



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
CURSO BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LUANDSON GALVÃO DE MOURA

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE GEMAS TIPO QUARTZO  
CITRINO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN.**

CARAÚBAS

2023

LUANDSON GALVÃO DE MOURA

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE GEMAS TIPO QUARTZO  
CITRINO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Bacharelado em  
Ciência e Tecnologia da Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Ciência e  
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Neves  
Bedoya

CARAÚBAS

2023

LUANDSON GALVÃO DE MOURA

**ESTUDO DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE GEMAS TIPO QUARTZO  
CITRINO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Bacharelado em  
Ciência e Tecnologia da Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Ciência e  
Tecnologia.

Defendida em: 14 /10 / 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Neves Bedoya (UFERSA)  
Presidente

---

Prof. Dra. Guymmann Clay da Silva (UFERSA)  
1º Membro Examinador

---

Prof. Dra. Rejane Ramos Dantas (UFERSA)  
2º Membro Examinador

---

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

MG182 Moura, Luandson Galvão de.  
e ESTUDO DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE GEMAS  
TIPO QUARTZO CITRINO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN.  
/ Luandson Galvão de Moura. - 2023.  
42 f. : il.

Orientador: Ricardo Neves Bedoya.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e  
Tecnologia, 2023.

1. gemologia. 2. difratometria. 3.  
espectroscopia. I. Bedoya, Ricardo Neves, orient.  
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Caraúbas  
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues  
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este momento a Deus, por estar concluindo esta etapa da minha vida, e a minha família por todo o apoio prestado que foi de suma importância para minha graduação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar a oportunidade de realizar este trabalho e por me conceder saúde, sabedoria e perseverança para superar os desafios que surgiram ao longo do caminho.

Agradeço à minha família, que sempre me apoiou e me incentivou em todos os momentos, especialmente aos meus pais, que são os meus maiores exemplos de vida e dedicação.

Agradeço aos meus amigos, que compartilharam comigo as alegrias e as dificuldades da jornada acadêmica, e que me ofereceram seu carinho, sua amizade e sua ajuda.

Agradeço também ao meu orientador Ricardo Bedoya, que me orientou com paciência, competência e profissionalismo, e que contribuiu de forma decisiva para a qualidade deste trabalho.

## RESUMO

Gemologia é o estudo das gemas, que são materiais valiosos sejam eles naturais ou produzidos pelo homem. Para identificar e certificar gemas, é preciso usar métodos analíticos que não as danifiquem, pois isso pode reduzir muito o seu valor. Este trabalho tem como objetivo conhecer as técnicas de caracterização de gemas tipo quartzo citrino, consideradas como pedras semipreciosas. Foram coletadas algumas gemas de quartzo citrino nos arredores do município de Caraúbas RN. A maioria das gemas são pequenas, com cerca de 15 mm de comprimento, e apenas uma amostra tem aproximadamente 90 mm. As gemas apresentam variações de cores, desde tons claros até laranja claro, e de transparência, desde translúcido até fosco. Foram analisadas as propriedades específicas com o auxílio de equipamentos avançados em cooperação com a UFRN, tais como análise química por Fluorescência de raios-X, análise de fase mineralógica por difratometria de raios X, análise da cristalinidade da estrutura molecular por espectroscopia Raman. Este trabalho foi um estudo de conhecimento técnico de caracterização e identificação mineralógica de gemas de quartzo citrino encontradas na região de Caraúbas RN, e que pode servir como referência estimular a pesquisa de outras gemas na região.

**Palavras-chave:** gemologia; difratometria; espectroscopia;

## **ABSTRACT**

Gemology is the study of gems, which are valuable materials whether they are natural or man-made. To identify and certify gems, it is necessary to use analytical methods that do not damage them, as this can greatly reduce their value. This work aims to know the techniques of characterization of citrine quartz type gems, considered as semi-precious stones. Some citrine quartz gems were collected in the surroundings of the municipality of Caraúbas RN. Most of the gems are small, about 15 mm long, and only one sample is about 90 mm. The gems present variations of colors, from light tones to light orange, and of transparency, from translucent to opaque. The specific properties were analyzed with the help of advanced equipment in cooperation with UFRN, such as chemical analysis by X-ray Fluorescence, mineralogical phase analysis by X-ray diffractometry, crystallinity analysis of the molecular structure by Raman spectroscopy. This work was a study of technical knowledge of characterization and mineralogical identification of citrine quartz gems found in the region of Caraúbas RN, and that can serve as a reference to stimulate the research of other gems in the region.

**Keywords:** Gemology; diffractometry; spectroscopy;



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Ondas eletromagnéticas .....                                                                                                                                                                 | 18 |
| Figura 2: O espectro eletromagnético mostrando os principais tipos de ondas, destacando o intervalo correspondente à luz visível pelo ser humano. ....                                                 | 19 |
| Figura 3: Luz polarizada.....                                                                                                                                                                          | 19 |
| Figura 4: Refração e reflexão da luz. ....                                                                                                                                                             | 21 |
| Figura 5: Efeito da dupla refração na calcita, variedade espato da Islândia. Halita e Calcita. ....                                                                                                    | 21 |
| Figura 6: Representação gráfica dos materiais isotrópicos e anisótropo.....                                                                                                                            | 22 |
| Figura 7: Etapas da lapidação.....                                                                                                                                                                     | 23 |
| Figura 8: Denominação das facetas de uma gema de lapidação brilhante redondo .                                                                                                                         | 24 |
| Figura 9: Microscopia óptica petrográfica.....                                                                                                                                                         | 25 |
| Figura 10: Resultados de análises de coríndon no espectro ultravioleta-visível-infravermelho em (a) e Espectros Raman de calcita, dolomita e magnesita no intervalo 0-1600cm <sup>-1</sup> em (b)..... | 26 |
| Figura 11: Espectroscopia no infravermelho de diamante Tipo II B .....                                                                                                                                 | 27 |
| Figura 12: Gemas de quartzo encontradas nos sítios do entorno do município de Caraúbas – RN.....                                                                                                       | 31 |
| Figura 13: Mapa de localização das amostras de Gemas tipo quartzo Citrino.....                                                                                                                         | 32 |
| Figura 14: Equipamento de fluorescência de raios-X, modelo EDX-720.....                                                                                                                                | 33 |
| Figura 15: Difratorômetro de raios X modelo D2 Phaser da Bruker. ....                                                                                                                                  | 34 |
| Figura 16: Espectrômetro Raman modelo Epsilon 4 da Malvern Panalytical .....                                                                                                                           | 34 |
| Figura 17: Difratoograma apresentando quartzo alfa (Q) como fase mineralógica identificada. ....                                                                                                       | 37 |
| Figura 18: Difratoograma de raios-X da amostra quartzo citrino. ....                                                                                                                                   | 38 |
| Figura 19: Diagrama do deslocamento Raman do Quartzo Citrino .....                                                                                                                                     | 39 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1: Identificação das fases mineralógica presente na amostra tipo<br>Quartzo Citrino. Interpretação pelo software Crystallographica Search-Match (CSM).<br>..... | 38 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Espectrometria de Energia Dispersiva por Fluorescência de Raios-X (EDXRF)..... | 36 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                            |
|--------|------------------------------------------------------------|
| Al     | Alumínio                                                   |
| Au     | Ouro                                                       |
| CSM    | Crystallographica Search-Match                             |
| Dr     | Doutor                                                     |
| Dra    | Doutora                                                    |
| EDXRF  | Fluorescência de raios X por energia dispersiva            |
| Fe     | Ferro                                                      |
| ICDD   | Centro Internacional de Dados de Difração                  |
| PDF    | Arquivo de Difração de Pó                                  |
| RN     | Rio Grande do Norte                                        |
| Sa     | Samário                                                    |
| Si     | Silício                                                    |
| SUTIC  | Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação |
| TCC'S  | Trabalhos de Conclusão de Curso                            |
| W      | Tungstênio                                                 |
| UFRN   | Universidade Federal do Rio Grande do Norte                |
| UFERSA | Universidade Federal Rural do Semi Árido                   |
| WDXRF  | Fluorescência de raios X dispersiva de comprimento de onda |
| Yb     | Íterbio                                                    |
| Al     | Alumínio                                                   |
| Au     | Ouro                                                       |
| CSM    | Crystallographica Search-Match                             |
| Dr     | Doutor                                                     |
| Dra    | Doutora                                                    |
| EDXRF  | Fluorescência de raios X por energia dispersiva            |
| Fe     | Ferro                                                      |
| ICDD   | Centro Internacional de Dados de Difração                  |
| PDF    | Arquivo de Difração de Pó                                  |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                              | <b>14</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                                                               | <b>17</b> |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                                     | <b>18</b> |
| 3.1      | A caracterização de gemas usa a luz como um meio para obter propriedades estruturais específicas dos materiais. .... | 18        |
| 3.2      | Isotropia e anisotropia. ....                                                                                        | 21        |
| 3.3      | Lapidação das Gemas .....                                                                                            | 22        |
| 3.4      | Análise Técnica das Gemas.....                                                                                       | 24        |
| 3.5      | Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF) .....                                                        | 27        |
| 3.6      | Princípio da Geração da Fluorescência de Raios X .....                                                               | 28        |
| 3.7      | Fluorescência de raios X dispersiva de comprimento de onda (WDXRF).....                                              | 28        |
| 3.8      | Espectroscopia Raman .....                                                                                           | 29        |
| 3.9      | Difração de Raios X .....                                                                                            | 30        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                                                     | <b>31</b> |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                  | <b>36</b> |
| 5.1      | Difratograma de Raios-X da amostra tipo Quartzo Citrino .....                                                        | 37        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                                                               | <b>41</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                             | <b>42</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A gemologia é um ramo da mineralogia que se dedica à pesquisa de materiais gemológicos, sejam eles naturais ou produzidos pelo homem. Esse campo de estudo abrange as propriedades físicas e químicas das gemas, técnicas utilizadas para sintetizá-las, métodos aplicados em sua identificação por meio de instrumentos gemológicos e avaliação, além da lapidação e polimento, (Leal et al., 2007).

Uma gema é uma substância usada como adorno pessoal, ornamento ou objeto de arte, possuindo como características: beleza, durabilidade e raridade. Os materiais gemológicos podem ser utilizados em joias, como ornamentos ou de coleção. Os materiais utilizados como gemas podem ser naturais, sintéticos ou artificiais. Os naturais são constituídos por minerais, como esmeralda e rubi, mas também incluem rochas como Lápis-Lazúli e materiais orgânicos como a pérola e o âmbar. Os sintéticos são produzidos em laboratórios, obtendo o mesmo material como a esmeralda e o rubi sintético. Os artificiais são também obtidos em laboratórios, como a zircônia cúbica que se assemelha ao diamante, mas não é considerado equivalente estruturalmente, (Juchem, P.L. e Brum, T.M.M, 2019).

