

ASPECTOS QUÍMICO-MINERALÓGICOS DAS ESCAPOLITAS DE ARACRUZ E NOVA VENÉCIA – ES

CHEMICAL AND MINERALOGICAL ASPECTS OF SCAPOLITES FROM ARACRUZ AND NOVA
VENÉCIA – ES

**Thaís Bruna BENTO¹, Daniela Teixeira Carvalho de NEWMAN²,
Jéssica Miranda dos SANTOS¹**

¹Universidade Federal do Paraná. Departamento de Geologia. Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 - Jardim das Américas, Curitiba - PR. E-mails: thabruben@gmail.com; mirandas.jessica@gmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Gemologia. Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória – ES. E-mail: daniela.newman@gmail.com

Introdução
Localização e geologia da área
Química mineral das escapolitas
Materiais e métodos
Resultados e discussões
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Escapolita compreende uma série isomorfa de minerais aluminossilicatos de cálcio e sódio, tendo como membros extremos Marialita (Ma) - $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$ e Meionita (Me) - $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$, com variedades como minerais-gemas. No estado do Espírito Santo, foi registrado ocorrências de escapolitas prismáticas, amareladas, com boa transparência. Este estudo tem o objetivo de caracterizar as escapolitas dos depósitos de Aracruz e Nova Venécia – ES e compreender os aspectos químicos-mineralógicos, utilizando técnicas de DRX, MEV-EDS, MEV-CL, imageamento por CL-óptica e Microsonda Eletrônica (ME). Estudos composicionais através de ME e análises semiquantitativas de EDS permitiram traçar correlações composicionais e caracterizar as escapolitas de ambos os depósitos como Marialita cálcica ($\text{Me}_{38}\text{-Me}_{40}$). As análises por DRX permitiram identificar os parâmetros de rede e correlacionar a presença de Cl com aumento da constante V_0 entre amostras dos depósitos. Os dados espectrais e o imageamento por CL revelaram luminescência comumente laranja em 600-602nm e vermelha em 645nm de forma pontual, com diferentes intensidades entre os depósitos. Os perfis químicos e dados disponíveis na literatura, permitiram indicar o íon S^{2-} como elemento ativador da luminescência nas escapolitas.

Palavras-chave: Marialita cálcica. Mineral-gema. Química mineral. Caracterização mineralógica.

ABSTRACT - The scapolite consists an isomorphic-series of aluminosilicates minerals, involving the end members Marialite (Ma) - $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$ and Meionite (Me) - $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$, as gem minerals varieties. In the state of Espírito Santo, it was recorded occurrences of yellowish prismatic scapolites with good transparency. The presented study aims to scapolites characterize from Aracruz and Nova Venécia – ES, understand a mineralogical and chemical aspects, using techniques as XRD, SEM-EDS, SEM-CL, optic-CL and Electron Microprobe (EPMA). The compositional studies through of EPMA and semiquantitative analyses of SEM, allowed to trace compositional correlations and characterize the scapolites of deposits as calcium-marialite ($\text{Me}_{38}\text{-Me}_{40}$). The XRD analyses allowed correlate a presence of Cl and changes structures, between samples of depositions. The spectral of CL revealed orange luminescence at 600-602nm and red at 645nm, with different intensities between deposits. The chemical profiles identified a S^{2-} ion as luminescence activator element in the scapolites.

Keywords: Calcium-marialite. Gem-mineral. Mineral chemistry. Mineralogical characterization.

INTRODUÇÃO

A escapolita corresponde a uma série isomórfica, que possui composição variando entre membros sódicos (Na) e cálcicos (Ca), representada pelos membros extremos Marialita (Ma) $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$ e Meionita (Me) $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$ (Teertstra & Sherriff, 1996, 1997; Sokolova & Hawthorne, 2008). O interesse pelo estudo desse grupo está relacionado ao seu emprego como gema, principalmente pelas ocorrências de cristais transparentes de várias tonalidades, bem como por sua importância nos estudos referentes a metamorfismo.

Sob o aspecto macroscópico, a escapolita pode ser facilmente identificada sob a forma prismática, alongada ou achatada, de base retangular. Os monocristais possuem faces estriadas, diafanidade transparente a translúcida e dureza de 5,5 a 6 na escala de Mohs. Algumas ocorrências apontam para variedades de matizes, do amarelo esverdeado, amarelo, rosa, rosa arroxeado a violeta (Superchi et al., 2010).

A gênese das escapolitas compreende faixas metamórficas e metassomáticas, presente em todas fácies metamórficas de xisto-verde até sanidinito, comumente na fácies anfíbolito (Shaw, 1960).

