

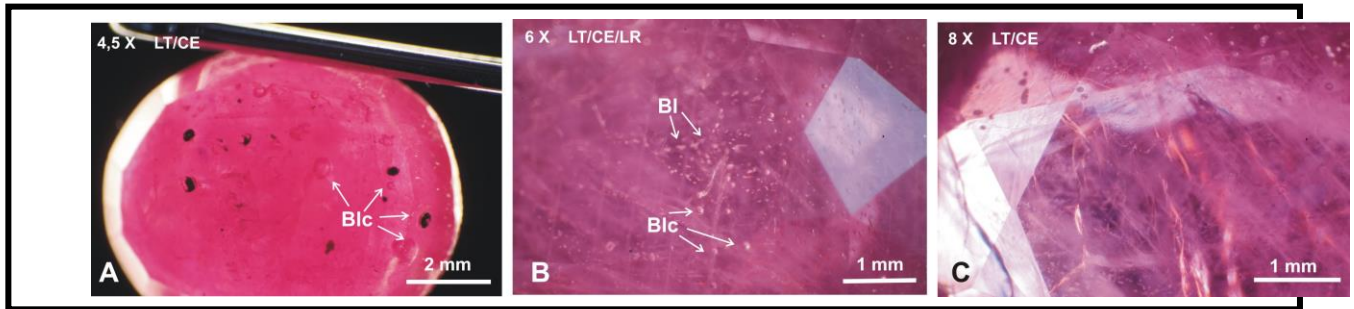


Figura 2 – Exemplos das características das gemas analisadas sob lupa binocular. São visíveis nas amostras bolhas isoladas (Bl) e bolhas dentro de cavidades (Bic), marcadas com setas em A e B para facilitar o seu reconhecimento. Em C, além das bolhas, observam-se planos de partição paralelos, manchas azuladas e o “efeito flash” em algumas fraturas, como reflexos amarelados e alguns azulados. LT=luz transmitida; LR= luz refletida; CE= campo escuro.

Inclusões fluidas bifásicas (bolhas dentro de cavidades) são relativamente comuns dentro de gemas naturais. Essa característica, somada à presença de inclusões cristalinas, de planos de partição perfeitamente paralelos e de geminação polissintética, serve como uma indicação da origem natural dessas gemas. No entanto, a quantidade anômala de bolhas em cavidades, bem como a presença de bolhas isoladas (fora de cavidades) dentro dos cristais, que é uma característica de gemas sintética, indicaram que essas gemas devem ter sido submetidas a algum processo de tratamento que provocaram o aparecimento dessas feições. O “efeito flash” observado nas fraturas, visto nas observações à lupa e ao microscópio, indicaram que provavelmente essas fraturas tenham sido preenchidas por vidro.

Para investigar a existência de algum preenchimento nas fraturas dessas gemas, elas foram examinadas ao MEV de baixo vácuo (para evitar que sejam danificadas), sendo realizadas análises químicas por EDS nas fraturas. Nas imagens eletrônicas, as fraturas se apresentam esbranquiçadas e brilhantes, efeito que é provocado pela presença de algum metal que reflete com mais intensidade os feixes de elétrons que incidem sobre a amostra. Observou-se que as cavidades com bolhas visíveis nas imagens eletrônicas, apresentam a mesma textura e brilho das fraturas e por isso foram realizadas também análises químicas nessas cavidades. Os resultados dessas análises químicas estão exemplificados nas Figuras 4 e 5 e indicam que tanto as fraturas como as cavidades com bolhas estão preenchidas por vidro com chumbo, semelhante ao que é descrito em McClure *et al.*, (2006) e Renfro *et al.*, (2017). Observa-se nos gráficos das Figuras 4 e 5 a presença marcante do chumbo (Pb) nas fraturas e nas cavidades, além de silício (Si) e sódio (Na), que fazem parte da composição do vidro que preenche esses espaços. O alumínio (Al) e o oxigênio (O) são da composição do coríndon, cuja superfície é atravessada pelo feixe de Raios X para analisar a composição química do material; parte desse oxigênio faz parte também do vidro, cuja composição principal é de sílica (SiO₂). O carbono (C) identificado é da composição da fita adesiva onde são fixadas as amostras para análise. O ponto 4 analisado na Figura 4, está localizado numa área sem fraturas e a composição química ali identificada é a correspondente à composição do coríndon – alumínio e oxigênio. Já a Figura 5 mostra uma análise feita em uma bolha (ponto 4), que acusou a presença de

alumínio e oxigênio, da composição do coríndon, sendo que parte desse oxigênio é do ar que ficou aprisionado na cavidade e originou a bolha; observa-se também uma pequena quantidade de chumbo, que deve ser proveniente do vidro e está contaminando essa bolha de ar.

