



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE GEMOLOGIA

ESTER SOUSA DE JESUS NUNES

ELABORAÇÃO DE EFEITOS VISUAIS EM GEMAS COMPOSTAS

VITÓRIA
2025

ESTER SOUSA DE JESUS NUNES

ELABORAÇÃO DE EFEITOS VISUAIS EM GEMAS COMPOSTAS

Trabalho de conclusão de curso do curso de Gemologia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para conclusão do curso.

Orientadora: Prof. Dra Janaina Bastos Depianti

VITÓRIA

2025

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a Deus, pela força, fé e perseverança concedidas ao longo de toda a trajetória acadêmica. Agradeço profundamente à minha família, pelo amor, incentivo e apoio constantes, e aos meus amigos, pelo estímulo e compreensão durante os momentos de dedicação intensa a este trabalho. À minha orientadora, registro meu reconhecimento especial, pela orientação, dedicação, paciência e valiosas contribuições, que foram fundamentais para a concepção, desenvolvimento e conclusão deste TCC. Sem cada um de vocês, a realização deste projeto não teria sido possível.

RESUMO

Considerando que a cor representa cerca de 60% do valor de uma gema, buscou-se explorar como a união de minerais isotrópicos e anisotrópicos para a luz, pode gerar tonalidades novas e aprimorar o aproveitamento de fragmentos gemológicos. A metodologia adotada envolveu pesquisa bibliográfica e ensaios experimentais realizados no Laboratório de Lapidação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), empregando materiais translúcidos com dureza entre 5 e 8 na escala de Mohs, incluindo quartzos de variedades distintas e vidros coloridos. Foram produzidas quatro gemas compostas por colagem com resina epóxi, observando-se variações na mistura de cores e no comportamento óptico. Os resultados indicaram que as gemas compostas exibem efeitos visuais singulares, como zoneamento de cor e cores resultantes, baseada na interação da luz entre materiais distintos. Além do potencial estético, a técnica pode contribuir para a sustentabilidade e eficiência do setor gemológico, permitindo o reaproveitamento de fragmentos e a criação de novas alternativas cromáticas. Conclui-se que a combinação de fundamentos ópticos, cristalográficos e técnicos pode ampliar as possibilidades de design e inovação na lapidação contemporânea, unindo ciência e arte à gemologia.

Palavras-chave: gemas compostas; lapidação; propriedades ópticas; cor; sustentabilidade

ABSTRACT

Considering that color represents approximately 60% of a gemstone's value, this study explored how the combination of isotropic and anisotropic minerals for light can generate new shades and improve the utilization of gemological fragments. The methodology involved bibliographic research and experimental tests conducted at the Lapidary Laboratory of the Federal University of Espírito Santo (UFES), employing translucent materials with hardness between 5 and 8 on the Mohs scale, including quartz of different varieties and colored glass. Four composite gemstones were produced by bonding with epoxy resin, observing variations in color mixing and optical behavior. The results indicated that the composite gemstones exhibit unique visual effects, such as color zoning and resulting colors, based on the interaction of light between different materials. In addition to its aesthetic potential, the technique can contribute to the sustainability and efficiency of the gemological sector, allowing the reuse of fragments and the creation of new chromatic alternatives. It is concluded that the combination of optical, crystallographic, and technical fundamentals can expand the possibilities for design and innovation in contemporary gem cutting, uniting science and art with gemology.

Keywords: composite gems; gem cutting; optical properties; color; sustainability

Lista de Figuras:

Figura 1 – Esquema do funcionamento da retina e cones sensíveis à cor	4
Figura 2 – Decomposição da luz branca por um prisma	5
Figura 3 – Círculo cromático de Chevreul	6
Figura 4 – Espectro eletromagnético visível.....	7
Figura 5 – Processo de colagem dos minerais com a resina	11
Figura 6 – Pré- moldagem.....	11
Figura 7 – CB1 vista frontal e lateral	13
Figura 8 – CB2: vistas em diferentes ângulos	14
Figura 9 – CB3 quatro com visão frontal e lateral	15
Figura 10 – CB4 vista de diferentes ângulos.....	16

Lista de Tabelas

Tabela 1 – materiais utilizados e algumas de suas propriedades	10
Tabela 2 – Testes realizados.....	12
Tabela 3 – Resumo dos Experimentos com Gemas Compostas	16

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3. RELAÇÃO DA CRISTALOGRAFIA ÓPTICA COM LAPIDAÇÃO	7
4. METODOLOGIA.....	8
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
5. CONCLUSÃO.....	17
REFERÊNCIAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Manual Técnico de Gemas elaborado em conjunto pelo Instituto Brasileiro de Gemas e Metais preciosos (IBGM) e pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o conceito de gema é definido como: materiais de origem orgânica ou inorgânica, com exceção dos metais, que, em virtude de sua beleza, raridade e durabilidade, apresentam aptidão para utilização em adornos pessoais, objetos de arte ou peças de decoração (IBGM; DNPM, 2005). Do ponto de vista gemológico, tais materiais são valorizados por propriedades ópticas e físicas específicas, como brilho, dispersão, índice de refração, pleocroísmo e resistência ao desgaste, esta última, frequentemente mensurada pela escala de Mohs¹.