A mineração e comercialização de gemas tem uma longa história e hoje é uma indústria complexa, restritiva e pouco estudada. Uma grande variedade de gemas é produzida no mundo, principalmente no Brasil e especialmente no RN, o que tornou este projeto de pesquisa um desafio interessante. Há informações sobre a indústria de gemas e uma série de questões diferentes nas fases de mineração, processamento e comercialização de gemas. Considerações de sustentabilidade também são validadas devido à crescente importância da indústria de pedras preciosas e joias, especialmente em aplicações industriais de alta tecnologia, (Liccardo, 2019).

Os geólogos podem identificar uma série de características inerentes a minerais de interesse gemológico no estado bruto, como formas cristalinas, hábitos dos cristais, tipos de agregados, dureza, clivagem, tenacidade, cor, brilho, densidade e reações a ataques químicos. Essas características permitem a identificação desses materiais na maioria das vezes, (Juchem, P.L. e Brum, T.M.M, 2019).

De acordo com Branco, (2008), quando um mineral é lapidado, muitas de suas propriedades são destruídas ou mascaradas, o que dificulta e, na maioria das vezes,

impede sua identificação. Uma gema lapidada não pode ser submetida a nenhum tipo de análise destrutiva, como análises químicas e dureza, sob risco de ser danificada. Em alguns casos, podem ser aplicados testes com um microdurômetro. O valor comercial agregado a uma gema lapidada já justifica a não realização de qualquer teste que possa danificar a pedra e assim afetar seu valor. Além disso, é comum que as gemas sejam acompanhadas de valor afetivo, como as joias de família. Isso torna possível danificar esses materiais com algum teste analítico, mesmo que sejam uma simples imitação de vidro. Por isso, a identificação de materiais lapidados exige a utilização de técnicas analíticas não destrutivas, algumas simples e outras mais sofisticadas, mas todas envolvendo uma série de equipamentos específicos

A caracterização de pedras preciosas inclui medições de densidade e determinação de propriedades ópticas usando equipamentos como polarizadores, dicroicos, refratômetros, filtros de absorção de cor, luz ultravioleta, lupas, microscópios de gemas e espectroscópios. Com o incremento das tecnologias envolvidas nos processos de síntese de gemas e de tratamento de melhoria da qualidade desses materiais, pode ser necessária a utilização de algumas técnicas mais sofisticadas de análise, que serão descritas no desenvolvimento desse trabalho, (Anderson, B.W, 1984).

Foi verificado a existência de gemas tipo quartzo citrino no entorno do município de Caraúbas – RN. Na redondeza foram identificadas gemas tipo água marinha e berilo. O principal problema é a falta de conhecimento técnico de caracterização da gema, sem ensaios destrutivos. Também foi verificado que não existem oficinas de lapidação na área. As gemas encontradas serão destacadas. Não existem técnicas de tratamento térmico projetadas para simplificar as pedras preciosas. Um estudo sobre as principais aplicações tecnológica de gemas foi realizado juntamente com georreferenciamento das jazidas de gemas encontradas no município de Caraúbas/RN.

Existem certos tipos de gemas na área que não foram estudados para o benefício de uma oficina básica de lapidação. A justificativa para este trabalho foi buscar o conhecimento básico sobre as propriedades dessas pedras preciosas e aprimorá-las como cristais decorativos. Esta medida vai permitir o desenvolvimento de pequenas oficinas de talha na zona. A segunda razão é o desenvolvimento de trilhas técnicas que utilizam essas preciosidades locais. Esta vertente também pode ser desenvolvida no Laboratório DCT - Campus Caraúbas.

No laboratório, é feita uma interação visando o desenvolvimento da tecnologia de feixe de íons para novas aplicações em gemologia. O efeito do implante de íons é aplicado para materiais vivos biológicos para aumento a resistência as pragas e nas pedras preciosas pode-se investigar o efeito na modificação da cristalinidade, o que acabaria por contribuir para o desenvolvimento da indústria de gemas.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo conhecer as técnicas de caracterização de gemas tipo quartzo citrino, consideradas como pedras semipreciosas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

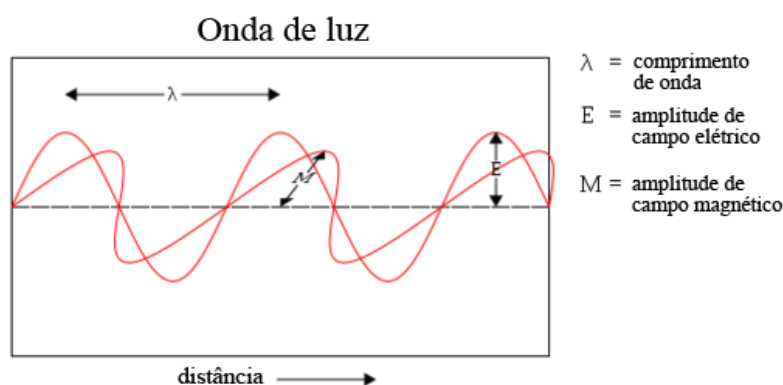
- Desenvolver uma metodologia para a caracterização de gemas do tipo quartzo citrino e sua aplicação tecnológica industrial.
- Realizar a caracterização da gema tipo quartzo citrino por algumas técnicas, tais como análises de composição química por fluorescência de raios X, identificação das fases mineralógica por difração de raios X.
- Verificar a estrutura cristalina usando a espectroscopia Raman.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A caracterização de gemas usa a luz como um meio para obter propriedades estruturais específicas dos materiais.

A luz atua nos minerais como energia eletromagnética, propagando-se no espaço por meio de ondas de cisalhamento cujos campos elétrico e magnético vibram perpendicularmente à sua direção de propagação. As variáveis representadas são mostradas na Figura 1. As ondas eletromagnéticas correspondem ao espectro de raios gama a longas ondas de rádio, (Liccardo, 2019).

Figura 1: Ondas eletromagnéticas



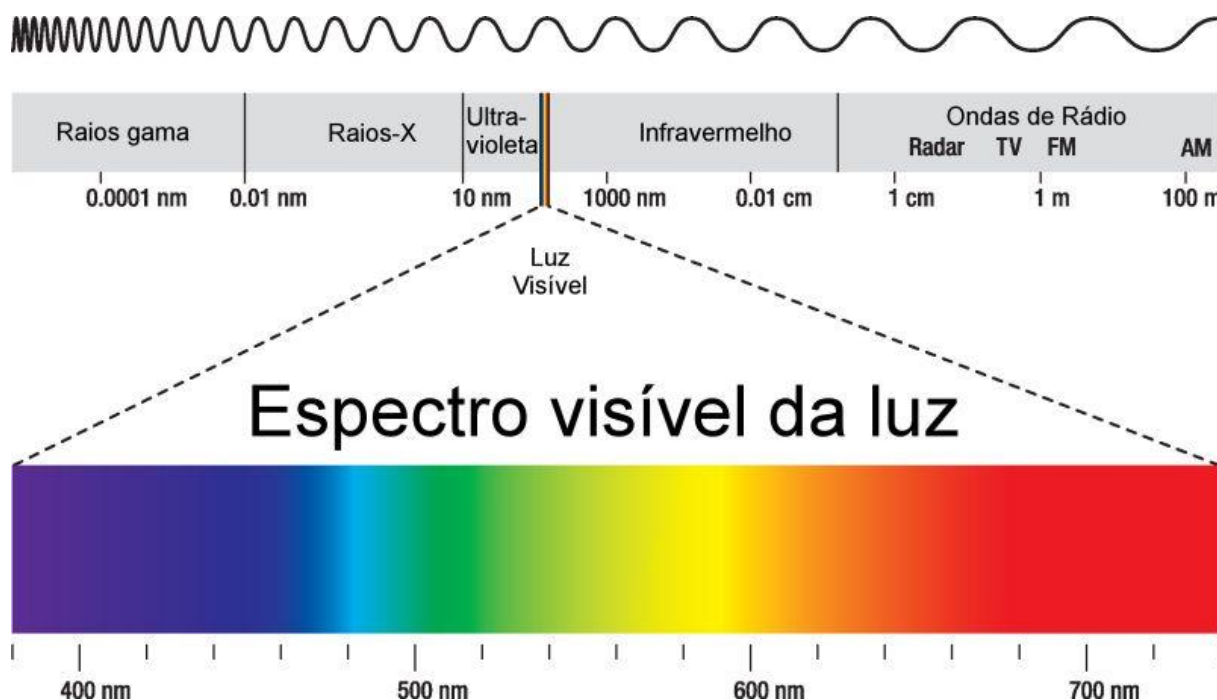
Fonte: UC Davis ChemWiki, (2003).

No vácuo, todas as ondas se movem com a mesma rapidez,  $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ . Mas elas não são iguais: cada uma tem um tamanho e uma frequência diferentes. Isso depende de como elas foram criadas e de como podemos medir elas. A figura 2 mostra algumas faixas de frequência, que usamos para classificar as ondas. Essas faixas se misturam um pouco. Por exemplo, podemos fazer ondas de  $10^{-3}m$  usando micro-ondas ou infravermelho, (Assa, 2017).

Segundo Khan Academy (2019), a luz que vemos é só uma parte pequena das radiações que existem. Do lado direito da luz, temos outras radiações com frequência menor (e tamanho maior) que ela. Essas radiações são os raios infravermelhos (RI), que saem de coisas quentes, as micro-ondas e as ondas de rádio. Elas estão sempre por perto, mas não fazem mal, porque têm frequência muito baixa. Na próxima seção,

“O fóton”, vamos ver que radiações com frequência baixa têm energia baixa e não são perigosas para a saúde.

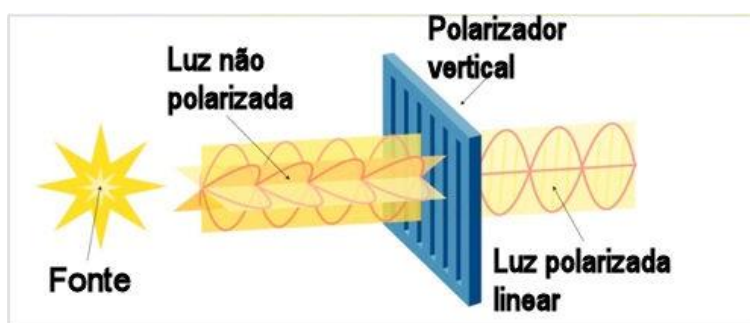
Figura 2: O espectro eletromagnético mostrando os principais tipos de ondas, destacando o intervalo correspondente à luz visível pelo ser humano.



Fonte: Furian, P. H. Espectro eletromagnético. Shutterstock, 2023.

A luz polarizada é geralmente usada para caracterização de materiais. Os campos eletromagnéticos que compõe um feixe de luz vibram em todas as direções perpendicularmente à sua direção de propagação, mostrado na Figura 3, lado esquerdo. Certas substâncias possuem a capacidade de restringir a vibração da luz a um só plano, como ocorrem em alguns polímeros, deixando-a polarizada ou plano polarizada (figura 3, lado direito). Essa propriedade é importante porque é aplicada em parte dos equipamentos na identificação de gemas lapidadas, (Hinrichs, R. Org. 2014).

