

Caracterización Gemológica de Aguamarinas de la Mesorregión Central Potiguar, Río Grande del Norte, Brasil.

Gemological Characterization of Aquamarines from the Central Potiguar Mesoregion, Río Grande do Norte, Brazil.

Rojas, Arol Josué¹ ✉; Hernández Ramírez, Daniel Andrés²

¹Instituto Federal del Norte de Minas Gerais, Diamantina (IFNMG - Brasil).

²Universidad Federal de Roraima, Boa Vista (UFRR - Brasil).

Resumen

La aguamarina es una variedad de berilo que se presenta de color azul claro a azul oscuro, además de un color verde azulado; el origen de su colorido es atribuido a diversas causas aún en estudio. Es considerada una de las gemas de mayor atractivo y valor con fuerte presencia en la industria de la joyería. En Brasil la provincia Pegmatítica Borborema es portadora de un sinnúmero de cuerpos pegmatíticos ricos en minerales gemológicos, dentro de estos cuerpos pegmatíticos se destacan los localizados en la mesorregión Central Potiguar, del estado de Río Grande del Norte, en el Noreste Brasileño. Este estudio se realizó para determinar las características gemológicas de las aguamarinas procedentes de seis minas productoras de la Mesorregión Central Potiguar, denominadas como Assentamento Santa Rosa, Fazenda Cirino, Fazenda Rodeador, Sítio Monte Alegre, Sítio Pedra Branca y Trapiá. Para alcanzar los objetivos fueron utilizados métodos gemológicos clásicos para dilucidar la caracterización de las aguamarinas. Los cristales analizados presentaban forma anhedral. Los resultados obtenidos indican cristales mayormente clasificados como excelentes teniendo en cuenta sus características principales como color, pureza y talla, pudiendo ser catalogados como cristales de calidad gemológica.

Palabras clave: Gemología, Pegmatitas, Berilo.

1. INTRODUCCIÓN

El grupo mineral del berilo está compuesto por diversos minerales que se diferencian principalmente por su color y su composición química, uno de estos minerales es la aguamarina, que resulta ser una variedad del grupo y que se presenta con una coloración con tonos que van desde el azul claro hasta el azul oscuro, asimismo, pueden observarse cristales de aguamarinas de coloración verde azulado, su fórmula está referida a $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$, según Klein y Hurlbut (1993); los cristales de aguamarina cristalizan en el sistema hexagonal, presentan una densidad entre 2,65 y 2,80, una dureza entre 7,5 y 8,0 e índices de refracción entre 1,57-1,61.

El origen de su color ha sido objeto de debate por muchos años y autores como Wood y Nassau (1968) han indicado que su origen se debe a la presencia de hierro ferroso en el Sítio B de sus canales estructurales, este contenido de hierro ferroso está entre 0,1 y 0,3 %. Para los autores Nassau (2001) y Polli (2006), su color se debe a la presencia del Ion Ferroso (Fe^{2+}) y dependiendo de la concentración de este en su estructura, los cristales de aguamarinas pueden presentar diferentes tonalidades de azul. De acuerdo con Viana (2002) el origen del color de las aguamarinas está fuertemente ligado por las proporciones de (Fe^{2+} y Fe^{3+}) presentes en los sitios de sus canales estructurales. En la industria de la joyería el color de los cristales de aguamarina ejerce un papel importante y es indicado como una influencia directa en el valor final en el mercado. Como es bien sabido, Brasil es reconocido como uno de los grandes productores de gemas a nivel mundial y particularmente como productor de aguamarinas, así, se encuentran cuerpos pegmatíticos con presencia de esta variedad de berilo en los estados de Alagoas, Bahía, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraíba, Río Grande del Norte y Rondônia.

