UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MINERALÓGICA E
GEMOLÓGICA DE DIAMANTES COLORIDOS DA
COLEÇÃO DO MUSEU DE GEOCIÊNCIAS**

Tatiana Ruiz Cavallaro

Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz-Güttler

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2008

TATIANA RUIZ CAVALLARO

Caracterização física, mineralógica e gemológica de diamantes
coloridos da coleção do Museu de Geociências

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre
em Ciências.

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia
Área de Concentração: Mineralogia Experimental e Aplicada
Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz-Güttler

São Paulo
2008

Dedicado à

Marcelo F Cordioli

*Por me colocar no
caminho dos diamantes.*

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Rainer Aloys Schultz-Güttler, pela orientação e paciência em todas as etapas do trabalho;

Ao Centro de Aperfeiçoamento de Professores do Ensino Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro;

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio e amizade: Marcelo Barbosa de Andrade, Frederico Castro Jobim Vilalva, Carmen Juli Sucapuca Goyzueta, Renato Henrique Pinto, Lucelene Martins, Maurício Pavan Silva, Suann Ethel Lee Chon, Ângela Vido Nadur, Bruna Passarelli Ricardi, Camila Antenor Faria, Vidyã Vieira de Almeida e Vivian Azor de Freitas;

Aos professores do departamento de Mineralogia e Geotectônica Dr. José Barbosa Madureira Filho, Dr. Daniel Atencio, Dr. Gergely A.J. Szabó, Dr. Silvio Roberto Faria Vlach, Dr. Darcy Pedro Svízzero, Dr. Excelso Ruberti, Dr. José Moacyr Vianna Coutinho e ao professor Dr. Oswaldo Sala do Instituto de Química;

Aos funcionários e técnicos que ajudaram diariamente: Ana Paula Cabral (Secretaria de Pós-Graduação), Sônia G.C. Vieira e Valéria C.S.R. Santos (Secretaria do GMG), Tadeu Caggiano (Apoio acadêmico), Ideval Souza Costa e Daniel Machado (Museu de Geociências - IGc/USP);

Aos meus pais, Ercílio e Glacy, por todo carinho, amor, compreensão e apoio que me deram, sem os quais este trabalho não teria sido realizado;

Ao Marcelo Cordioli por me ajudar em diversas ocasiões e com uma miríade de problemas que apareceram durante este projeto.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma maneira para que este trabalho pudesse ser realizado.

Resumo

Cavallaro, T.R. **Caracterização física, mineralógica e gemológica de diamantes coloridos da coleção do Museu de Geociências.** 2008. Xp. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Neste trabalho foram analisados 49 diamantes coloridos da coleção Luiz Paixão incorporados 1954 ao acervo do Museu de Geociências do IGc-USP. Os diamantes foram pesados, medidos, fotografados e alguns foram escolhidos para análise espectroscópica no UV-VIS com a finalidade de auxiliar no estudo de centros de cor e distinção sobre a origem da cor nos diamantes quanto esta ser natural ou artificialmente induzida. Pelo resultado da interpretação dos espectros obtidos, uma parte desta coleção de diamantes coloridos sofreu tratamentos de cor por irradiação, demonstrando que no Brasil na época da formação desta coleção já era possível de encontrar diamantes tratados o que é um fato interessante considerando os poucos reatores nucleares existentes na época.

Palavras-chave: mineralogia, gemologia, diamantes coloridos, Museu de Geociências, espectroscopia, centros de cor.

Abstract

Cavallaro, T.R. **Physical, mineralogical and gemological characterization of colored diamonds of the Geosciences Museum Collection.** 2008. Xp. Dissertation (master's degree) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

This work presents results of an analysis of 49 colored diamonds from the Luiz Paixão Collection, donated 1954 to the Geological Museum of Geoscience Institute of University of São Paulo. They have been measured, photographed and some have been selected for detailed spectroscopic analysis by UV/VIS spectroscopy. By this method it is possible to detect if the color of the diamond is natural or produced by treatment. The presence of specific absorption peaks and their intensity in the spectrograms revealed that all blue and green diamonds indeed showed signs of treatment and their color is not natural. This is a very interesting fact and shows that already in times before the donation treated diamonds were apparently easily available in Brasil. Considering the paucity of nuclear reactors in the United States or in Europe in those times this result is very surprising.

Keywords: mineralogy, gemology, fancy diamond, Geosciences Museum, spectroscopy, color center.

Lista de Figuras

Figura 1- Formas cristalográficas simples da classe $m\bar{3}m$ do sistema cúbico. (Svisero,1971)

Figura 2- Algumas formas combinadas da classe $m\bar{3}m$ do sistema cúbico que ocorrem como formas primárias no diamante. A figura mostra também um geminado de contato. (Svisero,1971)

Figura 3- Evolução morfológica ilustrando a transformação do diamante por fenômenos de dissolução. Nesse processo, o octaedro primário se transforma gradualmente em um rombododecaedro de faces curvas. (Svisero,1971)

Figura 4- Evolução morfológica ilustrando a transformação do diamante por fenômenos de dissolução, neste caso de um cubo a uma forma abaulada e desproporcional assemelhando-se a um hexatetraedro. (Svisero,1971)

Figura 5- Esquema das relações energéticas e dos espectros de absorção mostrando a cor resultante (os exemplos correspondem a um diamante incolor puro e perfeito, um amarelo “canário” e um azul). (Harlow,1998)

Figura 6- Exemplo de diagramas com marcações de defeitos em diamantes e sua respectiva classificação na escala de pureza segundo o GIA.

Figura 7- Lapidação brilhante ideal para o diamante (a) e (d), rasa (b) e profunda (c). (Harlow,G.E.,1998)

Figura 8- Lapidação brilhante vista de lado, de cima e de baixo com o nome das medidas que devem ser observadas e respectivas facetas. (modificada da Internet)

Figura 9- Lapidação Esmeralda ou em degrau à esquerda; À direita, em cima lapidação rosa (a- visão lateral, b- coroa vista de cima), em baixo modificações variadas: 1-coração, 2-navete, 3-oval, 4-princesa, 5-quadrada, 6-trilliant, 7-gota, 8-trapézio, 9-almofada.

Figura 10- Alguns exemplos de classificação de cor para diamantes incolores ou levemente amarelados.

Figura 11- (a) Cores-luz (aditivas) e (b) cores-pigmento (subtrativas).

Figura 12- Gráfico do espectro eletromagnético mostrando a faixa de luz visível.

Figura 13- Espectro normalizado da resposta dos cones nos olhos humanos (dos tipos S, M e L-cones), para estímulos de espectros monocromáticos. Os S-cones pegam uma faixa de espectro de 400 a 500nm e tem o pico de comprimento de onda entre 420-440nm; os M-cones na faixa de 450-630nm e picos entre 534–545 nm; os L-cones na faixa de 500–700 nm e picos entre 564–580 nm.

Figura 14- (a) Diagrama do espaço cromático da CIE (x,y), (b) o espaço CIE XYZ em três dimensões, e (c) a comparação deste com as gamas de cores alcançadas por sistemas como RGB e CMYK.

Figura 15-(a) Círculo de cor de Munsell com os principais matizes, e (b) o espaço de cores em três dimensões, resultando num sólido de forma irregular.

Figura 16- Notação do sistema Munsell de cores.

Figura 17- À esquerda (a), a gama de cor da CIELAB de forma idealizada. À direita (b), sólido de cor $L^*a^*b^*$ dado por três componentes: nos eixos horizontais (a^* e b^*) temos a matiz, a^+ no vermelho em oposição à a^- verde, e b^+ no amarelo em oposição a b^- no azul-violeta, e o eixo vertical L^* temos a luminosidade de 0 (preto) a 100 (branco).

Figura 18- Exemplo de tonalidades diferentes dentro do mesmo matiz.

Figura 19- Combinações de cores encontradas em diamantes. (modificada de Hofer,1998)

Figura 20- Círculo de matizes ilustrando as 27 matizes utilizadas pelo GIA para descrição de diamantes coloridos. Este exemplo reproduz um nível forte de saturação para cada matiz. (modificada de King, 2006_b)

Figura 21- Espectros característicos dos diferentes tipos de diamante. A linha de cima corresponde ao diamante tipo I (com nitrogênio) e as duas abaixo do tipo II (com pouquíssimo ou sem nitrogênio), distinguindo-se o tipo IIb que contém boro do IIa que não o contém. (Mottana, 1990)

Figura 22- (a) Colorímetro gemológico. (b) Espectrômetro FieldSpec 3 (ASD Inc.,2008)

Figura 23- Componentes do espectrômetro utilizado, em (a) Parte do arranjo mostrando a ponta da fibra ótica e o porta amostra e em (b) o cabo de fibra ótica. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler.

Figura 24- Instrumentos utilizado nas medidas dos diamantes- Diamond Gauge sobre uma pinça gemológica. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler.

Figura 25- Espectros do diamante puro (tipo IIa). À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks,1991)

Figura 26- Espectros de diamante com centro A. À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks,1991)

Figura 27- Espectros de diamante com centro B. À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks,1991)

Figura 28- Espectros de diamante com defeitos relacionados com um átomo substitucional de Nitrogênio isolado (centro C). À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks,1991)

Figura 29- À esquerda, espectro de diamante com centro N3 no UV/VIS. À direita, espectro de diamante com plaquetas de nitrogênio no infravermelho. (Wilks e Wilks,1991)

Figura 30- Espectro de diamante tipo IIb (com Boro). (Wilks e Wilks,1991)

Figura 31- Experimento com cores-luz para obtenção de funções de reprodução de cor. (Bertulani, 2008)

Figura 32- Funções de reprodução de cor: (a) com valores tri-estímulos RGB e em (b) com valores tri-estímulos XYZ. (Wikipedia, 2008)

Figura 33- (a) Diagrama de cromaticidade CIE (x,y) em preto e branco, exemplificando como uma cor C, marcada sobre este pode ter sua saturação definida, assim como sua cor complementar (b). (Bertulani, 2008)

Figura 34- Espectro UV-VIS de um diamante Cape em (a), e de um diamante sintético amarelo (b).

Figura 35- Espectro UV_VIS em (a) de um diamante “green transmitters” e em (b) de um diamante amarelo-esverdeado.

Figura 36-Raridade dos diamantes amarelos, sendo os amarelos puros mais comuns (R5) e ao mesmo tempo valorizado pelo comércio; e os amarelos-esverdeados,olivados ou alaranjados de raridade razoável (R3). (modificada de Hofer,1998)

Figura 37- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Amarelo frio. (King, 2006_b)

Figura 38- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Amarelo quente. (King, 2006_b)

Figura 39- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Amarelo-laranja. (King, 2006_b)

Figura 40- Diamante amarelo número 14b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 41- Diamante amarelo número 28b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 42- Diamante amarelo número 21. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 43- Diamante amarelo número 30. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 44- Diamante amarelo número 35. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 45- Diamante amarelo número 13. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 46- Espectro de absorção do diamante número 13.

Figura 47- Espectro da refletância do diamante número 13.

Figura 48- Coordenada cromática do diamante número 13 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 49- Diamante amarelo número 19. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 50- Espectro de absorção do diamante número 19.

Figura 51- Espectro da refletância do diamante número 19.

Figura 52- Coordenada cromática do diamante número 19 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 53- Diamante amarelo número 27. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 54- Espectro de absorção do diamante número 27

Figura 55- Espectro da refletância do diamante número 27.

Figura 56- Espectro UV-VIS de um diamante marrom.

Figura 57- Raridade dos diamantes marrons, sendo notáveis as raridades dos marrons-avermelhados (R2) e comuns os marrons puros (R5). (modificada de Hofer, 1998)

Figura 58- Exemplo de graduação de cor em diamantes marrons.

Figura 59- Diamante marrom número 10b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 60- Diamante marrom número 24b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 61- Diamante marrom número 29b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 62- Diamante marrom número 38b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 63- Diamante marrom número 2. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 64- Diamante amarelo número 4. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 65- Diamante marrom número 6. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 66- Diamante amarelo número 9. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 67- Diamante marrom número 10. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 68- Diamante marrom número 12. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 69- Diamante marrom número 16. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 70- Diamante marrom número 22. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 71- À esquerda, comparação de espectros UV-VIS de um diamante rosa e um incolor. E à direita, espectro UV-VIS de um diamante rosa.

Figura 72- Espectro UV-VIS de um diamante lilás tratado.

Figura 73- Raridade dos diamantes vermelhos, sendo todos de raridade excepcional (R1), o vermelho-rosado um pouquinho mais freqüente que os outros de raridade notável (R2), mas o vermelho-amarronzado um pouco menos valorizado no comércio. (modificada de Hofer,1998)

Figura 74- Raridade dos diamantes rosas, sendo excepcionalmente raros os rosa-avermelhado e rosa-alaranjado (R1) e de raridade modesta os rosa-amarronzado e rosa-acinzentado (R4). (modificada de Hofer,1998)

Figura 75- Raridade dos diamantes púrpuras, sendo o púrpura puro e o púrpura-avermelhado excepcionalmente raros (R1), o púrpura-rosado de raridade notável (R2), o púrpura-amarronzado de raridade razoável (R3) e o púrpura-acinzentado de raridade razoável a modesta (R3 a R4). (modificada de Hofer,1998)

Figura 76- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa. (King, 2006_b)

Figura 77- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa-alaranjado. (King, 2006_b)

Figura 78- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa-arroxeados. (King, 2006_b)

Figura 79- Diamante rosa número 23b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 80- Diamante rosa número 11. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 81- Diamante vermelho número 14. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 82- Diamante violeta número 24. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 83- Diamante rosa número 34. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 84- Diamante rosa número 37. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 85- Diamante vermelho número 5. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 86- Espectro de absorção do diamante número 5.

Figura 87- Espectro da refletância do diamante número 5.

Figura 88- Coordenada cromática do diamante número 5 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 89- Diamante rosa número 26. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 90- Espectro de absorção do diamante número 26.

Figura 91- Espectro da refletância do diamante número 26.

Figura 92- Coordenada cromática do diamante número 26 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 93- Espectro UV-VIS de um diamante azul tratado.

Figura 94- Raridade dos diamantes azuis, sendo os azuis puros e azul-esverdeado de excepcional raridade (R1), o azul-esbranquiçado de raridade modesta (R4). (modificada de Hofer, 1998)

Figura 95- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Azul. (King, 2006_b)

Figura 96- Diamante azul número 18. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 97- Diamante azul número 25. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 98- Diamante azul número 32. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 99- Espectro de absorção do diamante número 32.

Figura 100- Espectro da refletância do diamante número 32.

Figura 101- Coordenada cromática do diamante número 32 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 102- Espectro UV-VIS de um diamante verde.

Figura 103- Raridade dos diamantes verdes, sendo os verde-acinzentado de raridade modesta (R4) e o verde puro ou com um pouco de preto de raridade excepcional (R1). (modificada de Hofer, 1998)

Figura 104- Raridade dos diamantes verde-oliva, normalmente de raridade modesta (R4) e não muito valorizado pelo comércio. (modificada de Hofer, 1998)

Figura 105- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Verde-amarelo. (King, 2006_b)

Figura 106- Diamante verde número 5b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 107- Diamante verde número 33. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 108- Diamante verde número 20. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 109- Espectro de absorção do diamante número 20.

Figura 110- Espectro da refletância do diamante número 20.

Figura 111- Coordenada cromática do diamante número 20 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 112- Diamante verde número 38. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 113- Espectro de absorção do diamante número 38.

Figura 114- Espectro da refletância do diamante número 38.

Figura 115- Coordenada cromática do diamante número 38 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 116- Espectros UV-VIS de dois diamantes laranja.

Figura 117- Raridade dos diamantes laranjas, sendo os diamantes de cor laranja puro, laranja-rosado e laranja-avermelhado, excepcionalmente raros (R1) e laranja-amarronzados de raridade modesta (R4). (modificada de Hofer,1998)

Figura 118- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Laranja-amarelo. (King, 2006_b)

Figura 119- Diamante laranja número 35b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 120- Diamante laranja número 23. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 121- Espectro de absorção do diamante número 23.

Figura 122- Espectro da refletância do diamante número 23.

Figura 123- Coordenada cromática do diamante número 23 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 124- Raridade dos diamantes negros, variando sua raridade de comum a modesto (R4 e R5). (modificada de Hofer,1998)

Figura 125- Raridade dos diamantes brancos, sendo o branco puro de raridade notável (R2) e os outros de raridade razoável (R3). (modificada de Hofer,1998)

Figura 126- Raridade dos diamantes cinzas, sendo os cinza-azulado, rosados e arroxeados, de raridade razoável (R3) e os cinzas puros ou enegrecidos de raridade comum (R5). (modificada de Hofer,1998)

Figura 127- Escala de classificação de diamantes proposta por Kesselring para cores neutras.

Figura 128- Diamante cinza número 15b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 129- Diamante cinza número 25b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 130- Diamante número 9b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 131- Diamante número 1. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 132- Diamante número 3. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 133- Diamante cinza número 7. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 134- Diamante número 8. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 135- Diamante número 15. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 136- Diamante número 28. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 137- Diamante número 29. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 138- Diamante negro número 36. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 139- Diamante branco número 39. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Lista de Tabelas

Tabela 1- Coloração em diamantes devido ao átomo de nitrogênio isolado e de boro, onde ppm é unidade que indica parte por milhão. (Wilks e Wilks, 1991)

Tabela 2- Tabela das cores encontradas em diamantes relacionando-as com o tipo de diamante e os defeitos existentes neste que pode ser a causa da cor. (Chaves e Cardoso, 2003)

Tabela 3- Escalas de grau de pureza do diamante. (Chaves e Cardoso, 2003)

Tabela 4- Correlação das proporções do brilhante com a nomenclatura utilizada para descrever a lapidação “muito boa”, “boa”, “média” e “pobre”.

Tabela 5- Classificação quanto à cor gemológica dos diamantes lapidados, variando do incolor ao amarelo. (Del Rey, 2002)

Tabela 6- As cores espectrais puras com seus respectivos comprimentos de onda (λ), freqüências (ν) e energias (E).

Tabela 7- Correspondência de palavras usadas para valores nas escala de brilho e escala de saturação do CIELAB.

Tabela 9- Escala de raridade de R1 a R5, raridade verdadeira baseadas nas leis naturais da física; e de Rf1 a Rf5 a raridade comercial, uma falsa raridade baseada na opinião comercial. (“*True and false rarity*” modificada de Hofer, 1998)

Tabela 10- Principais centros óticos no diamante. $E_{\max}$ é a energia da radiação na posição de máxima absorção causada pelo centro ou (no caso do centro N3) a posição da linha no fônon-zero. (Wilks e Wilks, 1991)

Tabela 11- Diamantes coloridos brutos do Museu de Geociências da USP.

Tabela 12- Diamantes coloridos lapidados do Museu de Geociências da USP.

Sumário

Agradecimentos	5
Resumo	6
Abstract	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	16
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 O Museu de Geociências	19
1.1.1 Histórico	19
1.1.2 Caracterização dos Diamantes do Museu de Geociências	20
1.2 Características físicas, mineralógicas e gemológicas do diamante e suas classificações	22
1.2.1 Classificação mineralógica	22
1.2.2 Morfologia	22
1.2.3 Dureza, Densidade e Clivagem	25
1.2.4 Índice de refração e dispersão	25
1.2.5 Condutibilidade térmica e elétrica	26
1.2.6 Luminescência	27
1.2.7 Cor	27
1.2.8 Tipos de diamantes	30
1.2.9 Classificação comercial	33
1.2.10 Classificação Gemológica	33
1.3 Cor e Teoria de cores	40
1.4 Diamantes coloridos	50
1.4.1 Cronologia dos Diamantes coloridos.....	50
1.4.2 Diamantes Coloridos em Exposição Pública	52
1.4.3 Raridade	53
1.4.4 Diamantes Tratados	54
1.4.5 Sistema GIA de Classificação das Cores Excepcionais (<i>Fancies</i>)	56
2 METODOLOGIA	59
2.1 Espectroscopia	59
2.2 Preparação das Amostras e Instrumentos Utilizados	60
2.3 Interpretação dos espectros	63
2.4 Transformando o espectro em cor	69
3 DISCUSSÃO E RESULTADOS DAS ANÁLISES	73
3.1 Diamantes Amarelos	73
3.1.1 Raridade dos Diamantes Amarelos	76
3.1.2 Cartas de Referência de Cor	77
3.1.3 Diamantes Amarelos do Acervo do Museu de Geociências	80
3.2 Diamantes Marrons	85
3.2.1 Raridade dos Diamantes Marrons	86
3.2.2 Escala de Referência de Cor	87
3.2.3 Diamantes Marrons do Acervo do Museu de Geociências	88
3.3 Diamantes Rosas, Vermelhos e Púrpuras	92
3.3.1 Raridade dos Diamantes Vermelhos, Rosas e Púrpuras	94

3.3.2 Cartas de Referência de Cor	96
3.3.3 Diamantes Rosas, Vermelhos e Púrpuras do Acervo do Museu de Geociências.....	100
3.4 Diamantes Azuis	104
3.4.1 Raridade dos Diamantes Azuis	105
3.4.2 Carta de Referência de Cor	105
3.4.3 Diamantes Azuis do Acervo do Museu de Geociências	107
3.5 Diamantes Verdes	109
3.5.1 Raridade dos Diamantes Verdes	110
3.5.2 Carta de Referência de Cor	111
3.5.3 Diamantes Verdes do Acervo do Museu de Geociências	113
3.6 Diamantes Laranjas	116
3.6.1 Raridade dos Diamantes Laranjas	117
3.6.2 Carta de Referência de Cor	118
3.6.3 Diamantes Laranjas do Acervo do Museu de Geociências	119
3.7 Diamante Negros, Brancos, Cinzas e Outras Cores dadas por inclusões	121
3.7.1 Diamante Negro	121
3.7.2 Raridade dos Diamantes Negros	121
3.7.3 Diamante Branco	122
3.7.4 Raridade dos Diamantes Brancos	123
3.7.5 Diamante Cinza	123
3.7.6 Raridade dos Diamantes Cinzas	124
3.7.7 Escala de Referência de Cores Acromáticas	125
3.7.8 Diamantes com Outras colorações dadas por inclusões	126
3.7.9 Diamantes Negros, Brancos, Cinzas e outras cores dadas por inclusões do Acervo do Museu de Geociências	127
 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 131
 Referências bibliográficas	 134
 Anexo	 141

1 INTRODUÇÃO

Na introdução é apresentado o Museu, o trabalho proposto e uma revisão dos conceitos básicos para o entendimento do mesmo. A introdução está dividida em quatro partes. A primeira parte é sobre o Museu e sua coleção. Na segunda parte é feita uma revisão das características gerais do diamante, que o separa dos demais minerais, e também alguns tipos de classificação utilizadas. Na terceira parte, uma breve introdução aos conceitos de teoria de cores. E na quarta parte, um pouco sobre os diamantes coloridos.

1.1 O Museu de Geociências

“O Museu de Geociências do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo possui um dos mais importantes acervos do País.”

“...Localizado na Cidade Universitária, em SP, abre de terça a sexta-feira, de 8 h às 17 h. Aos sábados, domingos e feriados, das 10h às 16h00. Recebe uma média de 75 visitantes por dia. A maior parte deles (87%) são de alunos do ensino fundamental, médio, faculdades, universidades e organizações e entidades educacionais.”

“São 45.000 amostras de minerais, minérios, gemas, rochas, espeleotemas, meteoritos, entre estes o Itapuranga, o terceiro maior do Brasil e uma grande coleção de fósseis - com importantes espécimes brasileiras.” *

1.1.1 Histórico

“As raízes do Museu de Geociências estão nos anos 30, quando nasceu a própria USP. Ettore Onorato, formado em mineralogia pela Universidade de Roma, veio para o Brasil em 1934 ajudar na estruturação da Faculdade de Filosofia e tornou-se o responsável pelo curso de Mineralogia e Petrologia, da área de História Natural.

Ettore Onorato sentiu necessidade de amostras para as aulas práticas e ofereceu sua própria coleção. Com a reunião destas amostras, começou a surgir aquilo que viria a ser bem mais tarde o Museu. A coleção cresceu com doações e aquisições.

* Costa, I.S. (Chefia Técnica Museu de Geociências - IGc/USP) em mensagem pessoal recebida por e-mail <ideval@usp.br> em 18 Aug 2008.