Figura 3: Luz polarizada.



Fonte: Oliveira Filho, 2018.

Um feixe de luz cujos campos eletromagnéticos vibram em todas direções perpendiculares à sua direção de propagação; luz polarizada ou plano-polarizada, cujo campo eletromagnético vibra somente em um plano que contém a direção de propagação.

A refração e reflexão da luz é também usada para caracterizar materiais. Quando um feixe de luz que se propaga no ar atinge uma superfície que separa dois meios transparentes com densidades diferentes, por exemplo, ar e água, ou ar e uma gema, parte dessa luz é refletida e parte penetra no outro meio, onde é transmitida com uma velocidade diferente da inicial. Essa variação de velocidade provoca um desvio na trajetória do feixe de luz que é chamado de refração e pode ser visto facilmente ao mergulharmos um objeto em um copo com água, observado na Figura 4. Quanto maior for a diferença da densidade entre os dois meios, maior será o desvio que o raio sofre, isto é, maior será a refração. O quanto a luz refrata é uma propriedade constante para cada espécie mineral, sendo por isso uma das principais características diagnósticas utilizadas na identificação de gemas lapidadas. A refração é expressa através do índice de refração ( $n$  ou  $IR$ ), que é definido pela equação 1:

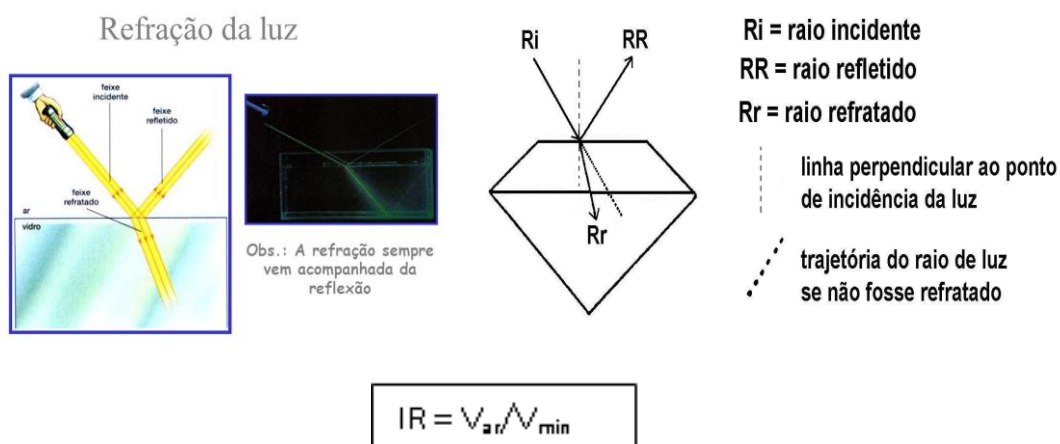
$$n \text{ ou } IR = \frac{V_{ar}}{V_{min}} \quad (1)$$

Onde  $V_{ar}$  é a velocidade da luz no ar e  $V_{min}$  é a velocidade da luz no mineral. O índice de refração é expresso pela relação entre a velocidade da luz no ar e a velocidade da luz no cristal,  $n = (V_{luz \text{ ar}})/(V_{luz \text{ cristal}})$ , representado pela equação 2. Mais de 95 % das gemas podem ser identificadas pelo índice de refração, (Gandini, 2015).

$$n = \frac{\sin i}{\sin y} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2)$$

A refração da luz observada na Figura 4 pelo desvio do feixe incidente e a reflexão é a parte do feixe refletido.

Figura 4: Refração e reflexão da luz.

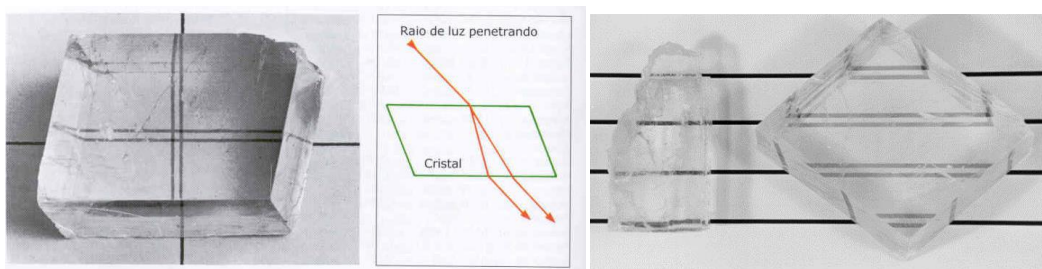


Fonte: UC Davis ChemWiki, [CC-BY-NC-SA 3.0](#)

### 3.2 Isotropia e anisotropia.

Quando a luz polarizada atravessa um mineral isotrópico (ou isótropo), ela não sofre dupla refração, ou seja, não se divide em dois raios com direções de vibração diferentes. Por isso, o raio de luz que sai do mineral continua vibrando perpendicularmente ao analisador e não consegue passar por ele, chegando ao observador como uma imagem escura. Dessa forma, os minerais isotrópicos ficam sempre extintos, independentemente da rotação da platina. Já os minerais anisotrópicos têm pelo menos dois índices de refração diferentes e suas indicatrizes são elipses. Na figura 5 temos um efeito da dupla refração na calcita, onde o cristal tem dois índices de refração diferentes. (Gandini, 2015).

Figura 5: Efeito da dupla refração na calcita, variedade espato da Islândia. Halita e Calcita.

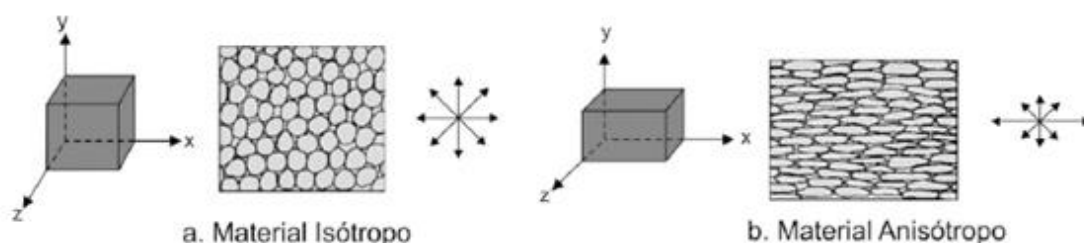


Fonte: (Gandini, 2015).

Um mineral apresenta isotropia para luz quando um raio de luz incidente no mineral (polarizado ou não), é refratado igualmente em qualquer direção e, portanto, se desloca sempre com a mesma velocidade dentro do mineral. Esses minerais são chamados monorefringentes, porque tem um único índice de refração (ex. diamante e granadas). A anisotropia do mineral quando um raio de luz incidente (polarizado ou não) ao penetrar no mineral é dividido em dois raios de luz, cada um refratado e polarizado, com planos de polarização perpendiculares entre si. Esses minerais terão dois índices de refração distintos para os raios plano polarizados e por isso são chamados birrefringentes, (Nardy, 2007).

Na Figura 6 temos uma representação dos materiais isótropos e anisótropos, (a) onde as propriedades físicas do meio são as mesmas independente da direção e anisótropo, (b) as propriedades físicas do meio mudam de acordo com a direção analisada. Nesse caso, materiais com estrutura cúbica são isótropos, e materiais com as demais estruturas são: hexagonal, trigonal, tetragonal, ortorrômbico, monoclinico e triclinico.

Figura 6: Representação gráfica dos materiais isótropos e anisótropo.



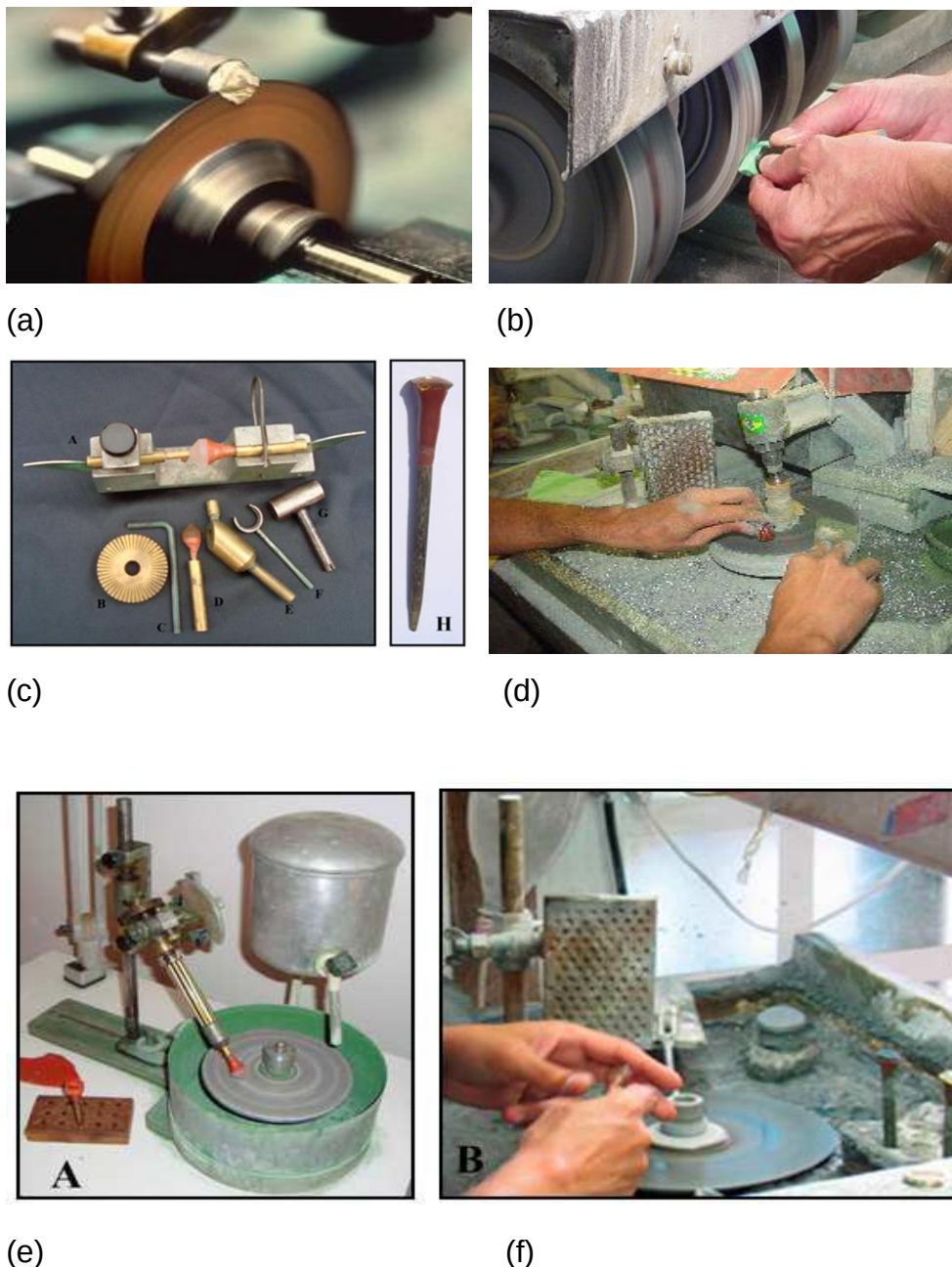
Fonte: Timoshenko, 1961.