Ocorre associada aos minerais do grupo da sílica, dos feldspatos, dos feldspatóides e das zeólitas (Fay, 1980; Carmona, 2006). Também possui ocorrências em calcários cristalinos, no processo de metamorfismo de contato com rochas ígneas intrusivas, bem como em xistos cristalinos, gnaisses, mármore, anfibolitos e escarnitos, em rochas básicas por alteração pegmatítica-pneumatolítica e hidrotermal, envolvendo soluções ricas em Cl, CO₂, SO₃ e água (Haughton, 1967; Carmona, 2006).

Benitez et al. (2012) e Costa et al. (2020) relatam ocorrências de escapolitas amareladas no estado do Espírito Santo, intimamente ligadas ao arcabouço de pegmatitos mineralizados, inseridos na Província Pegmatítica Oriental Brasileira. A Província Pegmatítica possui as maiores concentrações de pegmatitos do estado na produção de minerais-gemas, principalmente pelos registros de atividades garimpeiras na comunidade de Várzea Alegre no município de Santa Teresa (região serrana) com produção de andaluzitas, em Pancas, na produção de belos cristais de águas-marinhas, e

Mimoso do Sul com ocorrências de topázios e águas-marinhas (Silva et al., 2016).

As primeiras investigações sobre a química mineral das escapolitas encontram-se nas obras de Shaw (1960), Haughton (1967, 1971), Fay (1980), Swayze & Clark (1990), Teertstra & Sherriff (1996, 1997) e Teertstra et al. (1999). Nestes estudos há uma complexidade em determinar os mecanismos de substituições químicas e as influências estruturais do grupo mineralógico. Como, por exemplo, Wehrenber (1971), Sokolova & Hawthorne (2008) buscaram uma caracterização puramente estrutural, sem levar em consideração o comportamento dos elementos menores nos parâmetros reticulares.

Diante do exposto, este estudo visa caracterizar e divulgar informações sobre as escapolitas provenientes de dois depósitos capixabas, Aracruz e Nova Venécia, e, sob o aspecto químico-mineralógico contribuir sobre o estudo dessas ocorrências, utilizando técnicas de DRX, MEV-EDS, MEV-CL, Microsonda Eletrônica (ME) e imageamento por CL-óptica.

LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA DA ÁREA

No contexto geotectônico, o depósito de Aracruz, ao norte, e Nova Venécia, centro leste, do estado do Espírito Santo pertencem à Província Mantiqueira, situados ao norte da Faixa Ribeira, no orógeno Araçuaí (Neoproterozoico). Os depósitos estão encaixados no Complexo Nova Venécia e Maciço Aracruz (Figura 1a-b).

Na região de Nova Venécia há um predomínio de gnaisses aluminosos referente ao Complexo Paragnáissico de Nova Venécia de alto grau metamórfico (Figura 1a). Segundo Lopes (2016) o complexo é caracterizado por ortognaisses com paragênese constituída por cordierita + granada + biotita + feldspato potássico + plagioclásio + quartzo, com sillimanita, indicativa de formação de escapolitas por metamorfismo em condições de fácies anfibolito superior. Roncato Júnior (2009) caracteriza na porção norte do município Nova Venécia, áreas de rochas graníticas, gnáissicas e granulíticas, conhecidas pela produção de rochas ornamentais, associado à Suíte Carlos Chagas (540-530 Ma). Segundo Roncato Júnior (2009) e Vieira (2015) no Complexo Nova Venécia e associado à Suíte Carlos Chagas, contém veios graníticos e pegmatitos, livres da foliação regional associados a corpos de leucogranitos ricos em grandes cristais de feldspato potássico.

O depósito de Aracruz compreende intrusões graníticas resultantes do colapso extensional do orógeno Araçuaí, com formação do Maciço Aracruz no estágio pós-orogênico (520 – 490 Ma), durante o Paleozoico (Vieira, 2015). Galvão (2012) e Vieira (2015), caracterizaram o maciço heterogêneo como uma estrutura elíptica, constituído por granito porfirítico com presença de xenólitos de cordierita-granada gnaiss, norito, charnockitos e dioritos irregulares na porção arrasada do maciço (Figura 1b).

Segundo Gradim (2013) próximo ao limite sul do maciço, ortognaisses do Complexo Nova Venécia, constituídos predominantemente por granada-sillimanita gnaisses, se relacionam por contatos transicionais, com indícios de metamorfismo num contexto fácies anfibolito-granulito associados a formação de escapolitas. Benitez et al. (2012) também relatam no flanco sul da intrusão granítica, um corpo pegmatítico sub-horizontal e lenticular portador de cristais de escapolitas, mas sem apresentar os contatos litológicos da região. Apesar de inúmeros registros de pegmatitos mineralizados no estado, poucos trabalhos apresentam caracterizações do campo pegmatítico e das intrusões graníticas do orógeno Araçuaí.