Nos anos 50, o Governo de SP adquiriu as importantes coleções de Araújo Ferraz e de Luiz Paixão e doou-as à Faculdade de Filosofia da USP. Juntando todas as peças até então disponíveis, formou-se o Museu de Mineralogia, voltado para apoiar os trabalhos de ensino e pesquisa.

Em 1960, a USP criou o curso de Geologia, e o Museu passou a ser o laboratório das aulas práticas.

Em 1980, ganhou o nome que tem hoje: Museu de Geociências e logo passou por grande reestruturação. Incorporou amostras de rochas, gemas, meteoritos, fósseis, entre outras peças. Em 1984, ganhou a valiosa coleção de Carlos Schynider.

Já ocupou vários locais e hoje está instalado no Instituto de Geociências da USP. Graças ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de SP (Fapesp), sofreu uma boa reforma no final dos anos 90.” *

“Desde 1991, o Museu ocupa uma área de 550 m², localizada no primeiro andar do edifício principal do Instituto de Geociências. O acervo atual conta com 45.000 peças, das quais cerca de 5.000 estão em exposição permanente. A maior parte do material é nacional e provém de várias regiões brasileiras, enquanto o restante corresponde a amostras de diferentes partes do mundo. Cada uma das categorias - minerais, cristais, rochas, etc - tem critérios próprios de apresentação e particular atenção se dá aos minerais, que por serem mais numerosos, cerca de 5.000 espécies conhecidas atualmente, são cuidadosamente expostas, obedecendo às normas internacionais de classificação.” **

1.1.2 Caracterização dos Diamantes do Museu de Geociências

O museu de Geociências, em 1954, incorporou uma coleção de diamantes ao seu acervo que vieram da coleção de Luiz Paixão Silva de Araújo Costa. Esta coleção continha 41 diamantes lapidados, 41 brutos, 1 carbonado, 1 *bort*, 1 *ballas*, 1 incrustado em ouro e 2 diamantes em jóias***. Foram analisadas neste trabalho 49 diamantes coloridos (12 no estado bruto e 37 lapidadas) desta coleção de diamantes. Os diamantes analisados não estão em exposição pública atualmente.

* Costa, I.S. (Chefia Técnica Museu de Geociências - IGc/USP) em mensagem pessoal recebida por e-mail <ideval@usp.br> em 18 Aug 2008.

** informações da página do Museu de Geociências. Disponível em: <http://www2.igc.usp.br/museu/omuseu.htm> . Acesso em 20 ago.2008.

*** informações do Livro manuscrito número 76L- Mineralogia do arquivo interno do Museu de Geociências.

Todas as amostras trabalhadas já tinham sido identificadas como diamantes e estavam separadas por uma numeração dada pelo museu. Não sendo necessário, portanto, fazer testes para identificação do mineral. Todos os 49 diamantes foram pesados, medidos e fotografados. Destes 49 diamantes, 10 foram escolhidos para análise espectroscópica. O enfoque deste trabalho foi em catalogar os diamantes coloridos, classificando a sua cor adequadamente, e estudar a origem da cor destes diamantes por espectroscopia.

Neste trabalho também não há preocupação com diamantes sintéticos. Os diamantes sintéticos são diamantes produzidos em laboratório, possuindo a mesma fórmula química e estrutura cristalina dos diamantes naturais. A produção de diamantes sintéticos em escala comercial começou na Suécia (pela empresa ASEA-Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget) e nos Estados Unidos da América (pela GE- General Electric) em 1953 e 1954 respectivamente. E somente quinze anos após o início da produção (em 1970), a GE anunciou que havia conseguido produzir cristais de diamantes sintéticos de qualidade gemológica (Del Rey,2002). Portanto sabendo que os diamantes estudados foram incorporados ao acervo do museu em 1954, mesmo não tendo a origem exata de cada exemplar, fica comprovado que estes são diamantes naturais.

Porém, mesmo os diamantes sendo naturais, as suas cores podem ser naturais ou obtidas através de tratamentos em laboratórios com objetivo de torná-los mais atraentes. As análises espectroscópicas e o estudo de centros de cor, feitas neste trabalho, auxiliam na distinção entre diamantes que apresentam coloração devido a fenômenos naturais dos coloridos por processos artificiais.

1.2 Características físicas, mineralógicas e gemológicas do diamante e suas classificações

1.2.1 Classificação mineralógica

Pelo sistema de classificação de Dana o diamante recebe o número (1.3.6.1), onde o primeiro (1) é a indicação para elemento nativo; (1.3) mineral do grupo dos semimetálicos e não metálicos; (1.3.6) da série de minerais compostos de carbono (Dana,1997). Seu sistema cristalino é o cúbico ou isométrico, sendo do grupo espacial $Fm\bar{3}m$ (mindat) ou $Fd\bar{3}m$ (Harlow,1998; Klein,2002) ou $Fd\bar{3}m$ (webmineral; Klein e Hurlbut,1993) (grupo de ponto: $F4/m\bar{3}2/m$ ou $4/m\bar{3}2/m$), sendo 3,57 angstroms (Å) o tamanho do lado da cela unitária (a) e 1,544 Å a distância entre os átomos de carbono (Putnis,2005). A grafita (C, hexagonal, dureza: 1-2), a lonsdaleita (C, hexagonal, dureza: 7-8) , a chaoita (C, hexagonal, dureza: 1-2) e a fullerita (C₆₀, tetragonal, dureza: 3,5) são polimorfos com propriedades físicas bem diferentes do diamante.

1.2.2 Morfologia

A estrutura interna do diamante, consequência das condições especiais de sua formação, lhe confere propriedades únicas. A morfologia externa é uma dessas características com enorme importância econômica. O diamante pode ser encontrado na forma de monocristal ou de policristais.

No caso de monocristal, as formas cristalográficas simples possíveis da classe $m\bar{3}m$ do sistema cúbico (figura 1) é o octaedro{111}, o rombododecaedro{110}, o cubo{100}, o cubo piramidado{hk0}, o trioctaedro{hhl}, o hexaoctaedro{hkl} e o icositetraedro{hll}. Destas o octaedro e o rombododecaedro são as formas mais frequentemente encontradas em diamantes naturais e o icositetraedro é a única forma não relatada até agora em cristais de diamantes. Os hábitos podem ainda ser combinações entre duas ou mais formas distintas (Goldschmidt,1913; Holmes, 1947; Svisero,1971; Del Rey,2002). Algumas formas combinadas que ocorrem como

formas primárias no diamante são cubo + octaedro, cubo + rombododecaedro, cubo + octaedro + rombododecaedro, rombododecaedro + octaedro, octaedro + cubo, octaedro + rombododecaedro e octaedro + cubo + rombododecaedro (figura 2). A ocorrência de gemações é bastante característica no diamante, predominando os geminados de contato com o plano de composição (111), estes são tabulares e exibem contorno triangular (denominados popularmente de chapéu-de-frade); geminados de Mohs são mais raros, tratando-se de cristais com vértices salientes e faces reentrantes, que resultam de crescimentos mais complexos. Muitos diamantes não apresentam habito muito bem definido, pois além de desproporções que podem ocorrer durante o crescimento do cristal (diferentes velocidades de crescimento segundo seus planos cristalográficos), passam por um processo de dissolução natural que transforma gradualmente as faces em curvas (abaulamento), originando uma grande variedade de formas. A velocidade de dissolução na superfície do diamante não é homogênea, ocorrendo na ordem dos planos cristalográficos $(110) > (100) > (111)$, ou seja, a velocidade de dissolução é maior nas faces correspondentes de um rombododecaedro. Assim um cristal inicialmente octaédrico, torna-se progressivamente trioctaédrico, hexaoctaédrico e por fim rombododecaédrico no processo de dissolução (figuras 3 e 4). Esse fenômeno também é responsável por figuras observadas nas faces à olho nu ou de dimensões de alguns angstroms : os triângulos, depressões triangulares eqüiláteras de profundidades variáveis, nas faces (111); formas de cavidades de contorno quadrado ou retangulares em faces (100); e estruturas em degraus, estrias paralelas em faces (110).

Figura 1- Formas cristalográficas simples da classe $m\bar{3}m$ do sistema cúbico. (Svisero, 1971)

Figura 2- Algumas formas combinadas da classe $m\bar{3}m$ do sistema cúbico que ocorrem como formas primárias no diamante. A figura mostra também um geminado de contato. (Svisero,1971)

Figura 3- Evolução morfológica ilustrando a transformação do diamante por fenômenos de dissolução. Nesse processo, o octaedro primário se transforma gradualmente em um rombododecaedro de faces curvas. (Svisero,1971)

Figura 4- Evolução morfológica ilustrando a transformação do diamante por fenômenos de dissolução, neste caso de um cubo a uma forma abaulada e desproporcional assemelhando-se a um hexatetraedro. (Svisero,1971)

No caso de diamantes policristalinos, podem ser destacados dois hábitos: os “*ballas*”, agregados de desenvolvimento orientado globular, com os cristais mostrando direções (110) radiais que resultam em uma forma aproximadamente esférica; e os carbonados, agregados pretos e porosos, de aspecto irregular de cristais da ordem de 0,001 milímetro (Chaves e Cardoso, 2003).

1.2.3 Dureza, Densidade e Clivagem

A dureza de um mineral é a resistência que sua superfície oferece ao ser riscada. Da mesma forma que outras propriedades físicas, a dureza também depende da estrutura do mineral, ou seja, do ordenamento tridimensional de seus átomos. A elevada dureza do diamante, 10 na escala de Mohs, é a sua característica mais conhecida e a base da maior parte das aplicações industriais para o mineral. Sua dureza se deve a forte força de união entre os átomos de carbono (ligação covalente) e é máxima na direção das faces do octaedro (111) e menores nas outras (110) e (100). Esse empacotamento também proporciona uma densidade relativamente alta (3,51 gramas por centímetro cúbico) para um mineral formado exclusivamente de átomos de carbono.

A clivagem é a propriedade que alguns minerais tem de se deixarem separar em superfícies planas e definidas quando sobre eles se aplica uma força adequada. O diamante apresenta uma clivagem perfeita paralela às faces do octaedro.

1.2.4 Índice de refração e dispersão

O índice de refração do diamante é de 2,4175 (a 589,3nm), ou seja, a interação da luz de sódio amarela com os elétrons dentro do diamante resultam em uma redução na velocidade em relação à velocidade da luz no ar. Além da luz branca ser refratada ela também é decomposta segundo as cores do espectro pois cada cor possui um comprimento de onda diferente e terá então um atraso na velocidade diferente. A diferença entre o índice de refração do vermelho e do violeta nos dá o valor da dispersão que é de 0,044 no diamante, apresentando um imponente jogo de cores (também conhecido como “fogo”).

1.2.5 Condutibilidade térmica e elétrica

O diamante tem uma grande condutibilidade térmica (5-25 watts por centímetro por grau Celso) devido à capacidade de transmissão das vibrações baseada na existência de uma estrutura cristalina muito rígida, diferente dos metais onde a transmissão das vibrações se deve a movimentação de elétrons excitados, sendo então estes bons condutores elétricos e térmicos.

Do ponto de vista elétrico, o diamante é um isolante, pois sua resistividade elétrica é extremamente elevada (10^{24} vezes maior que a do cobre), o que significa que, para efeitos práticos, não conduz eletricidade. Cada átomo de carbono possui 6 elétrons distribuídos em diferentes subcamadas, da seguinte forma: $1s^2 2s^2 2p^2$. Os orbitais tipo s cabem 2 elétrons e do tipo p 6 elétrons, assim, em um átomo isolado de carbono, as duas primeiras subcamadas estão totalmente ocupadas, enquanto a terceira, que caberia até 6, está com apenas 2 elétrons (indicado pelo índice superior). No diamante cada átomo de carbono se une a outros 4 numa ligação covalente, compartilhando os elétrons da última camada. Em uma rede cristalina, os níveis de energia de um átomo isolado se desdobram para formar bandas de energia, separadas por bandas proibidas, isto é, níveis de energia que nenhum elétron pode ocupar. Em um sólido, a mais alta banda de energia que contém os níveis eletrônicos onde os elétrons estão normalmente presentes à baixa temperatura é chamada banda de valência. A banda de energia de energias mais alta que a banda de valência em um semicondutor ou isolante é chamada de banda de condução e a banda proibida que separa estas duas é chamada de *band gap*. Dizemos que um material é isolante quando a corrente elétrica é nula mesmo quando aplicamos uma diferença de potencial às extremidades de um bloco feito do material. Para que exista uma corrente elétrica, é preciso que a energia cinética média dos elétrons do material aumente, ou seja, alguns elétrons devem passar para um nível mais alto de energia. No diamante como a banda de valência está totalmente ocupada, para que um elétron seja transferido desta para a banda de condução precisa adquirir energia suficiente para superar a diferença de energia entre as duas bandas (*gap*). Em um semicondutor o *gap* de energia é em torno de 1 eV (elétron-volt), no diamante é por volta de 5,5 eV, por isso se comporta como um isolante (Halliday et al, 2007; Wilks e Wilks, 1991).

No geral, o diamante é fraco na condutibilidade elétrica e alta na térmica, uma combinação que abre uma vasta gama de utilizações em aplicações eletrônicas. Por outro lado, a existência de certas impurezas no retículo cristalino do diamante como alumínio e boro pode alterar a condutibilidade elétrica tornando-o um semicondutor com propriedades também interessantes para indústria.

1.2.6 Luminescência

O processo de luminescência pode ocorrer em certos diamantes com defeitos na rede cristalina. Neste caso, os elétrons, ao receberem uma quantidade de energia, se excitam e saltam de uma camada menos energética para outra mais energética. Quando os elétrons excitados retornam para seu estado inicial de energia, eles emitem esta diferença sob a forma de um fóton. A fluorescência e a fosforescência são aspectos da luminescência, o primeiro ocorre somente enquanto durar o estímulo e no segundo a emissão de luz perdura um pouco mais.

A fluorescência emitida pelo diamante exposto às radiações de luz ultravioleta de comprimento de onda curto ou longo é muito variável: alguns diamantes emitem uma luz fluorescente brilhante da cor azul celeste, outros apresentam este efeito de maneira mais fraca, enquanto outros parecem completamente inertes a estas radiações, poucos podem apresentar uma fluorescência amarela ou verde-amarelada.(Güttler e Brusa, 2003; Anderson, 1984)

1.2.7 Cor

O diamante puro é sem cor. A ligação covalente do carbono no diamante é tão forte que a energia da luz visível não tem em geral força suficiente para interagir com os elétrons e a luz passa pelo cristal sem troca de energia. Porém, um diamante totalmente incolor é raro.

A cor é uma interação luz-matéria, e no caso específico do diamante, essa é uma consequência de impurezas (como boro ou nitrogênio) ou defeitos na escala atômica,

os chamados centros de cor (Harlow,1998). Os defeitos podem ser substituições na rede cristalina, íons intersticiais com ligações químicas não saturadas (defeitos Frenkel ou Schottky) ou combinações destes defeitos. Uma vacância neutra é chamada de centro GR (*general radiation center*). Diversos centros incorporam nitrogênio, a impureza mais comum no diamante, que pode ocorrer como impurezas isoladas ou em aglomerados de dois (chamados de centro A), três (centro N3) ou quatro átomos (centro B). O centro N3 é formado por um triângulo de três átomos de nitrogênio que substituem três átomos de carbono envolvendo uma vacância em comum. Este centro é um centro de cor, os outros dois não absorvem luz visível sozinhos, mas participam de centros de cor mais complexos. O nitrogênio também é encontrado em defeitos planares chamados de plaquetas. O centro H é associado a tratamento de calor. Os centros H3 e H4 são formados quando a vacância fica aprisionada entre um centro A ou B respectivamente. O centro N-V é formado quando um átomo de nitrogênio isolado é capturado por uma vacância.(Davies e Collins,1993; Collins,2003)

Usando o modelo de bandas para sólidos semicondutores e isolantes aplicável no caso de diamante, os defeitos acima descritos produzem níveis energéticos intermediários entre a banda condutora e da valência. Assim, a luz pode interagir com os elétrons e parte dela é absorvida enquanto elétrons excitados preenchem estes níveis energéticos intermediários. A absorção seletiva de comprimentos de onda de luz produzida pelas excitações deixa aparecer cor no sólido ou no diamante (figura 5).

O nível destas bandas intermediárias na lacuna da banda ótica (*band gap*) é uma função direta destes defeitos mencionados e cada um, enquanto ele interage com as ondas da luz, produz a sua cor. Em consequência, diamantes podem mostrar uma gama grande de cores cobrindo quase todo espectro de cores puras (azul, verde, amarelo, laranja, vermelho) além de cores mistas como roxo, lilás, marrom, cinza, branca leitosa e todas gradações entre elas. A figura 5 mostra esquematicamente as bandas intermediárias, seus níveis ocupados na banda ótica e as absorções resultantes. Mostrando também, como resultado dessas absorções, a presença ou não de cor.

Figura 5- Esquema das relações energéticas e dos espectros de absorção mostrando a cor resultante (os exemplos correspondem à um diamante incolor puro e perfeito, um amarelo "canário" e um azul). (Harlow, 1998)

1.2.8 Tipos de diamantes

Em função dos defeitos mencionados anteriormente, e especialmente em função do conteúdo de nitrogênio, os diamantes são classificados em dois grupos I e II com certos subgrupos em função de particularidades do estado de agregação de nitrogênio na estrutura do diamante e/ou da ausência dele.

O tipo I, incluindo os sub-grupos Ia e Ib, contém nitrogênios em quantidades de dezenas até milhares de ppm, perfazendo mais do que 98% dos diamantes naturais, enquanto o tipo II é muito pobre neste elemento substituto.

No tipo Ia, nitrogênio está substituindo carbono em sítios da rede cristalina e em posições intersticiais em forma de agregados de 2, 3 ou mais átomos. Quanto maior o grau de agregação, menor a interação com a luz. Assim, estes diamantes podem apresentar cores amarelas até amarelo-esverdeados, a chamada “serie cape” em referência aos diamantes da África do Sul. A saturação da cor, ou o aspecto da intensidade de cor perante o olho observador, varia de quase incolor até um amarelo muito intenso (cor *fancy*).

No tipo Ib, em quantidade muito inferior aos do tipo Ia, o nitrogênio não mostra estados de agregação, a sua substituição é de modo isolado, com forte interação com a luz. Este tipo de substituição é comum nos estados iniciais da formação dos cristais de diamante. Com o tempo de permanência no manto superior à pressão e temperatura altas, o nitrogênio forma agregados. Assim, todos os diamantes tipo Ia foram do tipo Ib. Diamantes sintéticos são predominantemente do tipo Ib já que a curta permanência nos altos níveis de pressão e temperatura nos equipamentos de síntese não permite que o nitrogênio forme os agregados. Diamantes do tipo Ib mostram cores de tonalidades marrons, amarelo intenso (canário), laranja, laranja-amarronzado e até verde (tabela 1).

O tipo II de diamante com subgrupos IIa e IIb caracteriza-se pela presença de nitrogênio em pequenas quantidades ou até a sua ausência. Este tipo é muito raro perfazendo somente 2% do total. O diamante tipo IIa mostra-se incolor se não apresentar outros defeitos que causem absorção no espectro do visível. A presença de boro substituindo o carbono caracteriza o subgrupo IIb, neste caso o diamante se transforma em semicondutor de eletricidade, indicando maior mobilidade dos elétrons. Diamantes do tipo IIb geralmente apresentam a cor azul.

Além destas cores mais comuns mencionadas anteriormente existe um número pequeno de diamantes naturais de cores mais exóticas, tais como rosa, vermelho, lilás e verde. Sobre as causas e os defeitos específicos os quais produzem estas cores em diamantes já foi pesquisado muito, mas até agora, só foi confirmado que certas deformações da rede cristalina durante épocas de deformações plásticas em altas pressões e temperaturas tem um papel especial na origem destas cores. A cor verde, porém, é devido à efeitos de radiação energética, produzindo lacunas na rede cristalina e íons intersticiais.

Foi mencionado na literatura um diamante tipo III (Bruton,1978), de sistema hexagonal, diamantes que estariam relacionados à queda de meteoros, mas hoje em dia esse termo não é mais utilizado por se tratar de um mineral diferente (polimorfo do diamante): a lonsdaleita (aprovada pelo IMA –*International Mineralogical Association* em 1967).

A tabela 1 apresenta a cor com relação à concentração de nitrogênio ou boro no diamante e a tabela 2 mostra uma variedade de cores relacionando-as com os tipos de diamantes e as possíveis causas.

Centro	Concentração	Cor
Nitrogênio isolado	5-10 ppm	Amarelo pálido
	50-100 ppm	Amarelo Ouro
	150 ppm	Ouro tingido de verde
	300-400 ppm	Verde
Boro	1 ppm	Azul claro
	10 ppm	Azul profundo

Tabela 1- Coloração em diamante devido ao átomo de nitrogênio isolado e de boro, onde ppm é unidade que indica parte por milhão. (Wilks e Wilks, 1991)

Cor	Tonalidade	Tipo	Causa	Nome do Centro
Violeta		Ia	Defeitos relacionados com hidrogênio	
Azul		IIb	Vestígios de boro	
Azul		Ia e IIa	Irradiação	GR1
Azul	Acizentado	Ia	Defeitos relacionados com hidrogênio	
Azul		Ia e IIa	Irradiação	GR1
Verde		Ia e IIa	Irradiação com componentes amarelos ou castanhos	
Verde	Amarelado	Ia	Fluorescência	H3
Verde	Acizentado	Ia	Defeitos relacionados com hidrogênio	
Verde	Vários tons	Ia	Vários defeitos desconhecidos	
Verde tratado	Azulado a amarelado	Ia	Irradiação	GR1
Amarelo		Ia	Agregado com 3 átomos de nitrogênio	N3
Amarelo	Acizentado	Ia	Defeitos relacionados com hidrogênio	
Amarelo		Ib	Nitrogênio isolado	
Amarelo tratado		Ia	N3+ lacunas em agregados de nitrogênio	N3 +H3 e H4
Laranja	Acastanhado	Ia	N3+ lacunas em agregados de nitrogênio	N3+H3 e raramente H4
Laranja	Amarelo alaranjado a laranja	Ia	Desconhecido, relacionado com nitrogênio	Banda dos 480 nm
Rosa, vermelho ou púrpura		Ia e IIa	Centro desconhecido relacionado com a deformação	
Rosa, vermelho ou púrpura	Rosa pálido	IIa	Lacunas adjacentes a átomos de nitrogênio isolados	N - V
Rosa a púrpura tratado		Ib, muitas vezes com Ia	Lacunas adjacentes a átomos de nitrogênio isolados	N - V
Castanho		Todos os tipos	Centro desconhecido relacionado com a deformação	
Castanho tratado		Ia	Vários defeitos relacionados com o nitrogênio	N3, H3, H4, outros
Negro		Todos os tipos	Na maioria das vezes inclusões negras	
Negro tratado		Ia	Irradiação	GR1
Cinzentos	Muitas vezes amarelado	Ia	Defeitos relacionados com hidrogênio	
Cinzentos	Muitas vezes azulado	IIb	Vestígios de boro (?)	
Branco		Ia	Inclusões desconhecidas	

Tabela 2- Tabela das cores encontradas em diamantes relacionando-as com o tipo de diamante e os defeitos existentes neste que pode ser a causa da cor. (Chaves e Cardoso,2003)

1.2.9 Classificação comercial

De modo geral o diamante pode ser classificado como gemológico, aqueles monocristalinos cujo tamanho, forma, cor e pureza correspondam às exigências do processo de lapidação e aplicações em jóias; e os industriais, onde suas propriedades físicas que permitam sua aplicação é que será fundamental. Durante a década de 80 criou-se uma classe intermediária os quase-gemas, que podem ser usados tanto como gemas de baixo custo como diamantes industriais, em função das condições de mercado.