### 3.3 Lapidação das Gemas

No processo de lapidação mostrado na Figura 7, destaca-se algumas propriedades como a cor e brilho. A classificação da lapidação segue os seguintes termos: extra, boa, média e fraca. A transformação de um mineral-gema bruto em uma gema lapidada, facetada e polida, pronta para ser incrustada em uma joia, é composto de diversas etapas de igual importância na qualidade do produto final. A primeira etapa é um estudo das propriedades ópticas da gema em questão, projetando e visualizando dimensões e inclusões e avaliando seu potencial financeiro como produto final. Após

esta análise, inicia-se o processo de lapidação que consta das seguintes etapas que serão descritas a seguir: martelar, serrar, formar, facetar e polir, (Juchem, P.L. e Brum, T.M.M, 2019).

Figura 7: Etapas da lapidação.



Fonte: Smigel, (2012).

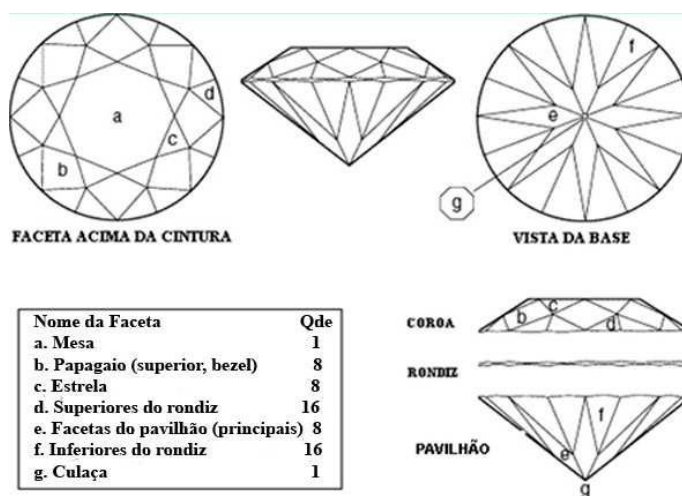
A Figura 7 consiste nas etapas da lapidação: (a) Serrar e (b) formar ou moldar; (c) dopeamento ou encanetamento; (d) facetar e polir a coroa; (e) facetar e polir o



pavilhão, usando disco diamantado e a catraca de posicionamento; (f) facetar e polir usando a placa de alinhamento e tubo diamantado (jumb-peg).

As partes de uma gema lapidada seguem um padrão básico que recebe nomes comuns entre os profissionais que fazem a lapidação. Assim, podemos dividir uma gema facetada em quatro partes: coroa, pavilhão, cintura ou rondiz, mesa e culaça, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8: Denominação das facetas de uma gema de lapidação brilhante redondo



Fonte: Bruton, 1983.

Existem vários tipos de lapidação para as gemas, como: a redonda brilhante, a oito por oito, a quadrada (com cantos arredondados e formato quadrangular ou retangular), a oval, a baguete (ovalada e retangular), a octogonal, a antiga, a lágrima (também chamada de pendeloque, pêra ou gota), a triangular, a hexagonal, a trapezoidal, a french-cut (quadrática na mesa e no contorno), a facetas triangulares, a navette ou marquesa (elípticas com pontas), a briolette (parecida com uma pêra e com facetas cruzadas), a trapézio, a coração, entre outras, (Schumann, 2002).

### 3.4 Análise Técnica das Gemas

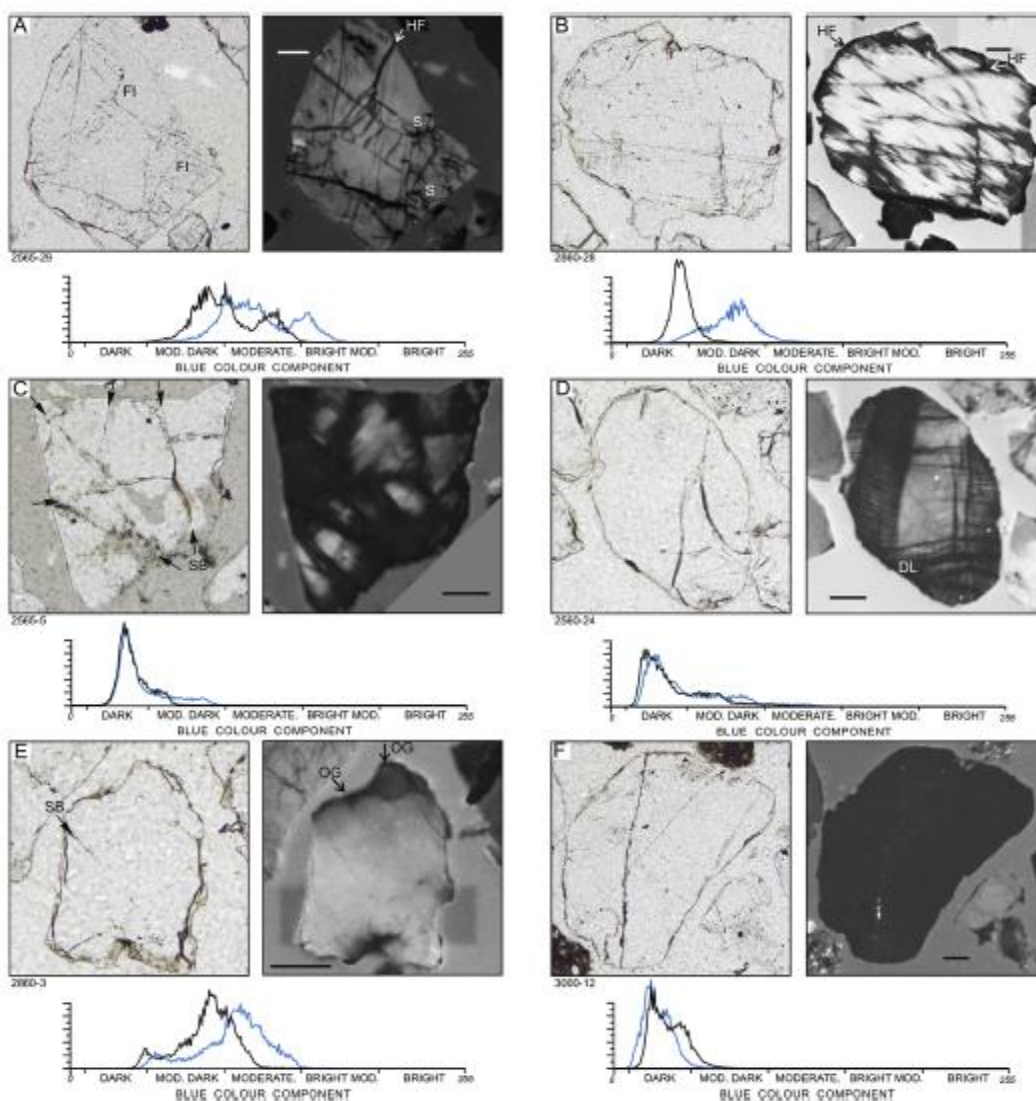
As propriedades físicas avaliadas são em geral: hábito, dureza, tenacidade, fratura, clivagem, partição, densidade, propriedades elétricas e magnéticas e condutibilidade térmica. As análises técnicas Avançadas são conhecidas como: Microscopia óptica petrográfica; Espectroscopia Infra vermelho e UV-Visível;



Espectroscopia Raman; Difractometria de Raios X; Microscópio eletrônico (EDS); Microsonda eletrônica; Laser-ablation; Ressonância Paramagnética (EPR), (Liccardo, 2019).

Na Figura 9 têm-se exemplos observados por microscopia óptica petrográfica e propriedades catodoluminescência (CL) de grãos de quartzo (à esquerda) em plano de luz polarizada, (direita) SEM-CL e (abaixo) HCMA Componente azul da cor CL (escala de 0e255) após 3 s (linha azul clara) e 12 s (linha preta). Barra de escala 100 mm.

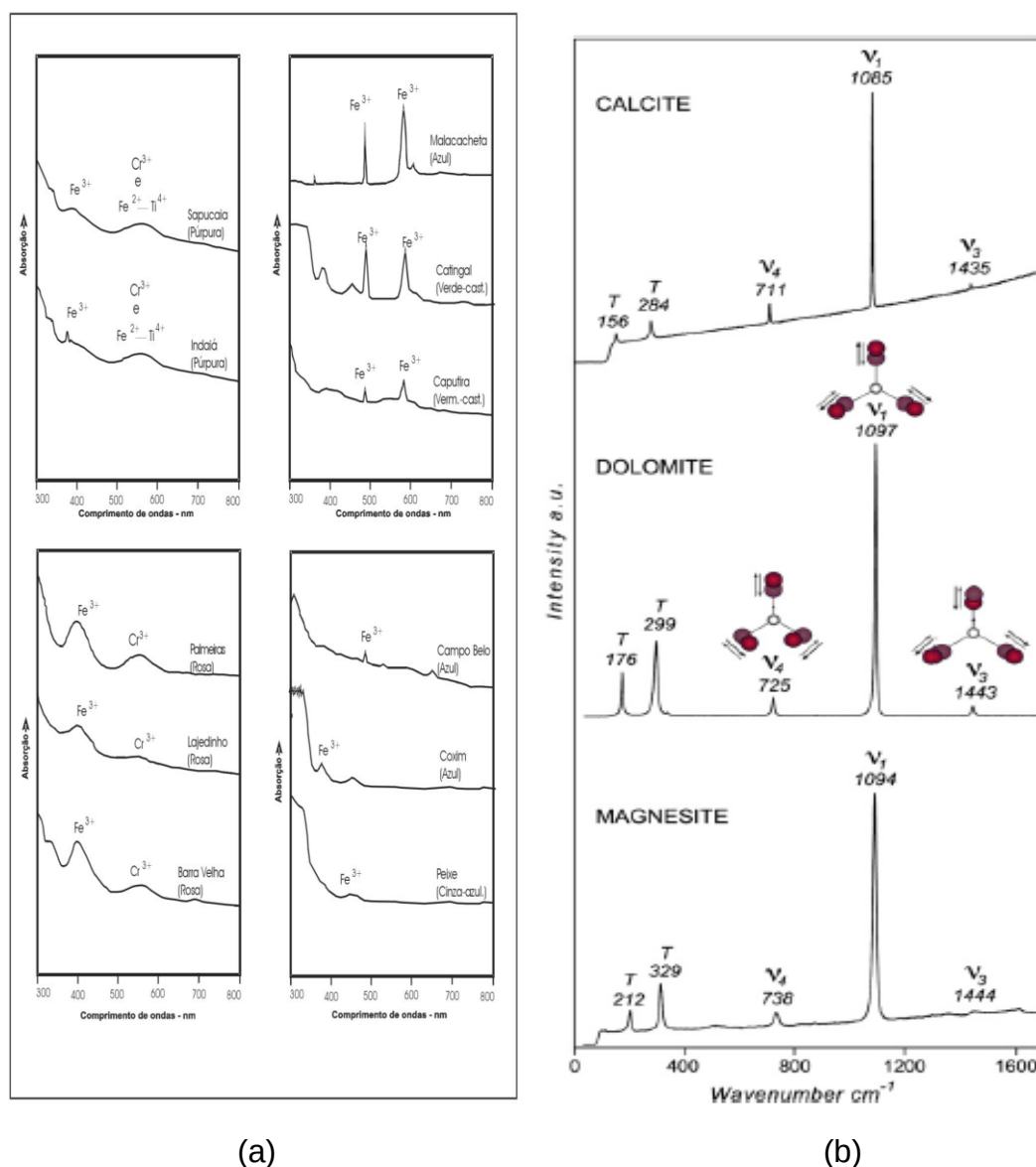
Figura 9: Microscopia óptica petrográfica.