✉ arol@ufop.edu.br

Abstract

Aquamarine is a variety of beryl, which has a light blue to dark blue color, in addition to a bluish-green color, the origin of its colors is attributed to various causes still under study. It is considered one of the most attractive and valuable gemstones with a strong presence in the jewelry industry. In Brazil, the Borborema Pegmatitic province is the bearer of a large number of pegmatitic bodies rich in gemological minerals. Among these pegmatitic bodies, those located in the Central Potiguar Mesoregion, in the state of Río Grande do Norte, in Northeastern Brazil, stand out. This study was conducted to determine the gemological characteristics of aquamarines from six producing mines in the Central Potiguar Mesoregion, known as Assentamento Santa Rosa, Fazenda Cirino, Fazenda Rodeador, Sítio Monte Alegre, Sítio Pedra Branca and Trapiá. To achieve the objectives, classical gemological methods were used to elucidate the characterization of aquamarines. The analyzed crystals presented anhedral shape. The results obtained show crystals mostly classified as excellent taking into account their main characteristics such as color, purity and cut. They can be classified as crystals of gemological quality.

Keywords: Gemology, Pegmatites, Beryl.

nia. Exceptuando el estado de Rondônia, la presencia de aguamarinas, en Brasil, se halla dentro de los márgenes de la provincia Pegmatítica Oriental de Brasil (POB) y la provincia Borborema (PB).

1.1 Localización del área de estudio

La mesorregión Central Potiguar es una de las cuatro mesorregiones que componen la división político-administrativa del estado de Río Grande del Norte, localizado al Noreste de Brasil (Figura 1). La mesorregión Central Potiguar está compuesta de 37 municipios de los cuales, para efectos del estudio, en cuatro de ellos se localiza la presencia de cristales de aguamarinas, siendo los mismos los municipios de Bodó, Cerro Corá, Fernando Pedroza y Santana do Matos.

De acuerdo con Moraes (1999) dentro del estado de Río Grande del Norte también existen otras mineralizaciones de aguamarinas, concentradas en los municipios de Parelhas, Tenente Ananias, Lajes Pintadas, Equador, São Tomé, Taboleiro Grande, Bento Fernandes, Riacho de Santana, Jardim do Seridó, Luis Gomes y Major Sales.

1.2 Contexto Geológico Regional

El área de estudio se encuentra localizada en la porción Noreste de la provincia Borborema (PB), que ocupa un territorio de 380.000 Km² aproximadamente. Se caracteriza por la presencia de un complejo de fallas de gran porte que se encarga de dividir la provincia, donde se encuentran depósitos minerales de berilo, litio y tantalio, asociados a cuerpos de pegmatitas. De acuerdo con Oliveira (2008) los límites internos, de la provincia Borborema, son representados por las zonas de

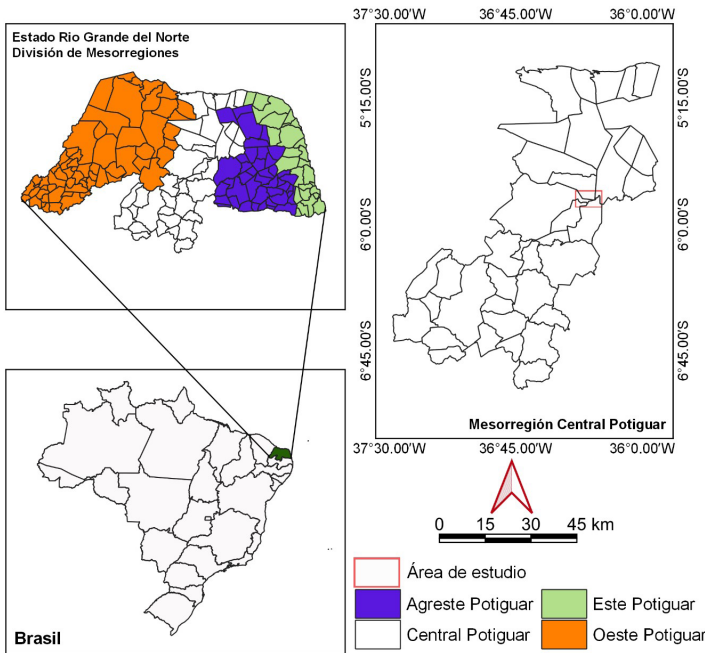


Figura 1. Localización de la Mesorregión Central Potiguar y área de estudio.