Quanto a sua forma os diamantes brutos são classificados utilizando os seguintes termos em inglês: *Stones* (octaedros ou rombododecaedros inteiros e regulares); *Shapes* (octaedros, rombododecaedros e outras formas inteiras ligeiramente achatadas ou de formação irregular); *Clevages* (formas cristalográficas clivadas, partidas ou muito irregulares); *Macles* (formas geminadas triangulares ou arredondadas onde o achatamento é predominante); *Flats* (formas nitidamente achatadas ou espalmadas); Na literatura podemos achar uma classificação própria para formas policristalinas (*bort, ballas, framesite, stewartite, short bort, hailstone bort* e carbonado), mas hoje em dia com a entrada maciça do diamante sintético no mercado, suprimindo a maior parte da demanda do diamante industrial, a diferença de cotação entre estas formas policristalinas passou a inexistir. (Chaves e Cardoso, 2003)

1.2.10 Classificação Gemológica

A classificação de diamantes lapidados depende do peso em quilates(ct), pureza, qualidade da lapidação e cor, os famosos 4 “Cs” (do inglês: *carat, clarity, cut* e *colour*) (GIA, 1992; Lenzen, 1983; Schumann, 1982). O primeiro passo é a determinação do peso em quilates métrico (*carat*), equivalente à 0,2 gramas, geralmente abreviado como ct. As pedras maiores de um quilate crescem de valor rapidamente de forma não linear.

O grau de pureza da pedra (*clarity*) é analisado com um aumento de 10 vezes. De acordo com a pureza, as classes variam entre as que contêm diamantes puros ou

praticamente sem defeitos ou inclusões (FL -sigla que vem do inglês *flawless*) até as que contêm inclusões visíveis progressivamente maiores e mais abundantes (I1, I2 e I3) como é visto na tabela 3. As inclusões e características externas são marcadas em diagramas e identificadas por legendas de modo que a localização da inclusão possa ser feita posteriormente, como mostra a figura 6.

Figura 6- Exemplo de diagramas com marcações de defeitos em diamantes e sua respectiva classificação na escala de pureza segundo o GIA.

Grau de pureza (<i>clarity</i>)	CIBJO (para lapidados)	GIA (para lapidados)	Proposta (para brutos)
Totalmente livre de inclusões	LC	IF	pur-1
Inclusões pequeníssimas, muito difíceis de encontrar com a lupa (10 aumentos)	VVS1 VVS2	VVS1 VVS2	
Inclusões pequenas, difíceis de encontrar com a lupa	Vs1 Vs2	Vs1 Vs2	pur-2
Inclusões pequenas, facilmente encontradas com a lupa	SI	SI	
Inclusões evidentes com a lupa, porém difíceis de serem vistas a olho-nú	Piqué I	I1	pur-3
Inclusões grandes e/ou freqüentes, facilmente visíveis a olho-nú	Piqué II	I2	
Inclusões grandes e/ou freqüentes, muito fáceis de serem vistas a olho-nú, e que reduzem o brilho da pedra	Piqué III	I3	pur-4
Cristais de qualidade não gemológica (tipos industriais)	-	-	pur-5

Significados: LC - Loupe clean; FL - Flawless; IF - Internally flawless; VVS - Very, very small inclusion; VS - Very small inclusion; SI - Small inclusion; I - Inclusion

Tabela 3- Escalas de grau de pureza do diamante. (Chaves e Cardoso,2003)

Outra característica analisada (*cut*) se refere ao corte e lapidação. O corte perfeito é aquele que faz com que o diamante aproveite a luz que incide nele da melhor forma. Quando o diamante é lapidado com boas proporções, a luz que entra na gema é refletida entre suas facetas e dispersada através do seu topo, maximizando a brilhância (figura 7). Se o corte não for ideal, a luz escapará pelas laterais, perdendo o brilho. Para o diamante incolor o corte ideal é a lapidação brilhante. Esta forma surgiu a partir de uma tese matemática escrita por Marcel Tolkovsky (1919) que faz um estudo sobre a luz refletida e refratada no diamante, e foi adotada pelos lapidários como a forma mais correta de se obter o máximo resultado na lapidação de um diamante. A lapidação brilhante redonda (figura 8) é formada por 58 facetas, sendo 33 na coroa ou parte superior do diamante, somando a mesa, 8 facetas papagaio ou *bezel*, 8 facetas estrela e 16 facetas acima da cintura; e 25 no pavilhão ou parte abaixo da cintura, somando 16 facetas inferiores, 8 facetas principais e a culaça. Os valores ideais resultantes de medidas lineares com relação ao diâmetro da cintura (100%) são 53% para a mesa, 16.2 % para altura da coroa, 43.1% para altura do pavilhão e 2% para altura da cintura e ângulos de $34^{\circ}30'$ para a coroa e de $40^{\circ}45'$ para o pavilhão. Na lapidação ideal as facetas são lisas, nítidas e simétricas e as proporções devem estar corretas, aproximadamente 1/3 do total do peso do diamante acima da cintura e 2/3 abaixo.

Figura 7- Lapidação brilhante ideal para o diamante (a) e (d), rasa (b) e profunda (c).
(Harlow,G.E.,1998)

Proporções do Brilhante

Nome das Facetas

Figura 8- Lapidação brilhante vista de lado, de cima e de baixo com o nome das medidas que devem ser observadas e respectivas facetas. (modificada da Internet)

Proporções	<i>Média a pobre</i>	<i>Boa</i>	<i>Muito boa</i>
Tamanho da mesa	<52% ou >70%	52 a 53% ou 62 a 70%	53 a 62%
Altura da coroa	<9% ou >17%	9 a 12,5% ou 16 a 17%	12,5 a 16%
Ângulo da coroa	<27° ou >40°	27 a 33° ou 34,5 a 40°	33 a 34,5°
Altura do pavilhão	<39% ou >47%	39 a 41% ou 46 a 47%	41 a 46%
Ângulo do pavilhão	<38° ou >44°	38 a 39° ou 43 a 44°	40 a 42°
Espessura da cintura	Muito grossa	Grossa ou muito fina	1 a 2,5%
Tamanho da cuiça	>4%	2 a 4%	<2%

Tabela 4- Correlação das proporções do brilhante com a nomenclatura utilizada para descrever a lapidação “muito boa”, “boa”, “média” e “pobre”.

São medidos os ângulos das facetas e a altura das partes para chegar à conclusão da qualidade da lapidação. Pode-se então classificar as proporções da lapidação brilhante em pobre, média, boa e muito boa dependendo se estão dentro de um limite de tolerância quando comparadas com as ideais, estes intervalos são indicados na tabela 4. Para o acabamento da lapidação também utilizamos os termos fraco, regular, bom e excelente, analisando a simetria das facetas e seu polimento.

Figura 9- Lapidação Esmeralda ou em degrau à esquerda; À direita, em cima lapidação rosa (a- visão lateral, b- coroa vista de cima), em baixo modificações variadas: 1-corção, 2-navete, 3-oval, 4-princesa, 5-quadrada, 6-trilliant, 7-gota, 8-trapézio, 9-almofada.

Além da lapidação brilhante redonda existem outros formatos bastante conhecidos que podem ser agrupados nas categorias variações do corte brilhante, corte em degraus, mistos (que misturam brilhante e degrau) e rosa (figura 9). Entre os formatos derivados do brilhante os mais conhecidos são a lapidação navete ou marquise, que dependendo do contorno da cintura da pedra, o pavilhão pode ser lapidado com 4,6 ou 8 facetas principais; a lapidação gota; a lapidação oval (formato elíptico); a lapidação princesa que tem a forma normalmente quadrada com cantos afinados e cintura muito

fina e pode ter 50 ou 58 facetas, com variações no pavilhão, variação da forma quadrada com bordas curva são chamadas almofadas; a lapidação triângulo que tem normalmente forma triangular e 44 facetas, variações com mais facetas e bordas um pouco curvas são chamadas de *trilliant*; e a lapidação coração. A lapidação esmeralda ou degrau tem 49 ou 50 facetas, sendo 25 na coroa (incluindo a mesa) e 24 ou 25 no pavilhão. As principais variações do corte esmeralda são a lapidação baguete e a quadrada. Quando se trata de diamantes coloridos (onde a cor é a característica que prevalece sobre as outras), a lapidação é adaptada à cor, ou seja, a lapidação ideal é a que resulta na maior concentração de cor.

A cor (*colour*) é uma das quatro propriedades as quais determinam a beleza e o valor comercial de um diamante. Apesar do fato de que, em geral, os diamantes incolores ainda são os mais vendidos dado à política de comercialização de diamantes, na realidade, diamantes coloridos naturais são atualmente muito mais valiosos, são os chamados “*natural fancy colours*”. Diamantes azuis, rosados, amarelos, vermelhos e verdes são procuradíssimos e alcançam preços de centenas de milhares de dólares por quilates, valores mais altos do que diamantes incolores de mesmo tamanho, quando a origem da cor é comprovadamente natural. Enquanto as cores de diamantes levemente tingidos de amarelo são as mais comuns e desvalorizadas. Veremos com mais atenção a classificação das cores excepcionais na secção sobre diamantes coloridos (1.4.4 Sistema GIA de Classificação das Cores Excepcionais). De modo geral, na gemologia a classificação da cor é feita por comparação da pedra analisada com um conjunto padrão, que nos incolores ou levemente amarelados ou marrons é classificado segundo letras de “D” (absolutamente incolor) a “Z” (acentuadamente colorido), sendo “Z+” atribuído aos diamantes com cores excepcionais (*fancy*) (figura 10 e tabela 5).

Figura 10- Alguns exemplos de classificação de cor para diamantes incolores ou levemente amarelados.

GIA	ABNT/ IBGM (BRASIL)	IDC International Diamond Council	CIBJO	RAL 560 ASE (ALEMANHA)	SCAN.D.N. (TRADICIONAL)	AGS
D	Excepcionalmente incolor extra	Exceptional white +	Blanc exceptionnel +	Blauweiss	River	0
E	Excepcionalmente incolor	Exceptional white	Blanc exceptionnel			0,5
F	Perfeitamente incolor	Rare white +	Extra blanc +	Feines weiss	Top wesselton	1,0
G	Nítidamente incolor	Rare white	Extra blanc	Weiss	Wesselton	1,5
H	Incolor	White	Blanc			2,0
I	Cor levemente perceptível	Slightly tinted white	Blanc nuancé	Schwach getöntes weiss	Top crystal	2,5
J	Cor perceptível				Crystal	3,0
K	Cor levemente visível	Tinted white	Blanc légèrement teinté	Getöntes weiss	Top cape	3,5
L	Cor visível					4,0
M	Cor levemente acentuada	Tinted colour 1	Teinté	Schwach gelblich	Cape	4,5
N						5,0
O		Tinted colour 2		Gelblich	Light yellow	5,5
P						6,0
Q		Tinted colour 3		Schwach gelb		6,5
R	Cor acentuada	Tinted colour 4		Gelb	Yellow	7,0
S-Z						7,5
Acima de Z		Fancy color	Couleur fantaisie		Fancy color	8,5

Tabela 5- Classificação quanto à cor gemológica dos diamantes lapidados, variando do incolor ao amarelo. (Del Rey,2002)

O certificado de diamante é um documento de extrema importância para a transparência do mercado de diamantes, seja para orientar o consumidor, conferir credibilidade ao vendedor ou facilitar as transações comerciais (Berringer,2006). As quatro características discutidas nesta seção são importantes para a formação do preço e são informações necessárias em um certificado de graduação de qualidade de diamantes lapidados. Pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), o certificado de diamantes lapidados deve conter no mínimo: a) massa (peso) em ct; b) dimensões (mm); c) cor; d) pureza; e) lapidação; f) altura total, dada em porcentagem do diâmetro; g) tamanho da mesa, dado em porcentagem do diâmetro; h) qualidade da simetria e do polimento; i) descrição da cintura ou rondígio; j) descrição da culaça; k) intensidade da fluorescência; l) diagrama das características internas e externas. Sendo que, para pedras abaixo de 0,30 ct, o certificado pode ser simplificado contendo apenas os itens de a) a e). Além do certificado de qualificação do diamante, existe o certificado de identificação da pedra, que separa o diamante de seus simulantes (testando em laboratório as características físicas e mineralógicas discutidas anteriormente) e analisa a sua gênese (identificando se o diamante é natural ou sintético, e se passou por algum tratamento que modificou sua aparência).

1.3 Cor e Teoria de cores

A cor é a sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão. A percepção que temos das cores está associada a três fatores: a uma fonte de luz, a capacidade do olho humano em diferenciar os estímulos produzidos por diferentes comprimentos de onda de luz e os materiais que apresentam propriedades físicas distintas quanto ao espectro de luz refletida, absorvida ou emitida por eles. Esta introdução à teoria de cores foi baseada nas seguintes publicações: Pedrosa,1982; Wikipedia,2008; Hofer,1998; Peckett,1992; Zemansky,1962; Bertulani,2008.

Em vários idiomas existem vocábulos precisos para diferenciar a sensação cor da característica do objeto que a provoca, mas em linguagem corrente a palavra cor designa tanto a percepção do fenômeno (sensação) como as radiações luminosas diretas ou as refletidas, refratada ou transmitidas por determinados corpos (estímulo). Em português, o melhor termo para essa característica do estímulo é matiz (em inglês: *hue*), diferenciando-a da sensação denominada cor (em inglês: *color* ou *colour*).

Muitos foram os cientistas, filósofos e artistas (pintores) que escreveram sobre as cores, entre eles estão Aristóteles, o poeta medieval Plínio, Leone Battista Alberti (1435), Leonardo da Vinci (1490), Isaac Newton (*Opticks*, 1730), Goethe (*Theory of Colors*, 1810), Thomas Young, James Clerk Maxwell e Hermann Von Helmholtz, mas não vamos entrar na história dos princípios da Teoria de Cores. Atualmente na teoria de cores é estudado: a cor física (óptica física), a cor fisiológica (óptica fisiológica) e a cor química (óptica fisico-química). Na prática esta serve como um guia para especificar e reproduzir uma cor, suas misturas e o impacto visual que esta causará.

Por muito tempo o mais importante problema da teoria de cores foi a confusão entre as cores-luz que é a radiação luminosa visível que tem como síntese aditiva a luz branca (por isso também são chamadas de cores aditivas) e o preto como ausência de luz, e as cores-pigmento ou cores subtrativas observadas em misturas de tintas por exemplo. Na figura 11 é mostrado três cores básicas em cores luz (a): o vermelho (**Red**), o verde (**Green**) e o azul (**Blue**) e a composição destas resultando em branco no centro da figura; em comparação com as cores básicas em pigmentos (b): o amarelo (**Yellow**), o ciano (**C**) e o magenta (**M**) que funcionam como filtros

absorvendo a luz deixando passar somente a cor indicada e resultando na cor preta quando combinadas em proporções iguais (centro da figura). No caso das cores pigmentos estas três cores básicas são teóricas, já que não se consegue a pureza necessária das cores na fabricação de tintas e na realidade a mistura destas gera uma cor neutra escura mas não o preto. Para entender estes diferentes estímulos que causam a sensação de cor tem que se tratar primeiramente da cor física, definindo a radiação eletromagnética e como ela interage com o mundo.

Figura 11- (a) Cores-luz (aditivas) e (b) cores-pigmento (subtrativas). (Wikipedia,2008)

A radiação eletromagnética é caracterizada por seu comprimento de onda (λ) que pode ser medido em nanômetros (nm), (ou a frequência que é seu inverso (ν), medido em hertz (Hz)) e sua intensidade (I). A faixa de comprimentos de onda que correspondem ao espectro visível, que pode ser percebida pela visão humana (aproximadamente de 380nm a 740nm) é chamada de luz visível (figura 12). Assim o que distingue duas cores-luz, como a luz vermelha e a luz verde, é o número de sua frequência ou seu comprimento de onda. Cada cor simples possui uma frequência, comprimento de onda e energia específica que é um número de identificação, como mostrado na tabela 6. A frequência é uma grandeza própria dos movimentos oscilatórios e corresponde ao número de oscilações realizadas por segundo, ou por outra unidade de tempo; e o comprimento de onda é a distância entre valores repetidos num padrão de onda. Assim como o som é uma vibração mecânica do ar e a sua frequência distingue sons graves e agudos, a luz é também uma forma de vibração eletro-magnética cuja frequência ou comprimento de onda distingue uma cor da outra. Na faixa da luz visível, a luz vermelha é a de menor frequência, menor energia e maior comprimento de onda, enquanto a luz violeta é a de maior frequência, maior energia e menor comprimento de onda.

<i>Cor</i>	$\lambda(\text{nm})$	$\nu (10^{14} \text{ Hz})$	$\nu_b (10^4 \text{ cm}^{-1})$	$E (\text{eV})$	$E (\text{kJ mol}^{-1})$
Infravermelho	>1000	<3.00	<1.00	<1.24	<120
Vermelho	700	4.28	1.43	1.77	171
Laranja	620	4.84	1.61	2.00	193
Amarelo	580	5.17	1.72	2.14	206
Verde	530	5.66	1.89	2.34	226
Azul	470	6.38	2.13	2.64	254
Violeta	420	7.14	2.38	2.95	285
Ultravioleta próximo	300	10.0	3.33	4.15	400
Ultravioleta distante	<200	>15.0	>5.00	>6.20	>598

Tabela 6- As cores espectrais puras com seus respectivos comprimentos de onda (λ), frequências (ν) e energias (E). (Wikipedia,2008)

Figura 12- Gráfico do espectro eletromagnético mostrando a faixa de luz visível.

As cores dos objetos dependem da interação de luz com as propriedades físicas do objeto e das características de percepção de nossos olhos e cérebros. Fisicamente, pode ser constatado que um objeto tem a cor de luz que sai de sua superfície. A luz que chega em superfícies opacas pode ser refletida (como um espelho), espalhada (reflexão difusa) ou absorvida. Assim quando se ilumina um objeto opaco com luz branca e este parece vermelho, significa que ele está refletindo a componente vermelha do espectro e absorvendo as demais; quando o objeto é percebido branco, ele está refletindo todas as componentes, quase nada absorvendo; se este é visto negro, não está refletindo, mas apenas absorvendo toda luz que nele incide. Em objetos translúcidos ou transparentes, além da luz refletida ou absorvida pode-se ter luz transmitida através do material, outros objetos podem

ainda emitir luz (incandescência, quimiluminescência, ou luminescência), o que também contribui para a sua cor. E a percepção da cor de um objeto vai depender, não somente da luz que chega de sua superfície, mas também pelo seu contexto no ambiente, pois o cérebro humano tende a fazer certas correções (de luminosidade, por exemplo, assim uma laranja nos parece de cor laranja, independentemente do ambiente estar muito ou pouco iluminado) baseado em lembranças. Este efeito é chamado constância da cor. Além disso, o olho humano não consegue diferenciar as componentes da luz e sim a cor resultante desse estímulo, diferentemente do ouvido que consegue distinguir dois instrumentos musicais sendo tocados ao mesmo tempo. Por esse motivo, o problema de reprodução de cores restringe-se em achar a combinação de estímulos que forneça a mesma sensação de cor (a este processo dá-se o nome de metamerismo). Neste caso, para descrever uma cor não basta uma medida física, deve-se ter uma noção de como o olho humano funciona e como a cor é percebida.

No olho humano, há três tipos de receptores de cor sensíveis a diferentes espectros, chamados de cones, e outro tipo de célula sensível à luz chamadas de bastonetes, que dão a percepção de claro e escuro. Os cones que maximizam a recepção de ondas curtas, ondas médias e ondas longas são chamados respectivamente de **S**-cones (cones de ondas-curtas, S de *short* em inglês curta) ou cones azuis, **M**-cones ou cones verdes, e os **L**-cones ou cones vermelhos. Faixas de comprimento de ondas de luz visível estimulam cada um destes tipos de receptores em diferentes graus (figura 13). Por exemplo, uma luz amarelo-esverdeada estimula igualmente forte os L e M-cones e fracamente os S-cones; a luz vermelha por outro lado, estimula os L-cones muito mais que os M-cones, e os S-cones mais fortes ainda; luzes verdes e azuis estimulam os M-cones mais que os L-cones, e os S-cones um pouquinho mais, e há um pico também na estimulação dos bastonetes; e a luz violeta estimula quase que exclusivamente os S-cones. Assim, o cérebro processa e interpreta a combinação de informações vinda de cada tipo de receptores para nos dar diferentes percepções de diferentes comprimentos de ondas de luz visível.

Figura 13- Espectro normalizado da resposta dos cones nos olhos humanos (dos tipos S, M e L- cones), para estímulos de espectros monocromáticos. Os S-cones pegam uma faixa de espectro de 400 a 500nm e tem o pico de comprimento de onda entre 420-440nm; os M-cones na faixa de 450-630nm e picos entre 534–545 nm; os L-cones na faixa de 500–700 nm e picos entre 564–580 nm. (Wikipedia, 2008)

A teoria de visão das cores vem de duas teorias complementares: a teoria tricromática e a teoria de processos opostos. Esta última foi proposta por Ewald Hering em 1872 e estabelece que o sistema de interpretação de cores se dá de forma antagônica: vermelho versos verde, azul versos amarelo, preto versos branco. A teoria tricromática é bem mais antiga. Historicamente, muitos teóricos de cor têm assumido três cores “puras” primárias com as quais, misturando-as, seria possível obter todas as outras cores. Na realidade, somente cores primárias imaginárias utilizadas em colorimetria podem quando misturadas entre si quantificar todas as cores visíveis percebidas. Qualquer três cores primárias reais, tanto cor-luz como cor-pigmento, podem ser misturadas e gerar uma gama de cores limitada. Porém, a gama de cores gerada por elas será sempre menor que aquela alcançada pela percepção humana, como mostrado na figura 14 (c). Entre os sistemas mais conhecidos estão o RGB (do inglês: *red, green, blue* ou vermelho, verde, azul), sistema de cores utilizado em luzes e, por consequência, na eletrônica e recursos visuais eletrônicos como o vídeo; e o CMYK (do inglês *Cyan, Magenta, Yellow, black*) Ciano, Magenta, Amarelo e Preto, sistema de cores utilizado em gráfica e pigmentos. Em 1931, um grupo internacional de especialistas conhecidos como Commission Internationale d'Eclairage (CIE, comissão internacional de iluminação) desenvolveu um sistema de cores, onde a cada cor é atribuído um conjunto de três números (X,Y,Z), baseados em conceitos matemáticos de como a cor é vista por olhos humanos mas de modo que as curvas das funções de reprodução de cores

estivessem sempre acima dos eixos, evitando valores negativos nos cálculos. O sólido de cor CIE XYZ que contém todas as cores visíveis (pode ser visto na figura 14 (b)) é uma forma cônica com vértice na origem. Desconsiderando o atributo luminosidade da cor, podemos atribuir uma coordenada de cromaticidade (x,y) à cada cor e podemos situá-la no diagrama cromático do CIE (figura 14 (a)).

Figura 14- (a) Diagrama do espaço cromático da CIE (x,y), (b) o espaço CIE XYZ em três dimensões, e (c) a comparação deste com as gamas de cores alcançadas por sistemas como RGB e CMYK.

O interior e o contorno do diagrama de cromaticidade CIE (x,y) com forma de ferradura representam todas as cores visíveis. As cores espectrais saturadas do azul ao vermelho aparecem ao longo das bordas onde estão marcados os comprimentos de onda que as representam. O púrpura e o magenta aparecem na linha reta que une o azul e o vermelho. Um conceito usual no entendimento da percepção de cor de uma fonte de luz não monocromática é o comprimento de onda dominante, o qual identifica um único comprimento de onda de luz que produz uma sensação muito similar a fonte de luz. O comprimento de onda dominante está relacionado com o matiz, e pode ser determinado geometricamente com uma reta passando pelo ponto da coordenada da cor e o ponto branco chegando até a borda do diagrama. É claro que algumas cores percebidas estão fora da definição de cores puras espectrais por falta de saturação ou como o roxo (que mistura vermelho e azul-violeta que são pontas opostas no espectro visível), este pode ser definido pelo comprimento de

onda complementar. Além do roxo, como exemplos de cores não-espectrais podemos citar o rosa, o marrom, o verde-oliva e ainda os não cromáticos tons de branco, cinzas e preto. As cores acromáticas são representadas no diagrama pelo ponto branco de coordenada $(1/3, 1/3)$. O diagrama mostra claramente o conceito de cores complementares – um par complementar jaz em pontas opostas de uma linha reta atravessando o ponto branco. Além do comprimento de onda dominante ou complementar, podemos definir o fator de pureza que corresponde à sensação de saturação. O fator de pureza de uma cor é a relação em porcentagem da distância do ponto da coordenada da cor ao ponto branco, para a distância do ponto branco à borda do diagrama, medida sobre a reta que passa pela coordenada da cor e pelo ponto branco. Deste modo, a pureza de uma cor espectral pura é 100% e a pureza de uma cor acromática é zero. O rosa fica na região central do diagrama cromático com pureza menor que 50% e comprimentos de onda entre 630-700nm (dominante) e 495-525nm (comprimentos de onda complementares). Os marrons e olivas pegam partes centrais do diagrama (baixa pureza), onde a cor espectral corresponde do laranja ao verde-amarelo.