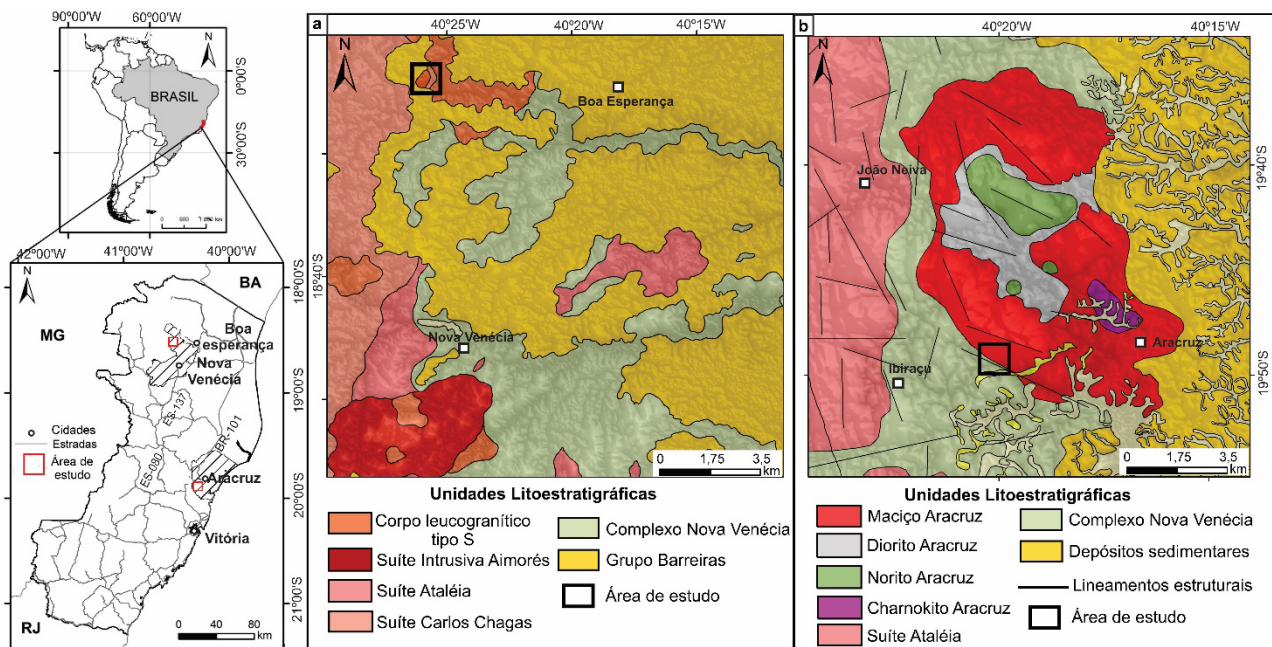


Figura 1 - Mapa de localização e das unidades litoestratigráficas de Aracruz e Nova Venécia – ES (modificado de Queiroga et al. 2009; Fortes et al. 2014).

QUÍMICA MINERAL DAS ESCAPOLITAS

Os estudos sobre as escapolitas demonstram algumas semelhanças com os plagioclásios, principalmente em relação a definição mineralógica por concentrações de sódio e cálcio, bem como nas complexas correlações entre os elementos constituintes. A fórmula geral das escapolitas é comumente expressa como $M_4T_{12}O_{24}A$, representada pelos elementos predominantes: $(1)M = Na$ e Ca ; $(2)T = Si$ e Al ; $(3)A = Cl, CO_3$ e ânion S (Sokolova et al., 1996; Sokolova & Hawthorne, 2008). Sokolova & Hawthorne (2008) apresentam o sítio M com $Na, K, Ca, Mg, Sr, Ba, Mn$ e Fe^{2+} , além da possibilidade de vacâncias; sítio T com Si, Al e Fe^{3+} ; sítio A com $Cl, (CO_3), (SO_4)$ + elementos menores como Br ou F . As escapolitas também podem comportar CO_2, SO_4 e H_2O na estrutura, relacionada as condições de formação, com ingresso de fluídos ricos em voláteis (Haughton, 1967).