cizallamiento: Pernambuco-Congo, Patos y Jaguaribe-Tatajuba, según el autor estas zonas de cizallamiento permiten la división de la provincia en los dominios geofísicos-geotectónicos, Sur, Transversal, Río Grande del Norte, Ceará y Medio Coreaú. Oliveira y Nascimento (2019) dividieron los terrenos del estado en dos grandes estructuras tectónicas, identificando la Zona de Cizalla Portalegre (ZCPa), con dirección NNE-SSW y carácter de cinemática transcurrente dextral, que tuvo inicio durante el Ciclo Brasileño (650-500 Ma). En el Fanerozoico, esta zona sufrió reactivación y deformación frágil, hecho que permitió el desarrollo de cuencas sedimentarias interiores y contribuyó a la formación de la Cuenca Potiguar (Nóbrega, 2004). Además, la Zona de Cizalla Picuí-João Câmara (ZCPJC), también tiene dirección NNE-SSW con cinemática transcurrente dextral.

1.3 Contexto Geológico Local

Los cristales de aguamarinas presentes en el área de estudio, se encuentran hospedados en cuerpos pegmatíticos de hasta 5 metros de espesor y de poca extensión, se localizan encajados principalmente en ortogneises del Complejo Caicó, y se presentan en cristales de pequeños tamaños (Figura 2). En el estudio fueron analizados cristales de seis lugares con presencia de aguamarinas, ellos son: Assentamento Santa Rosa, Fazenda Cirino, Fazenda Rodeador, Sítio Monte Alegre, Sítio Pedra Branca y Trapiá. De acuerdo con Cassedanne (1991), estos cuerpos pegmatíticos probablemente están relacionados a pegmatitas Tipo III de Vlasov, que son pegmatitas zoneadas con micas y aguamarinas, pero menos evolucionadas que las de Tipo IV que presentan minerales del

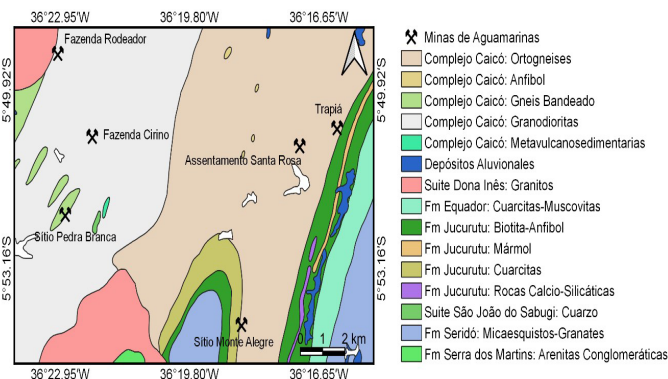


Figura 2. Mapa Geológico del área de estudio y localización de las Minas de aguamarinas.



Figura 3. Cristales de Aguamarinas procedentes de la Mina Trapiá en la Mesorregión Central Potiguar del Estado de Río Grande del Norte (Brasil).

grupo de las Turmalinas y minerales de Lito.

Según Moraes (1999) las pegmatitas del estado de Río Grande del Norte, están localizadas predominantemente en la faja Seridó, y se encuentran encajadas en micaesquistos de la formación Seridó. Estos cuerpos son filonianos generalmente constituidos por grandes cristales de microclina, cuarzo, plagioclasas y moscovita.

2. METODOLOGÍA

En el estudio fueron utilizados doce cristales de aguamarinas procedentes de las seis ocurrencias anteriormente descritas, cristales que varían de escasos milímetros hasta centímetros (Figura 3). Los análisis gemológicos fueron realizados utilizando microscopio gemológico, densímetro digital marca GEHAKA Versión 1.2, polariscopio de mesa, lupa binocular de 10X y refractómetro gemológico. Para la clasificación de las muestras fue usado el sistema de clasificación para gemas de color, propuesto por el Grupo de Estudios en Gemología de la Universidad Federal de Espírito Santo (GREGEM/UFES).

El objetivo de cada uno de los instrumentos utilizados en la pesquisa fue definido de la siguiente manera:

Tabla 1. Sistema de Clasificación para Gemas de Color, propuesto por el GREGEM/UFES.