No processo de avaliação do valor de mercado de uma gema, Hall (2016) propõe um modelo percentual no qual a cor corresponde a 60% da precificação, seguida pela origem (15%), pelo corte (10%), pela pureza (5%) e pelo tamanho (10%). Essa ponderação evidencia que a cor constitui o atributo de maior impacto na valoração, uma vez que traz maior beleza ao material.

Em relação à lapidação (IBGM) a define como o conjunto de técnicas de corte e polimento destinadas a potencializar as propriedades ópticas do mineral-gema. A eficácia da lapidação está associada a fatores como o índice de refração, o ângulo crítico e a proporção geométrica do corte, que determinam a quantidade de luz refletida e refratada no interior da gema, influenciando seu brilho e sua dispersão. Quando as técnicas tradicionais são superadas por inovações que alteram substancialmente a forma de lapidar, utiliza-se a denominação “lapidação diferenciada” (IBGM, DNPM 2005).

Outra estratégia relevante para aprimoramento estético é o tratamento gemológico, entendido como a aplicação de processos que modificam propriedades físicas da gema — geralmente a cor ou a transparência — sem alterar sua composição química e estrutura cristalina. Os métodos mais recorrentes incluem o tingimento, o

¹ A escala de Mohs é uma medida empírica de dureza relativa que expressa a resistência de um mineral ao risco por outro material, variando de 1 (talco) a 10 (diamante) na escala. (IGS – *International Gemological Association*, 2020).

preenchimento de fraturas, o aquecimento e a irradiação, os quais visam realçar a aparência e, conseqüentemente, aumentar o valor de mercado (Branco, 2008).

Adicionalmente, é necessário mencionar a categoria das gemas compostas, definida pelo IBGM e DNPM como materiais constituídos por duas ou mais partes unidas por métodos artificiais, podendo envolver combinações de gemas naturais, sintéticas ou associadas a vidro. Em razão dessa intervenção, tais gemas são classificadas como tratadas, apresentando valor mercadológico distinto em relação às gemas naturais não modificadas.

Historicamente, as gemas compostas foram criadas com o propósito de imitar pedras preciosas de alto valor, aprimorar a aparência de gemas naturais e reduzir custos na produção de joias. Relatos antigos, como os de Plínio, o Velho, já mencionavam o uso de camadas de ônix e vidro colorido unidas para intensificar cores e aumentar o volume de gemas ornamentais (Plínio *apud* NAVETTE JEWELLERY, 2017). Durante os séculos XVIII e XIX, essas técnicas se difundiram no comércio joalheiro europeu, sendo empregadas tanto para reproduzir o aspecto de gemas raras quanto para aproveitar fragmentos ou porções delgadas de minerais naturais que, isoladamente, possuíam baixo valor comercial (NAVETTE JEWELLERY, 2017). Além de também ser usada para aumentar a resistência – dureza – colocando um filete de material mais duro – resistente - na superfície de um material gemológico de menor dureza.

Atualmente, o uso das gemas compostas ultrapassa o propósito meramente estético ou imitativo, podendo assumir também um papel relevante na pesquisa científica, na inovação tecnológica e na sustentabilidade do setor gemológico. A combinação de diferentes materiais permite intensificar a cor, obter novas cores e até mesmo explorar a possibilidade de novos efeitos. Essa prática também favorece o aproveitamento de fragmentos e resíduos de minerais naturais, reduzindo o desperdício e promovendo uma cadeia produtiva mais responsável. Assim, as gemas compostas podem atuar como um elo entre tradição artesanal e avanço científico, aliando estética, economia e sustentabilidade no contexto contemporâneo da joalheria e da gemologia.

Como dito anteriormente, a cor constitui o principal critério de valoração das gemas. Tal característica depende da maneira com que a luz é absorvida pelo material,

podendo ser influenciada por tratamentos específicos. O tipo de lapidação também pode influenciar na saturação da cor, brilho e transparência. Nesse contexto, compreender os fenômenos ópticos envolvidos como refração, dispersão e reflexão interna torna-se fundamental para a otimização estética e comercial das gemas.

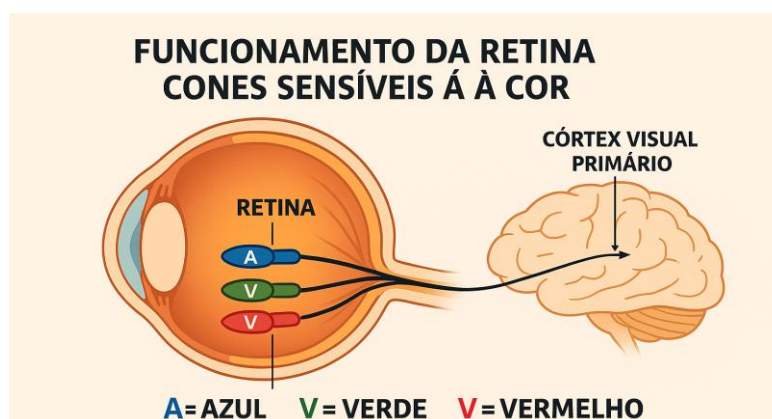
Sob a perspectiva mercadológica, a relevância deste trabalho está na proposição de alternativas que viabilizem o melhor aproveitamento de materiais gemológicos altamente saturados ou de pequeno porte, frequentemente subvalorizados no comércio. Assim, além de potencializar a competitividade da indústria joalheira, a pesquisa pode contribuir para a sustentabilidade econômica do setor ao promover o uso mais eficiente dos recursos minerais disponíveis.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho consistiu em produzir gemas compostas a partir de materiais brutos com diferentes cores, visando obter gemas com coloração distinta daquela dos materiais utilizados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A percepção das cores constitui um fenômeno complexo, emergente da interação entre a luz incidente, as propriedades físicas do objeto e a interpretação neural do observador. As células cones da retina, sensíveis a diferentes faixas do espectro eletromagnético visível que pode ser observada as cores :azul, verde e vermelho, captam a luz e transmitem sinais ao nervo óptico que são processados no córtex visual primário e em áreas associativas do cérebro (Figura 1). Esse processamento permite discriminar matiz, saturação e luminosidade, evidenciando que a cor é uma experiência perceptiva, não uma propriedade absoluta do material (Feiner, 2006).