Swayze & Clark (1990) apontam substituições químicas principais nas escapolitas, entre $Na^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}, Si^{4+} \rightleftharpoons Al^{3+}$, e, adicionalmente, entre $Cl^- \rightleftharpoons CO_3^{2-}$. Sokolova & Hawthorne (2008) apresentam substituições entre $Na + Si + Cl \rightleftharpoons Ca + Al + (CO_3)$, e nos interstícios do sítio M podem ocorrer substituições de $Na + K$ por Ca . A variedade Meionita, por exemplo, apresenta substituição entre $NaSi \rightleftharpoons CaAl$ com sítio aniônico completamente preenchido pelo íon CO_3^{2-} . No entanto, em casos específicos, essa correlação não é obedecida, principalmente em escapolitas ricas em Na/Cl relatadas por Teertstra

& Sherriff (1997). Neste caso, algumas técnicas analíticas são necessárias, para observar as discontinuidades nas células unitárias com as mudanças no grupo espacial em relação as substituições na ordem Si/Al (Sokolova & Hawthorne, 2008).

A fórmula estequiométrica relacionada à composição da série mineralógica é indicada pela porcentagem de Meionita, comumente expressa pela fórmula: $Me \% = 100 Ca / (Na+Ca)$. Teertstra & Sherriff (1996, 1997); Teertstra et al. (1999) propõem com base na porcentagem Me , que as espécies minerais sejam divididas em: Marialita ($Me_0 - Me_{15}$); Marialita cálcica ($Me_{16} - Me_{50}$); Meionita sódica ($Me_{51} - Me_{65}$); e Meionita ($Me_{66} - Me_{100}$).

Swayze & Clark (1990), Fay (1980) e Haughton (1967) apontam membros intermediários adicionais e formas de classificação pela concentração de elementos principais, através de estudo estequiométrico sobre a relação Si/Ca e Si/Na , na porcentagem Me : Marialita ($Me_0 - Me_{25}$); Dipiro ($Me_{25} - Me_{50}$); Mizonita ($Me_{50} - Me_{75}$); e Meionita ($Me_{75} - Me_{100}$). Teertstra et al. (1999) identificaram outro membro intermediário, rico em sulfato, denominado Silvialita, com concentrações de S^- maiores que 0,5 afu (átomos por fórmula unitária), sem realizar menções dessa ocorrência como mineral-gema.

O aspecto estrutural das escapolitas revela-se como uma cadeia de anéis de tetraedros de SiO_4^{4-} em 2 grupos espaciais, $I4/m$ e $P4_2/n$. Conforme

Sokolova & Hawthorne (2008) o grupo I4/m comporta 2 sítios T com coordenação tetraédrica (T₁ e T₂) e o grupo P4₂/n comporta três (T₁, T₂ e T₃), sendo que na transição de I4/m para P4₂/n, o sítio T2 divide-se em sítios T2 e T3.

Wehrenber (1971) explica que um anel, conhecido como o tipo T1, apresenta tetraedros de SiO₄⁴⁻ com vértices em direção ao eixo c. No sítio T2, os vértices se orientam alternadamente no sentido positivo e negativo, onde os anéis T2 formam colunas que se interligam através de anéis T1.

Assim, duas cavidades grandes são criadas e posicionadas nos radicais, permitindo a acomodação de ânions entre os interstícios da cadeia com cloro (Cl), óxido de enxofre (SO₃) e carbonato (CO₃). O sítio M é o único presente em ambos os grupos espaciais, ocupado essencialmente por Na

e Ca. O cátion M na estrutura da Marialita, comporta coordenação octaédrica de átomos de O e um por Cl, e, na variedade Meionita, apresenta oito ou nove coordenações de átomos de O com um ou dois ânions de carbonato.

A causa de cor nas escapolitas foi investigada por Krambrock (2014) em amostra roxa da Tanzânia e amarela de Minas Gerais. Conforme dados experimentais por ressonância paramagnética eletrônica (EPR) e absorção óptica, os espectros para cor roxa indicam dois centros paramagnéticos associados a impureza de enxofre (SO₂⁺ e S₂⁻), e na cor amarela, por impurezas de manganês (Mn²⁺), compatível com substituição em sítios de Ca²⁺ na estrutura. No entanto, ainda carece de maiores investigações para demais espécies minerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta investigação, foram selecionadas técnicas que promovem a análise químico-mineralógica: Difratomia de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – Catodoluminescência (CL) - Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) e Microsonda Eletrônica (ME).

Análise mineralógica e estrutural

A seleção das amostras foi realizada por meio de análise macroscópica, a olho nu, observando as propriedades físicas e anotando as principais características para as análises.

Os parâmetros estruturais foram obtidos por Difratomia de Raios X (DRX) em um total de cinco amostras, representativas de ambos os depósitos, sendo ESC-04, ESC-07 e ESC-11, referentes ao depósito de Aracruz, e ESC-36 e ESC-39 provenientes de Nova Venécia.