Atualmente, os dois sistemas mais utilizados para descrever a nossa percepção de cores são: o sistema de cores Munsell e o sistema de cores numérico CIELAB. O primeiro foi criado por Albert H. Munsell (*Munsell Book of Color*, 1929) e especifica a cor baseado em três parâmetros: matiz, valor e croma. O matiz (*hue*) é medido em graus em volta de um círculo, onde as cinco cores principais são vermelho(R), amarelo(Y), verde(G), azul(B) e roxo(P), como mostra a figura 15 (a). O valor (*value*, brilho) é medido verticalmente do 0 (preto) na base ao 10 (branco) no topo, passando por vários cinzas neutros. E o croma (*chroma*, saturação), que representa a pureza da cor, é medido radialmente a partir do eixo vertical de cinza neutro. Note que não há um limite superior intrínseco para o croma. Diferentes áreas do espaço de cor de Munsell têm diferentes máximos para a coordenada de croma. Assim, um amarelo claro tem potencial para ser mais saturado do que um púrpura claro, e um azul escuro, alcança cromas maiores que amarelos escuros. Deste modo, com o eixo de valor (luminosidade) sendo gradual, o círculo de matizes, considerando as cores saturadas, não fica ao longo do equador, mas inclinado à este, com o amarelo acima e o azul para baixo, gerando um sólido irregular para representar o espaço de cor como mostra a figura 15 (b).

“O desejo de escolher um contorno que coubesse, tais como a pirâmide, o cone, o cilindro, ou o cubo, combinada com a falta de testes adequados, levou à muitas afirmações distorcidas sobre relações de cor, e torna-se evidente, quando medições físicas de croma e valor de pigmentos são estudados, que nenhum contorno regular irá servir.”- Albert H. Munsell.*

Figura 15-(a) Círculo de cor de Munsell com os principais matizes, e (b) o espaço de cores em três dimensões, resultando num sólido de forma irregular.

Figura 16- Notação do sistema Munsell de cores.

A notação para esse sistema é matiz valor/croma. Por exemplo: 5RP 5/26, onde 5RP significa matiz púrpura-vermelho (RP é de *red-purple*), o 5/ significa um valor médio de brilho e o croma 26 que é o máximo de saturação para esta matiz. (Este exemplo corresponde à cor que está no quadrado de extrema direita da figura 16.)

*O próprio autor Albert H. Munsell (in: A Pigment Color System and Notation) falando sobre a forma irregular do sólido de cor. Traduzido da Wikipedia:<http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system>

O CIELAB (o outro sistema mencionado anteriormente) é uma abreviação de CIE 1976 $L^*a^*b^*$, um sistema espacial de cor baseado no espaço de cor CIE 1931 XYZ e com fortes influências do sistema de cor de Munsell, onde escalas numéricas definem a matiz, brilho e saturação. Na notação L^* é a escala de brilho, a^* e b^* são escala de matiz e a saturação (C^*) é definida pela equação: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. Como é mostrado na figura 17, o valor de a^* representa uma posição entre o vermelho/magenta e o verde (sendo os valores negativos para o verde e os positivos para o magenta), e os valores de b^* representam uma posição entre o amarelo e o azul (negativo indica azul e positivo indica amarelo). As escalas de brilho (L^*) e de saturação (C^*) podem ser expressas em palavras segundo a tabela 7. Os asteriscos depois das letras L, a e b fazem parte do nome completo e ajudam a distinguir este sistema do sistema Hunter Lab que forma outro espaço de cor. Além dos sistemas descritos neste trabalho, existem inúmeros outros, e uma cor geralmente pode ser convertida de um sistema para outro utilizando as transformações matemáticas adequadas.

Brilho (L^*)		Nível de Saturação (C^*)	
100-95	Branco	0-10	Fraca
95-85	Claríssimo	10-20	Fraca-moderada
85-75	Muito claro	20-30	Moderada
75-65	Claro	30-40	Moderada-forte
65-55	Médio-claro	40-50	Forte
55-45	Médio	50-60	Forte-muito forte
45-35	Médio-escuro	60-70	Muito forte
35-25	Escuro	70-80+	Fortíssima
25-15	Muito escuro		
15-05	Ecuríssimo		
05-00	Preto		

Tabela 7- Correspondência de palavras usadas para valores nas escala de brilho e escala de saturação do CIELAB. (modificada de Hofer, 1998)

Figura 17- À esquerda (a), a gama de cor da CIELAB de forma idealizada. À direita (b), sólido de cor $L^*a^*b^*$ dado por três componentes: nos eixos horizontais (a^* e b^*) temos a matiz, a^+ no vermelho em oposição à a^- verde, e b^+ no amarelo em oposição a b^- no azul-violeta, e o eixo vertical L^* temos a luminosidade de 0 (preto) a 100 (branco).

Para descrever uma cor, simplificada, é comum utilizar a notação matiz-modificador tonalidade, sendo a matiz a cor dominante, modificador uma cor secundária e a tonalidade uma combinação de brilho e saturação, podendo ser: pálido (*pale*), quando a cor é clara e fraca; intenso ou vivo (*bright*), quando é clara e forte; apagado (*dull*), quando é escura e fraca; e profundo (*deep*), quando é escura e forte.

Na figura 18 ao lado temos quatro exemplos de tonalidades dentro do matiz púrpura-vermelho 5RP (palheta de cores da figura 16). Sendo o eixo vertical a luminosidade e o horizontal a saturação.

Figura 18- Exemplo de tonalidades diferentes dentro do mesmo matiz.

1.4 Diamantes coloridos

A cor de um mineral resulta da absorção seletiva de luz por ele transmitida ou refletida que dependem de uma série de condicionantes físicas e químicas. No caso do diamante, o mineral é incolor no seu estado ideal, porém, são reportadas espécies de várias colorações, do branco leitoso ao preto, cores cobrindo todo o espectro. Cristais incolores podem apresentar diferentes graus de tonalidade amarelada, que são de importância fundamental na sua comercialização. Este aspecto fez com que se desenvolvesse toda uma terminologia própria para classificação da cor gemológica. Para classificação mineralógica podemos simplificar reconhecendo visualmente cristais incolores, incolores amarelados e coloridos. Diamantes coloridos de cores intensas ou cores excepcionais (conhecidos como *fancies diamonds*) devem ser bem especificados por alcançarem preços até centenas de vezes superiores em relação aos cristais incolores dentro de uma mesma faixa de peso.

1.4.1 Cronologia dos Diamantes coloridos

Os diamantes coloridos tiveram alguns pontos de destaques na história para o mercado, aos olhos do público e para os laboratórios gemológicos (King, 2006).

Entre 1631 e 1668 um negociante de gemas francês, Jean-Baptiste Tavernier, fez seis viagens à Índia. Em 1642, ele adquiriu um cristal de diamante de 112,5ct que ficou conhecido como “*Tavernier Blue*”. Este foi roubado do tesouro francês em 1792, o “*Tavernier Blue*” foi relapidado passando de 67,5ct para 45,52ct e ressurgiu no mercado Inglês em 1830, quando foi adquirido por Henry Thomas Hope.

Em 1726 é a data da primeira documentação da famosa pedra “*Dresden Green*”: uma carta de um mercador de Londres oferecendo o diamante para Friedrich Augustus da Saxônia por 30.000 libras esterlinas.

A cerca de 1878 o diamante “*Tiffany*”, talvez o mais famoso de todos os diamantes amarelos, é descoberto na mina de Kimberley na África do Sul. De 287ct bruto passou para 128,54ct lapidado numa forma modificada de brilhante quadrada.

Em 1903 a mina “Premier” da África do Sul (renomeada de “Cullinan” em 2003) é descoberta. Além da produção do maior diamante incolor, a mina se tornou conhecida pelos seus soberbos diamantes azuis.

Em meados de 1950 laboratórios começam relatar pesquisas sobre origem das cores nos diamantes. E o mercado começa a estabelecer uma classificação quanto à graduação de cor.

Em 1958 Harry Winston doa o diamante “*Hope*” para o Instituto Smithsonian em Washington, D.C., onde é visto no museu por milhões de visitantes por ano.

Em meados de 1970 foi introduzido cortes de lapidação experimentais para intensificar a cor de diamantes amarelos na face de cima, o que criou uma revolução na lapidação de diamantes coloridos. A partir daí os diamantes coloridos não tinham mais que seguir os padrões de cortes e estilos de lapidação e proporções usados para os incolores e incolor-amarelados.

Em 1979, o primeiro cristal de diamante é encontrado na área onde agora é a mina de Argyle na Austrália, que se tornou rapidamente um produtor em larga escala mundial. A produção inclui pedras marrons chamadas criativamente pelo mercado de diamantes “conhaque” e “champagne”, assim como, em escala menor, mas considerável, os raros diamantes rosas.

Em Abril de 1987 na Christie’s em Nova York, um diamante vermelho-púrpura de 0,95ct, conhecido como “*Hancock Red*” é vendido por 880.000 dólares americanos. Um recorde de preço por quilate (US\$926.000) alcançado por qualquer gema em leilões até então.

Em novembro de 1988 gemologistas conduzem o primeiro exame gemológico completo do “*Dresden Green*”, um dos poucos diamantes verdes cuja cor é sabida ser de origem natural, com peso de 41ct. Em dezembro do mesmo ano a cor do *Hope* é graduada pelo GIA (*Gemologic Institute of América*) como excepcional azul-acinzentado escuro (*Fancy Dark grayish blue*) e com pequenas inclusões difíceis de ver com a lupa (VS₁) na graduação de pureza. Mais tarde em 1995 o GIA introduziu mudanças no sistema de graduação dos diamantes coloridos, introduzindo os termos Colorido excepcional profundo e colorido excepcional vívido, atualizando, então, a cor do *Hope* em 1996 para Colorido excepcional azul-acinzentado profundo (*Fancy Deep grayish blue*).

Em 2003 se estabeleceu a Associação de Diamantes Naturais Coloridos (NCDIA), organização destinada a promover os diamantes naturais coloridos.

De Junho a Setembro de 2003 aconteceu a exibição “*The Splendor of Diamonds*” no Instituto Smithsonian. Foram mostrados um diamante incolor ao lado de seis diamantes coloridos, incluindo o “*Allnatt*” de 101,29ct e cor amarelo vívido, o “*Steinmetz Pink*” de

59,6ct e cor rosa vívido, e o “*Heart of Eternity*” de 27,64ct e cor azul vívida. E de novembro 2004 a julho de 2005, foi exibido no mesmo museu, o “Aurora Butterfly of Peace Colloection”, consistindo numa coleção de 240 diamantes coloridos, num total de 166,94 quilates.

1.4.2 Diamantes Coloridos em Exposição Pública

Na tabela 8 são listados alguns dos mais famosos diamantes coloridos que se encontram em exposição pública em museus ao longo do mundo, modificado de Hofer (1998).

<i>Peso</i> (ct)	<i>nome</i>	<i>cor</i>	<i>Local</i>
128,51	Tiffany	Amarelo	Tiffany & Company (USA)
67,89	Vitória-Transvaal	Marrom	Instituto Smithsonian (USA)
45,52	Hope	Azul	Instituto Smithsonian (USA)
41,00	Dresden	Verde	Museu Albertinum (Alemanha)
38,00	Dresden	Amarelo	Museu Albertinum (Alemanha)
30,82	Unzue	Azul	Instituto Smithsonian (USA)
22,00	sem nome	Amarelo	Instituto Smithsonian (USA)
21,32	Hortência	Rosa	Museu do Louvre (França)
18,30	Shepard	Amarelo	Instituto Smithsonian (USA)
13,35	Paul I	Rosa	Museu Nacional do Kremlin (Rússia)
12,00	sem nome	Amarelo	Instituto Smithsonian (USA)
10,73	Eureka	Amarelo	Museu da mina Kimberley (África do Sul)
10,00	Penthièvre	Amarelo	Museu Condé (França)
9,75	sem nome	Amarelo	Museu de História Natural (França)
9,01	Condé	Rosa	Museu Condé (França)
9,00	sem nome	Negro	Instituto Smithsonian (USA)
5,03	DeYoung	Vermelho-marrom	Instituto Smithsonian (USA)
2,90	DeYoung	Rosa	Instituto Smithsonian (USA)

Tabela 8- Uma tabela de diamante coloridos que estão em exposição para visitação pública.(modificada de Hofer,1998)

1.4.3 Raridade

A raridade é um fator muito importante em se tratando de diamantes coloridos (...”Raridade deve ser o responsável pelo status dos diamantes coloridos, por cada diamante colorido excepcional (*fancy*) natural há pelo menos 10.000 diamantes incolores.”- E.Fritsch,1991 apud Hofer,1998). Embora seja verdade dizer que todos os diamantes coloridos naturais (de cores excepcionais) são raros, há uma diferença de raridade dependendo da matiz (cor principal) e suas variações (cores secundárias e tonalidades). Como foi visto anteriormente (na secção 1.3 Cor e Teoria de Cores), pelo modo como as cores são percebidas pela visão humana, raramente na natureza vai ser encontrado algo de cor espectral pura, e sim misturas de estímulos que resultam em uma sensação semelhante ao da cor espectral. Neste sentido os diamantes não são diferentes, e quando um diamante colorido é visto, pode se identificar uma, duas ou até três matizes diferentes. A figura 19 mostra, esquematicamente, matizes consideradas principais dispostas circularmente e as ligações entre elas sugerindo que estas são combinações possíveis e já relatadas em diamantes coloridos.

Figura 19- Combinações de cores encontradas em diamantes. (modificada de Hofer,1998)

A palavra raridade se refere à frequência com que é encontrado ou visto certo espécime. Para o diamante podemos definir dois tipos de raridade: a verdadeira e a comercial. A raridade verdadeira (R) em diamantes coloridos se refere à raridade imposta pela natureza, o quão difícil de encontrar certas condições que geram as cores nos diamantes naturalmente. A raridade comercial (Rf) é uma raridade falsa imposta pelo homem, vendedores e compradores de diamantes, envolve o desejo e a demanda do mercado. Utilizamos aqui a raridade proposta por Hofer (1998) baseada em suas experiências nas áreas técnicas e comerciais, e em diversos trabalhos publicados por especialistas como Collins, Fritsch, Gübelin, Nassau, Rossman e Shigley para chegar a uma estatística de raridade. A legenda dos termos utilizados para definir a raridade pode ser vista na tabela 9 e será utilizada mais à frente neste trabalho, onde é discutido cada cor de diamante separadamente (na secção 3).

<i>Raridade Verdadeira</i>	<i>Raridade Comercial</i>
R1- Excepcional	Rf1- Extrema
R2- Notável	Rf2- Definitiva
R3- Razoável	Rf3- Moderada
R4- Modesta	Rf4- Fraca
R5- Comum	Rf5- Comum

Tabela 9- Escala de raridade de R1 a R5, raridade verdadeira baseadas nas leis naturais da física; e de Rf1 a Rf5 a raridade comercial, uma falsa raridade baseada na opinião comercial. (“*True and false rarity*” modificada de Hofer, 1998)

Uma observação importante sobre estas classificações de raridades é que as raridades ditas verdadeiras se referem somente aos diamantes coloridos naturais, ou seja, que foram encontrados na natureza deste modo, que não tiveram a sua cor modificada em laboratório.

1.4.4 Diamantes Tratados

Alguns diamantes naturais de baixa qualidade são tratados em laboratório por vários processos com a finalidade de alterar sua aparência (modificando as características de cor e pureza que foram descritas na secção 1.2.10 Classificação

Gemológica), resultando em um diamante que possa ser mais rentável. Diamantes tratados podem ter uma cor mais atrativa por terem suas cores alteradas ou podem ter uma aparência de melhor qualidade (maior pureza) por parecer ter menos inclusões internas após o tratamento. O reconhecimento de tratamentos em diamantes naturais geralmente é muito mais desafiador para o gemólogo do que reconhecer um diamante entre outras gemas simulantes (imitações). Alguns tratamentos são similares a processos geológicos que afetam os diamantes na Terra. Esse fato complica o processo de identificação, e muitas vezes é impossível sem elaborados testes. Já os tratamentos que não tem correspondente na natureza são mais fáceis de reconhecer. De qualquer modo, o reconhecimento de diamantes que receberam tratamentos realizados em laboratórios e de diamantes totalmente naturais é importante pois tem uma implicação direta no valor comercial da pedra (com uma enorme diferença entre eles). As informações sobre tratamentos em diamantes desta secção foram obtidas nos trabalhos de Harlow (1998), Del Rey (2002), Berringer (2006) e Newman (2005).

Entre os tratamentos que modificam a pureza estão o furo a laser (utilizado por exemplo para eliminar algum ponto escuro incluso na pedra dando a impressão que esta está mais limpa) e o preenchimento de fraturas (que faz a pedra parecer mais uniforme). Estas duas podem ser facilmente identificadas ao microscópio. Tratamentos chamados de HPHT (*High Pressure, High Temperature*), um processo de alta pressão e alta temperatura (em maquinários semelhantes aos utilizados para fabricação de diamantes sintéticos), são utilizados tanto para melhorar a cor quanto a pureza. O tratamento HPHT é relativamente recente (utilizado a primeira vez por volta de 1970) e sua detecção é complexa pois recria as condições de formação do diamante na Terra.

Os chamados tratamentos de cor (processos para mudar a cor) podem ser divididos em dois grupos: os que envolvem revestimentos em diamantes e os que envolvem radiação. O primeiro grupo, o dos revestimentos são mais antigos porém difícil de se encontrar no mercado atualmente. São tingimentos por banhos ou capas de camadas finas, películas de outros materiais ou mesmo de diamante sintético (CVD- *Chemical vapor deposition*) com a finalidade de melhorar a cor. Estes tipos de tratamento são reversíveis e facilmente detectados ao microscópio.

Já os tratamentos de cor envolvendo irradiação, muitas vezes combinados com aquecimento reproduzem a exposição que um diamante natural pode ter à uma fonte de

radiação natural (minerais contendo urânio ou tório) que cria centros de cor. Por esse motivo são difíceis de se detectar. Experiências de irradiação de diamantes para melhoramento de cores foram feitas desde o início do século XX. Existem várias técnicas de irradiar diamantes, sendo que as técnicas iniciais eram perigosas para a saúde pública, dado que as pedras assim tratadas permaneciam radioativas. Os dispositivos atualmente utilizados para irradiar diamantes incluem os aceleradores lineares de partículas, dispositivos de raios gama e reatores nucleares. A irradiação por elétrons modifica apenas a cor da superfície do cristal, produzindo uma concentração de cor nas zonas onde este é mais estreito, o que permite efetuar a sua identificação. Os tratamentos de irradiação + aquecimento podem produzir cores como o verde, azul, amarelo, laranja e preto (verde muito escuro) à partir de diamantes com cores menos atrativas como marrons e amarelos pálidos.

Em geral a determinação de tratamentos de cores é baseada no maior número de informações possíveis do diamante testado em comparação com base de dados obtidos previamente de diamantes naturais e de diamantes tratados. Dados importantes para uma confirmação de tratamentos de irradiação podem vir do espectro de absorção no visível e no infravermelho obtidos em um espectroscópio (como será discutido na secção 2 Metodologia e 3 Discussão).

1.4.5 Sistema GIA de Classificação das Cores Excepcionais (*Fancies*)

Para diamantes coloridos o aspecto da cor é muito mais importante do que os outros Cs (pureza, lapidação e peso) para a determinação do valor, e por isso é um ponto crítico saber se ela é natural ou veio decorrente de algum tratamento e como ela é descrita e classificada. Em 1994 na revista *Gems and Gemology*, o artigo “*Color Grading Colored Diamonds at the GIA Gem Trade Laboratory*” (de autoria de King et al, 1994) foi o primeiro a escrever sobre a metodologia e terminologia usada na classificação de cor no GIA. A descrição da cor utilizada pelo GIA é baseada no sistema de cor de Munsell. A partir do círculo contínuo de matizes de máxima saturação, são separados 27 setores de matizes (como mostra a figura 20), e para cada setor é feita uma carta com variações no tom (luminosidade de claro ao escuro) e na saturação (intensidade de fraco a forte). Assim, a terminologia utilizada

representa uma combinação dos tons e saturação da cor do diamante: “*Fancy Vivid*” (Excepcional Vívido), “*Fancy Intense*” (Excepcional Intenso), “*Fancy Deep*” (Excepcional Profundo), “*Fancy Dark*” (Excepcional Escuro), “*Fancy*” (Excepcional), “*Fancy Light*” (Excepcional claro), “*Light*” (claro), “*Very Light*” (muito claro) e “*Faint*” (tênue ou pálido). De acordo com o sistema do GIA os diamantes azuis e rosas são chamados de excepcionais à partir de uma tonalidade leve (de S a Z comparada com a tabela de classificação de cor dos incolores – ilustrados na figura 10 e tabela 5), enquanto os amarelos que são mais comuns precisam de um pouco mais de saturação para serem considerados excepcionais. Diamantes que tiveram sua cor alterada artificialmente não recebem a graduação de cor.

Figura 20- Círculo de matizes ilustrando as 27 matizes utilizadas pelo GIA para descrição de diamantes coloridos. Este exemplo reproduz um nível forte de saturação para cada matiz. (modificada de King, 2006_b)

Diamantes coloridos são classificados somente pela cor da face superior (pedra vista de cima – mesa da coroa). É usada uma caixa de luz para evitar a interação com a luz ambiente. A geometria entre a fonte de luz, o diamante e o observados também é importante: a luz é posicionada diretamente acima do diamante e o observador olha para este em um ângulo aproximadamente perpendicular a faceta mesa. Uma vez que a cor principal foi determinada, a pedra é comparada lado-a-lado sob a mesma iluminação com pedras padrões (que já tiveram suas cores determinadas anteriormente e que servem como referência). Uma observação importante na tradução é que em inglês a cor principal é colocada depois das variações de tonalidades e cores secundárias (ao contrário do português onde a cor principal é colocada antes da secundária e sua tonalidade). Cores claras ou escuras com pouca saturação são as mais difíceis de se separar. A palavra rosa substitui o vermelho em tons médio para mais claros e em saturações moderadas para as mais fracas. As cores em transição para tons mais escuros ou saturações mais fracas aparentam mais cinzas ou marrons dependendo se a cor é mais fria ou quente respectivamente. (King, 2006)

Essa classificação das cores não necessariamente corresponde à beleza da gema, pois esta também depende de sua pureza e matiz (Suwa, 2002). Algumas Cartas de referência de cor para diamantes coloridos sistema GIA GTL serão adicionadas mais à frente na discussão de cada cor separadamente (na seção 3).

2 METODOLOGIA

A espectroscopia é o principal método para se separar os tipos de diamantes e estudar as causas de cor.

2.1 Espectroscopia

Em química e física o termo espectroscopia é a designação para toda técnica de levantamento de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra. É o estudo da interação luz (radiação)-matéria (Atkins, 2003; Moore, 1976; Wikipedia, 2008). O resultado gráfico de uma técnica espectroscópica qualquer é chamado espectro. Sua impressão gráfica pode ser chamada espectrograma ou, por comodidade, simplesmente espectro. São três os principais tipos de processo pelos quais a radiação interage com a amostra e é analisada: Espectroscopia de absorção que correlaciona a quantidade da energia absorvida em função do comprimento de onda da radiação incidente; Espectroscopia de emissão que analisa a quantidade de energia emitida por uma amostra contra o comprimento depois de uma excitação com luz monocromática. Consiste fundamentalmente na reemissão de energia previamente absorvida pela amostra (fotoluminescência); e Espectroscopia de espalhamento (ou de dispersão) chamada Raman que determina a quantidade da energia espalhada (dispersa) em função de parâmetros tais como o comprimento de onda, ângulo de incidência e o ângulo de polarização da radiação incidente.