Fonte: Sales, 2017.

Na Figura 10 o espectro resultante da análise na faixa ultravioleta–visível-infravermelho próximo pode auxiliar na identificação de coríndon derivado de processos metamórficos.

Figura 10: Resultados de análises de coríndon no espectro ultravioleta-visível-infravermelho em (a) e Espectros Raman de calcita, dolomita e magnesita no intervalo 0-1600cm<sup>-1</sup> em (b).

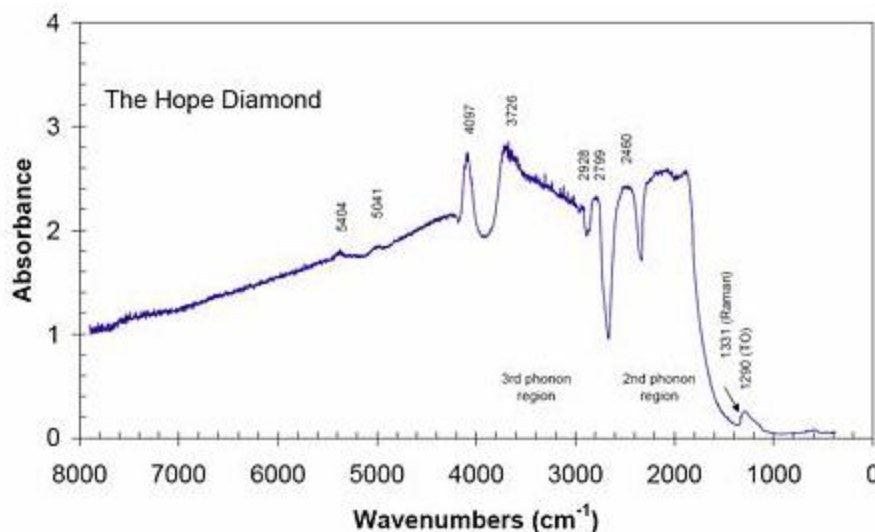


Fonte: Frezzotti, (2012).

De acordo com Robertson, Fox e Martin (1934), classificação dos diamantes em dois grupos distintos, denominados tipos I e II, baseando-se nas diferenças das propriedades físicas do Infravermelho Ultravioleta, birrefringência, fotocondutividade e difração de raios X. Na figura 11 tem-se uma espectroscopia no infravermelho tipo II B, onde fornece a análise dos grupos funcionais que compõem uma substância o

que permite evidenciar sua estrutura e identificar seu composto ou sua composição química.

Figura 11: Espectroscopia no infravermelho de diamante Tipo II B



Fonte: Frezzotti, (2012).

### 3.5 Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF)

A técnica analítica não-destrutiva conhecida como espectrometria de fluorescência de raios X (XRF) é usada para obter informações elementares de vários tipos de materiais. É amplamente utilizada em muitos setores e aplicações, incluindo produção de cimento, vidro, mineração, beneficiamento mineral, ferro, aço, metais não-ferrosos, petróleo, petroquímicas, polímeros e setores relacionados, perícia forense, produtos farmacêuticos, saúde, meio ambiente, alimentos e cosméticos.

Nos espectrômetros EDXRF, a fonte de radiação é uma ampola de raios X que irradia diretamente a amostra. A fluorescência resultante é medida por um detector de energia dispersiva, que é capaz de medir as diferentes energias da radiação característica emitida pela amostra. O detector pode separar a radiação da amostra em radiação de diferentes elementos presentes na amostra, um processo conhecido como dispersão.

O princípio fundamental subjacente a todos os espectrômetros envolve três componentes essenciais: uma fonte de radiação, uma amostra a ser analisada e um sistema de detecção. Nos espectrômetros de fluorescência de raios-X por dispersão

de energia (EDXRF), a radiação de raios-X é gerada a partir de uma ampola e é direcionada para a amostra. A fluorescência resultante da amostra é então capturada por um detector de energia dispersiva.

Este detector tem a capacidade de medir as diferentes energias contidas na radiação que provém diretamente da amostra. Ele é hábil em separar a radiação emitida pela amostra em suas diversas componentes, correspondentes aos diferentes elementos presentes na amostra. Esse processo de separação é conhecido como dispersão, (Malvern Panalytical, 2021).

### **3.6 Princípio da Geração da Fluorescência de Raios X**

Quando uma amostra é irradiada por um feixe de raios X, os átomos na amostra geram raios X característicos que são emitidos a partir da própria amostra. Tais raios são conhecidos como raios X "fluorescentes" e possuem um comprimento de onda e uma energia específicos que são característicos de cada elemento. Consequentemente, a análise qualitativa pode ser feita pela investigação dos comprimentos de onda dos raios X. Como a intensidade dos raios X fluorescente é função da concentração, a análise quantitativa também é possível pela medição da quantidade de raios X com o comprimento de onda específico de cada elemento. (Shimadzu, 2023)

### **3.7 Fluorescência de raios X dispersiva de comprimento de onda (WDXRF)**

Essa técnica tem aplicações em vários setores e atividades, como fabricação de cimento, vidro, mineração, processamento mineral, metalurgia do ferro, do aço e de metais não ferrosos, indústrias de petróleo, petroquímica, polímeros e afins, farmacêutica, saúde e meio ambiente.

A fonte de raios X, que é um tubo, irradia diretamente uma amostra nos espectrômetros WDXRF, que usam a dispersão de comprimento de onda para detectar a fluorescência que vem da amostra.

Os raios X característicos de cada elemento podem ser separados por cristais de análise, que os ordenam conforme seu comprimento de onda ou, de forma equivalente, conforme suas energias. Essa separação permite identificar os elementos presentes na amostra. A intensidade dos raios X em cada comprimento de

onda pode ser medida de duas formas: uma por vez (sequencial) ou todas ao mesmo tempo (simultânea), (Malvern Panalytical, 2021).

### **3.8 Espectroscopia Raman**

A Espectroscopia Raman é uma técnica não destrutiva que fornece informações sobre a estrutura química de um material. É baseada na dispersão de luz por uma molécula, onde a maior parte da luz espalhada é no mesmo comprimento de onda da fonte do laser (dispersão de Rayleigh) e não fornece informações úteis. No entanto, uma pequena quantidade de luz é espalhada em diferentes comprimentos de onda, dependendo da estrutura química do analito (dispersão Raman). Isso fornece informações detalhadas sobre a estrutura química, fase e polimorfia, cristalinidade e interações moleculares do material analisado.

A espectroscopia Raman é uma técnica que revela a composição química de um material, fornecendo informações sobre os seguintes aspectos:

- A estrutura química e a identidade do material, que podem ser reconhecidas por meio de uma assinatura espectral única, como uma impressão digital química.
- A fase e o polimorfismo do material, que indicam as diferentes formas cristalinas ou moleculares que ele pode assumir.
- O estresse ou a tensão intrínseca do material, que afetam as suas propriedades físicas e mecânicas.
- A contaminação ou a impureza do material, que podem alterar a sua pureza e qualidade.

A espectroscopia Raman é uma técnica rápida e não destrutiva, que pode identificar um material comparando o seu espectro Raman com os espectros de referência armazenados em bibliotecas espectrais. Essas bibliotecas contêm milhares de espectros de diferentes materiais, que podem ser pesquisados de forma eficiente para encontrar uma correspondência com o espectro do material analisado.

A técnica permite que seja realizado a análise microscópica de materiais, com resolução espacial na faixa de 0,5-1  $\mu\text{m}$ . Essa resolução é obtida ao se acoplar um microscópio óptico a um espectrômetro Raman, formando um sistema denominado microscópio Raman, (Horiba Scientific, 2023).

### 3.9 Difração de Raios X

A difração é um fenômeno intrínseco a ondas e pode ser observada quando uma onda se "dobra" ou é alterada ao encontrar um obstáculo que possui dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda. Esse obstáculo pode ser um anteparo com uma pequena abertura, como uma fenda, que permite apenas uma fração mínima da onda original passar. Quando se trata de raios-X, cujo comprimento de onda é da ordem de Angstroms (10<sup>-10</sup> metros), a difração ocorre apenas quando a estrutura com a qual eles interagem tem dimensões da mesma ordem, como as dimensões atômicas ou os espaçamentos entre átomos, (Lima, 2006).

Ao examinar um cristal, percebemos que ele guarda semelhanças com uma rede de difração devido à sua estrutura periódica. Em uma rede de difração típica, por exemplo, encontramos uma série de fendas igualmente espaçadas. Da mesma forma, em um cristal, os centros espalhadores (sejam átomos ou grupos deles) estão regularmente espaçados a distâncias fixas, que são conhecidas como constantes de rede. Portanto, um cristal pode ser conceituado como uma rede tridimensional de difração para raios-X, (Lima, 2006).

A difração está intimamente relacionada com o fenômeno de interferência, e uma condição essencial para a ocorrência desses fenômenos é que a radiação seja coerente. Isso significa que as ondas devem estar em fase para que ocorra uma interferência construtiva, permitindo a observação de padrões de difração característicos, (Lima, 2006).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, além do corte e polimento, podemos relacionar as propriedades físicas e químicas das gemas, técnicas de síntese, métodos de identificação de gemas por meio de instrumentos e avaliações gemológicas. Foram estudadas técnicas não destrutivas de identificação de gemas facetadas. Foi coletado um lote de amostras quartzo, exibido na Figura 12, aparentemente do tipo quartzo citrino, nos sítios Seu Elias e Inharé, que fica localizado no município de Caraúbas.

Figura 12: Gemas de quartzo encontradas nos sítios do entorno do município de Caraúbas – RN.