	Excelente (Extra)	Buena	Media	Baja
Color	Matiz puro y uniforme. Brillo Intenso.	Matiz puro con algún desvío de tono, variando de intenso para claro.	Gran diferencia en la tonalidad, con poca saturación y extinción de color.	Muy clara o muy oscura con poca saturación.
Pureza	<p>Grupo 1: Inclusiones mínimas, poco percibidas al ojo y poco visibles con lupa de 10X.</p> <p>Grupo 2: Inclusiones pequeñas, invisibles al ojo y levemente visibles con Lupa de 10X.</p> <p>Grupo 3: Inclusiones pequeñas, no visibles al ojo y levemente visibles con Lupa de 10X.</p>	<p>Grupo 1: Inclusiones mínimas, aparentes o visibles con lupa de 10X.</p> <p>Grupo 2: Inclusiones bastante visibles con Lupa de 10X y fácilmente visibles al ojo.</p> <p>Grupo 3: Inclusiones bastante apreciables o visibles al ojo.</p>	<p>Grupo 1: Inclusiones poco percibidas al ojo y visibles con lupa de 10X.</p> <p>Grupo 2: Inclusiones acentuadas visibles al ojo.</p> <p>Grupo 3: Inclusiones muy visibles al ojo.</p>	<p>Grupo 1: Inclusiones poco visibles al ojo y visibles con lupa de 10X.</p> <p>Grupo 2: Inclusiones acentuadas visibles al ojo.</p> <p>Grupo 3: Muchas Inclusiones visibles al ojo, que toma la muestra en translúcida u opaca.</p>
Talla	Buenas proporciones, simetría perfecta, buen pulimento.	Variaciones pequeñas en las proporciones, en las líneas de simetría.	Variaciones en las proporciones (muy alta o profunda) Cuando es observada desde la corona.	Grandes variaciones en la simetría, con proporciones muy lejanas de las ideales. Pulido débil.
Clasificación	10-8	8-6	6-4	<4

Tabla 2. Densidades Relativas de las muestras analizadas

Muestras	Densidad (g/cm ³)
ASR01	2,654
ASR02	2,680
FCI01	2,768
FCI02	2,658
FRO01	2,712
FRO02	2,701
SMA01	2,718
SMA02	2,699
SPB01	2,785
SPB02	2,669
TRA01	2,750
TRA02	2,715

El microscopio gemológico fue empleado en la observación detallada de discontinuidades tanto físicas como ópticas de las muestras.

El densímetro digital fue utilizado para las medidas de densidades relativas de los cristales.

El polariscopio de mesa se utilizó en la determinación del signo óptico.

La lupa binocular fue empleada para observar las características y propiedades macroscópicas.

El refractómetro gemológico se empleó para el cálculo de los índices de refracción de cada muestra.

Finalmente, fue utilizado el sistema de clasificación para gemas de color, propuesto por el Grupo de Estudios en Gemología de la Universidad Federal de Espírito Santo (GREGEM/UFES), para la evaluación y clasificación de las muestras, aplicando los diferentes criterios indicadores de calidad gemológica para gemas de color, siendo considerados los siguientes: color, pureza y talla (Tabla 1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las muestras analizadas presentaron en su totalidad hábito hexagonal, brillo vítreo, diafanidad transparente, fractura concoidea, clivaje imperfecto y dureza entre 7,5-8,0.

3.1 Densidad Relativa

Según Graziani y Di Giulio (1979), la densidad relativa de las aguamarinas es de 2,69 g/cm³. De acuerdo con Correia-Neves, Pedrosa-Soares y Marciano (1986), en estado puro pueden presentar una densidad relativa que varía de 2,62 a 2,67 g/cm³ y que, dependiendo del aumento del porcentaje de álcalis presente en su composición química, puede llegar hasta 2,91 g/cm³. Estudios realizados por Chankhantak, Thanasuthipitak y Kidkhanthod (2016), constataron valores de densidad relativa para muestras procedentes de Madagascar entre 2,66 y 2,75 g/cm³.

Los análisis realizados a 12 muestras de aguamarinas procedentes de la mesorregión Central Potiguar indicaron densidades relativas entre 2,654 y 2,785 g/cm³ (Tabla 2).