As amostras foram moídas a 300 mesh com auxílio de uma panela de moagem de carboneto de tungstênio e confeccionadas em pastilhas típicas para leituras no DRX, marca PANalytical Empyrean, pertencente ao Laboratório de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná. Os parâmetros utilizados foram: radiação com CuK α , corrente de 30mA, tensão de 40 KV, à temperatura de 25°C. Os padrões difratométricos foram comparados aos perfis no banco de dados *Power Diffraction File* e refinados pelo método de Rietveld através do software *High Score Data*.

Catodoluminescência (CL)

A análise espectral foi obtida por CL acoplada ao MEV, submetida em 5 lâminas, metalizadas com ouro (Au) a baixo vácuo por 30 segundos.

As amostras selecionadas foram ESC-04, ESC-15 e ESC-26, referentes ao depósito de Aracruz, e, ESC-35 e ESC-36, provenientes de Nova Venécia. Os dados foram obtidos no Centro de Microscopia Eletrônica (CME), no MEV da marca JEOL JSM – 6360LV equipado com detector de CL da marca Gatan, modelo Mono CL4mPlus, com os seguintes parâmetros: baixo vácuo, 60s por ponto e voltagem de 15Kv.

O imageamento da luminescência das escapolitas foi obtido por técnicas combinadas de CL-óptica, com CL da marca CITL, modelo CL8200 Mk5-1, sob os seguintes parâmetros: baixo vácuo, voltagem de 15Kv. A captura das imagens foi realizada na lupa estereoscópica da marca Carl Zeiss Ax 10 Image A2M, pertencente ao Laboratório de Minerais e Rochas - LAMIR, acoplada com câmera da marca Axio Cam HRC Zeiss, e os dados foram tratados no *software Leica Application Suite – LAS*.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS)

Os dados semiquantitativos foram obtidos por técnicas de EDS - *Energy Dispersive Spectrometry* através de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, em seções longitudinais e transversais (centro e borda) de cinco cristais de ambos os depósitos, sendo ESC 04, ESC 15 e ESC 26 de Aracruz; ESC 35 e ESC 36 de Nova Venécia. As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR), com espessura de aproximadamente 30 μ m.

O equipamento utilizado é da marca TESCAN VEGA3 LMU do Centro de Microscopia Eletrônica

(CME) pertencente ao Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná. As amostras foram previamente polidas e analisadas sem metalização, sob os seguintes parâmetros: baixo vácuo em torno de 10^{-4} Pa, tensão de 15-20Kv. Os resultados foram agrupados em tabelas, refinados por cálculos estequiométricos e plotados em gráficos específicos do *software GeoChemical Data toolkit (GCKit 5.0)*.

Os dados de MEV-EDS, bem como de Microsonda Eletrônica - ME, foram tratados pelo método de Teertstra & Sherriff (1996, 1997), seguindo a fórmula estequiométrica que normaliza os óxidos por átomo por fórmula unitária - afu, pelos sítios que ocupam, M, T, O e A, sendo: Sítio $M^+ = 4$ afu; Sítio $T^+ = 12$ afu; $O^- = 24$ afu; e Sítio $A^- = 1$ afu. O sítio "T" abrange os elementos Si, Al e Ti; "M" comporta Fe, Na, K, Mg, Mn, Ca, Sr, Ba e Pb; "O" com 24 oxigênios; e "A" com Cl, F, S, C e H.

Microsonda eletrônica (ME)

As análises por Microsonda Eletrônica foram realizadas em 4 amostras nas seções longitudinais e transversais, centro e borda dos cristais, identificadas como ESC 04 e ESC 26 do depósito de Aracruz; ESC 36 e ESC 37 de Nova Venécia. Assim, os resultados complementaram as análises

por MEV - EDS para comparativo do perfil químico das escapolitas.

Os dados foram obtidos no Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - CRTI da Universidade Federal de Goiás, em equipamento da JEOL JXA-8230, sob os parâmetros: corrente de 15kV e 20nA com abertura de feixe de $3\mu\text{m}$, com contagem de 10 a 30 segundos por elemento analisado. As amostras foram previamente metalizadas com carbono, utilizando a evaporadora da marca JEOL JEE 420, com tempo de recobrimento de 7 segundos até obter uma espessura entre 10 e 30nm.