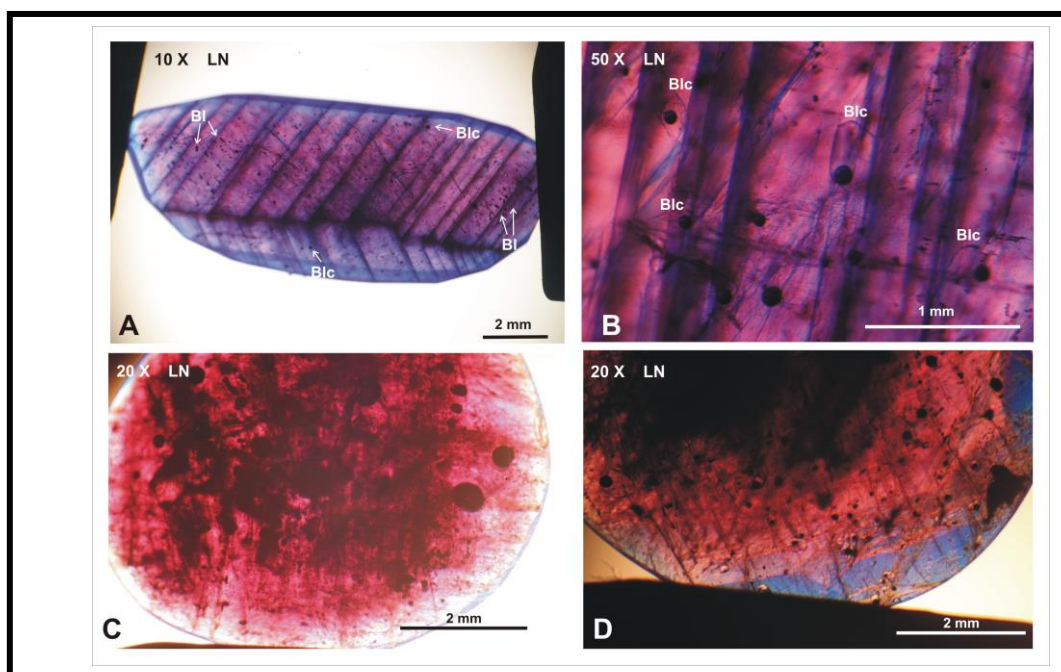


Figura 3 - Exemplos das características das gemas analisadas ao microscópio gemológico. Em A estão muito evidentes os planos de partição, bem como várias bolhas isoladas (Bl) e bolhas dentro de cavidades (Blc), marcadas com setas para facilitar o seu reconhecimento. A imagem B é da mesma gema da imagem anterior e mostra em detalhe os planos de partição e fraturas com “efeito flash”, bem como bolhas dentro de cavidades poliédricas. As imagens C e D são de uma mesma amostra em diferentes posições, mostrando o seu centro quase opaco e a grande quantidade de bolhas dentro de cavidades. LN = luz natural (sem uso de polarizadores)