Figura 1 – Esquema do funcionamento da retina e cones sensíveis à cor

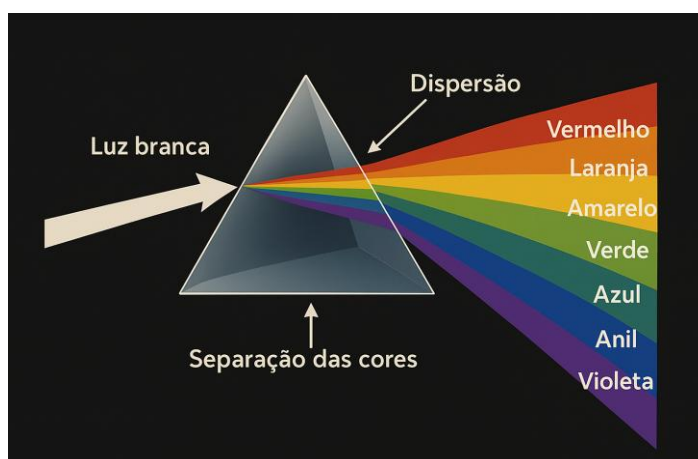


Fonte: imagem criada pela IA Click Up Brain com base em Feiner (2006);

Historicamente, o estudo da cor acompanha a evolução do pensamento filosófico e científico. Aristóteles (384 a.C.–322 a.C.), em *Da Sensação e do Sensível* (*On Sense and the Sensible*), considerava a cor uma propriedade qualitativa dos objetos, associada à luz e à transição entre claro e escuro. Em contraste, Empédocles defendia que a cor é percebida pelo observador, enfatizando sua subjetividade (ARISTOTELES *apud* FEINER, 2006). No Renascimento, Leonardo da Vinci sistematizou informações ópticas, químicas e físicas da cor em manuscritos como o *Trattato della Pittura*, definindo as cores primárias — branco, amarelo, verde, azul, vermelho e preto — como não obtidas por mistura (da vinci *apud* Maranhão, 2021).

O avanço científico moderno, neste sentido, ocorreu com Isaac Newton (1642–1727), que demonstrou, por meio de prismas de vidro, que a luz branca solar é composta por radiações monocromáticas de diferentes comprimentos de onda (Newton *apud* Silva, 1996). A separação das cores resulta da refração, fenômeno no qual a luz muda de direção ao atravessar meios com diferentes índices de refração, e da dispersão, causada pela variação do índice de refração em função do comprimento de onda (Figura 2).

Figura 2 – Decomposição da luz branca por um prisma

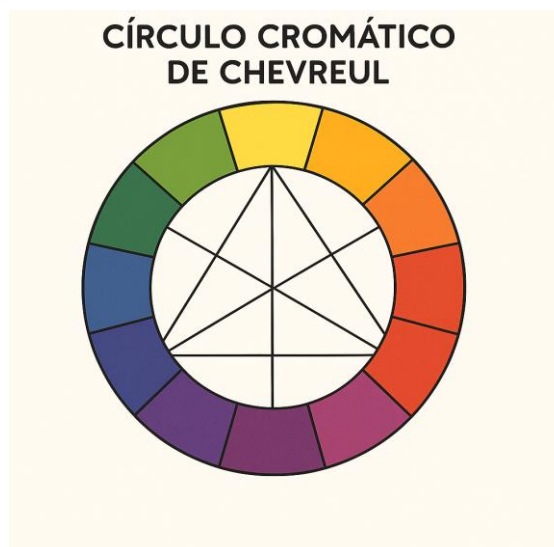


Fonte: imagem criada pela IA Click Up Brain, traduzida pelo chatGPT com base em SILVA, A. C. 1996.

No século XIX, Michel-Eugène Chevreul contribuiu para a compreensão do contraste simultâneo das cores. Em *Da Lei do Contraste Simultâneo das Cores* (1839), Chevreul observou que a percepção de uma cor é influenciada pelas cores adjacentes, introduzindo um círculo cromático com doze cores — três primárias, três secundárias e seis terciárias — e definindo pares complementares: vermelho-verde, amarelo-violeta e azul-laranja (Chevreul *apud* Silveira, 2015). Esses princípios influenciam diretamente tanto a estética artística quanto a ciência da percepção visual. (Figura 3).

