



Estudio dilatométrico de aguamarinas de la Mina Tierra Blanca, São José da Safira, MG

Arol Josue Rojas^{1*}, Taise Matte Manhobosco², Igor Alex Soares Santos³, Victor Carvalho Fagundes Melo⁴, José de Araujo Nogueira Neto⁵

¹Doutorando pela Universidade Federal de Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, CE, Brasil,

²Professora da Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Física, Ouro Preto, MG, Brasil.

³Colaborador Universidad Federal de Ouro Preto, Departamento de Geología, Ouro Preto, MG, Brasil.

⁴Estudiante de Ingeniería Geológica, Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geología,

Ouro Preto, MG, Brasil. ⁵Professor da Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e

Tecnología, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil. *aroljosue@gmail.com

Recebido em: 31/08/2020

Aceito em: 18/02/2021

Publicado em: 20/03/2021

RESUMEN

En el municipio São José da Safira del estado de Minas Gerais se localiza la mina Tierra Blanca, productora de diversos tipos de gemas de gran valor. Una de estas la aguamarina, la cual es una variedad del berilo, con colores que varían del azul al verde. El presente estudio consistió en el análisis de cristales de aguamarina utilizando dilatometría, con el objetivo de determinar las temperaturas de los eventos térmicos y de los cambios químicos presentes en el mineral durante los ensayos realizados. Fueron obtenidos diversos parámetros los cuales se observaron durante el estudio, siendo estos entre otros, la dimensión lineal relativa, la variación de longitud y el coeficiente de expansión térmica. Los resultados obtenidos en las muestras analizadas fueron de 0,0451 a 0,8961 % para la dimensión lineal relativa, de 3,07 a 386,01 μm en la variación de longitud y para los coeficientes de expansión térmica los valores variaron de 5,7147 a $8,2971 \times 10^{-6}/\text{K}$. Estos resultados indican que los cristales de aguamarina exhiben expansión térmica positiva en un amplio intervalo de temperaturas y que alrededor de los 840 °C comienza la transición de fase y alcanza el punto máximo a 1076 °C. Las muestras analizadas presentaron un comportamiento homogéneo.

Palabras-clave: Berilo. Expansión térmica. Química mineral.

Estudo dilatométrico de água-marinhas da Lavra Terra Branca, São José da Safira, MG

RESUMO

No município São José da Safira do estado de Minas Gerais localiza-se a lavra Terra Branca, produtora de diversos tipos de gemas de grande valor. Uma destas a água-marinha, a qual é uma variedade do berilo, com cores que podem variar do azul ao verde. O presente estudo consistiu na análise de cristais de água-marinha utilizando dilatometría, com o objetivo de determinar as temperaturas dos eventos térmicos e das mudanças químicas presentes no mineral durante o estudo, sendo estes entre outros, a dimensão linear relativa, a variação de comprimento e o coeficiente de expansão térmica. Os resultados obtidos nas amostras analisadas foram de 0,0451 a 0,8961 % para a dimensão linear relativa, de 3,07 a 386,01 μm na variação do comprimento e para os coeficientes de expansão térmica os valores variaram de 5,7147 a $8,2971 \times 10^{-6}/\text{K}$. Estes resultados indicam que os cristais de água-marinha exibem expansão térmica positiva em um amplo intervalo de temperaturas e que ao redor dos 840 °C começa a transição de fase e alcança o ponto máximo a 1076 °C. As amostras analisadas apresentaram um comportamento homogéneo.

Palavras-chave: Berilo. Expansão térmica. Química mineral.

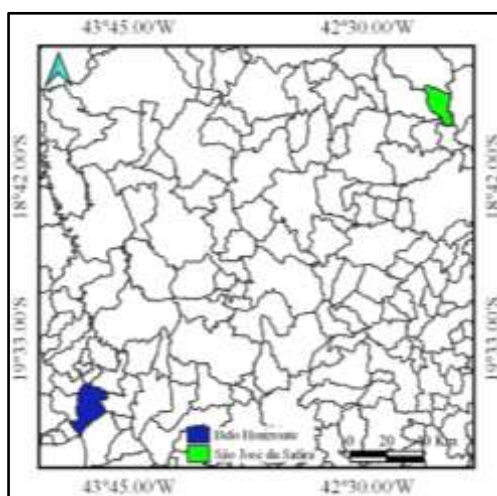
INTRODUCCIÓN

La aguamarina es una variedad del berilo con fórmula química $[\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})]$, suele presentarse en colores de azul a verde en diferentes tonalidades, cristaliza en el sistema hexagonal, densidad de 2,65-2,80, dureza 7,5-8,0 e índice de refracción 1,57-1,61 (KLEIN; HURLBUT, 1993).