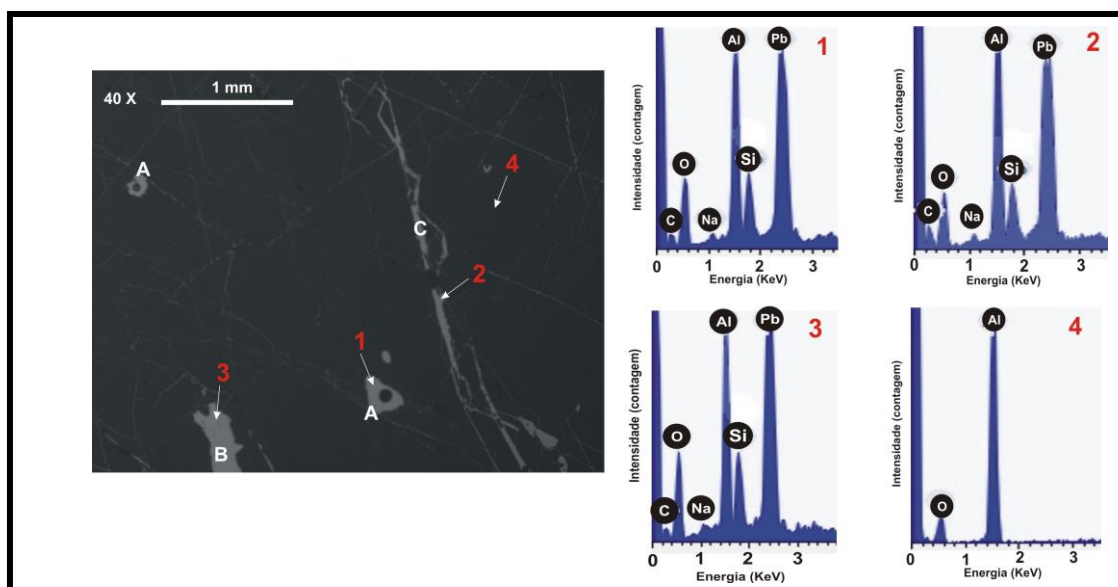


Figura 4 - Exemplo das análises ao MEV e EDS. Na imagem observam-se cavidades brancas com bolhas em seu interior (A), uma mancha irregular também branca (B) e fraturas irregulares brancas (C). À direita, os gráficos indicam a composição química dos pontos assinalados com setas na imagem, indicando a presença de chumbo Pb, Al, Si, Na, O e C. No ponto 4 da imagem, marcado na superfície da gema, a análise química indicou somente a presença de Al e O, correspondentes à composição do coríndon.

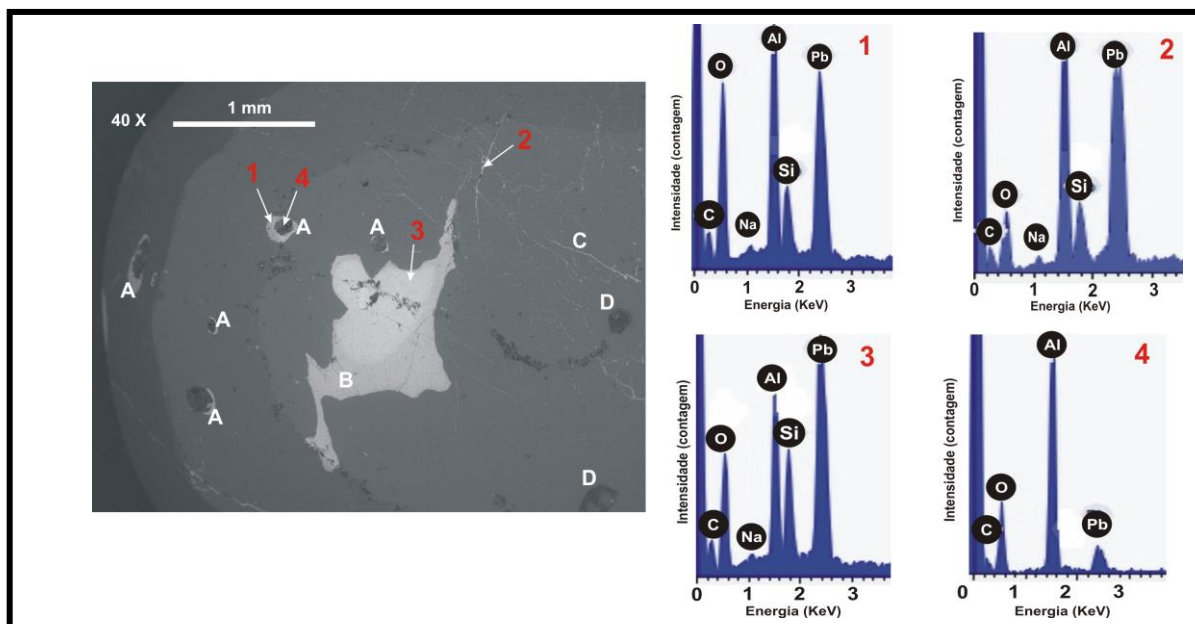


Figura 5 - Exemplo das análises ao MEV e EDS. Na imagem observam-se cavidades brancas com bolhas em seu interior (A), uma mancha irregular também branca (B) que corresponde a uma das manchas azuladas vista à lupa binocular, fraturas irregulares brancas (C) e bolhas isoladas (D). À direita, os gráficos indicam a composição química dos pontos assinalados com setas na imagem, indicando a presença de chumbo Pb, Al, Si, Na, O e C. No ponto 4 da imagem, marcado sobre uma bolha, a análise química indicou a presença de Al e O, correspondentes à composição do coríndon, sendo o oxigênio também da composição do ar que preenche a bolha, além de uma pequena quantidade de Pb.