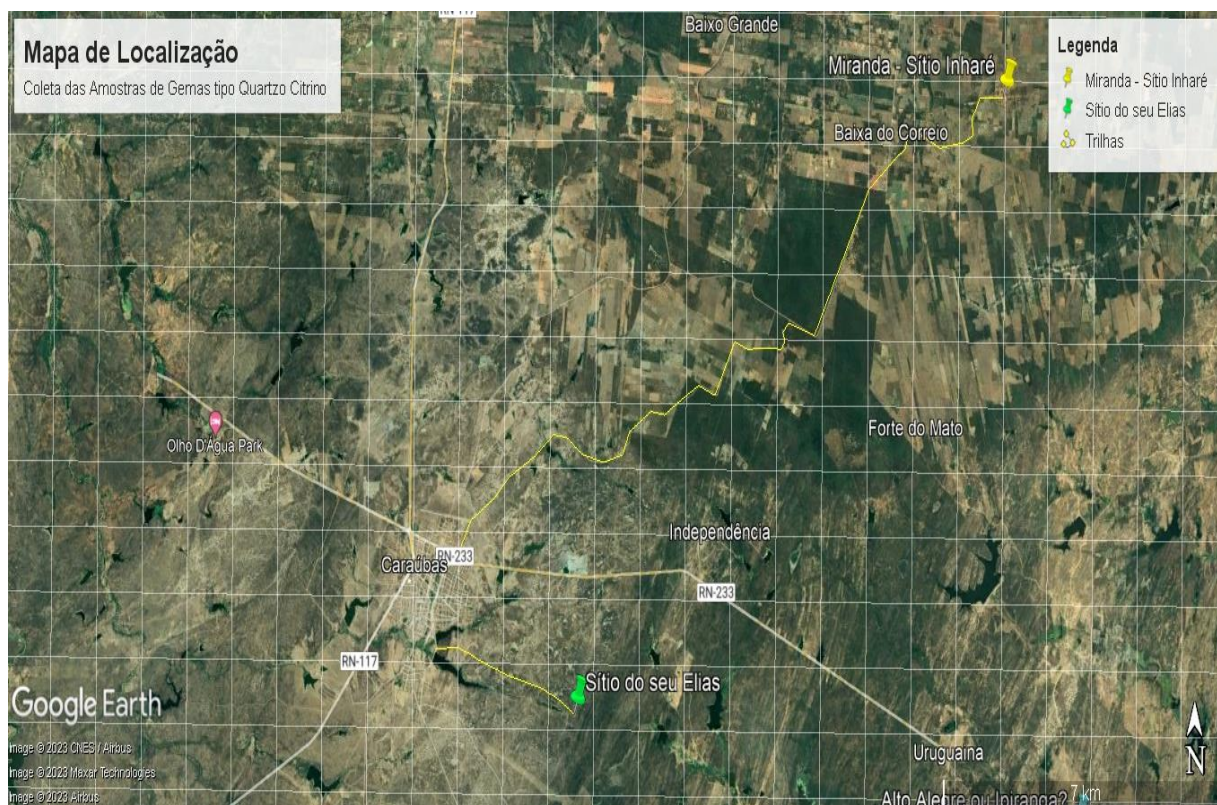


Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 13 é mostrado o mapa de localização onde o minerador conhecido como Tião fez as buscas das gemas e entregou ao Prof. Ricardo Bedoya para analisar as gemas encontradas. O sítio Seu Elias fica localizado na cabeceira do açude grande de Caraúbas, onde foi encontrado a gema maior de aproximadamente 90 mm, a 3,6 km de Caraúbas. O Sítio Inharé, que fica nas proximidades do povoado Miranda foi o local onde foram encontradas as gemas menores, em torno de 15 mm, a 18 km de Caraúbas.



Figura 13: Mapa de localização das amostras de Gemas tipo quartzo Citrino.



Fonte: Autoria Própria.

Inicialmente, o primeiro passo foi fazer um estudo bibliográfico da caracterização mineralógica do cristal de quartzo e confirmação da identificação do tipo cristalino. As referências analíticas referem-se a técnicas de caracterização de gemas que podem ser aplicadas após a segunda etapa de verificação.

As amostras foram condicionadas em um pote de plástico pequeno de cerca de 100 ml, onde foram acondicionadas as pedras de quartzo citrino pequenas. O peso ficou em torno de 200g. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Pesquisas Gemológicas – LAPEGE do Centro de Tecnologia Mineral, CETEM-RJ.

As amostras foram colocadas em processo de cominuição (britagem e moagem) e peneiramento. As amostras foram peneiradas em peneira de 70 MESH padrão ASTM, com tamanho de partículas abaixo de 152  $\mu\text{m}$ . A amostra foi colocada em um envelope plástico e enviada de volta por correio.

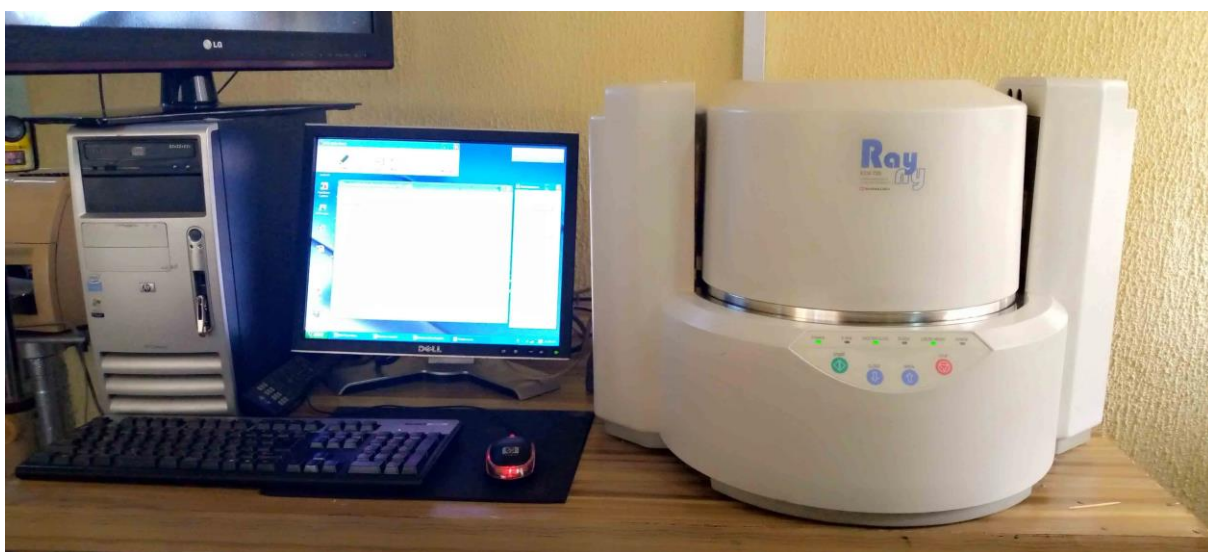
Em seguida as amostras foram divididas em partes pequenas e deixadas nos seguintes laboratórios para caracterização.



Análise química por Energia Dispersiva por Fluorescência de Raios X no laboratório de caracterização do departamento de engenharia de matérias da UFRN campus Natal, usando o equipamento EDX-720 da Shimadzu.

O equipamento de fluorescência de raios-X, é o modelo EDX-720, mostrado na Figura 14. É o modelo destaque da série EDX. Com alta sensibilidade, velocidade e precisão, este equipamento oferece suporte a novos regulamentos e diretrizes para conformidade ambiental e do consumidor, como RoHS / ELV, REACH e TSCA com kits de análise de triagem exclusivos e completos. O sistema inclui um tubo de raios X sofisticado, aquisição de dados de alta velocidade e ferramentas poderosas de análise de software. O tubo de raios X é projetado para fornecer uma alta relação sinal-ruído e excelente resolução espectral, apresentando uma corrente de partida potente de até 7 kW. Com seu tubo de raios X de alto desempenho, aquisição de dados em alta velocidade e software poderoso, ele garante resultados precisos e confiáveis.

Figura 14: Equipamento de fluorescência de raios-X, modelo EDX-720.

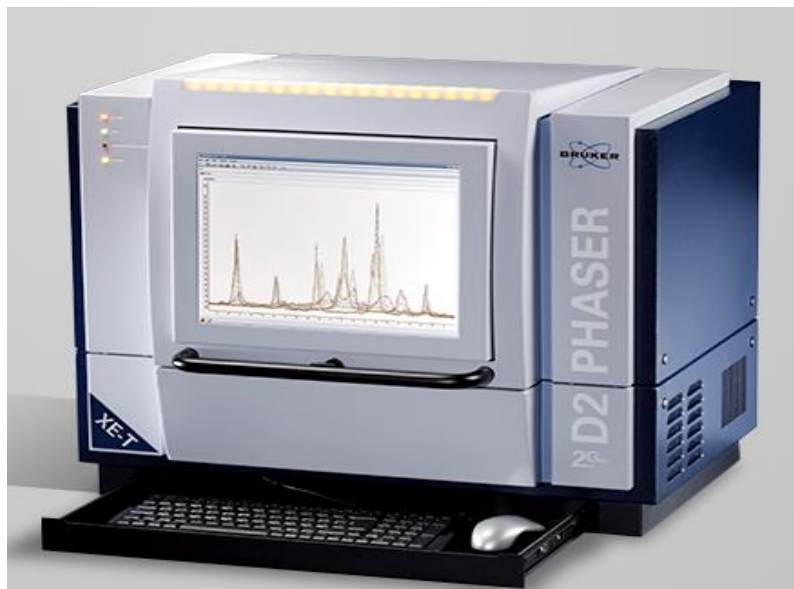


Fonte: CAE Online, 2021.

A análise por difração de raios X foi realizado no Laboratório de Peneiras Moleculares do departamento de química da UFRN campus Natal. Foi usado o difratômetro Bruker D2Phaser mostrado na Figura 15 equipado com um detector Lynxeye e radiação de cobre ( $\text{CuK}\alpha$ ,  $\lambda=1,54\text{\AA}$ ) com um filtro de Ni, corrente de 10 mA, voltagem de 30kV, utilizando um detector Lynxeye. Os parâmetros a seguir foram

especificados pela operadora, que usou as características da amostra o tipo quartzo. Faixa 2-theta; fenda divergente; fenda central; fenda convergente; passo; tempo de aquisição.

Figura 15: Difratorômetro de raios X modelo D2 Phaser da Bruker.



Fonte: Bruker, 2023

A análise por espectroscopia Raman foi realizada no laboratório de química, do departamento de química da UFRN campus Natal. O equipamento é da Malvern Panalytical, modelo Epsilon 4, mostrado Figura 16.

Figura 16: Espectrômetro Raman modelo Epsilon 4 da Malvern Panalytical



Fonte: Malvern Panalytical, 2023.

Foi usado o software Crystallographica Search-Match (CSM), que é um programa de pesquisa projetado para uso com o Arquivo de Difração de Pó (PDF), produzido pelo Centro Internacional de Dados de Difração (ICDD). Seu objetivo principal é identificar os componentes de um pó comparando seu padrão de difração com o banco de dados PDF de padrões de pó. Além disso, o CSM permite que um banco de dados do usuário de padrões de pó seja mantido e pesquisado junto com o PDF.