El origen del color de las aguamarinas sigue siendo un tema de controversias, es atribuido por algunos autores (WOOD; NASSAU, 1968) al hierro ferroso presente en el «Sitio» B de sus canales estructurales axiales, otros investigadores como Fontan y Fransolet (1982), sugieren el origen del color a la presencia tanto del hierro férrico como del ferroso. Según Polli (2006) y Nassau (2001) el color de las aguamarinas se debe a la presencia del ion Fe^{+2} y que, dependiendo de la concentración de este ion, el mineral puede presentar varias tonalidades de azul.

El área de estudio se localiza en el municipio São José da Safira en el estado de Minas Gerais, este municipio se ubica a aproximadamente 400,80 km de Belo Horizonte, capital del estado (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Localización del área de Estudio



La presencia de las aguamarinas está relacionada a rocas o cuerpos de origen pegmatítico. Según London (2008), una pegmatita es esencialmente una roca ígnea, comúnmente de composición granítica, que se distingue de otras rocas ígneas por ser extremadamente gruesa, pero de variable tamaño, y por la gran abundancia de cristales con textura gráfica y otros hábitos de crecimiento direccional.

São José da Safira se sitúa dentro de la Provincia Pegmatítica Oriental de Brasil, algunos autores basados en la distribución geográfica de las pegmatitas, así como de sus relaciones con las rocas de caja, los granitos parentales, las edades geológicas y principales recursos minerales, subdividieron la Provincia Pegmatítica Oriental de Brasil en 11 distritos. Estos son Pedra Azul, Padre Paraiso, Araçuaí, Ataléia, São José da Safira, Conselheiro Pena, Malacacheta, Santa Maria de Itabira, Caratinga, Espera Feliz y Espírito Santo. Pedrosa-Soares et al., (2009).

Así estos cuerpos graníticos en la Provincia Pegmatítica Oriental de Brasil han sido estudiados debido a su importancia económica y mineralógica (PAIVA, 1946; PETITGIRAD et al., 2009; PEDROSA-SOARES et al., 2011). La mayoría de estos estudios se concentraron en los distritos Pegmatíticos de Araçuaí, Conselheiro Pena, Malacacheta, Padre Paraiso, Pedra Azul y Santa Maria de Itabira.

Kahwage y Mendes (2004), describieron algunos cuerpos pegmatíticos en la región de São José da Safira (Sexta Feira, Cavallo Morto y Marcelo) afirmando que la aguamarina de calidad gemológica encontrada en estos cuerpos, ocupa solamente la zona mural también conocida como externa de esas pegmatitas.

Geológicamente el área de estudio se encuentra representada por la Formación São Tomé del Grupo Rio Doce, según la Compañía de Pesquisas y Recursos Minerales de Brasil (CPRM, 2000), esa formación es definida como una secuencia de metamorfitas de la facies anfibolita, presentando una variada gama de litotipos. Entre las principales rocas que componen la Formación São Tomé se encuentran, esquistos, esquistos grafitosos y cuarcita.

La aplicación de estudios dilatométricos en aguamarinas son muy escasos. Los únicos trabajos conocidos fueron realizados por Polli (2006) y Polli et al., (2006), en los cuales presentan la dilatometría de cristales de aguamarinas azules y verdes de la región Noreste de Minas Gerais y de Paraíba. No se tiene conocimiento previo de este tipo de estudios en cristales de aguamarina provenientes del distrito Pegmatítico de São José da Safira, motivo por el cual los datos generados en este trabajo van en auxilio de una mejor comprensión de este interesante tema.

De esta manera se tiene como objetivo principal de la pesquisa la determinación de las temperaturas de eventos térmicos y los cambios químicos presentes en el mineral con el transcurrir del calentamiento realizado en el laboratorio. Sabiendo que las curvas dilatométricas nos muestran las variaciones dimensionales que ocurren en una muestra,

variaciones que pueden estar relacionadas con algunos de los siguientes fenómenos: reacciones y transformaciones cristalógicas, dilatación física.

MATERIAL Y METODOLOGÍA

Las muestras de aguamarinas utilizadas en el estudio fueron colectadas en la mina Tierra Blanca, en el municipio São José da Safira. De forma general los cristales seleccionados presentaron dimensiones alrededor de 4,5 a 5,5 centímetros de longitud (Figura 2).

Figura 2 - Cristales de aguamarinas estudiados



Los dos cristales fueron cortados y facetados en forma de prisma, el primero con dimensiones de 6 mm de diámetro y 11 mm de longitud y el segundo cristal con dimensiones de 6 mm de diámetro y 15 mm de longitud, según el eje c del cristal.