As cores primárias — vermelho, amarelo e azul — são consideradas “cores puras”, pois não podem ser obtidas por meio da combinação de outras cores. Elas constituem a base fundamental para a formação de todas as demais cores no espectro visual. As cores secundárias resultam da combinação de duas cores primárias, a mistura de vermelho e amarelo produz o laranja; vermelho e azul geram o roxo; e, azul e amarelo resultam no verde. As cores terciárias emergem da combinação de uma cor primária com uma cor secundária, originando tonalidades intermediárias, como vermelho-alaranjado, amarelo-esverdeado e azul-arroxeadado.

Figura 3 – Círculo cromático de Chevreul



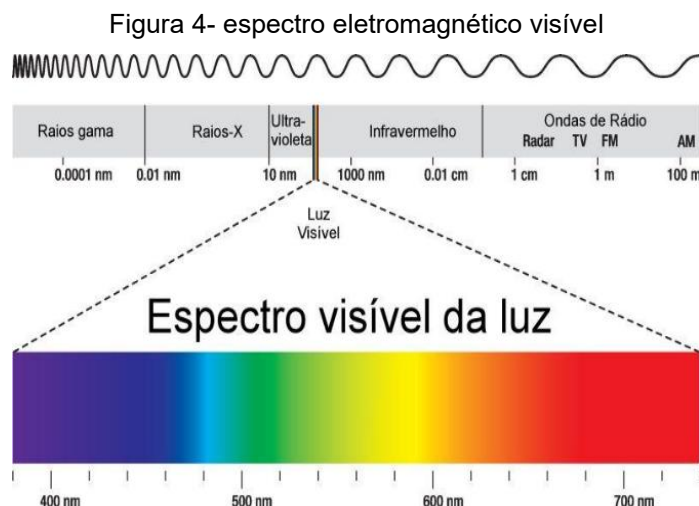
Fonte: imagem criada pela IA Click Up Brain com base em Silveira (2015)

Fisicamente, o branco corresponde à presença simultânea de todas as radiações visíveis, enquanto o preto representa a ausência de reflexão significativa, absorvendo quase integralmente a luz incidente. Na gemologia, a cor depende não apenas da composição química, mas de propriedades ópticas intrínsecas do mineral, incluindo índice de refração, dispersão angular, pleocroísmo, fluorescência e transparência (Schmetzer, Karl 2010). A lapidação adequada maximiza fenômenos ópticos essenciais: cortes precisos e ângulos controlados potencializam a reflexão interna total e, conseqüentemente o brilho, a dispersão da luz e a saturação da cor. Tratamentos físicos como aquecimento, irradiação ou preenchimento de fraturas, podem intensificar ou mudar a coloração sem alterar a integridade química da gema.

Portanto, a integração do conhecimento sobre percepção visual, física óptica e propriedades gemológicas é essencial para otimizar o valor estético e econômico das gemas. A compreensão científica da cor permite que lapidadores e gemólogos controlem fatores perceptivos e ópticos, transformando a análise teórica em aplicação prática de alto nível, consolidando a interdependência entre ciência e técnica na gemologia contemporânea.

Ao falar de cor é importante abordar sobre o espectro eletromagnético visível (Figura 4). A luz visível compreende uma faixa de comprimentos de onda que vão de ~400 nm a ~700 nm. Cada cor possui um comprimento de onda específico. Quando a luz é composta por todos os comprimentos de onda visíveis ela é chamada de luz branca.

Um exemplo é a luz do sol que, quando refratada por um prisma ou pela própria atmosfera pode ser decomposta nas cores do “arco-íris (Damasceno.; Bassini, 2021). Além disso, deve-se considerar que a cor também depende da percepção do ser humano (Resnikoff, 1974).



Fonte: Damasceno; Bassini (2021), USP

3. RELAÇÃO DA CRISTALOGRAFIA ÓPTICA COM LAPIDAÇÃO

O comportamento da luz nos cristais depende de sua simetria, sendo classificados em isotrópicos ou anisotrópicos (Chvátal, 2007). Nos cristais, os raios de luz não se comportam de forma uniforme, pois o índice de refração varia conforme a direção de incidência da luz (Nardy, 2023).

Materiais isotrópicos para a luz são aqueles ditos amorfos ou que se cristalizaram no sistema cristalino cúbico (parâmetros de cela unitária $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Nesses casos, o material apresenta o mesmo índice de refração em todas as direções, fazendo com que a luz atravesse o cristal com velocidade constante e obedecendo à Lei de Snell. Assim, não se observa o fenômeno da dupla refração.

Por outro lado, em materiais anisotrópicos, o comportamento da luz depende da direção de incidência. Esses materiais apresentam uma ou duas direções em que a luz se comporta como em um meio isotrópico, denominadas eixos ópticos (Chvátal, 2007).

Os cristais anisotrópicos podem ser subdivididos em uniaxiais e biaxiais. Os uniaxiais possuem apenas um eixo óptico. Todos os cristais do sistema cristalino tetragonal (parâmetros de cela unitária $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) e hexagonal/trigonal (parâmetros de cela unitária $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$) são uniaxiais. Por simetria, o eixo óptico coincide com o eixo cristalográfico c . Quando um raio de luz incide em uma direção não paralela ao eixo c , ele se divide em dois feixes que podem ou não obedecer à Lei de Snell (Klein; Dutron, 2012). Os cristais biaxiais possuem dois eixos ópticos. Todos os cristais que se cristalizam nos sistemas ortorrômbico (parâmetros de cela unitária $a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$), monoclinico (parâmetros de cela unitária $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$) e triclínico (parâmetros de cela unitária $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma$) são biaxiais. Quando a luz incide em uma direção diferente da do eixo óptico, divide-se em dois feixes que podem ou não obedecer à Lei de Snell. Nesses cristais observa-se o fenômeno da dupla refração²(Klein; Dutron, 2012).