Os dados foram refinados seguindo o método de Teertstra & Sherriff (1997), sob a variação composicional das escapolitas pela razão molar Si/Al. A caracterização da variedade mineralógica seguiu o método proposto por Teertstra & Sherriff (1996, 1997), quantificar a porcentagem Me (equação 1), tendo como referência os membros extremos Marialita, Ma - 100% sódica, e Meionita, Me - 100% cálcica, segundo ocupação dos cátions bivalentes no sítio M (Ca e Na).

$$Me = \frac{100 * Ca \text{ afu}}{(Ca \text{ afu} + Na \text{ afu})} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Descrição macroscópica

As características morfológicas das escapolitas de Aracruz e Nova Venécia apresentam semelhanças, como prismas achatados ou alongados de base retangular, faces estriadas paralelamente ao eixo de crescimento c, brilho vítreo nas faces preservadas e resinoso nas fraturas.

Na figura 2 (e-f), os cristais são amarelados e apresentam dimensões entre 2,2 a 2,7 cm com sólidos castanhos preenchendo fraturas. Na figura 2 (a, d e g), os cristais amarelados apresentam boa diafanidade, livres de impurezas, podendo servir de indicativo para ocorrências de mineralis-gemas. Algumas amostras incolores foram observadas em ambos os depósitos com dimensões entre 1,2 a 2,4 cm e sólidos pretos preenchendo fraturas (Figura 2 b-c e h-i).

Difratometria de raios x (DRX)

Os padrões difratométricos de ambos os depósitos evidenciaram semelhanças para a caracterização mineralógica, em que os dados apontam preliminarmente como Marialita cálcica (Tabela 1). Os cristais analisados de Aracruz e Nova Venécia, também apresentaram semelhanças,

com simetria pertencente ao grupo espacial $P4_2/n$. Após o refinamento dos dados, foi possível observar algumas diferenças nos parâmetros de rede, sendo as constantes reticulares das escapolitas de Aracruz menores em relação às amostras de Nova Venécia. Os parâmetros em angstroms - Å, identificaram que as amostras de Aracruz apresentam constantes $a_0 = 12.06-12.07\text{Å}$; $c_0 = 6.41\text{Å}$; $V_0 = 933\text{Å}^3$, enquanto que às amostras de Nova Venécia apresentaram $a_0 = 12.07-12.1\text{Å}$; $c_0 = 6.43-6.45\text{Å}$; $V_0 = 937-944\text{Å}^3$. A análise por DRX permitiu correlacionar as ocorrências de Aracruz e Nova Venécia como membros intermediários da série. Conforme identificado por Sokolova et al. (1996), membros intermediários das escapolitas obedecem ao grupo espacial $P4_2/n$ e os membros extremos pelo grupo $I4/m$.

Estudos abordados por Teertstra & Sherriff (1996) sobre membros finais da série, evidenciaram que o grupo espacial $I4/m$ é resultante da transição simétrica de $P4_2/n$ nos sítios T1 e T2 com um alto grau de desordem de Al-Si, principalmente de amostras com porcentagem (Me) próximos a Me_{15} e Me_{65} .



Figura 2 - Cristais alongados e achatados de Aracruz (a-e) e Nova Venécia (f-i) com faces estriadas, paralelas ao eixo c. (a, d - g): escapolitas amareladas com 2 a 2,7 cm, representativas de ambos os depósitos. (b - c): escapolitas incolores de Aracruz com 1,2 a 1,4 cm e sólidos preenchendo fraturas. (h - i): escapolitas incolores de Nova Venécia com 2 a 2,4 cm.

Tabela 1 - Dados mineralógicos e estruturais das amostras de Aracruz e Nova Venécia por DRX.

| Amostra | Dados da célula unitária | | Grupo espacial | Caracterização | Depósito |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------|---|--------------|
| ESC 04 | a = 12.062 Å | V=933.277 Å ³ | P4 ₂ /n | Marialita cálcica | Aracruz |
| | c = 6.414 Å | | | | |
| ESC 07 | a = 12.075 Å | V=936.523 Å ³ | P4 ₂ /n | Marialita cálcica | Aracruz |
| | c = 6.423 Å | | | | |
| ESC 11 | a = 12.066 Å | V=933.72 Å ³ | P4 ₂ /n | Marialita cálcica | Aracruz |
| | c = 6.413 Å | | | | |
| ESC 36 | a = 12.076 Å | V=937.74 Å ³ | P4 ₂ /n | Marialita cálcica | Nova Venécia |
| | c = 6.430 Å | | | | |
| ESC 39 | a = 12.1 Å | V=944.16 Å ³ | P4 ₂ /n | 98,3% Marialita cálcica e 1,7% Meionita | Nova Venécia |
| | c = 6.45 Å | | | | |

Catodoluminescência (CL)

Em análise por MEV-CL, os dados espectrais para ambos os depósitos evidenciaram comprimentos de onda na faixa do ultravioleta em 350nm e visível-laranja entre 600-602nm (Figura 3 b-c e e-f). A partir da análise pontual no centro do cristal de Aracruz, observa-se luminescência de menor intensidade no comprimento de onda em 602nm com 152 contagens (Figura 3b).