Para esto fue utilizado el equipamiento de precisión *ISOMET 1000*, con disco diamantado y 800 rpm, del Laboratorio de Difusión del Departamento de Física (DEFIS), de la Universidad Federal de Ouro Preto.

Este equipo permite el corte de las muestras con el espesor deseado y sus caras perfectamente paralelas. Posteriormente las muestras fueron encauzadas al Laboratorio de Tratamiento Térmico del Departamento de Física (DEFIS) de la Universidad Federal de Ouro Preto. En este laboratorio se procedió a realizar los análisis de dilatometría, utilizando un dilatómetro marca Linseis modelo L75 Platinum Series, con rango de calentamiento de hasta 1600 °C (Figura 3).

Figura 3 - Dilatómetro utilizado en el estudio



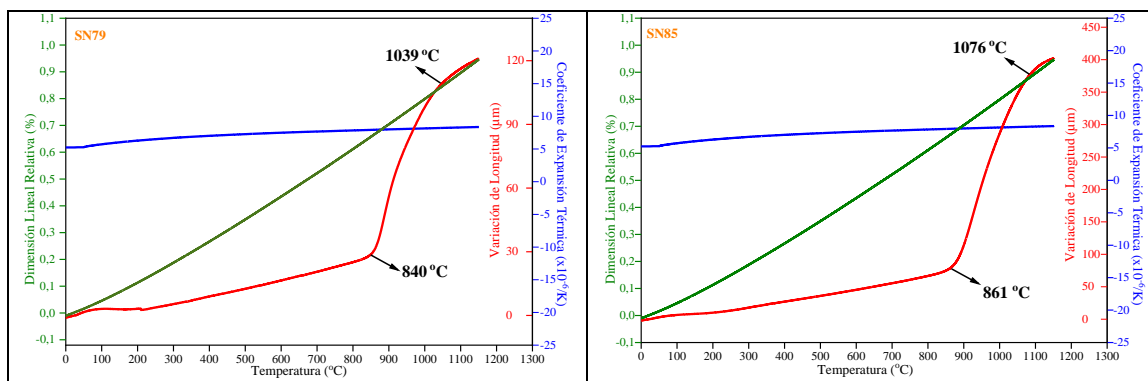
Según Ionashiro y Giolito (1980), la dilatometría es la técnica en la cual las dimensiones de una sustancia, son medidas en función de la temperatura, en cuanto a que esa sustancia es sometida a una programación controlada de temperatura (calentamiento). Los mismos autores, Ionashiro y Gilito (1988), clasificaron la dilatometría dentro de un grupo de análisis llamado de Técnicas Termoanalíticas individuales.

Los análisis dilatométricos fueron realizados en el intervalo de temperatura de ± 20 °C hasta 1150 °C, con una rampa de calentamiento de 10 °C por minuto. Los datos generados por el dilatómetro fueron tratados en el Software *WIN-TA*, de la empresa Linseis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para las dos muestras SN79 y SN85 (Figura 4), presentaron de forma general comportamientos semejantes para cada parámetro (dimensión lineal relativa, variación de longitud y coeficientes de expansión térmica). Observándose que a partir de los 840 °C, comienza un cambio de fase en las muestras y que alcanza su máxima expresión entre los 1039 y 1076 °C.

Figura 4 - Curvas dilatométricas de las muestras estudiadas



En la Tabla 1, son expuestos los valores de la dimensión lineal relativa, para cada muestra, que variaron entre 0,0451 a 0,8961 %.

Tabla 1 - Dimensión lineal relativa de las muestras (%)

Temperatura (°C)	SN79	SN85
100	0,0458	0,0451
200	0,1131	0,1147
300	0,1878	0,1852
400	0,2666	0,2638
500	0,3491	0,3481
600	0,4345	0,4351
700	0,5259	0,5204
800	0,6117	0,6076
900	0,7042	0,7040
1000	0,7988	0,7966
1100	0,8956	0,8961

SN79 y SN85 = Código de las muestras

Los valores de la variación de longitud de las muestras estuvieron entre 3,07 a 386,01µm (Tabla 2).

Tabla 2 - Variación de longitud de las muestras (µm)

Temperatura (°C)	SN79	SN85
100	3,07	5,87
200	3,12	10,14
300	5,35	18,02
400	8,95	27,14
500	12,55	35,73
600	16,47	45,19
700	20,57	55,37
800	25,08	66,63
900	55,97	113,71
1000	98,10	286,17
1100	116,24	386,01

SN79 y SN85 = Código de las muestras

Por ultimo los coeficientes de expansión térmica resultantes de los análisis, fueron de 5,7147 a 8,2971x10⁻⁶/K (Tabla 3).