Quando a espectroscopia de absorção utiliza luz na faixa do visível (VIS), do ultravioleta (UV) próximo e do infravermelho próximo (NIR) é chamada espectroscopia UV/VIS ou espectrofotometria (que envolve espectroscopia de fótons nas regiões próximas do visível). A transmissão ótica ou absorbância determina quantos fótons são absorvidos pela interação da luz com os elétrons. Neste trabalho serão enfocados os métodos de espectroscopia UV/VIS e a sua utilidade na análise dos diamantes. O centro de cor é identificado no intervalo entre 250-900nm. O resultado do espectro de absorção nesta região pode então ser analisado e utilizado para separar os tipos de diamantes naturais, dos sintéticos e dos naturais que sofreram tratamento, pois cada

um tem um espectro característico, como mostrado na figura 21. Os espectros característicos serão discutidos em detalhes na secção 2.3.

Figura 21- Espectros característicos dos diferentes tipos de diamante. A linha de cima corresponde ao diamante tipo I (com nitrogênio) e as duas abaixo do tipo II (com pouquíssimo ou sem nitrogênio), distinguindo-se o tipo IIb que contém boro do IIa que não o contém. (Mottana, 1990)

2.2 Preparação das Amostras e Instrumentos Utilizados

Espectrômetro ou espectroscópio é um instrumento ótico utilizado para medir as propriedades da luz de uma porção específica do espectro eletromagnético. O instrumento usado na espectroscopia UV/VIS pode ser chamado de espectrofotômetro. Para se obter informação sobre a absorção de uma amostra, ela é inserida no caminho óptico do aparelho. Então, luz em um certo comprimento de onda (ou uma faixa de comprimentos de ondas) é passada pela amostra. O espectrofotômetro mede a quantidade de luz que foi absorvida pela amostra. A intensidade da luz inicial (antes de passar pela amostra) é simbolizada por I_0 , e a intensidade da luz depois de passar pela

amostra é simbolizada por I . A transmitância da amostra é definida pela razão (I / I_0) , e normalmente é expressa em porcentagem de transmitância (%T). A partir dessa informação, a absorbância é determinada em função de uma faixa de comprimentos de onda pela seguinte fórmula: $A = -\log_{10}(I / I_0)$, onde A é a absorbância medida, I_0 é a intensidade da luz incidente a um dado comprimento de onda, I é a intensidade transmitida pela amostra. Um espectro ultravioleta-visível é essencialmente um gráfico (ou plotagem) da absorbância versus o comprimento de onda na faixa do ultravioleta e/ou visível. (Wikipedia)

Como a luz pode ser caracterizada por três maneiras diferentes: por seu comprimento de onda (λ), pelo seu número de onda $\nu = 1/\lambda$ na unidade cm^{-1} ou por sua energia hf em unidades elétrons-volts (eV), onde h é a constante de Planck que corresponde a $6,626 \cdot 10^{-34}$ no sistema internacional de unidades (SI); e cada autor usa uma convenção diferente, a relação entre elas se faz muito útil: $\text{energia(eV)} = 1240/\lambda \text{ (nm)} = 1,240\nu \text{ (cm}^{-1})/10^4$ (Wilks e Wilks,1991).

Os componentes do espectrômetro são: uma fonte de energia radiante; um sistema colimador (exemplos:fendas,lentes); local destinado às amostras (porta-amostra); um sistema monocromador (prismas e redes de difração); um sistema detector (detectores, transdutores, fotomultiplicador); processador; e saída (exemplo: monitor ou impressora).

(a)

(b)

Figura 22- (a) Colorímetro gemológico. (b) Espectrômetro FieldSpec 3 (ASD Inc.,2008)

Existem dois tipos principais de instrumentos para medir a cor: os espectrofotômetros e os colorímetros de refletância. Um colorímetro (figura 22 (a)) é descrito geralmente como qualquer instrumento que caracteriza amostras de cores para obter uma medida objetiva das características da cor (matiz, saturação e brilho). Os espectrofotômetros de refletância medem o montante de luz refletida por uma amostra em muitos intervalos de banda curta no comprimento de onda, resultando em um

espectro de refletância. Em contraste, colorímetros tristímulos empregam três filtros de banda larga para obter três números que podem ser convertidos diretamente para valores tristímulos. Conseqüentemente os colorímetros não podem providenciar dados de refletância espectral. Até recentemente os colorímetros eram preferidos aos espectrofotômetros devido ao seu baixo custo de fabricação e portabilidade. Hoje, com o avanço da tecnologia, os espectrofotômetros se tornaram portáteis e com uma grande redução em seu custo, com os colorímetros perdendo as vantagens competitivas que existiam no passado (ITG,2008). Neste trabalho foi utilizado o espectrômetro da ASD Inc. (*Analytical Spectral Devices Inc.*), modelo FieldSpec® 3 (mostrado na figura 22 (b)).

As análises dos diamantes por espectroscopia foram feitas no Instituto de Química da Universidade de São Paulo utilizando o FieldSpec 3. O alcance espectral do instrumento é de 350 a 2500nm; com intervalos de amostragem de 1,4nm para intervalo de 350-1050nm e resolução de 3nm por volta de 700nm. O instrumento possui três detectores, neste caso, o que foi utilizado para o intervalo de interesse 350-1000nm (esta região é definida no manual do usuário como VNIR) foi o fotodiodo Si de 512 elementos. Um cabo de fibra ótica (figura 23 (b)) de 1,4m com campo de visão de 25° serve como entrada de informação para o espectrômetro ao mesmo tempo transporta a luz da fonte para a amostra como mostra a figura 23 (a). Este tipo de arranjo de espectroscopia com fibra ótica também é chamado de “*Guided Wave*”.

Figura 23- Componentes do espectrômetro utilizado, em (a) Parte do arranjo mostrando a ponta da fibra ótica e o porta amostra e em (b) o cabo de fibra ótica. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler.

O espectrômetro foi calibrado com óxido de magnésio como é de costume e colocado no modo para medir a absorbância. Depois foram obtidos espectros sobre o porta-amostras vazio e de um cristal lapidado de zircônia cúbica incolor para servirem de referência para o fundo (estes podem ser vistos no anexo). Estes espectros

mostraram algumas perturbações com picos nos intervalos 547-549nm, 602-603nm, 620-622nm e 633-634nm. Portanto em todos os outros espectros estes picos devem ser desconsiderados.

Figura 24- Instrumentos utilizado nas medidas dos diamantes- Diamond Gauge sobre uma pinça gemológica. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler.

Além da espectroscopia que foi feita com 10 diamantes, todos os 49 diamantes coloridos do acervo do museu de geociências foram pesados em uma balança gemológica de precisão, modelo Quantum 50c fabricada nos Estados Unidos da América com resolução de 0,01 quilates, e tiveram suas dimensões medidas por um medidor especial para diamantes (Diamond Gauge) visto na figura 24. Todos os diamantes analisados neste trabalho também foram fotografados com uma câmera fotográfica digital – Caplio GX8. O programa Paint.net v3.36 foi utilizado para tratar a imagem das fotos ou modificar as figuras que são vistas ao longo da dissertação.

2.3 Interpretação dos espectros

Diamantes em geral contém mais de um tipo de impureza ou defeitos, e cada um deles irá resultar em diferentes centros ópticos, fazendo contribuições separadamente para a absorção. Como resultado o espectro de absorção é complexo e sua interpretação não é trivial. Serão recordados e apresentados exemplos de espectros publicados por Wilks & Wilks (1991) que apresentam absorção devidas a um tipo isolado de centro óptico por vez. Estes espectros foram obtidos pelos seguintes

espectrômetros: um Perkin Elmer 325 para o infravermelho e um Perkin Elmer Lambda 9 para ultravioleta e visível.

Para começar, a descrição do espectro de um diamante perfeito livre de qualquer impureza ou defeito na estrutura. Embora um diamante perfeito não produza absorção da luz visível, este exibe uma considerável absorção tanto na região do infravermelho quanto do ultra-violeta. Como pode ser observado na figura 25, na região do ultra-violeta, acima de 5,5eV ocorre absorção por causa da luz ter energia suficiente para transferir elétrons através da banda proibida, e na região do infravermelho (com energias por volta de 100meV) temos absorção característica da frequência de vibração que ocorre por causa da excitação dos átomos do diamante produzida pelos fótons da radiação incidente.

Figura 25- Espectros do diamante puro (tipo IIa). À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks, 1991)

Impurezas atômicas num sólido isolante podem agir como um centro ótico criando uma absorção óptica. Considerando o efeito na estrutura eletrônica do diamante quando um átomo de carbono é substituído por um átomo de nitrogênio, o elétron livre do nitrogênio cria níveis intermediários na banda proibida possibilitando então a absorção de uma energia menor que a necessária para o diamante sem nitrogênio. No infravermelho, a números de onda entre 800 a 1450 cm^{-1} , pode-se observar absorções devido à substituição de nitrogênio e a forma e a localização dos picos da absorção são uma função do estado da agregação do nitrogênio. A seguir serão descritos os principais centros formados por nitrogênio (A,B,C,N3).

Figura 26- Espectros de diamante com centro A. À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks, 1991)

A figura 26 mostra curvas de absorção de um diamante com centro A (dois átomos de nitrogênio substituindo dois átomos de carbonos adjacentes). É provavelmente o defeito mais comum nos diamantes naturais. O espectro no infravermelho, com números de ondas maiores que 1400cm⁻¹, mostra uma curva similar ao espectro do diamante limpo visto na figura 25, pois a vibração do retículo cristalino permanece sem muita alteração. Já na região entre 1000 e 1400cm⁻¹ do mesmo espectro, observa-se a curva de absorção característica deste centro A. No espectro do UV também podem ser notadas a diferença na absorção começando com energias menores (por volta de 320nm). Porém, também se percebe que este centro isoladamente não absorve na região do visível, não sendo, portanto, um centro de cor no diamante.

A figura 27 mostra curvas de absorção de um diamante com apenas o centro B. O centro B é descrito como um pequeno grupo ou agregado de numero par de átomos de nitrogênio que substituem átomos de carbono, possivelmente consiste em 4 átomos adjacentes de nitrogênio em conjunto com uma vacância (Bursill e Glaisher, 1985). Na faixa de 800 a 1500cm⁻¹, no infravermelho, o espectro do diamante mostra uma curva um pouco diferente da produzida pelo centro A; e no UV, produz menos absorção que o centro A e mais que o diamante puro.

Figura 27- Espectros de diamante com centro B. À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks, 1991)

A figura 28 mostra curvas de absorção de um diamante tipo Ib, possuindo um átomo de nitrogênio isolado em substituição a um átomo de carbono que é chamado por alguns de centro C. É um defeito típico da maioria dos diamantes sintéticos, mas também observado nos naturais. Apresenta absorção característica do nitrogênio na faixa entre 1000 e 1500cm^{-1} no IR, porém com uma forma um pouco diferente da mostrada no espectro do centro A ou do B (figuras 26 e 27, respectivamente). Ao contrário dos espectros anteriores, este mostra uma alta absorção no UV com pico por volta de 270nm , alcançando a região do visível resultando numa cor amarelo intenso, laranja ou mesmo verde para o diamante em função da intensidade de absorção.

Figura 28- Espectros de diamante com defeitos relacionados com um átomo substitucional de Nitrogênio isolado (centro C). À esquerda, região do ultra-violeta próximo e visível; e à direita região do infravermelho. (Wilks e Wilks, 1991)

A figura 29 mostra a curva de um espectro no ultra-violeta e visível de um diamante com concentração relativamente alta de centro N3, defeito descrito por Bursill e Glaisher (1985) como sendo três átomos de nitrogênio em volta de uma vacância. A absorção dada por este centro tem um pico característico por volta de 415nm, juntamente com uma banda que se estende por comprimentos de onda mais curtas. Normalmente este centro não se apresenta sozinho mas em diamantes com centros A ou B. Do outro lado, o espectro de diamantes desse tipo mostra a curva no IR com um pico em 1370cm⁻¹ acentuado. A magnitude desse pico está relacionada a presença de plaquetas contendo nitrogênio no interior do reticulo cristalino do diamante.

Figura 29- À esquerda, espectro de diamante com centro N3 no UV/VIS. À direita, espectro de diamante com plaquetas de nitrogênio no infravermelho. (Wilks e Wilks, 1991)

Foram descritos os espectros característicos dos principais defeitos relacionados com nitrogênio, a composição destes descreve a maioria dos espectros de diamantes naturais (por volta de 98%), os chamados tipo I. Como dito anteriormente os diamantes tipo II não apresentam absorção entre 800 a 1400cm⁻¹, por conter muito pouco ou nada de nitrogênio. O espectro da figura 30 é de um diamante tipo IIb. Apesar deste espectro ser muito parecido com o do diamante puro, livre de imperfeições, que seria do tipo IIa, na região do infravermelho nota-se um pico pronunciado em 2460cm⁻¹ e 2790cm⁻¹ causado pelo boro, e se a concentração de boro for suficiente ela causará também uma absorção no final do espectro do visível (no vermelho) resultando em uma cor azul para o diamante. A tabela 10 sintetiza as absorções típicas do diamante relacionando os centros que a causam e indicando sua posição em relação à energia e comprimento de onda.

Figura 30- Espectro de diamante tipo IIb (com Boro). (Wilks e Wilks, 1991)

Centro	$E_{\max}$	Coloração
A	0,159eV 1282cm ⁻¹ 7,8μm	Incolor
B	0,147eV 1185cm ⁻¹ 8,4μm	Incolor
N isolado	0,140eV 1130cm ⁻¹ 8,85μm	Amarelo forte
N3	2,985eV 415nm	Amarelo pálido
Plaquetas	0,169eV 1370cm ⁻¹ 7,3μm	Incolor
Boro	0,305eV 2460cm ⁻¹	Azul
	0,347eV 2790cm ⁻¹	
Discordâncias		Marron

Tabela 10- Principais centros óticos no diamante. $E_{\max}$ é a energia da radiação na posição de máxima absorção causada pelo centro ou (no caso do centro N3) a posição da linha no fônon-zero. (Wilks e Wilks, 1991)

Além do Nitrogênio e do Boro, vários outros elementos podem estar presentes na estrutura do diamante. Atualmente alguns pesquisadores acreditam que defeitos relacionados ao Hidrogênio também podem estar relacionados com centros de cor, como a absorção em 550nm que está presente nos azuis-acinzentados não condutivos, violetas, rosas (Fritsch e Scarratt, 1992). O hidrogênio é identificado no espectro do infravermelho pelas linhas de absorção em 3107 e 3237cm⁻¹ (Woods e Collins, 1983; Davies et al, 1984).

2.4 Transformando o espectro em Cor

Os espectrofotômetros de refletância medem o montante de luz refletida por uma superfície como uma função de comprimento de onda para produzir o espectro de refletância. O espectro de refletância de uma amostra pode ser usado em conjunto com a função do observador padrão da CIE e a distribuição relativa da energia espectral do iluminante, para calcular os valores tristímulos CIE XYZ daquela amostra sob aquele iluminante (ITG, 2008).

Figura 31- Experimento com cores-luz para obtenção de funções de reprodução de cor. (Bertulani, 2008)

A partir de experiências as cores-luz básicas, vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*), daqui para frente sendo denominado de RGB, são obtidas funções que combinadas reproduzem as cores espectrais. Como já foi visto anteriormente (na secção 1.3 Cor e Teoria de Cor), o olho humano não consegue perceber componentes, desta forma o que se fez foi projetar uma luz em um determinado anteparo e regulando-se a intensidade das cores RGB tentar produzir a mesma sensação de cor desejada $C(\lambda)$ (metamerismo), como mostra a figura 31 (a). Entretanto, este sistema não consegue representar todas as cores visíveis. A solução para contornar este problema, foi de utilizar o artifício da subtração, ou seja, faz-se uma das componentes RGB interagir com a cor desejada ($C(\lambda)$), produzindo então uma nova cor procurando com as outras duas restantes conseguir o metamerismo (figura 31 (b)). De acordo com o artifício de subtração utilizado, pode-se montar funções de reprodução de cor,

chamadas de funções $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, e $\bar{b}(\lambda)$, como mostrado na figura 32 (a), de modo a formarem as cores espectrais. Deve-se somente frisar que estas funções $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, e $\bar{b}(\lambda)$, mostradas não são as distribuições espectrais, e sim funções que se combinadas reproduzem as cores espectrais, como por exemplo a cor $C(\lambda)$. De forma a não utilizar valores negativos, o CIE, em 1931, definiu padrões primários (X, Y e Z), para substituir as cores RGB, para representar o espectro de cor, obtendo as funções de reprodução de cor chamadas de $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, e $\bar{z}(\lambda)$. Estes padrões não correspondem a estímulos reais de cor, ou seja, não são cores visíveis. Um outro detalhe importante, é que o padrão Y foi escolhido, de forma a ser semelhante à curva de sensibilidade do olho humano (luminância). Deste modo, as funções de reprodução de cor são descrições numéricas da resposta cromática de um observador padrão de acordo com experiências realizadas, sendo, estas funções dependentes do tipo de iluminação utilizada e do arranjo (posições entre luz-objeto-observador) da experiência.

Figura 32- Funções de reprodução de cor: (a) com valores tri-estímulos RGB e em (b) com valores tri-estímulos XYZ. (Wikipedia, 2008)

Tendo então definido as funções de reprodução de cores, os valores tri-estímulos para uma cor com distribuição espectral de intensidade $I(\lambda)$ são dadas pelas fórmulas (1), (2) e (3):

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

E, assim, cada cor ($C(\lambda)$) pode ser definida como uma combinação dos tri-estímulos X,Y e Z, e pode ser localizada dentro de um espaço de cor (neste caso o espaço de cor CIE XYZ). Dentro deste espaço, a cromaticidade da cor pode ser especificada por dois parâmetros x e y (dois dos três parâmetros obtidos pelas equações (4), (5) e (6)) e então desenhadas sobre o diagrama de cromaticidade CIE (x,y) visto na figura 33 (a). (Nota-se que $x+y+z=1$)

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (4)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (5)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y \quad (6)$$

Figura 33- (a) Diagrama de cromaticidade CIE (x,y) em preto e branco, exemplificando como uma cor C, marcada sobre este pode ter sua saturação definida, assim como sua cor complementar (b). (Bertulani, 2008)

Utilizando-se o Diagrama de Cromaticidade do CIE XYZ, pode-se visualizar com mais facilidade conceitos como saturação de uma cor e cores complementares. Na

parte superior da figura 33 (b) pode-se dizer que a saturação da cor C_1 é definida como sendo $a / (a+b)$ e seu comprimento de onda dominante é aquele marcado em C_2 . Na parte inferior da mesma figura verifica-se que $\underline{C}$ é complementar a C pois são cores que quando combinadas produzem a luz branca. Exemplos de cores complementares são: o ciano - vermelho, magenta - verde e amarelo - azul. Lembrando que neste diagrama a luz branca padrão é definida em um ponto próximo de $x = y = z = 1/3$.

As informações desta secção 2.4 Transformando o espectro em cor foram baseadas nas seguintes publicações: Bertulani (2008), Peckett (1992), Piller (1966), Zemansky (1962), Wikipedia (2008) e Vishneysky (2008).

Neste trabalho foram obtidos espectros de absorção de diamantes na região do visível. Os espectros de absorção podem ser convertidos em espectros de reflexão pela relação: $R=(1/10^A)$, onde R é a refletância e A , a absorbância. Porém pela impossibilidade de controle do caminho da luz no experimento, não foi possível fazer a transformação quantitativa dos espectros medidos em valores X, Y e Z . Foi então feita uma aproximação utilizando o aplicativo “*The Spectrum Applet*” (Vishnevsky,2008), no qual foram obtidos os valores CIE XYZ. Com estes valores de X, Y e Z foram calculadas as coordenadas (x,y) (pelas equações (4) e (5)) e estas foram desenhadas no diagrama de cromaticidade CIE (x,y) . Seu comprimento de onda dominante (ou complementar no caso de estar na região do roxo, púrpura ou magenta) e a saturação da cor foi então estimada pelo processo descrito anteriormente. Os resultados serão apresentados na secção 3 junto com a descrição dos diamantes.

3 DISCUSSÃO E RESULTADOS DAS ANÁLISES

Nesta parte do trabalho, as principais cores encontradas em diamantes são discutidas separadamente. Primeiro define-se a cor, discutindo as suas causas em diamantes com base na literatura publicada a respeito. Em conjunto com a discussão são analisados alguns espectros de diamantes coloridos pelo método “*Guided Wave*” que foram cedidos pelo orientador deste trabalho e serviram como referência. Em seguida, é discutida a raridade da cor, e apresentada algumas cartas de referência de cor do sistema GIA. E por fim são apresentados os diamantes coloridos do Museu de Geociência com suas principais características e resultados das análises.

3.1 Diamantes Amarelos

O amarelo é uma cor espectral que está situado entre o verde e o laranja, aproximadamente entre 560 a 590nm. Em pigmentos é uma cor primária. Em objetos transparentes, como é o caso do diamante, o amarelo é resultado da absorção seletiva da luz, especificamente nos comprimentos de onda na região espectral do azul-violeta entre 410 a 480nm. A cor amarela é comumente associada a ouro, âmbar, marfim, girassol, banana, palha, areia, milho, mostarda, creme, manteiga, queijo, cerveja, champagne, vinho branco, cabelo loiro, sol do meio-dia.

O amarelo é a segunda cor mais encontrada em diamantes (Fritsch em Harlow,1998). No final do século dezenove, com a descoberta dos diamantes da província de Cape na África do Sul, a abundância de diamantes amarelados contrastavam com os diamantes incolores que vinham da Índia e Brasil, e por esse motivo os diamantes de tons amarelados ficaram conhecidos como Cape. A maior parte dos diamantes pertence ao tipo Ia que contém agregados de átomos de nitrogênio como impureza na rede cristalina, geralmente apresentam uma linha de absorção em 415,5nm (referente ao centro N3). Na categoria de diamantes amarelos excepcionais (fancy) só entram os que realmente possuam uma cor amarela acentuada, intensa, e geralmente são do tipo Ib, chamados tradicionalmente de “canário”. Os diamantes levemente amarelados entram na classificação dos diamantes incolores (como já foi

visto na seção 1.2.10 Classificação Gemológica, exemplificados na figura 10 e tabela 5).

Os diamantes chamados de “Cape” são do tipo Ia com centro N3 (415nm) e N2 (478nm). Um espectro típico é mostrado na figura 34 (a), onde se nota os dois centros mencionados. Apesar de conter uma concentração maior de nitrogênio que o tipo Ib, estes diamantes apresentam uma coloração pálida e podem ser tratados para intensificação da cor através de irradiação criando vacâncias. Um tratamento térmico em seguida reorganiza essas vacâncias, resultando em centros H3 e H4 com maior absorbância.

Figura 34- Espectro UV-VIS de um diamante Cape em (a), e de um diamante sintético amarelo (b).

A figura 34 (b) mostra um espectro de diamante sintético que geralmente é do tipo Ib. Ele possui cor amarela acentuada típica do centro C, já que pelo crescimento rápido em laboratório os átomos de nitrogênios presentes na estrutura não tiveram tempo de se agregar, formando, assim, substituições isoladas. Este espectro também é típico de diamantes “canário”. As cores amarelas vívidas normalmente são encontradas nos diamantes tipo Ib, quando ocorrem no tipo Ia pode estar relacionada a defeitos associados com hidrogênio ou com níquel.

Diamantes chamados de “*green transmitters*” são predominantemente amarelos, mas aparentam verdes por causa da intensa luminescência na qual componentes azuis e violetas da luz branca são absorvidos e emitidos na região espectral do verde (Collins, 2000). O defeito responsável por esse fenômeno é o centro H3 (pico a 503nm). O espectro da figura 35 (a), de um diamante “*green transmitter*” também apresenta pico em 415nm referente ao centro N3 já discutido. Este fenômeno de luminescência ocorre em diamantes que ficaram expostos à temperaturas

geológicas (tipicamente entre 750 a 1300°C) por uma escala de tempo extremamente longa (10^9 anos ou mais), o que pode ser simulado em laboratório com uma temperatura muito mais elevada a um período de tempo muito mais curto, porém resultando em algumas diferenças. Nos diamantes “*green transmitters*” naturais o agrupamento dos nitrogênios que estavam isolados é quase total (pois os átomos de nitrogênio tendem a se agrupar com o tempo), enquanto que nos aquecidos em laboratório, as altas temperaturas quebram parte do agrupamento presente produzindo outros picos de absorção, como do centro H2 (986nm) e em 1344cm^{-1} . A coexistência de centros A, B e C em concentrações iguais são característica de diamantes tratados por HPHT, com raríssimas exceções como apresentado no trabalho de Hainschwang (2006).