Outro fenômeno óptico observado apenas em cristais anisotrópicos para a luz é o pleocroísmo, no qual ocorre variação perceptível de cor quando a gema é observada sob diferentes direções cristalográficas. Essa variação decorre da absorção diferencial dos feixes de luz polarizada que se propagam em distintas direções dentro do cristal. Em minerais uniaxiais, o fenômeno manifesta-se como dicroísmo, apresentando duas cores distintas, enquanto em minerais biaxiais ocorre o tricroísmo, com três variações de cor observáveis (BURNS, 1993).

4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho envolveu duas etapas principais: pesquisa bibliográfica e produção experimental de gemas compostas. A pesquisa bibliográfica foi conduzida conforme definido por Lakatos e Marconi (2003, p.?), que afirmam ser este “o primeiro passo em qualquer tipo de pesquisa científica, com o fim de revisar a literatura existente e não redundar o tema de estudo ou experimentação”. As fontes utilizadas foram livros, artigos científicos, teses e publicações online. As principais palavras-chaves empregadas na busca foram: gema, gemas compostas, cor, mineralogia e lapidação, juntamente com os operadores booleanos AND e OR em bases de dados

² A luz se divide em dois feixes que sofrem desvio, um em relação ao outro, ao refratarem (HALL,1994).

digitais, especialmente (google acadêmico), para refinar os resultados e direcionar a pesquisa de maneira eficiente.

A etapa experimental consistiu na criação de gemas compostas a partir de materiais selecionados com base em propriedades físicas específicas. Todo o processo experimental foi realizado no laboratório de Lapidagem do curso de Gemologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), seguindo protocolos de segurança e boas práticas de uso do laboratório.

Neste trabalho utilizou-se minerais que, segundo o autor Branco (2008, p. 47): “são sólidos naturais, inorgânicos, homogêneos, com composição química definida e estrutura cristalina”. Escolheu-se minerais isotrópicos e anisotrópicos uniaxiais. Também se utilizou vidro, sólido amorfo, portanto, isotrópico para a luz.

Foram selecionados materiais translúcidos com dureza variando entre 5 e 8 na escala de Mohs. Para a realização dos testes experimentais utilizou-se vidro nas tonalidades azul e esverdeada; quartzo nas variedades: ametista (roxo), *green gold* (amarelo pálido) e citrino (amarelo alaranjado). Também foi utilizada uma granada na cor vermelha. A tabela 1 traz os materiais utilizados e suas propriedades ópticas e físicas.

A escolha dos materiais considerou, além da dureza e das propriedades ópticas, a ausência de clivagem, uma vez que esse fator poderia comprometer a integridade das amostras e a viabilidade da lapidação.

As cores selecionadas abrangeram tonalidades primárias e secundárias, de modo a permitir uma análise comparativa mais ampla dos efeitos ópticos gerados pela interação da luz com diferentes materiais.

Tabela 1 – materiais utilizados e algumas de suas propriedades

Material Bruto	Fotografia	Caráter óptico*	Índice de Refração*	Dureza*	Cor
Vidro		isotrópico	1,455 ~ 1,510	5	Verde/azul
Quartzo ametista		anisotrópico	1,544 ~ 1,553	7	roxo
Quartzo <i>green gold</i>		anisotrópico	1,544 ~ 1,553	7	Amarelo pálido
Quartzo citrino		anisotrópico	1,544 ~ 1,553	7	Laranja amarelado
Granada		isotrópico	1.720-1.770	7	vermelho

*Fonte: Almeida, manual técnico dos minerais, 2007.

Os materiais selecionados passaram inicialmente pelos processos de corte, desbaste e polimento preliminar, etapas fundamentais para a preparação da superfície e o ajuste adequado dos materiais. Em seguida, procedeu-se à união dos materiais, composta por dois exemplares de colorações distintas que foram cuidadosamente colados com resina epóxi 4008 para algumas amostras e para outras por conta do tempo prolongado para realização dos testes se utilizou também a resina OHRUV-100 garantindo uma aderência firme e transparente. A área de contato entre as amostras foi previamente desbastada e polida com precisão, de modo a eliminar quaisquer irregularidades que pudessem interferir na passagem da luz e na uniformidade da junção, como pode ser observado na Figura 5. Para definir se primeiro é preciso realizar a pré- moldagem ou a colagem se faz necessário observar o estado bruto das amostras. Em algumas combinações, a etapa de pré-moldagem foi anterior a colagem. Em outras combinações, a etapa de colagem foi anterior ao processo de pré-moldagem. Essas etapas demandam atenção minuciosa para que durante o facetamento ocorra o alinhamento das faces e como um todo, para a harmonização estética do conjunto. A figura 5 ilustra o processo de colagem da

granada sobre o quartzo *green gold*, evidenciando a integração entre os dois materiais, enquanto na figura 6 pode-se observar um quartzo *green gold* e um quartzo ametista que precisaram ser pré-moldados antes de passar pelo processo de colagem.