3.2 Refractometría

Los índices de refracción y birrefringencia tienen la característica de ser consideradas las propiedades físicas más importantes para la identificación no destructiva de una gema.

De acuerdo con Beus (1966) los índices de refracción de las aguamarinas pueden estar influenciados por el contenido de BeO.

De otro lado, según Černý y Hawthorne (1976), los valores de los índices de refracción tienen estrecha relación con los valores de densidad relati-

Tabla 3. Índices de Refracción y Birrefringencia de las muestras estudiadas.

Muestras	n _o	n _e	Birrefringencia
ASR01	1,572	1,573	0,001
ASR02	1,573	1,575	0,002
FCI01	1,577	1,581	0,004
FCI02	1,572	1,574	0,002
FRO01	1,575	1,577	0,002
FRO02	1,574	1,576	0,002
SMA01	1,575	1,578	0,003
SMA02	1,574	1,577	0,003
SPB01	1,578	1,582	0,004
SPB02	1,572	1,574	0,002
TRA01	1,576	1,579	0,003
TRA02	1,574	1,576	0,002

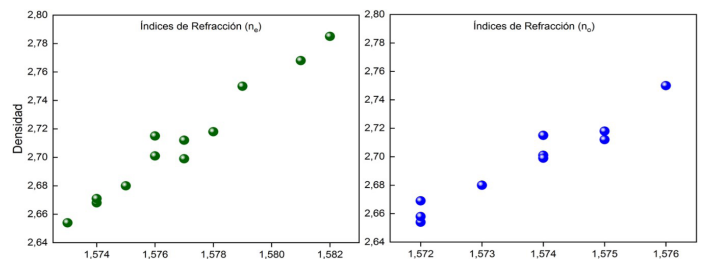


Figura 4. Correlación Densidad/n_e y Densidad/n_o, demostrando una tendencia positiva en las muestras analizadas.

va del berilo. Para dichos autores la densidad relativa sufre un aumento junto a los índices de refracción, relación que se debe a la incorporación de álcalis y agua en la estructura del berilo.

En los análisis realizados con el polariscopio de mesa, las muestras presentaron signo óptico uniaxial (-), los índices de refracción obtenidos en el refractómetro gemológico fueron entre 1,572-1,578 para n_o y 1,573-1,582 para n_e. La birrefringencia presentada por las muestras varió entre 0,001-0,004 (Tabla 3).

A partir de los datos obtenidos de los índices de refracción y de las densidades relativas de las muestras estudiadas, fueron correlacionados estos dos parámetros (Figura 4), y se observó una correlación positiva entre estos valores. Esta correlación positiva puede ser alusiva al aumento observado en los tenores de álcalis en muestras de aguamarinas de otras regiones tanto en Brasil (Rojas, 2021), como en otras localidades del mundo.

De acuerdo con Liu et al., (2007) el incremento en los tenores de álcalis presentes en los canales estructurales del berilo, hace que los índices de refracción y densidades relativas presenten un aumento en sus valores.

3.3 Evaluación y clasificación gemológica

La evaluación y posterior clasificación de las muestras de aguamarinas estudiadas se realizó considerando el sistema de clasificación para gemas de color propuesto por el Grupo de Estudios en Gemología de la Universidad Federal de Espírito Santo (GREGEM/UFES). De las 12 muestras analizadas el 50% obtuvo la clasificación de EXCELENTE presentando características, en cuanto a color, pureza y talla, ubicadas en la escala de mejor ponderación, el 41,67 % de las muestras fueron clasificadas como BUENAS y el 8,33% fueron catalogadas como de calidad MEDIA (Tabla 4), indicando claramente la alta calidad de las muestras procedentes de las pegmatitas localizadas en la mesorregión Central Potiguar, del estado de Río Grande del Norte. Cabe resaltar que según el informe técnico elaborado por el CPRM (2018), en el área fueron identificados tres polígonos denominados de áreas potenciales de producción de aguamarinas.

4. CONCLUSIONES

Los cristales de aguamarinas de la mesorregión Central Potiguar presentaron características gemológicas típicas del mineral que fueron distinguidas en el estudio a través de la utilización de diferentes técnicas gemológicas, estos cristales estudiados tienen en su mayoría la clasificación de EXCELENTES por sus características destacadas de color y pureza, lo que posiciona el área de extracción como un lugar con procedencia de cristales de aguamarinas con calidad gemológica.