O CSM suporta recuperação 'Booleana' de entradas de banco de dados que correspondem a critérios lógicos e fornece utilitários para localização de pico, subtração de fundo e remoção de  $K\alpha_2$ . O programa também possui facilidades para gerar relatórios impressos de alta qualidade resumindo uma sessão de CSM. Este software para pesquisa e ensino de cristalografia foi lançado em 1996 e desenvolvido e mantido pela Oxford Cryosystems até 2007. Atualmente, o crystallographica foi integrado ao HighScore da Malvern Panalytical, (J. Appl. Crystal. 1997. 30, 418-419).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise química da amostra Quartzo Citrino, por espectrometria de energia dispersiva por fluorescência de raios-X, usando o equipamento EDX-720, Shimadzu. Está mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Espectrometria de Energia Dispersiva por Fluorescência de Raios-X (EDXRF).

| <b>Resultado da análise química por EDXRF</b> |          |           |            |       |                      |
|-----------------------------------------------|----------|-----------|------------|-------|----------------------|
| Elemento                                      | Teor (%) | Desv.Pad. | Proc.Calc. | Linha | Intensidade (cps/uA) |
| Si                                            | 90,180   | 0,204     | Quan-FP    | SiKa  | 46,7868              |
| W                                             | 4,200    | 0,149     | Quan-FP    | WLa   | 2,7162               |
| Al                                            | 3,188    | 0,036     | Quan-FP    | AlKa  | 0,4824               |
| Sm                                            | 0,935    | 0,118     | Quan-FP    | SmLa  | 0,4357               |
| Fe                                            | 0,600    | 0,041     | Quan-FP    | FeKa  | 0,9972               |
| Au                                            | 0,568    | 0,568     | Quan-FP    | AuLa  | 0,3915               |
| Yb                                            | 0,329    | 0,329     | Quan-FP    | YbLa  | 0,1947               |

Fonte: Própria (2023).

A análise química da amostra de quartzo citrino por EDXFR, revelou elementos como: O Silício (Si), elemento majoritário na amostra, com uma concentração de 90,180%. Isso é típico de quartzo, que é composto principalmente por dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>).

O Tungstênio (W), é encontrado em uma concentração de 4,200%. A presença de tungstênio pode ser atribuída a impurezas na amostra proveniente do processo de preparação da mostra por moagem, em moinho de bolas usando esferas de WC ou pode ser elementos associados à matriz do quartzo citrino.

O alumínio (Al), apresenta uma concentração de 3,188%. Também pode ser uma impureza ou estar ligado à matriz da amostra.

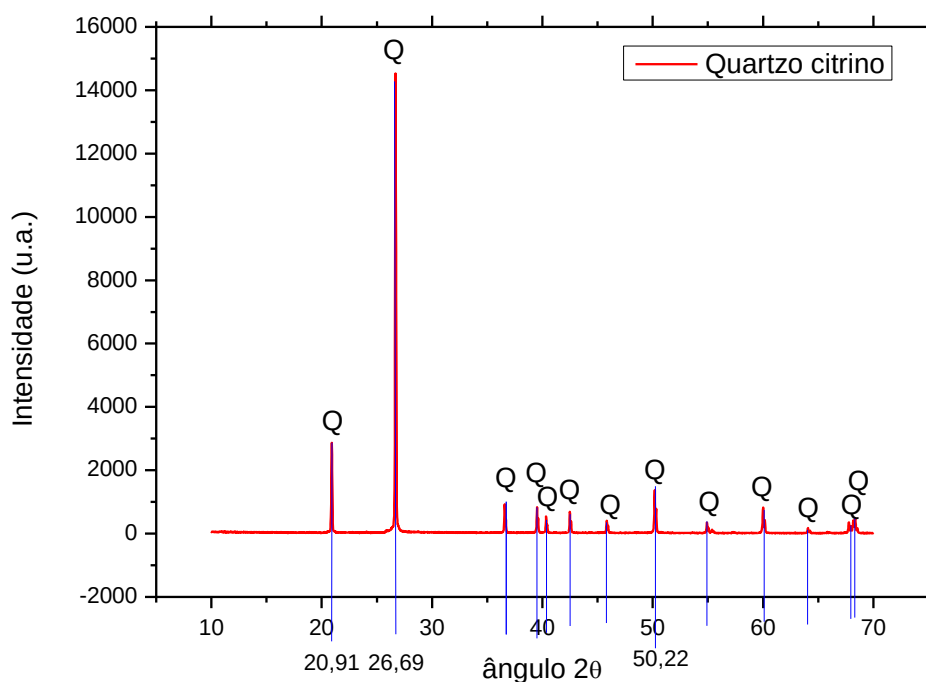
Os demais elementos minoritários apresentam concentração abaixo de 1%, que foram o samário (Sm), com 0,935%, ferro (Fe), com 0,600%, ouro (Au), com 0,568%, itérbio (Yb), com 0,329%. Essa baixa concentração desses elementos pode indicar impurezas da amostra original, sendo o ouro proveniente de minerais associados.

Geralmente, quartzo citrino é uma variedade de quartzo de cor amarela ou laranja, muitas vezes devido à presença de ferro ou outras impurezas. No entanto, os resultados indicam que o silício é o principal componente, e as concentrações de outros elementos, como tungstênio, alumínio, samário, ouro, ferro e itérbio, podem ser influências da matriz mineralógica ou impurezas na amostra. Para uma interpretação mais precisa e completa dos resultados, pode ser necessário realizar análises adicionais, como microscopia eletrônica de varredura ou outras técnicas de caracterização.

### 5.1 Difratoograma de Raios-X da amostra tipo Quartzo Citrino

A análise por difração de raios-X da amostra tipo Quartzo Citrino, está mostrado na Figura 17. A interpretação do difratograma, revelou picos característicos do quartzo alfa, simbolizado por (Q) como fase mineralógica majoritária presente na amostra.

Figura 17: Difratoograma apresentando quartzo alfa (Q) como fase mineralógica identificada.



Fonte: Própria, (2023)

Com base nos dados da análise química por EDXRF, apresentados na Tabela 1, visto anteriormente, foi possível identificar as outras fases mineralógicas presentes na gema do tipo quartzo citrino, que estão representadas no Quadro 1. Para realizar isso, foi utilizado as ferramentas de interpretação fornecidas pelo software Crystallographica Search-Match (CSM).

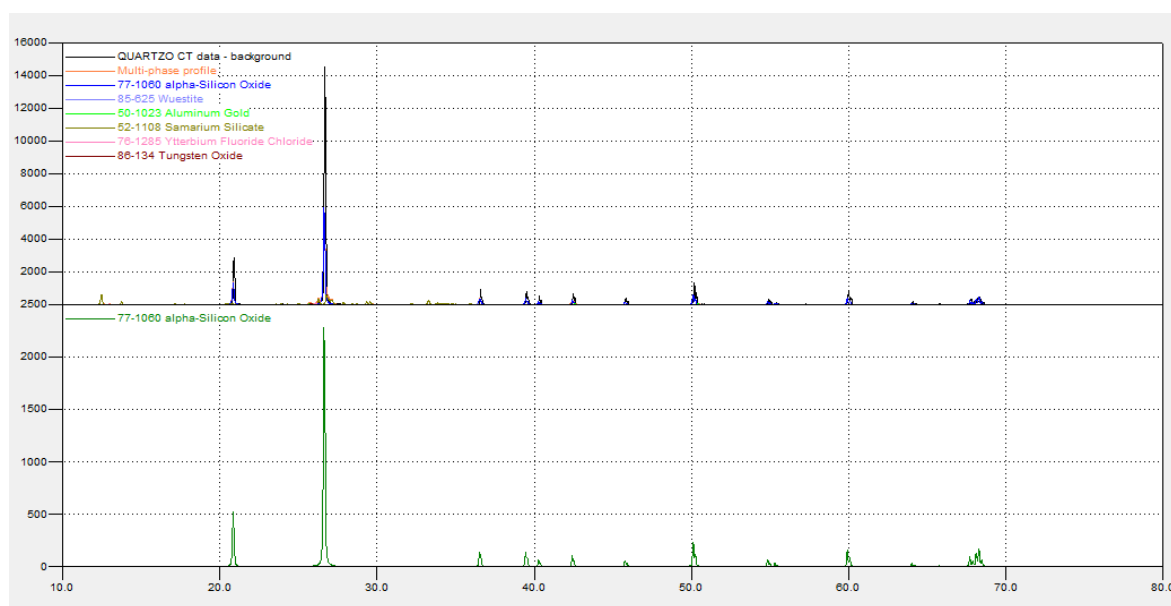
Quadro 1: Identificação das fases mineralógica presente na amostra tipo Quartzo Citrino. Interpretação pelo software Crystallographica Search-Match (CSM).

| Ficha JCPDF | Ordem | Nome                        | Fórmula                            |
|-------------|-------|-----------------------------|------------------------------------|
| 77-1060     | A     | Óxido de Silício - $\alpha$ | $\text{SiO}_2$                     |
| 85-625      | B     | Wuestite                    | $\text{Fe}_{.942}\text{O}$         |
| 50-1023     | C     | Alumínio-Ouro               | $\text{Al}_{11}\text{Au}_6$        |
| 50-1108     | D     | Silicato de Samário         | $\text{Sm}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ |
| 76-1285     | E     | Cloreto Fluoreto de Ytérbio | $\text{YbFCl}$                     |
| 86-134      | F     | Óxido de Tungstênio         | $\text{WO}_2$                      |

Fonte: Própria, (2023).

Operando as ferramentas do software CSM e aplicando os elementos químicos identificados por EDXRF e mostrado na Tabela 1, foi feito a interpretação que está disposta no difratograma mostrado na Figura 18.

Figura 18: Difratograma de raios-X da amostra quartzo citrino.

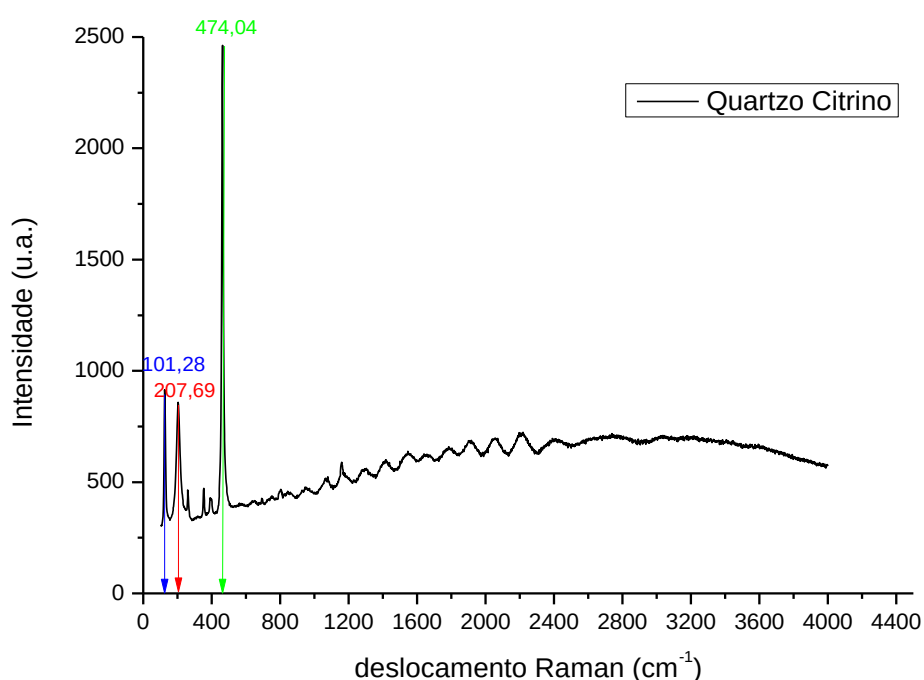


Fonte: Própria, (2023).