Figura 5 – processo de colagem dos minerais com a resina



Fonte: Autoria própria

Figura 6 – pré- moldagem



Fonte: Autoria Própria

Nota: imagem ampliada

Após essa etapa, ser realizada começa o processo de calibrar e facetar a gema utilizando um gabarito de lapidação. Para este trabalho, foi realizada a lapidação brilhante clássica, uma lapidação considerada de fácil execução, sendo um corte

redondo com 33 facetas na coroa e 24 no pavilhão. Esse modelo foi escolhido por ser um dos mais adequados para os materiais utilizados (quartzo, vidro) neste trabalho, com exceção da granada.

Ao todo, foram testadas 4 combinações possíveis, as quais são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Teste realizados

Combinação	Materiais utilizados	Cor esperada
CB1	<i>Green gold</i> + granada	Vermelho amarelado
CB2	Citrino + <i>Green gold</i>	Laranja amarelado
CB3	Vidro verde + vidro azul	Verde azulado
CB4	<i>Green gold</i> + ametista	Roxo amarelado

Fonte: autoria própria.

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de formação das gemas compostas foi sendo continuamente aprimorado ao longo do desenvolvimento experimental, à medida que novas possibilidades técnicas e estéticas eram exploradas. Para o sucesso dessa técnica, cada amostra precisa apresentar uma face perfeitamente plana e polida, possibilitando a colagem com uma camada extremamente fina de resina — suficiente para garantir aderência, mas sem comprometer a passagem da luz através do conjunto.

Na combinação CB1(Figura 7), foram utilizados um material anisotrópico uniaxial e um material isotrópico, sendo eles, um quartzo *green gold* e uma granada vermelha. O intuito era obter uma coloração homogênea em tons de amarelo avermelhado. A granada, porém, apresentava numerosas fraturas e uma saturação de cor tão intensa que a tornava quase preta a olho nu. Além disso, tratava-se de um fragmento de pequenas dimensões, o que limitava seu potencial de lapidação; caso fosse trabalhada isoladamente, resultaria em uma gema com cor altamente saturada e de pequena proporção. Em contrapartida, o quartzo *green gold* encontrava-se em boas condições, com poucas fraturas e dimensões adequadas à lapidação, ainda que apresentasse tonalidade consideravelmente clara. Assim, quando unidas, a

profundidade da cor da granada sobrepôs-se completamente à leve coloração do quartzo *green gold*, criando um contraste visual marcante. Apesar disso, observou-se que a combinação permitiu “suavizar” a cor saturada da granada, que, sozinha, não seria aproveitável. Essa experiência evidenciou o potencial da lapidação composta como recurso técnico e sustentável, capaz de otimizar a intensidade da cor e o aproveitamento de materiais gemológicos menores, resultando em gemas visualmente equilibradas e de maior valor estético. Essa experiência demonstrou que, com posicionamento adequado durante a lapidação, seria possível otimizar a cor de materiais pequenos e aproveitá-los de forma mais eficiente, podendo criar uma gema maior e com uma cor homogênea.

Figura 7 – CB1 vista frontal e lateral



Fonte: Autoria Própria.

Nota: imagem ampliada para melhor visualização da gema

Na combinação CB2 (Figura 8), utilizou-se dois materiais anisotrópicos uniaxiais: um quartzo *green gold* e um quartzo citrino, cujas tonalidades, amarelo pálido e laranja intenso, respectivamente, revelavam uma harmonia cromática natural. Por se tratar da mesma espécie mineral, diferenciando-se apenas pela variedade de cor, ambos apresentavam propriedades físicas semelhantes, como índice de refração e dureza. O quartzo *green gold* encontrava-se em excelente estado para lapidação, sem fraturas aparentes, enquanto o quartzo citrino (tratado termicamente) exibia pequenas fissuras, zonas com coloração mais saturada; além disso, possuía dimensões reduzidas (amostra pequena). Buscando aproveitar o material danificado e, simultaneamente, intensificar a cor e o tamanho final da gema, realizou-se a união das duas variedades — *green gold* e citrino. O resultado foi uma peça esteticamente

mais atrativa sob o ponto de vista gemológico e mercadológico, demonstrando a relevância dessa técnica para o aumento da sustentabilidade no setor, ao promover o melhor aproveitamento de recursos durante a etapa de lapidação.

Figura 8 – CB2: vistas em diferentes ângulos



Fonte: autoria própria

Na combinação CB3, foram empregados dois materiais isotrópicos (vidros), nas cores azul e verde. As amostras, sem fraturas e de excelente qualidade, mostraram-se ideais para a lapidação. O resultado foi notável: as cores misturaram-se de forma tão uniforme que a superfície de união entre os dois materiais se tornou imperceptível a olho nu, como pode ser observado na Figura 9.

Uma breve pesquisa informal realizada com alunos do curso de Gemologia revelou percepções cromáticas distintas: alguns identificaram predominantemente o verde, outros o azul, e parte do grupo observou um tom de amarelo, possivelmente, oriundo da resina. Essa diversidade perceptiva ressalta o caráter óptico singular das gemas compostas produzidas.