Figura 35- Espectro UV_VIS em (a) de um diamante “green transmitters” e em (b) de um diamante amarelo-esverdeado.

A figura 35 (b) mostra o espectro de um diamante amarelo esverdeado como resultado de irradiação e de vários defeitos na estrutura.

3.1.1 Raridade dos Diamantes Amarelos

No espaço tridimensional das cores, a região do amarelo faz fronteira com o marrom, laranja, verde, oliva, cinza e branco, e os diamantes amarelos podem apresentar estas cores como cor secundária (figura 36). Quando misturado ao verde, oliva ou cinza é considerado um amarelo frio, e misturado ao laranja ou marrom é um amarelo quente. A cor amarela conserva suas verdadeiras características somente em tons claros. Quando misturado em tons mais escuros com laranja aparenta marrom e ao verde, oliva.

Amarelo: Rf1; R5

Amarelo-olivado: R3; Rf4

Amarelo-esverdeado: Rf2; R3

Amarelo-acinzentado: R4; Rf5

Amarelo-alaranjado: R3; Rf3

Amarelo-amarronzado: R4; Rf5

Figura 36-Raridade dos diamantes amarelos, sendo os amarelos puros mais comuns (R5) e ao mesmo tempo valorizado pelo comércio; e os amarelos-esverdeados,olivados ou alaranjados de raridade razoável (R3). (modificada de Hofer,1998)

Considerando o conjunto destas cores secundárias nota-se pela figura 36 que os diamantes amarelos puros, apesar de sua frequência de ser encontrado na natureza ser mais alta, são bem procurados comercialmente, fazendo com que pareçam ser mais raros do que são. Enquanto que os tons de amarelo misturados com oliva, marrom e cinza são menos atraentes, mesmo sendo mais raros na natureza.

3.1.2 Cartas de Referência de Cor

Nas cartas de classificação GIA de diamantes coloridos amarelos, a gama de amarelo é dividida em amarelo frio (amarelo tendendo ao verde) e amarelo quente (tendendo ao laranja), como podem ser vistos nas figuras 37 e 38 respectivamente. A saturação começa elevada em relação a outras cores, pois os amarelos claros, muito claros ou tênues fazem parte da escala dos incolores (D a Z). (King, 2006_b)

Figura 37- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Amarelo frio. (King, 2006_b)

Na matiz amarelo-laranja (figura 39) os tons e saturação são semelhantes as vistas nas matizes amarelas, só que aqui os tons mais claros, com pouca saturação fazem parte da escala dos diamantes marrons (D a Z). E nesta carta os diamantes localizados em baixo à esquerda (na seção Colorido Escuro) são predominantemente marrons, podendo ser descritos como marrom-amarelados. (King, 2006_b)

Figura 39- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Amarelo-laranja. (King, 2006_b)

3.1.3 Diamantes Amarelos do Acervo do Museu de Geociências

Os diamantes amarelos da coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências do IGc são apresentados com suas principais características. São oito diamantes amarelos, sendo que dois estão no estado bruto (números 14b e 28b) mostradas nas figuras 40 e 41 e seis lapidados (figuras 42 a 55). Três destes diamantes foram para análise espectroscópica e os resultados são apresentados como observações adicionais.

Figura 40- Diamante amarelo número 14b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 14b

Peso: 0,69 ct

Pureza: 3

Forma: stone (octaedro)

Cor: Amarelo Pálido

Figura 41- Diamante amarelo número 28b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 28b

Peso: 0,63 ct

Pureza: 2

Forma: shape (octaedro alongado)

Cor: Amarelo-esverdeado Pálido

Figura 42- Diamante amarelo número 21. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 21

Peso: 0,98 ct

Dimensões: 5,9(d) x 5,72 x 4,45mm

Lapidação: almofada redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Amarelo-Laranja Profundo

Figura 43- Diamante amarelo número 30. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 30

Peso: 0,18 ct

Dimensões: 3,05 x 3,62 x 2,32mm

Lapidação: brilhante oval

Pureza: I1

Cor: Excepcional Amarelo-esverdeado Intenso

Figura 44- Diamante amarelo número 35. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 35

Peso: 1,29 ct

Dimensões: 9,53 x 7,12 x 2,50mm

Lapidação: gota

Pureza: I2

Cor: Amarelo Pálido

Figura 45- Diamante amarelo número 13. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 13

Peso: 0,67 ct

Dimensões: 5,30(d) x 4,99 x 3,67mm

Lapidação: almofada

Pureza: I1

Cor: Excepcional Amarelo-esverdeado Vívido

Observações adicionais:

Espectroscopia:

Figura 46- Espectro de absorção do diamante número 13.

O espectro da figura 46 mostra uma absorção começando próximo de 500nm em direção ao UV, típico de diamantes tipo Ib. Este diamante apresenta luminescência verde à luz visível, sendo então chamado de “*green transmitter*”. Porém o pico em 503nm, do centro H3, responsável por este fenômeno não pôde ser notado no espectro.

Informações da cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.36,0.38)

Comprimento de onda dominante = 575nm

Pureza da cor= 25%

Figura 47- Espectro da refletância do diamante número 13.

X= 0.91

Y= 0.94

Z= 0.71

Figura 48- Coordenada cromática do diamante número 13 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 49- Diamante amarelo número 19. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 19

Peso: 0,41 ct

Dimensões: 4,58 x 3,06mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Amarelo-Laranja Vívido

Observações adicionais:

Figura 50- Espectro de absorção do diamante número 19.

Espectroscopia:

O espectro da figura 50 mostra uma absorção desde 550nm em direção ao UV com máximo por volta de 450nm que dá a cor amarelo-laranja ao diamante número 19. Provavelmente este diamante é do tipo Ib.

Informações da cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.39,0.38)

Comprimento de onda dominante = 582nm

Pureza da cor=40%

Figura 51- Espectro da refletância do diamante número 19.

X = 0.89

Y = 0.87

Z = 0.51

Figura 52- Coordenada cromática do diamante número 19 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 53- Diamante amarelo número 27. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 27

Peso: 0,31 ct

Dimensões: 4,12 x 2,83mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Amarelo-esverdeado Claro

Observações adicionais:

Figura 54- Espectro de absorção do diamante número 27.

Espectroscopia:

O espectro figura 54 mostra uma absorção começando próximo de 500nm em direção ao UV, típico de diamantes tipo Ib. Este diamante apresenta luminescência verde à luz visível, sendo então chamado de “*green transmitter*”, porém o pico em 503nm, do centro H3, responsável por este fenômeno é muito discreto, difícil de ser notado.

Figura 55- Espectro da refletância do diamante número 27.

Informações da cor obtidas através do espectro:

Apesar dos valores de X,Y e Z obtidos à partir do espectro de refletância (figuras 47 e 55) dos diamantes 13 e 27 serem diferentes, depois de fazer o cálculo as coordenadas cromáticas são as mesmas. Isso implica que os dois tem a mesma matiz e saturação, sendo diferentes somente na luminosidade.

Coordenada cromática (x,y) = (0.36,0.38)

Comprimento de onda dominante =575nm

Pureza da cor=25%

3.2 Diamantes Marrons

A cor marrom é uma cor espectral modificada, e pode ser considerada a versão mais escura do laranja (geralmente menos saturado). Em pigmentos, o marrom é obtido com a mistura do cinza ou preto com o laranja em diferentes quantidades, ou em pigmentos naturais (como o sépia). Em objetos transparentes, como o diamante, o marrom é resultado da absorção seletiva da luz por todo o espectro do visível, com preferência por comprimentos de onda na região espectral do azul ao verde, próximo de 500nm. A cor marrom é associada ao bronze, outono, castanhas, madeira, areia, couro, terra, sujeira, tabaco, chocolate, café, café com leite, mel, champagne e conhaque (Hofer,1998).

A maioria dos diamantes naturais minerados são de coloração marrom (Fritsch em Harlow,1998), o que os torna menos atraentes. Antigamente estes diamantes eram classificados como industriais (não gemológicos), mas já que nos últimos tempos os sintéticos estão suprindo bem a indústria, houve uma campanha comercial para que estes tons fossem mais aceitos gemologicamente. A coloração marrom pode ocorrer em qualquer tipo de diamantes e na maior parte se deve à absorção de luz devido a defeitos estruturais conforme o grau de deformação laminar. Os diamantes marrons, assim como os levemente amarelados, são grandes candidatos à tratamentos para alteração de cor (*colour enhancement*), como HPHT, radiação e aquecimento, deixando-os com cores mais atrativas (Collins,2000). Dependendo das propriedades iniciais, e dos tratamentos utilizados obtém-se diferentes resultados. Um diamante marrom tipo IIa resulta em um clareamento da cor. Enquanto num diamante tipo Ia, depois do aquecimento, as vacâncias são aprisionadas pelos agregados de nitrogênio, aumentando assim a concentração dos centros H3 e N3, reduzindo a cor marrom e resultando no matiz amarelo. Porém, se a temperatura de aquecimento for muito alta em além do aumento dos centros H3 e N3 acontece a quebra de alguns agregados A resultando em uma absorção no centro H2, produzindo uma componente verde a cor. Tratando o diamante com uma combinação de pressão e temperatura próximos da linha de estabilidade diamante-grafite, pode ser obtido uma forte luminescência verde, semelhante aos diamantes naturais chamados de “*green transmitters*”. Apesar de algumas pedras resultar em marrom após o tratamento, nenhum diamante é tratado para se tornar marrom de propósito.

Figura 56- Espectro UV-VIS de um diamante marrom.

A figura 56 mostra um espectro de diamante natural de cor marrom, com um pico largo entre 450-500nm produzida, provavelmente, pela deformação plástica.

3.2.1 Raridade dos Diamantes Marrons

No espaço tridimensional das cores, a região do marrom faz fronteira com as regiões do branco, cinza, preto, oliva, amarelo, laranja, vermelho, rosa e púrpura, podendo então os diamantes marrons apresentar componentes destas cores. Muitos diamantes de cores excepcionais apresentam uma componente marrom, principalmente amarelos, laranjas e rosas. Os marrom-esverdeados são muitas vezes chamados de oliva. Modificadores verde ou azul pode aparecer nos diamantes marrons por causa de forte fluorescência, dando a estes um aspecto oleoso. Na literatura também foram mencionados diamantes com zonas alternadas de marrom e azul (Crowningshield, 1977). Segue abaixo (figura 57) as combinações com sua respectiva raridade:

Marrom: R5; Rf5
 Marrom-amarelado: R4; Rf4
 Marrom-olivado: R3; Rf5
 Marrom-esverdeado: sem estatística
 Marrom-azulado: sem estatística
 Marrom-esbranquiçado: sem estatística
 Marrom-acinzentado: sem estatística
 Marrom-enegrecido: R4; Rf5
 Marrom-arroxado: R3; Rf3
 Marrom-rosado: R3; Rf3
 Marrom-avermelhado: R2; Rf2
 Marrom-alaranjado: R4; Rf4

Figura 57-Raridade dos diamantes marrons, sendo notáveis as raridades dos marrons-avermelhados (R2) e comuns os marrons puros (R5). (modificada de Hofer,1998)

Com base na figura 57, nota-se que a cor marrom não é muito valorizada. Somente os tons misturados com vermelho, seguido dos misturados com rosas e roxos têm raridade notável (R2) e razoável (R3) com procura de mercado equivalente.

3.2.2 Escala de Referência de Cor

Uma escala de graduação da cor marrom (figura 58) baseada na comparação visual é proposta pela Companhia de Diamantes Argyle. A escala é dividida em sete tons de C1 a C7, sendo C1 e C2 chamados de “Champagne leve”, C3 e C4 “Champagne médio”, C5 e C6 “Champagne escuro” e C7 “Excepcional conhaque” (“Fancy Cognac”).

Figura 58- Exemplo de graduação de cor em diamantes marrons.

Depois destas considerações serão mostrados os diamantes marrons da coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências do IGc com suas principais características. São 12 diamantes com predominância de cor marrom, sendo 4 no estado bruto (figuras 59 a 62) e 8 lapidadas (figuras 63 a.70).

3.2.3 Diamantes Marrons do Acervo do Museu de Geociências

Figura 59- Diamante marrom número 10b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 10b

Peso: 1,30 ct

Pureza: 4

Forma: macle (achatada)

Cor: Marrom-alaranjado Profundo

Figura 60- Diamante marrom número 24b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 24b

Peso: 0,63 ct

Pureza: 4

Forma: shape (octaedro destorcido)

Cor: Marrom-avermelhado Profundo

Figura 61- Diamante marrom número 29b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 29b

Peso: 0,42 ct

Forma: macle (achatado)

Pureza: 3

Cor: Marrom-amarelado Escuro

Figura 62- Diamante marrom número 38b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 38b

Peso: 0,16 ct

Pureza: 3

Forma: cleavage

Cor: Excepcional Marrom-rosado Pálido

Figura 63- Diamante marrom número 2. Fotografado
por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 2

Peso: 2,39 ct

Dimensões: 8,30(d) x 7,70 x 8,50 x 5,63mm

Lapidação: almofada retangular

Pureza: I3

Cor: Marrom-acinzentado Escuro

Figura 64- Diamante amarelo número 4. Fotografado
por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 4

Peso: 1,39 ct

Dimensões: 7,56 x 3,95mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Marrom-amarelado Escuro

Figura 65- Diamante marrom número 6. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 6

Peso: 1,58 ct

Dimensões: 7,05(d) x 6,70 x 6,90 x 5,22mm

Lapidação: almofada

Pureza: I2

Cor: Marrom-alaranjado Profundo

Figura 66- Diamante amarelo número 9. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 9

Peso: 1,19 ct

Dimensões: 5,80 x 4,38mm

Lapidação: inacabada (pré-forma)

Pureza: I3

Cor: Marrom-amarelado Apagado

Figura 67- Diamante marrom número 10. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 10

Peso: 0,99 ct

Dimensões: 6,32 x 3,78mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Marrom-amarelado Apagado

Figura 68- Diamante marrom número 12. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 12

Peso: 0,96 ct

Dimensões: 6,24 x 4,05mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Marrom-avermelhado Escuro

Figura 69- Diamante marrom número 16. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 16

Peso: 0,60 ct

Dimensões: 5,10(d) x 4,9 x 3,6mm

Lapidação: almofada quadrada

Pureza: I2

Cor: Marrom-amarelado Escuro

Figura 70- Diamante marrom número 22. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 22

Peso: 0,48 ct

Dimensões: 4,9 x 5,5 x 2,25mm

Lapidação: almofada oval

Pureza: I3

Cor: Marrom-avermelhado Escuro

3.3 Diamantes Rosas, Vermelhos e Púrpuras

A cor vermelha é a cor espectral de comprimento de onda mais longo no espectro do visível, entre 630 a 760nm. Em objetos transparentes, como o diamante, a cor vermelha é resultado da absorção seletiva da luz, especificamente nos comprimentos de onda da região espectral do verde, próximo a 550nm ou por absorção quase completa de todos os comprimentos de onda abaixo de 660nm. O vermelho é considerada uma cor agressiva, robusta e estimulante e é associada a rubi, sangue, maçã, tomate, sinal vermelho (semáforo), por do sol, morangos, cerejas e vinho tinto.

A cor rosa é uma cor espectral modificada. Em cor pigmento esta é obtida com a mistura do branco, cinza e vermelho em diferentes proporções. Em objetos transparentes, como o diamante, a cor rosa é resultante da absorção seletiva da luz em comprimentos de ondas específica da região espectral do verde, próximo a 550nm. A cor rosa é associada a flor de mesmo nome, aurora, coral, salmão, camarão, cereja, morango, melancia e vinho rosê.

A cor púrpura (ou roxo) é muito confundida como violeta, porém são cores distintas. O púrpura ocupa a posição central no espaço das cores entre o vermelho e o azul; enquanto o violeta está no meio do azul puro com o azul-púrpura. Entre o vermelho e o púrpura encontra-se o magenta com uma saturação de médio a forte e iluminação de média a escuro; e entre o púrpura e o rosa, tons claros de saturação fraca a média, encontra-se o lilás. Além disso, o violeta é uma cor espectral pura que ocorre no extremo da banda do visível, depois do azul, enquanto o púrpura é uma cor não-espectral que ocorre em diamantes como resultado da absorção seletiva da luz em comprimentos de onda na região espectral do verde ao amarelo. A cor púrpura é associada com luxúria, majestade, nobreza, realeza e é encontrada por exemplo na variedade ametista do quartzo.

Estas cores são muito próximas, o vermelho na ciência das cores é um rosa mais intenso ou escuro, e a cor púrpura está entre o vermelho e o azul, então é natural que estas cores no diamante venham de defeitos semelhantes. Após sua formação no manto da Terra, esses diamantes foram sujeitos a altas temperaturas e stress não isotrópicos, causando deformações na estrutura cristalina e retirando átomos de carbono de suas posições normais. Esses defeitos causariam a cor rosa (assim como a marrom). Diamantes rosas, vermelho e púrpura compartilham algumas características,

geralmente suas cores são concentradas em deformações laminares paralelas; a linha de absorção responsável pela cor é a mesma centrada em 550nm. Nos púrpuras, há em adição, outra faixa de absorção em 390nm. Há também um grupo de diamantes rosas da Golconda na Índia, estes apresentam uma tonalidade fraca e sua cor é gerada por centros N-V. Diamantes raros da mina de Argyle, na Austrália, ricos em hidrogênio são descritos como violeta, estes têm o espectro parecido com os azuis acinzentados da mesma mina, porém com uma linha adicional entre 550 e 600nm. Como estas tonalidades são muito valorizadas no comércio, várias técnicas são utilizadas (irradiação, aquecimento e HPHT) e combinadas para obtê-las à partir de um diamante marrom ou amarelo claro menos atraentes ou mesmo à partir de diamantes sintéticos. (Fritsch em Harlow,1998; Deljanin et al,2008; Weerd et Royen,2001; Fritsch et al,2007; Collins,2003; Hofer, 1985; King et al,2002)

Figura 71- À esquerda, comparação de espectros UV-VIS de um diamante rosa e um incolor. E à direita, espectro UV-VIS de um diamante rosa.

A figura 71 compara o espectro de um diamante rosa com um incolor (tipo Ia). Podemos identificar no rosa um pico a 390nm que lhe confere uma componente púrpura, um pico pequeno de N3 (415nm) e aquele característico da cor rosa em 550nm. O espectro do lado direito também de um diamante rosa mostra novamente o pico em 550nm.

Figura 72- Espectro UV-VIS de um diamante lilás tratado.

O espectro da figura 72 mostra um diamante lilás que sofreu tratamento de cor. O pico em 637nm é característico do centro (N-V)⁻, responsável pela cor rosa em diamantes tratados. Começando com um diamante tipo Ib (que contém átomos isolados de nitrogênio), irradiando para criar vacâncias e aquecendo a uma

temperatura controlada para que as vacâncias sejam capturadas por um átomo de nitrogênio isolado criando centros N-V, o resultado é a cor rosa com uma forte componente púrpura (ou seja lilás). Este processo também é usado em diamantes sintéticos (tipo Ib) amarelos para torná-los vermelhos ou rosas.

Há relatos de diamantes rosas que mudam de cor quando expostos à luz ou calor, este fenômeno (fotocroísmo e termocroísmo) é mais comum em diamantes verdes, verdes-amarelados e amarelos conhecido como camaleões. Nestes tipos de diamantes deve-se ter o cuidado de neutralizar o fenômeno temporariamente antes de fazer a graduação de cor (Fryer, 1983; Elen e Geurts, 2002).

3.3.1 Raridade dos Diamantes Vermelhos, Rosas e Púrpuras

No espaço tridimensional das cores, o vermelho faz fronteira com as regiões do rosa, púrpura, laranja, marrom e preto, podendo então os diamantes vermelhos apresentar essas cores secundárias. Quando misturado ao laranja ou marrom é considerado um vermelho quente enquanto que misturado ao púrpura, vermelho frio. Em seguida as raridades das combinações de cores segundo Hofer.

Vermelho: R1; Rf1

Vermelho-alaranjado: sem estatística

Vermelho-amarronzado: R1; Rf2

Vermelho-rosado: R1-R2; Rf1

Vermelho-arroxeadado: R1; Rf1

Vermelho-enegrecido: sem estatística

Figura 73- Raridade dos diamantes vermelhos, sendo todos de raridade excepcional (R1), o vermelho-rosado um pouquinho mais freqüente que os outros de raridade notável (R2), mas o vermelho-amarronzado um pouco menos valorizado no comércio. (modificada de Hofer, 1998)

No espaço tridimensional das cores o rosa faz fronteira com as regiões do branco, cinza, púrpura, vermelho, laranja e marrom, podendo então os diamantes rosas apresentar essas cores como secundárias. Quando misturado com marrom, alaranjado ou vermelho, é considerado um rosa quente e misturado ao púrpura ou cinza é um rosa frio. O verde não é vizinho do rosa, porém já foi reportado na literatura um diamante rosa-amarronzado-esverdeado (Fryer, 1993). Essa estranha combinação pode ocorrer se um diamante rosa apresentar fluorescência verde à luz do dia ou conter manchas verdes devido à radiação natural.

Rosa: Rf1; R2

Rosa-arroxeadado: Rf2; R3

Rosa-avermelhado: R1; Rf1

Rosa-alaranjado: R1-R2; Rf3

Rosa-amarronzado: R4; Rf4

Rosa-esverdeado: sem estatística

Rosa-acinzentado: R4; Rf4

Figura 74- Raridade dos diamantes rosas, sendo excepcionalmente raros os rosa-avermelhado e rosa-alaranjado (R1) e de raridade modesta os rosa-amarronzado e rosa-acinzentado (R4). (modificada de Hofer, 1998)

No espaço tridimensional das cores, o púrpura faz fronteira com as regiões do cinza, preto, marrom, rosa, vermelho e azul e como mostra a figura abaixo, estas são as cores que aparecem como secundárias em diamantes púrpuras. Quando é

misturado com rosa, vermelho ou marrom, o púrpura é quente e quando misturado ao cinza ou azul é um púrpura frio.

Púrpura: R1; Rf2

Púrpura-rosado: R2; Rf3

Púrpura-avermelhado: R1; Rf1

Púrpura-amarronzado: R3; Rf4-Rf5

Púrpura-acinzentado: R3-R4; Rf4-Rf5

Púrpura-enegrecido: R2; Rf5

Figura 75- Raridade dos diamantes púrpuras, sendo o púrpura puro e o púrpura-avermelhado excepcionalmente raros (R1), o púrpura-rosado de raridade notável (R2), o púrpura-amarronzado de raridade razoável (R3) e o púrpura-acinzentado de raridade razoável a modesta (R3 a R4). (modificada de Hofer, 1998)

De acordo com as raridades das tonalidades apresentadas nas figuras 73, 74 e 75, nota-se que as cores misturadas com marrons ou cinzas são sempre as menos valorizadas. Nota-se também que no comércio os diamantes púrpuras (com exceção do púrpura- avermelhado) tendem a ser desvalorizados em relação a sua raridade verdadeira.

3.3.2 Cartas de Referência de Cor

Nas cartas de referência de cor seguintes (figuras 76, 77 e 78) a cor predominante é o rosa. Os tons mais fortes e saturados (profundos) são descritos como vermelhos. Na figura 76, não são mostrados exemplares na região do Excepcional Escuro, pois diamantes desta região podem ser descritos como vermelho-amarronzado ou marrom-avermelhado. Estes tons escuros podem ser facilmente confundidos com alta saturação se não forem cuidadosamente comparados com referências conhecidas (King, 2006_b).

Figura 76- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa. (King, 2006_b)

Diamantes de matiz vermelho-alaranjado mostrados na figura 77 não apresentam tipicamente muita saturação como visto nos amarelos (figuras 37 e 38) ou amarelos-alaranjados (figura 39), por esse motivo a grade é mais estreita. (King, 2006_b)

Figura 77- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa-alaranjado. (King, 2006_b)

Nos diamantes rosa-arroxeados (figura 78), diferentemente dos diamantes rosa-alaranjado, é comum a cor apresentar zoneamentos o que torna a classificação desta pela faceta mesa um desafio. (King, 2006_b)

Figura 78- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Rosa-arroxeados. (King, 2006_b)

Em seguida são apresentados os 8 diamantes com predominância de cor rosa, vermelho ou púrpura que fazem parte da coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências do IGc (figuras 79 a 92), sendo que dois destes diamantes (um rosa e um vermelho) foram para análise espectroscópica.