Em contraste, o ponto analisado na borda do mesmo cristal apresenta duas bandas de emissão em 600nm e 645nm com intensidades entre 200 e 240 contagens. Na Figura 3a, é possível identificar luminescência moderada entre laranja e vermelho, na seção transversal do cristal,

relacionadas as duas bandas de luminescência (Figura 3c).

A emissão de luminescência da amostra de Nova Venécia apresentou intensidades elevadas em relação aos dados espectrais de Aracruz. Em análise pontual no centro do cristal as contagens apresentam entre 650 e 1650, para os comprimentos na faixa do ultravioleta em 350nm e laranja em 602nm, respectivamente (Figura 3e). Na figura 3f o espectro na borda do cristal apresenta luminescência laranja em 601nm com 2200 contagens. O imageamento por CL-óptica, revela regiões com microfaturas que podem explicar as faixas espectrais de intensidades elevadas (Figura 3d).

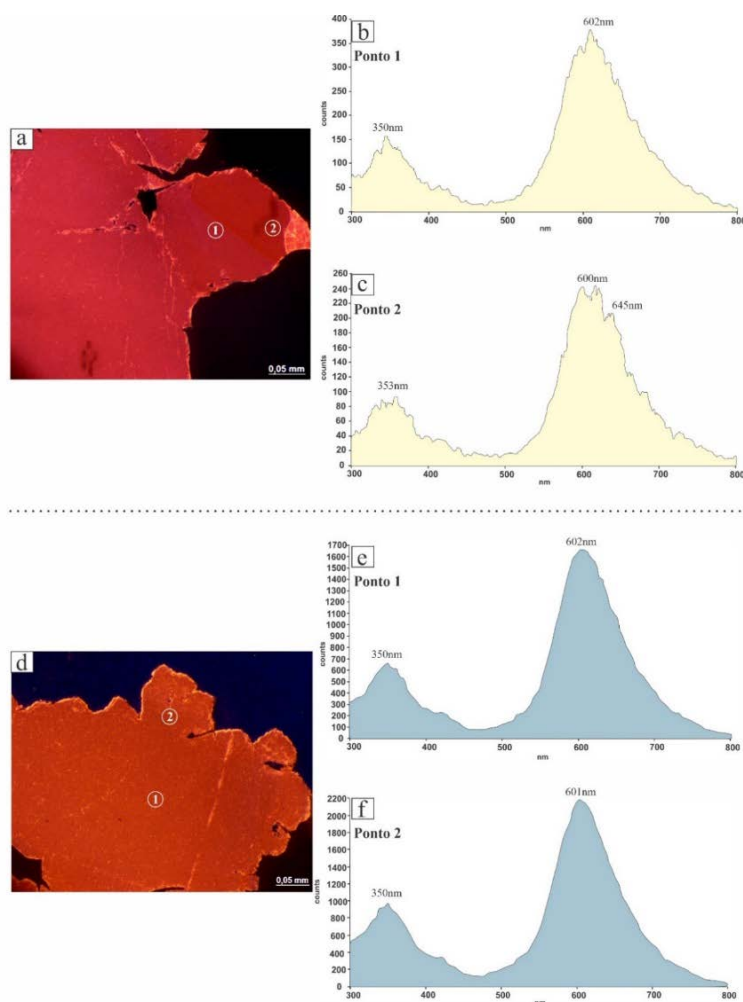


Figura 3 - Imageamento por CL-óptica e dados espectrais: a) Luminescência laranja e vermelha – Aracruz. b) Ponto 1 – centro do cristal (Aracruz): 350 nm (ultravioleta) e 602 nm (laranja). c) Ponto 2 – borda do cristal (Aracruz) 352 nm (ultravioleta), 600 nm e 645 (vermelho). d) Luminescência laranja – Nova Venécia. E) Ponto 1 – centro do cristal (Nova Venécia): 350 nm (ultravioleta) e 602 nm (laranja). f) Ponto 2 – borda do cristal (Nova Venécia) 352 nm (ultravioleta), 601 nm (laranja).