Figura 9 – CB3 quatro com visão frontal e lateral

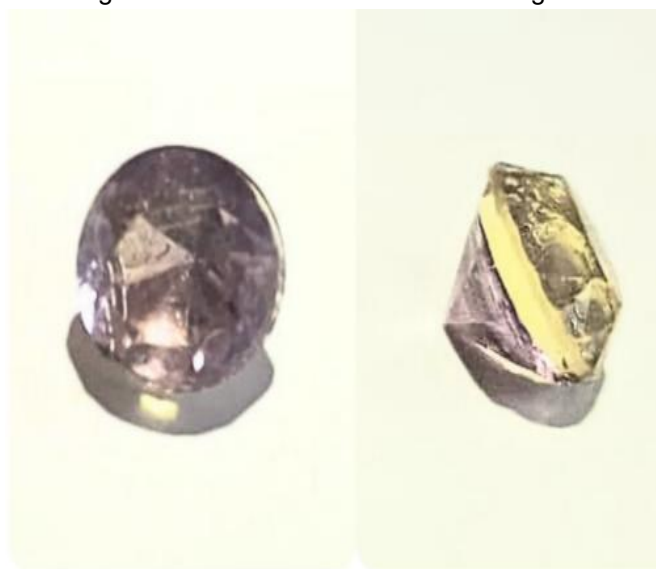


Fonte: Autoria Própria

Nota: ampliadas para melhor visualização do material

Na combinação CB4, combinou-se dois materiais anisotrópicos uniaxiais, um quartzo *green gold* e um quartzo ametista, resultando em uma transição de cores que variava conforme o ângulo de observação, proporcionando um efeito visual dinâmico e atrativo, demonstrando o potencial estético e técnico do uso de gemas compostas. A ametista continha algumas fraturas, enquanto o quartzo *green gold* não apresentava fraturas que fossem um empecilho a lapidação. Nesse caso, utilizou-se mais água durante o processo de lapidação para evitar o aquecimento dos materiais e, conseqüentemente, um aumento das fraturas pré-existent. Também se teve cuidado com a pressão exercida ao desbastar o material. A lapidação dessa combinação exigiu mais atenção em relação às outras. Antes do resultado satisfatório demonstrado na Figura 10, duas gemas compostas com essa combinação, quebraram durante o processo de lapidação.

Figura 10 – CB4 vista de diferentes ângulos



Fonte: Autoria Própria.

Nota: Imagens ampliadas para melhor visualização do material

A Tabela 3 sintetiza os principais resultados obtidos em cada experimento.

Tabela 3 – Resumo dos Experimentos com Gemas Compostas

Combinação	Observações	Resultado obtido
CB1	Granada pequena e muito fraturada, quartzo com pequenas fraturas	Cor vermelha distribuída mais para o centro da gema.
CB2	Citrino fraturado e pequeno, <i>green gold</i> com pequenas fraturas	Cor laranja amarelado quando observada através da mesa da gema.
CB3	Ambos em bom estado e sem fraturas	Regiões verde azulada e amarelada.
CB4	Ambos com pequenas fraturas	Cor roxa amarelada quando visto através da mesa da gema

Fonte: Autoria própria.

Durante o processo de criação das combinações observou-se alguns aspectos para que essa união desse certo. Como o material precisa ser colado, percebeu-se que a área de união era mais suscetível a aumento de fraturas já existentes, além do fato de que o aumento da temperatura em alguns casos fazia com que o material se descolasse. Acrescenta-se que no trabalho foi utilizado minerais que foram tratados

termicamente (citrino e *green gold*) estes eram mais suscetíveis a grandes fraturas e rompimentos. Esse comportamento já é esperado para materiais que foram submetidos ao tratamento térmico. De acordo com Favacho (2001), eles tendem a apresentar maior sensibilidade ao calor devido às modificações internas causadas durante o processo de aquecimento. O tratamento promove a reorganização da estrutura cristalina, dissolução parcial de inclusões e alteração de centros de cor, o que pode gerar tensões internas residuais que não existiam no estado natural da gema.

Deve-se também ter atenção em relação aos materiais que possuem inclusões sólidas, líquidas ou gasosas que apresentam coeficientes de dilatação térmica distintos da matriz cristalina; ao serem submetidas ao calor intenso do tratamento, essas inclusões podem expandir-se de forma desigual, originando microfraturas que tornam a gema mais vulnerável a novos aquecimentos ou choques térmicos posteriores (Branco, 2008). Ainda, estudos estruturais demonstram que fraturas pré-existentes podem ser ampliadas pelo calor, e fissuras latentes podem se tornar visíveis ou ativas após o procedimento, enfraquecendo a integridade mecânica da gema (Hinrichs, 2014). Assim, a sensibilidade térmica elevada é consequência direta das alterações físico-químicas promovidas no material durante o tratamento e da presença de tensões internas que tornam essas gemas menos estáveis quando expostas a novos aumentos de temperatura. Diante disso, para se ter sucesso na lapidação, foi necessário aumentar o uso de água para evitar o aquecimento do material.