Tabla 3 - Coeficientes de expansión térmica de las muestras (x10⁻⁶/K)

Temperatura (°C)	SN79	SN85
100	5,7147	5,7156
200	6,2831	6,2836
300	6,7032	6,7035
400	7,0152	7,0155
500	7,2723	7,2725
600	7,4906	7,4907
700	7,6741	7,6743
800	7,8426	7,8427
900	8,0024	8,0025
1000	8,1510	8,1511
1100	8,2970	8,2971

SN79 y SN85 = Código de las muestras

Este comportamiento fue también observado en estudios desarrollados por Polli et al., (2006), que obtuvo valores muy próximos en cristales de aguamarina azul de Araçuaí en el noreste de Minas Gerais y para cristales de aguamarinas verdes de São Vicente do Seridó en Paraíba.

CONSIDERACIONES FINALES

Basados en los resultados obtenidos en el estudio, podemos verificar que la aguamarina exhibe una expansión térmica positiva en un amplio intervalo de temperaturas y que a partir de los 840 °C comienza la posible transición de fase, alcanzando el punto máximo a 1076 °C, a partir de esta temperatura se puede sugerir que esa característica permanece inalterable en temperaturas más elevadas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior de Brasil (CAPES) - Código de Financiamiento 001.

Los autores agradecen al señor Milton Dias Godinho por la disponibilidad del área de estudio y al promotor de turismo de la alcaldía de São José da Safira, licenciado José Antônio Dias Guerreiro dos Santos, por el acompañamiento y discusiones en el trabajo de campo.

REFERENCIAS

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Ieste**: Santa Maria do Suaçuí, Folha SE.23-Z-B-III, Estado de Minas Gerais, Escala 1:100.000, 2000.

FONTAN, F.; FRANSOLETT, A. Le beryl bleu riche en Mg, Fe et Na de la mina de Lassur, Ariège, France. **Bulletin Mineral**, v. 105, p. 615-620, 1982.

IONASHIRO, M.; GIOLITO, I. A nomenclatura em análise térmica. **Cerâmica**, v. 34, p. 163-164, 1988.

IONASHIRO, M.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. **Cerâmica**, v. 26, p. 17-24, 1980.

KAHWAGE, M. A.; MENDES, J. C. A influência da alcalinidade na causa e melhoramento de cor de berilo da Província Pegmatítica Oriental, em Minas Gerais. **Geochimica Brasiliensis**, v. 19, p. 001-007, 2005.

KLEIN, C.; HURLBUT, C. **Manual of mineralogy**. 21. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

LONDON, D. Pegmatites. **The canadian mineralogist**, v. 10, Ed. Robert F. Martin, Québec, 2008, 347 p

NASSAU, K. **The physics and chemistry of color: the fifteen causes of color.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2001.

PAIVA, G. Províncias pegmatíticas do Brasil. **Boletim Departamento Nacional de Produção Mineral.** v. 78, p. 13-21, 1946.

PEDROSA-SOARES, A. C.; CHAVES, M. L. S. C.; SCHOLZ, R. **Field Trip Guide.** International Symposium on Granitic Pegmatites. 2009, p. 4, 28.

PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS, C.; NOCE, C. M.; SILVA, L. C.; NOVO, T.; RONCATO, J.; MEDEIROS, S.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; DANTAS, E.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F. F. Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. **Geological Society, Special Publications**, v. 350, p. 25-51, 2011.

PETITGIRARD, S.; VAUCHEZ, A.; EGYDIO-SILVA, M.; BRUGUIER, O.; CAMPOS, P.; MONIÉ, P.; BABINSKI, M.; MONDOU, M. Conflicting structural and geochronological data from the Ibituruna quartz-syenite (SE Brazil): Effect of protracted 'hot' orogeny and slow cooling rate? **Tectonophysics**, v. 477, p. 174-196, 2009.

POLLI, G. O. **Tratamento Térmico de Berilo Incolor (Goshenita) e Colorido (Água-marinha, Heliodoro e Morganita).** 2006. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

POLLI, G. O.; SABIONI, A. C. S.; FERREIRA, A. C. M.; DEREPEPE, J.; ROESER, H. M. P. Comportamento físico-químico do berilo a altas temperaturas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n.4, p. 593-602, 2006.

WOOD, D. L.; NASSAU, K. The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. **American Mineralogist**, v. 53, p. 777-800, 1968.