Para se obter dados quantitativos mais consistentes sobre a composição química do vidro encontrado nas fraturas e cavidades das gemas, foram realizadas análises por Fluorescência de Raios-X, pois as análises com EDS são semiquantitativas. Uma média dos resultados obtidos é apresentada na Tabela 2, em porcentagem em peso de óxidos. Observa-se que o chumbo (Pb) e o alumínio (Al) são os elementos que ocorrem em maior quantidade, seguido do silício (Si). O silício é da composição do vidro e o alumínio (Al) da composição do coríndon, mas alguma parte pode estar também incorporada à composição do vidro. Essa análise, mais precisa, identificou também elementos químicos não reconhecidos nas análises com EDS, como o potássio (K), cálcio (Ca), cromo (Cr) e titânio (Ti).

Tabela 2 – Composição química média do vidro com chumbo identificado nas fraturas e cavidades das gemas, obtida por Fluorescência de Raios X

Óxidos →	PbO_2	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	K_2O	CaO	Cr_2O_3	TiO_2
% peso →	55,71	23,39	19,14	0,65	0,49	0,48	0,10	0,04

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns processos de tratamento em gemas, como o tingimento, tratamento térmico e irradiação, dentre outros, já são bem conhecidos e aceitos no mercado. No entanto, o tratamento de impregnação de fraturas com vidro adicionado de chumbo em coríndon, parece não ser tão bem

aceito pelo mercado, pelo menos da mesma maneira que outros tratamentos. Ágata tingida e ametista transformada em citrino, por exemplo, são comercializados com valores semelhantes às gemas não tratadas e às vezes até a preços superiores, dependendo da qualidade estética que as gemas adquirem após o tratamento. Já o tratamento aqui descrito, embora transforme um material sem valor comercial em rubi e safira com qualidade gemológica, não faz com que essas gemas adquiram valores semelhantes aos praticados para as gemas não tratadas. Numa rápida pesquisa de mercado na internet, foi possível constatar que rubi e safira identificados com esse tratamento são comercializados com valores que podem ser até 100 vezes inferiores aos de rubi e safira com a mesma qualidade gemológica, mas que não foram submetidos a nenhum tratamento.

6. REFERÊNCIAS

EMMETT J. L.; SCARRATT, K.; MCCLURE, S. F.; MOSES, T.; DOUTHIT, T. R.; HUGHES, R.; NOVAK, S.; SHIGLEY, J. E.; WANG, W.; BORDELON, O.; KANE, R. E. Beryllium diffusion of Ruby and sapphire. **Gems & Gemology**. Vol. 39, n 02, Summer 2003, pg 84-135

HINRICHS, R.; VASCONCELLOS, M. A. Z.; Microscopia eletrônica de varredura (MEV) em baixo vácuo. In: **Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul**. 01 ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2014, p. 93-106.

JUCHEM, P. L.; IPAR, C. E. A. E. L. Aplicações do novo Laboratório de Gemologia do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul In: HARTMANN, L. A; SILVA, J. T.; DONATO, M. (Eds). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2014, p. 37-44.

MCCLURE, S. F.; SMITH, C. P.; WANG, W.; HALL, M. Identification and durability of lead glass-filled rubies. **Gems & Gemology**. Vol. 42, n 01, Spring 2006, p. 22-34

NASSAU, K. 1988. **Gemstone Enhancement**. Butterworths, London. 221 p.

RENFRO, N. D.; KOIVULA, J. I.; MUYAL, J.; MCCLURE, S. F.; SCHUMACHER, K.; SHIGLEY, J. E.; Inclusions in natural, synthetic, and treated ruby (Chart). **Gems & Gemology**. Vol. 53, n 04, Winter, 2017, p. 457-458.

VASCONCELLOS, M. A. Z.; HINRICHS, R.; Microanálise em baixo vácuo por dispersão em energia de raios X característicos. In: **Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul**. 01 ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2014, p.107-131.

WEBSTER R. 1983. **Gems**. Butterworths, London.1006 p.