Como é possível observar a CB3, a união das cores, juntamente com um efeito produzido provavelmente pela resina, resultou na cor amarela. Com a centralização correta, seria possível uniformizar a cor resultante. Observando a CB1 e a comparando com a CB2 pode-se notar que as cores precisam ter o mesmo nível de saturação e transparência pois quanto mais próximos melhor é a forma com que a cor se espalha por toda a amostra dependendo do ângulo de observação.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou compreender a interação entre a luz e os diferentes tipos de materiais gemológicos, evidenciando como suas propriedades ópticas e

estruturais influenciam diretamente o comportamento cromático final. Observou-se que fatores como o índice de refração, saturação da cor e transparência são determinantes para a forma como a luz é transmitida, refletida e dispersa no interior das gemas.

A análise teórica e experimental demonstrou que o processo de lapidação exerce papel essencial na valorização estética e comercial das gemas, uma vez que a forma e o ângulo das facetas controlam a intensidade do brilho e a saturação da cor. Essa relação entre óptica e lapidação reforça a importância do conhecimento técnico-científico na manipulação e apreciação de materiais gemológicos.

Com o estudo bibliográfico e com os testes em laboratório conclui-se que é possível a união de materiais com cores distintas. O resultado obtido ultrapassa a questão comercial e estética, assumindo importância acadêmica e sustentável ao reutilizar materiais que não teriam a possibilidade de serem empregados na lapidação ou que sozinhos, não teriam um valor comercial.

Para trabalhos futuros, sugere-se observar aspectos que não foram trazidos nesse trabalho como: a influência do índice de refração da resina utilizada na colagem, a combinação de materiais com cores análogas³, como azul e roxo. Pensou-se em combinar um topázio e uma ametista, entretanto não foi possível a obtenção de um topázio bruto. Também, faz-se necessário pensar em diferentes tipos de lapidação de maneira a realçar o efeito desejado.

Dessa forma, o trabalho reafirma a importância da integração entre os conhecimentos de óptica, cristalografia, mineralogia e técnicas de lapidação para a análise e produção de gemas compostas, contribuindo para o aprimoramento das práticas gemológicas e para a ampliação das possibilidades de pesquisa e inovação neste campo.

³ Cores análogas são aquelas posicionadas lado a lado no círculo cromático, apresentando proximidade de matiz e formando harmonias visuais suaves por compartilharem componentes cromáticos semelhantes (ITTEN, 1970).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. C. **Manual técnico de minerais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
- BRANCO, P. M. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p.
- BURNS, R. G. **Mineralogical Applications of Crystal Field Theory**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 551 p.
- CHVÁTAL, M. **Mineralogia para principiantes: Cristalografia**. 1. ed. Tradução de Igor de Abreu e Lima. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007. 232 p. Acesso em: 20 jun. 2023.
- DAMASCENO, H.; BASSINI, A. **Tudo são ondas: espectro eletromagnético**. USP, 2021. Disponível em: <https://parquecientec.usp.br/passeio-virtual/tudo-sao-ondas/o-espectro-eletromagnetico>. Acesso em: 05 nov. 2025.
- FAVACHO, M. Tratamento em gemas. In: CASTAÑEDA, C. et al. **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 2001. p. 5–73.
- FEINER, L. **Color and the Eye: Perception and Interpretation**. New York: [s.n.], 2006.
- HALL, C. **Gemstones of the World**. 4. ed. New York: Sterling Publishing Co., 2010. 320 p.
- HALL, C. **Gemstones: Their Sources, Descriptions and Identification**. 7. ed. London: Butterworth-Heinemann, 1994.
- HINRICHS, R. **Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas**. 2014. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- ITTEN, J. **The Elements of Color**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1970.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS (IBGM); DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Manual Técnico de Gemas**. 3. ed. rev. e atual. Brasília: IBGM, 2005. Disponível em: <https://gemologiabrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/12/Manual-de-Lapidacao-Diferenciada-de-Gemas.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2023.
- INTERNATIONAL GEM SOCIETY (IGS). **Understanding Mohs Hardness Scale**. [s.l.], 17 abr. 2020. Disponível em: <https://www.gemsociety.org/article/select-gems-ordered-mohs-hardness/>. Acesso em: 31 out. 2025.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. 23. ed. Tradução de Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 2012. Acesso em: 2 jul. 2023.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARANHÃO, R. **História da teoria das cores: uma leitura filosófica, artística e física – de Pitágoras a Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Editora Realize, 2021.

Disponível em:

https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2021/TRABALHO_EV150_MD1_SA117_ID3776_16092021183147.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

NARDY, A. J. R. **Mineralogia óptica e-learning**. Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/elearn.html>. Acesso em: 7 jun. 2023.

NAVETTE JEWELLERY. **The History of Fakes and Substitutes**. 2017. Disponível em: <https://navettejewellery.org/2017/06/12/history-of-fakes-and-substitutes/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

RESNIKOFF, H. L. Differential geometry and color perception. **Journal of Mathematical Biology**, v. 1, p. 97–131, 1974.

SCHMETZER, Karl (org.); BOSSHART, George; EPELBOYM, Marina; KIEFERT, Lore; MALSY, Anna-Kathrin. **Russian Alexandrites**. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2010.

SILVA, C. C. **A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks**. 1996. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/fMnd6zxXqG8mhHrYq45SLhs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SILVEIRA, L. M. **Introdução à teoria das cores**. 2. ed. Curitiba: UTFPR, 2015. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1582/6/teoriacor_iniciais.pdf. Acesso em: 27 mai. 2023.