3.3.3 Diamantes Rosas, Vermelhos e Púrpuras do Acervo do Museu de Geociências

Figura 79- Diamante rosa número 23b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 23b

Peso: 0,18 ct

Pureza: 3

Forma: cleavage

Cor: Excepcional Rosa

Figura 80- Diamante rosa número 11. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 11

Peso: 0,79 ct

Dimensões: 6,10 x 3,40mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Rosa-alaranjado

Figura 81- Diamante vermelho número 14. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 14

Peso: 0,48 ct

Dimensões: 5,11 x 2,73mm

Lapidação: brilhante

Pureza: I1

Cor: Excepcional Vermelho-alaranjado

Número do Museu: 24

Peso: 0,50 ct

Dimensões: 4,83 x 3,35mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Violeta Pálido com inclusões negras

Figura 82- Diamante violeta número 24. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 34

Peso: 1,63 ct

Dimensões: 11,50 x 8,75 x 1,8mm

Lapidação: rosa

Pureza: I2

Cor: Excepcional Rosa-amarronzado Claro

Figura 83- Diamante rosa número 34. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 37

Peso: 0,09 ct

Dimensões: 2,84 x 1,78mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I2

Cor: Excepcional Rosa

Observação: zoneamento de cor

Figura 84- Diamante rosa número 37. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 85- Diamante vermelho número 5. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 5

Peso: 1,26 ct

Dimensões: 7,42 x 3,75mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I2

Cor: Excepcional Vermelho-arroxeadado Profundo

Figura 86- Espectro de absorção do diamante número 5.

Figura 87- Espectro da refletância do diamante número 5.

Figura 88- Coordenada cromática do diamante número 5 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 86 apresenta um pico acentuado em 546nm, e uma faixa larga com pico entre 580 a 590nm. Os três picos entre 600 e 650nm devem ser desconsiderados por estarem presentes no espectro de fundo e em todos os outros (anexo 1). Por esse motivo não podemos saber se este diamante foi tratado pois o pico característico do centro (N-V)⁻, responsável pela cor rosa e vermelho em diamantes tratados, fica em 637nm e estaria camuflado.

Informações de Cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.335,0.31)

Comprimento de onda complementar=510nm

Pureza da cor=10%

Número do Museu: 26

Peso: 0,23 ct

Dimensões: 4,25 x 1,82mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Rosa-arroxeadado Claro

Figura 89- Diamante rosa número 26. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 90- Espectro de absorção do diamante número 26.

Figura 91- Espectro da refletância do diamante número 26.

Figura 92- Coordenada cromática do diamante número 26 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 90 apresenta um pico acentuado em 546nm, e uma faixa larga com pico por volta de 550nm, responsável pela cor rosa do diamante número 26. Os três picos entre 600 e 650nm devem ser desconsiderados por estarem presentes no espectro de fundo e em todos os outros (anexo 1). Novamente não podemos saber se este diamante foi tratado pois o pico característico do centro (N-V)⁻, responsável pela cor rosa e vermelho em diamantes tratados, fica em 637nm e estaria camuflado.

Informações de cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.33,0.32)

Comprimento de onda complementar = 495nm

Pureza da cor = 5%

3.4 Diamantes Azuis

O azul é uma cor espectral posicionada entre o violeta e o verde, aproximadamente entre 430 e 490nm. É um pigmento primário. Em objetos transparentes, como o diamante, a cor azul é resultado da absorção seletiva da luz, especificamente nos comprimentos de onda da região espectral do laranja e vermelho. A cor azul é associada à safira, água-marinha, lápis-lazúli, turquesa, céu, águas oceânicas, tinta de caneta, jeans, índigo.

A maioria dos diamantes azuis naturais são do tipo IIb, contendo nitrogênio em nível indetectável e um pouco de boro, que o torna semicondutor (King et al,1998). Atualmente, além dos diamantes IIb temos outras duas categorias de diamantes azuis não condutores e com nitrogênio: os coloridos pelo centro GR; e por defeitos relacionados com átomos de hidrogênio. Em 1991 foi descrito que radiação natural poderia ser a causa da cor azul em um pequeno número de diamantes. A radiação que ocorre naturalmente pode deslocar átomos e criar centros GR, que absorvem vermelho e laranja claro. Se a pedra era quase incolor antes da radiação, a criação de centros GR pode resultar em um diamante azul não condutor. Irradiações em laboratórios também podem produzir diamantes azuis devido à formação de centros GR (geralmente usa-se um diamante marrom pálido e o irradia com elétrons num acelerador linear para obter um azul claro, cor típica da gema água-marinha). Em 1992 foram achados alguns diamantes raros azuis acinzentados (mina de Argyle na Austrália), não condutores, de uma classe de diamantes ricas em hidrogênio e sua coloração é causada por uma complexa série de absorções que pode ser centros de cor envolvendo hidrogênio.(Fritsch e Scarratt,1992; Fritsch em Harlow,1998)

Figura 93- Espectro UV-VIS de um diamante azul tratado.

O espectro da figura 93 é um exemplo de um diamante azul que sofreu dano por radiação em laboratório. O pico em 741nm é associada a vacância de carga neutra (centro GR1), e o pico largo em 625nm é comum neste tipo de tratamento. Este defeito pode gerar tanto a cor azul como o verde (Collins,2003).

3.4.1 Raridade dos Diamantes Azuis

No espaço tridimensional das cores, a região do azul faz fronteira com as regiões do branco, cinza, preto, verde e violeta, portanto diamantes azuis podem apresentar essas cores como secundárias, sendo o cinza o mais comum. Em raras ocasiões, o diamante azul pode apresentar modificador marrom como resultado de uma alternância de zonas azuis e marrom (como já foi mencionado no capítulo dos diamantes marrons).

Azul: R1; Rf1

Azul-acinzentado: R3; Rf3

Azul-esverdeado: R1-R2; Rf1-Rf2

Azul-amarronzado: sem estatística

Azul-enegrecido: R3; Rf4

Azul-esbranquiçado: R4; Rf4

Figura 94-Raridade dos diamantes azuis, sendo os azuis puros e azul-esverdeado de excepcional raridade (R1), o azul-esbranquiçado de raridade modesta (R4). (modificada de Hofer,1998)

Nota-se, pelos dados da figura 94, que não há discrepâncias entre a raridade natural e a comercial para os diamantes com predominância da cor azul com exceção do enegrecido que é menos desejado.

3.4.2 Carta de Referência de Cor

Os diamantes azuis ocorrem em relativamente estreita gama de saturação, mas numa vasta gama de tonalidades. Ele atinge a saturação mais alta no meio das tonalidades média a escura, mostrado à extrema direita da carta de referência mostrada na figura 95. A primeira coluna à esquerda representa uma área de pouquíssima saturação, onde as aparências são diferenciadas primariamente pelos tons.(King, 2006_b)

Figura 95- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Azul. (King, 2006_b)

3.4.3 Diamantes Azuis do Acervo do Museu de Geociências

São apresentados agora três diamantes da coleção de diamantes coloridos do Museu de geociências do IGc que possuem predominância de cor azul (figuras 96 a 101). Dois destes (o número 18 e o 32) foram para a análise espectroscópica, porém o espectro do diamante de número 18 (que pode ser visto no anexo) foi descartado.

Número do Museu: 18

Peso: 0,36 ct

Dimensões: 4,48 x 5,10 x 2,31mm

Lapidação: brilhante oval

Pureza: I2

Cor: Excepcional Azul-Verde

Figura 96- Diamante azul número 18. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 25

Peso: 0,38 ct

Dimensões: 4,32 x 3,73 x 2,48mm

Lapidação: retangular

Pureza: I3

Cor: Excepcional Azul-acinzentado Profundo

Figura 97- Diamante azul número 25. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 98- Diamante azul número 32. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 32

Peso: 0,14 ct

Dimensões: 3,19 x 2,12mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Azul-esverdeado Intenso

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 99 mostra uma faixa larga de absorção entre 550 e 750nm, sendo o pico entre 600 e 650nm. Nota-se nitidamente o pico em 741-744nm do centro GR1 que aponta tratamento de cor por irradiação. Provavelmente esta pedra é do tipo IIa e incolor antes do tratamento. Este espectro também apresenta o pico em 546nm e os picos entre 600 e 650nm que estão presentes nos espectros de fundo e estão sendo desconsiderados.

Informações de cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.28,0.32)

Comprimento de onda dominante=489nm

Pureza da cor =5%

Figura 99- Espectro de absorção do diamante número 32.

Figura 100- Espectro da refletância do diamante número 32.

Figura 101- Coordenada cromática do diamante número 32 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

3.5 Diamantes Verdes

O verde é uma cor espectral que está no meio do espectro do visível, entre o amarelo e o azul, aproximadamente de 480 a 560nm. Em objetos transparentes, como o diamante, a cor verde é resultado da absorção seletiva da luz, especificamente em comprimentos de onda na região espectral do vermelho, por volta de 740nm. A cor verde é descrita como passiva e aconchegante e associada à natureza, grama, folhas, sinal verde (semáforo), vidro de garrafa, mar, esmeralda, jade, malaquita, limão, maçã verde, chá verde, menta, absinto e jogos de mesa.

Os diamantes verdes naturais são raros e sua cor é causada pela exposição à radiações naturais por contato com materiais radioativos. As partículas de altas energias penetram na rede cristalina causando defeitos. O centro GR absorve vermelho e laranja, deixando uma cor azul, mas se o diamante possui outra faixa de absorção que o confere uma componente amarela a marrom então a cor resultante da radiação será o verde (Fritsch em Harlow,1998). A maioria dos diamantes coloridos naturais verdes por esse processo não possui muita intensidade na sua cor e sua coloração é superficial, o que muitas vezes é perdida na lapidação, tornando-se incolor. Chamamos este tipo de coloração superficial de “capa”. Outra variedade de diamantes verdes são os chamados “*green transmitter*” ou comercialmente “chartreuse” (pela similaridade de sua cor ao licor francês de mesmo nome). Neste caso a cor verde se deve à fluorescência que esconde a cor amarela da pedra. De fato são amarelos ou verde-amarelados, sendo mais raros os realmente verdes puros. O defeito responsável por absorver o azul e violeta e emitir verde é o centro H3. Outra possível causa são defeitos relacionados a hidrogênio. Nesta categoria de diamantes ricos em hidrogênio têm-se os verdes acinzentados com uma banda de absorção em 720nm e os diamantes camaleões, que possuem este nome por comparação com o animal que muda de cor. Os diamantes camaleões podem mudar de uma cor verde-acinzentado para um amarelo vívido, quando são aquecidos numa chama de álcool em temperaturas de 150 a 300°C (termocroismo) ou deixados no escuro por longos períodos de tempo (fotocroismo). A absorção responsável por este fenômeno é uma banda larga que vai desde 550nm até o infravermelho. (Hainschwang,2005) A maioria dos diamantes verdes no mercado são tratados com

irradiação para gerar centros GR (741nm), sendo muito difícil separar de um diamante verde natural colorido pelo mesmo centro.

O espectro mostrado na figura 102 é de um diamante verde natural, possivelmente um diamante tipo Ib-IaA. (Royen et al, 2002)

Figura 102- Espectro UV-VIS de um diamante verde.

3.5.1 Raridade dos Diamantes Verdes

No espaço tridimensional das cores, a região do verde faz fronteira com as regiões do branco, cinza, preto, amarelo, oliva e azul, podendo então, os diamantes verdes apresentar essas cores como modificador. Quando misturado com azul, cinza ou preto temos um verde frio, enquanto que misturado ao oliva ou amarelo temos o verde quente.

Verde: R1; Rf1
Verde-azulado: Rf1; R2
Verde-olivado: R3; Rf3
Verde-amarelado: Rf1-Rf2; R2
Verde-acinzentado: R4; Rf4
Verde-enegrecido: R1; Rf4

Figura 103- Raridade dos diamantes verdes, sendo o verde-acinzentado de raridade modesta (R4) e o verde puro ou com um pouco de preto de raridade excepcional (R1). (modificada de Hofer, 1998)

O oliva é um tom escuro de amarelo com verde. O puro oliva é a combinação em quantidades iguais de verde, amarelo, marrom e cinza. A cor oliva é associada à

fruta da oliveira (azeitona), aspargo, vidro de garrafa, vidro de óculos e roupas de cor cáqui (várias tonalidades misturando o oliva e o marrom). Para alguns laboratórios é uma das cores para classificação do diamante, enquanto para outros (como o GIA) esta cor é referida como verde-amarronzado ou amarelo-esverdeado-amarronzado. Grande quantidade dos diamantes da variedade camaleão apresenta cor oliva. Quando o oliva tende ao verde, cinza ou preto é considerado frio, enquanto que misturado ao amarelo ou marrom é quente.

Oliva: R3; Rf3

Oliva-amarelado: R4; Rf4

Oliva-amarronzado: R4; Rf5

Oliva-acinzentado: R4; Rf5

Oliva-enegrecido: sem estatística

Figura 104- Raridade dos diamantes verde-oliva, normalmente de raridade modesta (R4) e não muito valorizado pelo comércio. (modificada de Hofer, 1998)

Nota-se, pelas informações das figuras 103 e 104, que os diamantes com tonalidades verde puro, azulado ou amarelado são raros na natureza e bem valorizados no comércio, diferente dos tons de verde enegrecido, acinzentado ou os olivas que são menos atrativos.

3.5.2 Carta de Referência de Cor

Os diamantes da figura 105, matiz verde-amarelo ocorrem em menor grau de saturação e em tonalidades mais escuras que os amarelos. Os diamantes verde-amarelo tem uma transição suave dentro desta matiz. Na fraca saturação e tons mais escuros, o cinza aparece predominante. (King, 2006_b)

Figura 105- Carta de Referência de Cor do sistema GIA GTL para Diamantes Coloridos Verde-amarelo. (King, 2006_b)

3.5.3 Diamantes Verdes do Acervo do Museu de Geociências

Os quatro diamantes com predominância de verde que fazem parte da coleção do Museu de Geociências do IGc são apresentados (figuras 106 a 115) com suas principais características, sendo que dois destes foram para a análise espectroscópica.

Figura 106- Diamante verde número 5b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 5b

Peso: 0,62 ct

Pureza: 3

Forma: shapes (octaedro irregular)

Cor: Verde Pálido

Figura 107- Diamante verde número 33. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 33

Peso: 2,18 ct

Dimensões: 7,70 x 6,50 x 4,9mm

Lapidação: esmeralda

Pureza: I3

Cor: Excepcional Verde-Oliva

Observação: nuvem de inclusões escura

Figura 108- Diamante verde número 20. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 20

Peso: 0,27 ct

Dimensões: 4,23 x 2,07mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Verde Vívido

Figura 109- Espectro de absorção do diamante número 20.

Figura 110- Espectro da refletância do diamante número 20.

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 109 mostra uma faixa larga de absorção entre 550 e 750nm, sendo o pico por volta de 650nm. Nota-se nitidamente o pico em 741-744nm do centro GR1 que aponta tratamento de cor por irradiação. Este espectro também apresenta os picos entre 600 e 650nm que estão presentes nos espectros de fundo e estão sendo desconsiderados.

Informações de cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.29,0.38)

Comprimento de onda dominante =540nm

Pureza da cor =10%

Figura 111- Coordenada cromática do diamante número 20 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Figura 112- Diamante verde número 38. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 38

Peso: 0,12 ct

Dimensões: 2,77 x 2,07mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I1

Cor: Excepcional Verde Profundo

Figura 113- Espectro de absorção do diamante número 38.

Figura 114- Espectro da refletância do diamante número 38.

Figura 115- Coordenada cromática do diamante número 38 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 113 mostra uma faixa larga de absorção entre 550 e 750nm, sendo o pico por volta de 650nm. Nota-se nitidamente o pico em 741-744nm do centro GR1 que aponta tratamento de cor por irradiação. Este espectro também apresenta o pico em 546nm bem discreto e os picos entre 600 e 650nm que estão presentes nos espectros de fundo e estão sendo desconsiderados.

Informações de cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.30,0.34)

Comprimento de onda dominante =527nm

Pureza da cor =5%

3.6 Diamantes Laranjas

O laranja é uma cor espectral, situada na região entre 590 e 630nm, embora em cor pigmento seja uma cor secundária derivada da mistura entre o amarelo e o vermelho. Em objetos transparentes, como o diamante, a cor laranja resulta da absorção seletiva da luz, especificamente em comprimentos de onda na região espectral do azul-esverdeado, entre 460 e 520nm ou da absorção quase completa dos comprimentos de onda abaixo de 500nm. A cor laranja é associada a fruta de mesmo nome, âmbar, chamas, fogo, por do sol, cenoura, abóbora, pêssego, salmão.

Os diamantes de cor laranja puros são muito raros, sua absorção é centrada em torno de 480nm (azul). O defeito que causa esse tipo de absorção ainda não é bem conhecido (Fritsch em Harlow,1998). Mais conhecidos são os laranja-amarronzados coloridos por uma intensa absorção em 503nm (centro H3). Por tratamento também pode se chegar ao laranja com componente marrom (também chamados laranja-queimados), estes são coloridos pelo centros H3 muito forte e algumas vezes acompanhados de centros H4 (496nm).

Figura 116- Espectros UV-VIS de dois diamantes laranja.

O espectro da figura 116 (a) é de um diamante laranja-amarelado com absorção vindo do UV até 500nm, típica de tipo Ib. Espectro da direita da mesma figura (b) é de um diamante tipo Ia pois possui um pico em 415nm devido ao centro N3, o pico em 480nm que lhe confere a cor laranja e a outra ondulação em 550nm típica dos diamantes rosas gera um modificador resultando num amarelo-laranja-avermelhado.

3.6.1 Raridade dos Diamantes Laranjas

No espaço tridimensional das cores, o laranja faz fronteira com as regiões do vermelho, rosa, amarelo, marrom, branco e cinza. A cor laranja é sempre considerada uma cor quente. Tons escuros ou profundos geralmente parecem marrons (e raramente avermelhado), as tonalidades claras podem tender ao amarelo e as vezes ao rosa. Diamantes laranjas podem ser descritos como laranja-esverdeado quando possuem fluorescência verde a luz do dia.

Laranja: R1; Rf1

Laranja-avermelhado: R1; Rf1

Laranja-rosado: R1-R2; Rf2

Laranja-amarronzado: R4; Rf4

Laranja-amarelado: R3; Rf3

Laranja-esverdeado: sem estatística

Figura 117- Raridade dos diamantes laranjas, sendo os diamantes de cor laranja puro, laranja-rosado e laranja-avermelhado, excepcionalmente raros (R1) e laranja-amarronzados de raridade modesta (R4). (modificada de Hofer, 1998)

Nota-se, pelos dados fornecidos pela figura 117, que nos diamantes com predominância de cor laranja não há discrepâncias entre a raridade natural (verdadeira- R) e a raridade comercial (Rf).

3.6.3 Diamantes Laranjas do Acervo do Museu de Geociências

Somente dois diamantes da coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências têm predominância de cor laranja, o diamante número 35b (no estado bruto) e o número 23 (lapidado) que podem ser vistos nas figuras 119 e 120 respectivamente. Os dois são de tonalidades escuras tendendo ao marrom.

Figura 119- Diamante laranja número 35b.
Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 35b

Peso: 0,20 ct

Pureza: 4

Forma: shape

Cor: Excepcional Laranja-amarronzado Escuro

Número do Museu: 23

Peso: 0,38 ct

Dimensões: 4,75 x 2,4mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I2

Cor: Excepcional Laranja-amarelado Profundo

Figura 120- Diamante laranja número 23. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Figura 121- Espectro de absorção do diamante número 23.

Figura 122- Espectro da refletância do diamante número 23.

Figura 123- Coordenada cromática do diamante número 23 marcada sobre o Diagrama de cromaticidade CIE (x,y).

Observações adicionais:

Espectroscopia:

O espectro da figura 121 mostra uma absorção que começa por volta do 600nm em direção ao UV, o pico largo por volta de 480nm é responsável pela cor laranja do diamante número 23. Apresenta um pico muito discreto em 503nm (centro H3) e em 496nm (centro H4) o que lhe dá uma componente marrom (laranja-queimado). Este espectro também apresenta o pico em 546nm e os picos entre 600 e 650nm que estão presentes nos espectros de fundo e estão sendo desconsiderados.

Informações de cor obtidas através do espectro:

Coordenada cromática (x,y) = (0.35,0.34)

Comprimento de onda dominante = 600nm

Pureza da cor = 43%

3.7 Diamantes Negros, Brancos, Cinzas e Outras Cores dadas por inclusões

3.7.1 Diamante Negro

O Negro é uma cor não-espectral, oposta ao branco. É definido como ausência de luz ou absorção de toda a luz por um objeto. Um material aparenta ser totalmente negro mesmo refletindo por volta de três por cento da luz incidente. A cor negra é associada à tinta de caneta, piche, carvão, ônix, petróleo e a sensação de escuro e luto.

Diamantes negros são coloridos por inúmeras inclusões de placas finas, que se acredita ser na maioria grafita ou sulfetos (Fritsch em Harlow,1998). Em alguns casos são tantas inclusões de grafita que torna a gema condutora elétrica. Por causa destas inúmeras inclusões o diamante negro torna-se muito difícil de polir, sendo assim raramente usado como gema. A presença de inclusões de magnetita, hematita e ferro nativo foram relatados como as principais causas da cor negra ou cinza escuro em diamantes negros da Sibéria (Titkov et al., 2003). Também obtém-se a cor negra por tratamento de irradiação intensa, geralmente com nêutrons (a cor azul a verde se torna tão escura que parece negro). (Kammerling,1990)

3.7.2 Raridade dos Diamantes Negros

Os diamantes negros mais desejados são aqueles que possuem coloração negro profundo, sem áreas limpas transparentes ou rachaduras em sua superfície. No espaço tridimensional das cores, a região do negro ocupa uma pequena área localizada no final de baixo do eixo central de luminosidade, e faz fronteira com as regiões do cinza, azul, verde, oliva, marrom e púrpura. Porém é muito difícil identificar alguma cor secundária em diamantes negros. Como pode ser visto na figura 124, os diamantes negros não são muito raros (raridades R4- modesta e R5- comum) comparado com outras cores já vistas neste trabalho. Dentro destes os negros puros são os mais aceitos comercialmente.

Negro: Rf4; R5

Negro-arroxado: sem estatística

Negro-amarronzado: R4; Rf5

Negro-olivado: sem estatística

Negro-esverdeado: Rf5; sem estatística

Negro-azulado: sem estatística

Negro-acinzentado: R4-R5; Rf5

Figura 124- Raridade dos diamantes negros, variando sua raridade de comum a modesto (R4 e R5). (modificada de Hofer, 1998)

3.7.3 Diamante Branco

A cor branca é obtida misturando-se aditivamente todos os comprimentos de onda do espectro do visível em igual proporções. Há uma confusão no comércio em relação ao termo diamante branco, que foi por muito tempo utilizado para se referir aos diamantes incolores. Essa aparência de branco é resultado do efeito espelho (reflexão especular) no diamante incolor lapidado, que reflete a luz branca incidente pelas suas várias facetas polidas, criando esta ilusão. Porém o termo branco deve ser aplicado somente a diamantes que exibem uma coloração branco-leitosa. Estes podem ser translúcidos a semitranslúcidos (quase opacos) dependendo da densidade de inclusões microscópicas que reduzem a transparência e a pureza da pedra. A cor branca é associada à paz, nuvens, marfim, leite, neve, açúcar, pérola e opala.

Os diamantes brancos são assim coloridos por espalhamento de luz, que dá uma aparência leitosa opalescente. Neste caso as inclusões são responsáveis por espalhar os comprimentos de onda que compõem a luz branca e recombina-las dando origem à cor branca quando observada. Estas inclusões não são bem conhecidas, contudo sabe-se que os diamantes brancos contêm átomos de nitrogênio apenas como plaquetas e agregados B. (Moses e Reinitz, 2000; Fritsch em Harlow, 1998)

3.7.4 Raridade dos Diamantes Brancos

A cor branca nos diamantes pode ter como modificadores cores com baixa saturação, que fazem fronteira com a região do branco no espaço tridimensional das cores, diamantes brancos são encontrados com os seguintes variações:

Branco: R2; Rf3

Branco-acinzentado: R3; Rf4

Branco-azulado: Rf2; R3

Branco-amarelado: R3; Rf4

Branco-amarronzado: R3; Rf4

Figura 125- Raridade dos diamantes brancos, sendo o branco puro de raridade notável (R2) e os outros de raridade razoável (R3). (modificada de Hofer, 1998)

Nota-se, pela figura 125, que apesar de ser mais raro de encontrar na natureza um diamante com coloração branco puro, no comércio os diamantes com tonalidades branco-azulados é que são mais valorizados.