Tabla 4. Clasificación Gemológica de las muestras analizadas

Muestras	Color (50%)	Pureza (30%)	Talla (20%)	Clasificación
ASR01	8,0	7,5	7,0	Excelente
ASR02	8,5	8,5	7,5	Excelente
FCI01	7,0	6,5	6,5	Buena
FCI02	7,5	7,0	5,0	Buena
FRO01	7,0	7,5	6,5	Buena
FRO02	6,5	7,0	7,0	Buena
SMA01	8,5	9,0	8,0	Excelente
SMA02	8,0	8,0	8,5	Excelente
SPB01	6,0	6,5	6,0	Buena
SPB02	5,5	6,0	6,0	Media
TRA01	8,5	8,5	9,0	Excelente
TRA02	8,5	9,0	8,5	Excelente

REFERENCIAS

- Beus, A. A., (1966). Geochemistry of beryllium and genetic types of beryllium deposits. 1. Ed. San Francisco, W. H. Freeman and Company.
- Cassedanne, J. P., (1991). Tipologia das Jazidas Brasileiras de Gemas. In: Schobbenhaus, C., Queiroz, E. T. de, Coelho, C. E. (Orgs.). Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, v.4 Parte A, p.17-36.
- Chankhantha, C.; Thanasuthipitak, P.; Kidkhunthod, P., (2016). Iron K-Edge Xanes Study of Heated Green Beryl from Madagascar. *Walailak Journal*, v. 13, n. 12, p. 977-983.
- Černý, P. y Hawthorne, F. C., (1976). Refractive Índices versus alkali contents in beryl: General limitations and applications to some pegmatitic types. *The Canadian Mineralogist*, v. 14, p. 491-497.
- CPRM (2018). Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Geologia e recursos minerais da Folha Lajes SB.24-X-D-VI: estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:100.000. / Alan Pereira da Costa, Alexandre Ranier Dantas (Orgs.). Recife: CPRM, 163 p. il.
- Graziani, G. y Di Giulio, V., (1979). Growth of an aquamarine crystal from Brazil. *Neues Jahrb. Min. Monat*, p. 101-108.
- Correia-Neves, J. M.; Pedrosa-Soares, A. C. y Marciano, V. R., (1986). A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 1, p. 106-118.
- Klein C. y Hurlbut C. S. Jr., (1993). *Manual of Mineralogy*, 21st ed. xii + 681 pp. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Liu, Y.; Deng, J.; Li, G. W. y Shi, G., (2007). Structure refinement of Cs-rich and Na-Li beryl and analysis of its typomorphic characteristic of configurations. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 61-67.
- Moraes, J. F. S de. (1999). Gemas do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/SINTEC/SENAI/SEBRAE/FUNPEC, 72p. il. 1 mapa in bolso.
- Nassau, K., (2001). *The physics and chemistry of color: the fifteen causes of color*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Nóbrega, M.A., (2004). Evolução estrutural e termocronológica meso-cenozóica da zona de cisalhamento Portalegre, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em geodinâmica e geofísica - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Oliveira, R.G. (2008). Arcabouço Geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil). Tese (Doutoramento em Geofísica e Geodinâmica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN Brasil. 411 p.
- Oliveira, R.R. y Nascimento, M.A.L., (2019). Mapa Geológico Simplificado do Estado do Rio Grande do Norte: Representação Cartográfica de Elementos Geológicos Para Divulgação das Geociências. *Terrae Didactica*, Campinas, SP, v. 15, p.1-13.
- Polli, G. O. (2006). Tratamento Térmico de Berilo Incolor (Goshenita) e Colorido (Água-marinha, Heliodoro e Morganita). 173 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) -Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Rojas, A. J. (2021). Caracterização Químico-Mineralógica e Comportamento Térmico das Água-marinhas da Lavra Terra Branca, São José da Safira (MG). 129 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Wood, D. L. y Nassau, K. (1968). The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. *American Mineralogist*, v. 53, p. 777-800.