Na imagem do difratograma do quartzo citrino e aplicado no software CSM, permitiu-se identificar as fases mineralógicas minoritárias, que estão representadas no Quadro 1, onde a fase mineralógica do quartzo alfa é a dominante com 90,18%.

A Figura 19 representa o gráfico da espectroscopia Raman do quartzo citrino desenvolvido no espectrômetro Raman, do Departamento de Química, da UFRN, campus Natal.

Figura 19: Diagrama do deslocamento Raman do Quartzo Citrino



Fonte: Própria, (2023).

Os dados do espectrômetro mostram a intensidade em unidade arbitrária x deslocamento de onda Raman em ( $\text{cm}^{-1}$ ). Os dados foram dispostos no software Origin e levantado esse espectro, onde o quartzo citrino apresenta vibrações distintas abaixo de  $500/\text{cm}$  do deslocamento de onda Raman. Com deslocamentos Raman em  $101,28/\text{cm}$  e  $207,69/\text{cm}$  em picos de intensidades próximos de 1000 (u.a.) e o com um deslocamento  $474,94/\text{cm}$  com pico de intensidade próximo de 2500 (u.a.). Esses 3 picos revelados espectros Raman revela o modo vibracional molecular da estrutura apresentada no quartzo citrino, demonstrando alta cristalinidade do material.

O espectro Raman mostrou vibrações distintas com frequências abaixo de  $500\text{ cm}^{-1}$ , que indicam alta cristalinidade. O pico em torno de  $474\text{ cm}^{-1}$ , revelou a banda

de deformação. Esta banda está associada às vibrações de deformação dos átomos de silício e oxigênio no retículo cristalino do quartzo. O pico menor 101  $\text{cm}^{-1}$ , revelou uma banda característica devido às vibrações transversais ópticas dos átomos. O pico perto de 207  $\text{cm}^{-1}$ , revelou outra banda longitudinal ótica de dispersão, relacionada às vibrações longitudinais ópticas dos átomos no cristal. O estudo dos resultados da espectroscopia Raman requer um maior aprofundamento e discussões com especialistas para obter maiores resultados da estrutura cristalina.

A análise do espectro Raman do quartzo citrino é apenas superficial, com o aprofundamento do estudo dessa técnica poderá revelar maiores detalhes da estrutura cristalina e a influência de seus componentes químicos no aspecto característico do espectro Raman revelado. Outro aspecto que poderia revelar mais informações, seria fazer o espectrograma de um quartzo citrino padrão de cor bem alaranjado e fazer uma análise comparativa.



## 6 CONCLUSÕES

A análise química da amostra de quartzo citrino por EDXRF revelou informações significativas sobre a composição química desse mineral. O silício (Si) se destacou como o elemento majoritário, o que é consistente com a composição típica do quartzo, composto principalmente por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). A presença de tungstênio (W) e alumínio (Al) levanta questões interessantes sobre a origem desses elementos na amostra, sugerindo possíveis impurezas ou associações com a matriz do quartzo citrino.

A detecção de outros elementos minoritários, como samário (Sm), ferro (Fe), ouro (Au) e itérbio (Yb), com concentrações abaixo de 1%, indicou que a amostra pode conter impurezas provenientes da matriz mineralógica original, com o ouro possivelmente associado a minerais relacionados.

O material bruto analisado, foi considerado gema de quartzo citrino e foi identificado na classe mineral de silicatos com um sistema de cristalização trigonal. No entanto, as concentrações dos outros elementos mencionados podem ser influências da matriz mineralógica ou impurezas na amostra.

A análise do difratograma e do espectro Raman do quartzo citrino revelou a predominância da fase mineral do quartzo alfa, com 90,18% de representação na amostra.

O espectro Raman mostrou vibrações distintas com frequências abaixo de 500  $\text{cm}^{-1}$ , que indicam alta cristalinidade. O pico em torno de 474  $\text{cm}^{-1}$ , revelou a banda de deformação. Esta banda está associada às vibrações de deformação dos átomos de silício e oxigênio no retículo cristalino do quartzo. O pico menor 101  $\text{cm}^{-1}$ , revelou uma banda característica devido às vibrações transversais ópticas dos átomos. O pico perto de 207  $\text{cm}^{-1}$ , revelou outra banda longitudinal ótica de dispersão, relacionada às vibrações longitudinais ópticas dos átomos no cristal. O estudo dos resultados da espectroscopia Raman requer um maior aprofundamento e discussões com especialistas para obter maiores resultados da estrutura cristalina.

No entanto, a análise é ainda superficial, sugerindo a necessidade de estudos mais aprofundados para compreender melhor a estrutura e as influências químicas. Uma análise comparativa com quartzo citrino padrão pode fornecer percepções adicionais. Essa pesquisa estabeleceu uma base para futuras investigações que podem ter aplicações em geologia, gemologia e materiais avançados.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, B.W. **A Identificação das Gemas**. Rio de Janeiro. Livro Técnico. 1984. 460p.

ASSA, Gustavo Elia. **Física Moderna para Ensino Médio**. João Pessoa: Editora IFPB, 2017.

AZÁROFF, L.V., **Elements of X-Ray Crystallography**, McGraw-Hill, 1968, p.610.  
BRANCO, Pércio de Moraes. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Identificacao-das-Pedras-Preciosas-Lapidadas-1103.html>. Acesso em: 05 set. 2023.

Bruker. D2 PHASER. Disponível em: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/diffractometers-and-x-ray-microscopes/x-ray-diffractometers/d2-phaser.html><sup>1</sup>. Acesso em: 18 out. 2023.

CARTIER, L. E., **Gemstones and sustainable development: Perspectives and trends in mining, processing and trade of precious stones**, The Extractive Industries and Society 6 (2019) 1013–1016.

Crystallographica - um kit de ferramentas de software para cristalografia, J. Appl. Crystal. (1997). 30 , 418-419.

CULLITY, B.D., **Elements of X-Ray Diffraction**, Addison-Wesley, 2nd. Ed., 1978, p. 545.

FREZZOTTI, M. L. et al, **Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis**. Journal of Geochemical Exploration, 112 (2012) 1–20.

GANDINI, A. L. Gemologia. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, 2015.

Hinrichs, R. (Org.). (2014). Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências.

HORIBA. Raman Spectroscopy, c2021. Tecnologia de espectroscopia e imagem Raman. Disponível em: < <https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/raman-imaging-and-spectroscopy/raman-spectroscopy/>>. Acesso em: 10 set. 2023.

HURLBUT Jr., C. S. & SWITZER, G. S. **Gemologia**. Barcelona, Ômega. 1980. 243p.

JUCHEM, P.L. e BRUM, T.M.M., **Técnicas de identificação e certificação de gemas**: Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do RS, Hinrich, R. Laboratório de Gemologia, Departamento de mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, UFRGS. capítulo 6, 69-92. Acesso em: 10 set. 2023.

KLEIN C. & HURLBUT Jr. C. S. **Manual of Mineralogy**. 21.ed. NewYork, John Wiley & Sons. 1993. 681p.

LEAL, José Maria; BECATTINI, Carolina Duarte; LOPES, Victória Carolina Pinheiro; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC). *Gemologia ao alcance de todos*. Belo Horizonte: CETEC, 2007.

LICCARDO, Antonio, **Técnicas de análise mineralógica / gemológica**, Área de Mineralogia-Gemologia, UFOP. Curso acessado pela internet em maio, 2019.

LIMA, J. A. Física: conceitos e aplicações. Disponível em: <https://physika.info/site/documents/Lima2006.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

MALVERN PANALYTICAL. X-ray fluorescence (XRF), 2021. Tecnologia de análise de raios X por fluorescência. Disponível em: < <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence/energy-dispersive-x-ray-fluorescence>>. Acesso em: 10 set. 2023.

NARDY, A. J. R. Petrologia Óptica: Capítulo 7 - Minerais opacos. [s.l.]: UNESP, [s.d.]. Disponível em: < <http://www1.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/opticap7.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2023.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. Telescópios: tipos e características. *Astrofísica para Poetas*, Porto Alegre. 2018. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node7.htm>. Acesso em: 18 out. 2023.

READ, P. G. **Beginner's Guide to Gemmology**, 2nd Edition, ISBN 978-0-434-91753-2, Butterworth-Heinemann, 1988, p. 240.

READ, P.G., **Gemmology**, Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-7506-1066-7, 1991, p.370.

SALES E., OLIVEIRA, C. et al. **Integrated methodology for determining provenance of detrital quartz using optical petrographic microscopy and cathodoluminescence (CL) properties**. *Marine and Petroleum Geology* 88 (2017) 41e53.

SHIMADZU, Princípio da Geração da Fluorescência de Raios X, Disponível em: [https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/elemental/raios\\_x/eds/edx7200-1.shtml](https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/elemental/raios_x/eds/edx7200-1.shtml). Acesso em: 02 out. 2023.

SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. 9.ed. Rio de Janeiro, Livro Técnico. 2002. p.280.

SINGKARAT, S., et al., **A simple ion implanter for material modifications in agriculture and gemmology**, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 365 (2015) 414–418.

SMIGEL, Barbara. Gemology Course. Disponível em: <https://www.bwsmigel.info/>. Acesso em: 02 out. 2023.

SVISERO, Darcy P.; CAMARGO, William G. R.; NAZARIO, Germínio. Espectros infravermelhos de diamantes do Alto Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 269-274, set. 1988.

TIMOSHENKO, Stephen P.; YOUNG, D.H. Elementos de resistencia de materiales. Barcelona: Montaner y Simon, S.A., 1961.

VENKATESWARULU P., et al. ***Multielement analyses of isomorphous Indian garnet gemstones by XRD and external pixe techniques***. *Applied Radiation and Isotopes*.70 (2012) 2746–2754.

Zumdahl, S.S., and Zumdahl S.A. (2003). Atomic Structure and Periodicity. In *Chemistry* (6th ed., pp. 290-94), Boston, MA: Houghton Mifflin Company.