3.7.5 Diamante Cinza

A cor cinza não é uma cor espectral. É uma cor neutra, que no espaço tridimensional das cores ocupa a área ao longo do eixo central de luminosidade, fazendo fronteira com quase todas as outras matizes. Nas cores pigmento, o cinza é obtido misturando-se o branco com o negro em varias proporções, ou o branco com duas cores complementares. Em objetos transparentes, como o diamante, o cinza é produzido pela absorção parcial da luz de todos os comprimentos de onda do espectro do visível. A cor cinza é associada a sombras, nuvens escuras, céu de tempestade, fumaça, cimento e grafite.

Os diamantes cinzas geralmente são ricos em hidrogênio, para esse tipo a absorção é igualmente intensa para todos comprimentos de onda, resultando na cor cinza (Fritsch em Harlow,1998). Um diamante cinza-olivado relatado por Wang e Moses (2004) (graduado pelo GIA como colorido excepcional amarelo-esverdeado-marrom) translúcido continha, além de hidrogênio, inúmeras micro inclusões de calcita e dolomita-anquerita. Diamantes cinzas da variedade III (Orlov,1977) com minúsculas inclusões de grafita podem ser submetidos a tratamento por HPHT tornando-os mais transparentes incolores ou amarelados (Vins et al, 2003). Estes crescem sob condições de supersaturação produzida quando a temperatura cai gradualmente com o resfriamento do duto kimberlítico que se move em direção à superfície. Diamantes desta variedade III são do tipo Ia e estiveram sob condições próximas da fase de equilíbrio “diamante-grafite” durante a ultima fase de crescimento. Alguns diamantes tipo IIb (que contém boro) também apresentam coloração cinza.

3.7.6 Raridade dos Diamantes Cinzas

Os diamantes cinzas podem ter outras cores como modificadores, porém sempre com baixa saturação.

Cinza: R5; Rf5

Cinza-esbranquiçado: R4; Rf5

Cinza-azulado: R3; Rf3-Rf4

Cinza-esverdeado: R4; Rf4

Cinza-olivado: R4; Rf5

Cinza-amarelado: R4; Rf5

Cinza-amarronzado: R4; Rf5

Cinza-rosado: R3; Rf4

Cinza-arroxeadado: R3; Rf4

Cinza-enegrecido: R5; Rf5

Figura 126- Raridade dos diamantes cinzas, sendo os cinza-azulado, rosados e arroxeados, de raridade razoável (R3) e os cinzas puros ou enegrecidos de raridade comum (R5). (modificada de Hofer,1998)

Pela figura 126, percebe-se que as tonalidades de diamantes com predominância de cinza não são valorizadas. Somente diamantes com tonalidades cinza-azulados

alcançam uma raridade moderada no comércio (Rf3), sendo todas as outras consideradas fracas (Rf4) ou comuns (Rf5).

3.7.7 Escala de Referência de Cores Acromáticas

Apesar do GIA e HRD (*Hoge Raad voor Diamant Antwerpen* ou Alto Conselho para o Diamante de Antuérpia, fundado em 1973, é a organização que representa o sector do diamante da Bélgica) terem escalas de cores para classificação de diamantes há 50 anos, estas não são absolutas, e sempre aparece divergências de um instituto para outro. Uma proposta para classificação de cores neutras (do branco ao negro) foi elaborada pelo Prof. Eduardo Frank Kesselring e divulgada pela revista *Diamond News* (2006).

Figura 127- Escala de classificação de diamantes proposta por Kesselring para cores neutras.

3.7.8 Diamantes com Outras colorações dadas por inclusões

Algumas vezes as inclusões são a principal causa de cor nos diamantes. Em casos de preenchimento de fraturas com material tingido, goethita por exemplo, elas não contribuem para a cor do corpo do diamante porém podem contribuir para a beleza da gema criando um contraste de cor no diamante hospedeiro (Moses e Reinitz, 1995). Encontramos na coleção do museu várias pedras com fraturas preenchidas resultando em cores marrons-alaranjados não uniformes, mas estas não são consideradas cores excepcionais.

Depois de todas essas considerações, são apresentados os diamantes que são coloridos devido a inclusões (figuras 128 a 139) que fazem parte da coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências. Dentre estes está um diamante negro (figura 138), um diamante branco-acinzentado (figura 139) e um diamante cinza-olivado (figura 133) que foram considerados de cores excepcionais.

3.7.9 Diamantes Negros, Brancos, Cinzas e outras cores dadas por inclusões do Acervo do Museu de Geociências

Figura 128- Diamante cinza número 15b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 15b
Peso: 0,90 ct
Pureza: 5
Forma: cleavage
Cor: Cinza-esverdeado Escuro

Figura 129- Diamante cinza número 25b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 25b
Peso: 0,56 ct
Pureza: 5
Forma: cleavage
Cor: Cinza-esverdeado Escuro

Figura 130- Diamante número 9b. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 9b
Peso: 1,74 ct
Pureza: 4
Forma: shapes (octaedro achatado)
Cor: Incolor com inclusões marrom-alaranjada

Figura 131- Diamante número 1. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 1

Peso: 2,12 ct

Dimensões: 8,53 x 4,48mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões marrom-alaranjadas

Figura 132- Diamante número 3. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 3

Peso: 1,27 ct

Dimensões: 7,36 x 3,70mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões pretas

Figura 133- Diamante cinza número 7. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 7

Peso: 1,29 ct

Dimensões: 6,82 x 4,35mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Excepcional Cinza-olivado Pálido

Figura 134- Diamante número 8. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 8

Peso: 1,10 ct

Dimensões: 6,37 x 4,15mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões marrom-alaranjadas

Figura 135- Diamante número 15. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 15

Peso: 0,37 ct

Dimensões: 5,73 x 2,50mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões marrom-avermelhadas

Figura 136- Diamante número 28. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 28

Peso: 0,26 ct

Dimensões: 3,80 x 2,62mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões marrom-alaranjadas

Figura 137- Diamante número 29. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 29

Peso: 0,2 ct

Dimensões: 3,46 x 2,25mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Incolor com inclusões marrom-avermelhadas

Figura 138- Diamante negro número 36. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 36

Peso: 10,64 ct

Dimensões: 14,71 x 7,52mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Excepcional Preto

Figura 139- Diamante branco número 39. Fotografado por R.A.Schultz-Guttler

Número do Museu: 39

Peso: 0,9 ct

Dimensões: 5,96 x 4,05mm

Lapidação: brilhante redonda

Pureza: I3

Cor: Excepcional Branco-acinzentado

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quarenta e nove diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências foram analisados. Destes diamantes doze estavam no estado bruto como mostra a tabela 11 e trinta e sete diamantes estavam lapidados como mostra a tabela 12 (que seguem abaixo). A grande maioria dos 37 diamantes lapidados não possuíam uma boa simetria na lapidação e muitas peças apresentavam partes quebradas e fraturas, como pôde ser visto nas fotos apresentadas. Doze diamantes são coloridos por inclusões de outros minerais, o que torna a pedra não transparente e menos desejadas comercialmente. Doze diamantes são predominantemente de cor marrom, que é a cor mais comum encontrada em diamantes e também não é uma cor muito apreciada para o mercado de gemas. Oito são diamantes amarelos (a segunda cor mais comum em diamantes, ficando atrás do marrom), e destes cinco possuíam cores excepcionais. Destes cinco foram escolhidos três que foram para análise espectroscópica. Dois “*green transmitters*” e um amarelo-laranja, que apresentaram espectros no UV-VIS característicos de diamantes tipo Ib. Sabendo que normalmente diamantes “*green transmitters*” naturais são do tipo Ia, estes dois (diamantes números 13 e 27) têm grande possibilidade de terem sido tratados em laboratório. Oito diamantes têm como cores predominantes o rosa, vermelho ou púrpura. Destes, dois foram para análise espectroscópica (um rosa, número 26 e um vermelho, número 5), sendo que estes não puderam ter a origem de sua cor confirmada por causa de um ruído de fundo nos espectros que camuflou a região dos picos do centro (N-V)⁻ que caracterizaria o tratamento em laboratório para essas cores. Três diamantes da coleção são de cor predominante azul. Dois destes tinham tonalidades de azul tendendo ao verde que é características de tratamento de cor e foram para análise espectroscópica. Quatro diamantes são de cor predominante verde e foram para espectroscopia dois deste que possuíam cores mais intensas. A análise espectroscópica confirmou o tratamento por irradiação nos azuis e verdes analisados (números 32, 20 e 38), sendo que o espectro do diamante número 18 teve que ser desconsiderado pelo alto ruído que apresentou. E dois diamantes da coleção são predominantemente de cor laranja, sendo que os dois possuem

tonalidades escuras tendendo ao marrom, que dentro dos diamantes laranjas são os mais comumente encontrados.

Portanto ao fim deste trabalho, conclui-se que a coleção de diamantes coloridos do acervo do Museu de Geociências não possui exemplares de valores comerciais muito elevados. É interessante notar que já nos anos anteriores a 1954, data da doação desta coleção para a USP, existiam muitos diamantes com cores tratadas no Brasil.

<i>Numeração do Museu</i>	<i>Peso em quilates</i>	<i>Cor</i>
5B	0,62 ct	Verde Pálido
9B	1,74 ct	Incolor com inclusões marrom-alaranjada
10B	1,30 ct	Marrom-alaranjado Profundo
14B	0,69 ct	Amarelo Pálido
15B	0,90 ct	Cinza-esverdeado Escuro
23B	0,18 ct	Excepcional Rosa
24B	0,63 ct	Marrom-avermelhado Profundo
25B	0,56 ct	Cinza-esverdeado Escuro
28B	0,63 ct	Amarelo-esverdeado Pálido
29B	0,42 ct	Marrom-amarelado Escuro
35B	0,20 ct	Excepcional Laranja-amarronzado Escuro
38B	0,16 ct	Excepcional Marrom-rosado Pálido

Tabela 11- Diamantes coloridos brutos do Museu de Geociências da USP.

Numeração do Museu	Peso em quilates	Cor
1	2,12 ct	Incolor com inclusões marrom-alaranjadas
2	2,39 ct	Marrom-acinzentado Escuro
3	1,27 ct	Incolor com inclusões pretas
4	1,39 ct	Marrom-amarelado Escuro
5	1,26 ct	Excepcional Vermelho-arroxeadado Profundo
6	1,58 ct	Marrom-alaranjado Profundo
7	1,29 ct	Excepcional Cinza-olivado Pálido
8	1,10 ct	Incolor com inclusões marrom-alaranjadas
9	1,19 ct	Marrom-amarelado Apagado
10	0,99 ct	Marrom-amarelado Apagado
11	0,79 ct	Excepcional Rosa-alaranjado
12	0,96 ct	Marrom-avermelhado Escuro
13	0,67 ct	Excepcional Amarelo-esverdeado Vívido
14	0,48 ct	Excepcional Vermelho-alaranjado
15	0,37 ct	Incolor com inclusões marrom-avermelhadas
16	0,60 ct	Marrom-amarelado Escuro
18	0,36 ct	Excepcional Azul-Verde
19	0,41 ct	Excepcional Amarelo-Laranja Vívido
20	0,27 ct	Excepcional Verde Vívido
21	0,98 ct	Excepcional Amarelo-Laranja Profundo
22	0,48 ct	Marrom-avermelhado Escuro
23	0,38 ct	Excepcional Laranja-amarelado Profundo
24	0,50 ct	Violeta Pálido com inclusões negras
25	0,38 ct	Excepcional Azul-acinzentado Profundo
26	0,23 ct	Excepcional Rosa-arroxeadado Claro
27	0,31 ct	Excepcional Amarelo-esverdeado Claro
28	0,26 ct	Incolor com inclusões marrom-alaranjadas
29	0,20 ct	Incolor com inclusões marrom-avermelhadas
30	0,18 ct	Excepcional Amarelo-esverdeado Intenso
32	0,14 ct	Excepcional Azul-esverdeado Intenso
33	2,18 ct	Excepcional Verde-Oliva
34	1,63 ct	Excepcional Rosa-amarronzado Claro
35	1,29 ct	Amarelo Pálido
36	10,64 ct	Excepcional Preto
37	0,09 ct	Excepcional Rosa
38	0,12 ct	Excepcional Verde Profundo
39	0,90 ct	Excepcional Branco-acinzentado

Tabela 12- Diamantes coloridos lapidados do Museu de Geociências da USP.

Referências bibliográficas

A.B.N.T. (dez/1991). Norma Técnica: Diamante Lapidado. **NBR12310** (NB1394).

Anderson, B. W. (1984). **A identificação das gemas**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico. 460p.

ASD Inc. (2008)- *Analytical Spectral Devices Inc.* Disponível em: <http://www.asdi.com/products-fs3.asp> e http://www.asdi.com/products_specifications-FS3.asp Acesso em: ago/set. 2008

Atkins, P.W. (2003). **Físico-química**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. Volume 2.

Berringer, D. (2006). Como é feito o Certificado de um Diamante. **Diamond News**, n23, ano 6, p.06-10.

Bertulani, C. (2008). Projeto: Ensino de Física à Distância. **Luz e Cor**. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/teaching/luz/cor.html>. Acesso em: set.2008.

Bruton, Eric. (1978). **Diamonds**. Radnor, Chilton Book. 532p.

Bursill, L.A. e Glaisher, R.W. (1985). Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type Ia diamond. **American Mineralogist** 70, p.608-618.

Chaves, M.L.S.C. e Cardoso, L.M.C.F.R. (2003). **Diamante: a pedra, a gema, a lenda**. São Paulo, Oficina de Textos. 131p.

C.I.E. (1931) Proceedings of the Eighth Session. Cambridge, UK.

C.I.E. (1974) Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. Publ. no. 13.2

Collins, A.T.; Kanda, H.; Kitawaki, H. (2000). Colour changes produced in natural brown diamonds by high-pressure, high-temperature treatment. **Diamond and Related Materials** 9, p.113-122.

Collins, A.T. (2003). The detection of colour-enhanced and synthetic gem diamonds by optical spectroscopy. **Diamond and Related Materials** 12, p.1976–1983.

Crowningshield, G.R. (1977). Notes on Fancy Colored Diamond. **Gems & Gemology**, vol.15, no.10, p.306-307.

Dana, J.D. (1997). Dana's **new mineralogy** : the system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana. New York, Wiley. 1819p.

Davies, G.; Collins, A.T.; Spear, P. (1984). Sharp infrared absorption lines in diamond. **Solid State Communications**, vol.45, no.5, p.433-436.

Davies, G. e Collins, A.T. (1993). Vacancy complexes in diamond. **Diamond and Related Materials** 2, p.80-86.

Deljanin, B.; Simic, D.; Zaitsev, A.; Chapman, J.; Dobrinets, I.; Widemann, A.; Del Re, N.; Middleton, T.; Deljanin, E.; De Stefano, A. (2008). Characterization of pink diamonds of different origin: Natural (Argyle, non-Argyle), irradiated and annealed, treated with multi-process, coated and synthetic. **Diamond & Related Materials**. (doi:10.1016/j.diamond.2008.03.014)

Del Rey, M. (2002). **Como comprar e vender Diamantes**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico. 224p.

Diamond News (2006). Escala de tonalidades dos diamantes, Segundo Prof. Eduardo Frank Kesselring. **Diamond News** 25, ano 6, p.18.

Fritsch, E.; Scarratt, K. (1992). Natural-Color Nonconductive Gray-to-Blue Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.28, no.1, p.35-42.

Fritsch, E.; Rondeau, B.; Hainschwang, T.; Quellier, M.H. (2007). A contribution to the understanding of pink color in diamond: The unique, historical «Grand Condé» **Diamond & Related Materials** 16, p.1471–1474.

Fryer, C.W.Ed. (1983). Pink Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.19, no.1, p.43-44.

Fryer, C. (1993). Brown-Pink Diamond with “Green-Graining”. **Gems & Gemology**, vol.29, no.3, p.198-199.

GIA **Diamond** grading Lab Manual (1992). Santa Monica, Calif., GIA. 2v.

Goldschmidt, V. (1913). **Atlas Der Krystallformen**. Heidelberg, Carl Winters. 9v.

Guttler, R.A.S.; Brusa, J.L. (2003). Luminescência I: Diamantes, as Luzes secretas dos diamantes. São Paulo, **Diamond News** 16, ano 4, p.5-9.

Guttler, R.A.S.; Haralyi, N.E. (2004). Spectroscopy of Colored Diamonds. In: **Applied mineralogy**: developments in science and technology (by Marcelo Pecchio, Fábio Ramos Dias de Andrade, Liz Zanchetta D'Agostino, Henrique Kahn, Lilia Mascarenhas Sant'Agostino, Maria Manuela Maia Lé Tassinari). São Paulo, ICAM. p.551-554.

Hainschwang, T.; Simic, D.; Fritsch, E.; Deljanin, B.; Woodring, S.; DelRe, N. (2005). A Gemological Study of a Collection of Camaleon Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.41, no.1, p.20-35.

Hainschwang, T.; Notari, F.; Fritsch, E.; Massi, L. (2006). Natural, untreated diamonds showing the A, B and C infrared absorptions ("ABC diamonds"), and the H2 absorption. **Diamond & Related Materials** 15, p.1555–1564.

Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. (2007). **Fundamentos de física**. V. 4. Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro, LTC.

Harlow, G.E. (1998). **The Nature of Diamonds**. Cambridge University Press in association with the American Museum of Natural History. 278p.

Hofer, S. C. (1985). Pink Diamonds From Australia. **Gems & Gemology**, Vol.2, no.3, p.147-155.

Hofer, S.C. (1998). **Collecting and classifying coloured diamonds** : an illustrated study of the Aurora Collection. NY, USA : Ashland Press. 742p.

Holmes, R.J. (1947). Color Range and Form Variations in Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.5, no.10, p.430,447.

ITG - Medição e Controle da Cor. Glossário sobre Cor e Colorimetria: Algumas Perguntas Frequentes. Disponível em: http://www.itgcom.com/cor_colorimetria.html
Acesso em: ago/set.2008.

Kammerling, R.C.; Kane, R.E.; Koivula, J.I.; McClure, S.F. (1990). An Investigation of a Suite of Black Diamond Jewelry. **Gems & Gemology**, vol.26, no.4, p.282-287.

King, J.M.; Moses, T.M.; Shigley, J.E.; Liu, Y. (1994). Color Grading of Colored Diamonds in the GIA Gem Trade Laboratory. **Gems & Gemology**, vol.30, no.4, p.220-242.

King, J.M.; Moses, T.M.; Shigley, J.E.; Welbourn, C.M.; Lawson, S.C.; Cooper, M. (1998). Characterizing Natural-Color Type IIb Blue Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.34, no.4, p.246-268.

King, J.M.; Shigley, J.E.; Guhin, S.S.; Gelb, T.H.; Hall, M. (2002). Characterization and Grading of Natural-Color Pink Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.38, no.2, p.128-147.

King, J.M.; Shigley, J.E.; Gelb, T.H.; Guhin, S.S.; Hall, M.; Wang, W. (2005). Characterization and Grading of Natural-Color Yellow Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.41, no.2, p.88-115.

King, J.M. (2006_a). Gems & Gemology in Review: **Colored Diamonds**. USA, GIA. 317p.

King, J.M. (2006_b). GIA **Colored Diamonds Color Reference Charts**. USA, GIA. 16p.

Klein, C. (2002). The 22nd edition of the manual of **Mineral Science** (after James D. Dana). New York, Wiley. 641p.

Klein, C.; Hurlbut Jr, C.S. (1993). **Manual of Mineralogy** (after James D. Dana). New York, Wiley. 681p.

Lenzen, G. (1983). **Diamonds and diamond grading**. London, Butterworths. 258p.

Mindat- the mineral and locality database. Disponível em: www.mindat.org. Acesso entre 2006 e 2008.

Moses, T.M.; Reinitz, I. (2000). Fancy White Diamonds. **Gems & Gemology**, vol.36, no.2, p.156.

Moses, T.M.; Reinitz, I. (1995). Inclusions in Diamond that Affect Body Color. **Gems & Gemology**, vol.31, no.3, p.197-198.

Mottana, A. e Burragato, F. (1990). **Absorption spectroscopy in mineralogy**. Amsterdam; New York, Elsevier. 294p.

Moore, W.J. (1976). **Físico-química**. São Paulo, Edgard Blucher. Volume 2.

Munsell, A.H. (1976). **Munsell Book of Color** (Color Atlas); e (1985) Munsell Book of Color (Supplimentary 80 Hue Colors). Baltimore, MD: MacBeth Division.

Nassau, K. (1984). **Gemstone enhancement** : heat, irradiation, impregnation, dyeing, and other treatments which alter the appearance of gemstones, and the detection of such treatments. London, Boston : Butterworths. 221p.

Newman, R. (2005). **Diamond ring buying guide**: How to evaluate, identify and select diamonds & diamond jewelry. 6th ed. Los Angeles, CA: International Jewelry Publications. 156p.

Newton, I. (1730). **Opticks**: A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light. London, UK: Smith & Woford. 406p.

Orlov, Y.L. (1977). **The Mineralogy of the Diamond**. New York, Wiley. 231p.

Peckett, A. (1992). **The colours of opaque minerals** based on the notes left by the late R. Phillips, N. F. M. Henry. Chichester, New York : John Wiley and Sons. 471p.

Pedrosa, I. (1982). **Da Cor à Cor Inexistente**. Rio de Janeiro, UNB. 224p.

Piller, H. (1966). Colour Measurements in Ore-Microscopy. **Mineralium Deposita**, 1, p.175-192. Germany.

Putnis, A. (2005). Introduction to **Mineral Sciences**. Cambridge University Press. 457p.

Royen, J.V.; Pal'yanov, Y.N. (2002). High-pressure–high-temperature treatment of natural diamonds. **Journal of Physics: Condensed Matter** 14, p.10953–10956.

Schumann, W. (1982). **Gemas do mundo**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico. 254p.

Shane, E. e Geurts, R. (2002). Unusual “Pink” Diamond. **Gems & Gemology**, vol.38, no.2, p.165-166.

Suwa, Y. (2002). **Gemstones**: Quality and Value, Volume 2. English Edition. Japan, Sekai Bunka. 144p.

Svisero, D.P. (1971). **Mineralogia do diamante da região do Alto Araguaia, Mato Grosso**. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 127p.

Titkov, S.V.; Zudin, N.G.; Gorshkov, A.I.; Sivtsov, A.V.; Magazina, L.O. (2003). An Investigation into the Causes of Color in Natural Black Diamonds from Sibéria. **Gems & Gemology**, vol.39, no.3, p.200-209.

Vins, V.G. e Kononov, O.V. (2003). A model of HPHT color enhancement mechanism in natural gray diamonds. **Diamond and Related Materials** 12, p.542–545.

Vishneysky, E. (2008). Educational Color Applets Home Page. Disponível em: <http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/> . Acesso em: Ago/set.2008.

Wang, W. e Moses, T.M. (2004). Diamond with many Microscopic Carbonate Inclusions. **Gems & Gemology**, vol.40, no.4, p.325-326.

Webmineral- Mineralogy Database. Disponível em: www.webmineral.com. Acesso entre 2006 e 2008.

Weerd, F. e Royen, J. (2001). Defects in coloured natural diamonds. **Diamond and Related Materials** 10, p.474-479.

Wikipedia- The free Encyclopedia. Disponível em: www.wikipedia.org. Acesso em 2008.

Wilks, J.e Wilks, E. (1991). **Properties and applications of diamond**. Oxford, Butterworth-Heinemann. 525p.

Woods, G.S.; Collins, A.T.(1983). Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in type I diamonds. **Jornal of Physics and Chemistry of Solids**, vol.44, no.5, p.471-475.

Zemansky, S. (1962). **Física**. Parte III: Ótica, Física Atômica, Problemas Suplementares. Rio de Janeiro, Brasil: Ao Livro Técnico.

ANEXO

Laranja (23)

Amarelo-Laranja (19)

Rosa (26)

Vermelho (5)