As informações obtidas por CL corroboram com as descrições dispostas na literatura, relacionadas as variedades intermediárias. Schwarcz & Speelman (1965), Chappell & White (1968) e Burgner et al. (1978), identificaram que a variedade Silvanita, ou Silvialita, apresenta em sua estrutura o íon S^{2-} ocupando sítios com Cl. Para os autores, o S^{2-} é o elemento ativador da luminescência observada na variedade estudada, com emissão na faixa de 609nm.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS)

A análise química por MEV-EDS não apresentou resultados discrepantes para as escapolitas investigadas em relação aos óxidos mais importantes para esse grupo, como SiO_2 , AlO_3 , Na_2O , K_2O e CaO .

Para ambos os depósitos, algumas concentrações estão abaixo de 1%, como verificado para TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , BaO , MnO , PbO e SO_3 . Demais concentrações como P_2O_5 , SrO , Cl e F , não foram detectados por esta técnica. Os dados

foram refinados por estequiometria dos óxidos, normalizando em átomos por fórmula unitária (afu), conforme disposto na tabela 2.

A composição das escapolitas concentra-se nos elementos principais Si, Al, Na e Ca, apresentando substituições similares aos plagioclásios. Na figura 4a é possível verificar correlação negativa entre Si e Al afu, como indicativo da ocupação no sítio T da estrutura. De forma complementar, também foi possível determinar mecanismo de substituição acoplada para as escapolitas entre Na+Si e Ca+Al, representantes das ocupações dos sítios M e T da série sólida, conforme disposto no diagrama da figura 4b.

A relação entre cátions monovalentes Na+K e Si, apresenta complexidade, com muitas dispersões, representada pela divisão em dois grupos no diagrama da figura 4c. As amostras ESC 15, ESC 26 e ESC 35 concentram-se no intervalo de Si 7,45-7,79 afu, no canto superior esquerdo, com quantidades de Na > 4afu; e as amostras ESC 04

Tabela 2 - Resultado da análise pontual por MEV-EDS de escapolitas dos depósitos de Aracruz e Nova Venécia, com óxidos em % peso e átomo por fórmula unitária (afu).

| Óxidos (%) | ARACRUZ | | | | | | NOVA VENÉCIA | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | ESC 04 | | ESC 15 | | ESC 26 | | ESC 35 | | ESC 36 | |
| SiO ₂ | 55,01 | 54,86 | 49,49 | 49,17 | 48,44 | 48,32 | 49,56 | 50,13 | 56,22 | 55,48 |
| Al ₂ O ₃ | 23,74 | 23,53 | 23,84 | 24,08 | 23,94 | 24,19 | 23,75 | 23,54 | 22,62 | 22,64 |
| TiO ₂ | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,06 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,05 |
| P ₂ O ₅ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ₂ O | 8,78 | 8,70 | 14,98 | 15,16 | 13,56 | 14,28 | 14,09 | 14,34 | 8,49 | 8,61 |
| K ₂ O | 1,22 | 1,19 | 1,04 | 0,95 | 0,90 | 0,92 | 1,10 | 1,06 | 1,05 | 1,07 |
| MgO | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,03 |
| CaO | 7,93 | 7,85 | 6,44 | 6,44 | 7,28 | 7,20 | 7,32 | 7,08 | 7,66 | 7,96 |
| SrO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| BaO | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| MnO | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| PbO | 0,00 | 0,10 | 0,34 | 0,08 | 0,22 | 0,17 | 0,09 | 0,00 | 0,04 | 0,11 |
| Cl | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SO ₃ | 0,48 | 0,52 | 0,00 | 0,53 | 2,18 | 1,62 | 0,74 | 0,71 | 0,42 | 0,45 |
| Total | 97,26 | 97,12 | 96,50 | 96,68 | 96,62 | 96,78 | 96,81 | 96,96 | 97,05 | 96,73 |
| (afu) | | | | | | | | | | |
| Si | 7,95 | 7,97 | 7,65 | 7,61 | 7,58 | 7,55 | 7,67 | 7,73 | 8,14 | 8,10 |
| Al | 4,05 | 4,03 | 4,35 | 4,39 | 4,42 | 4,45 | 4,33 | 4,28 | 3,86 | 3,90 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| P | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na | 2,46 | 2,45 | 4,49 | 4,55 | 4,12 | 4,33 | 4,23 | 4,28 | 2,38 | 2,44 |
| K | 0,22 | 0,22 | 0,21 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,20 |
| Mg | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Ca | 1,23 | 1,22 | 1,07 | 1,07 | 1,22 | 1,21 | 1,21 | 1,17 | 1,19 | 1,25 |
| Sr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ba | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Pb | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cl | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S | 0,05 | 0,06 | 0,00 | 0,06 | 0,26 | 0,19 | 0,09 | 0,08 | 0,05 | 0,05 |

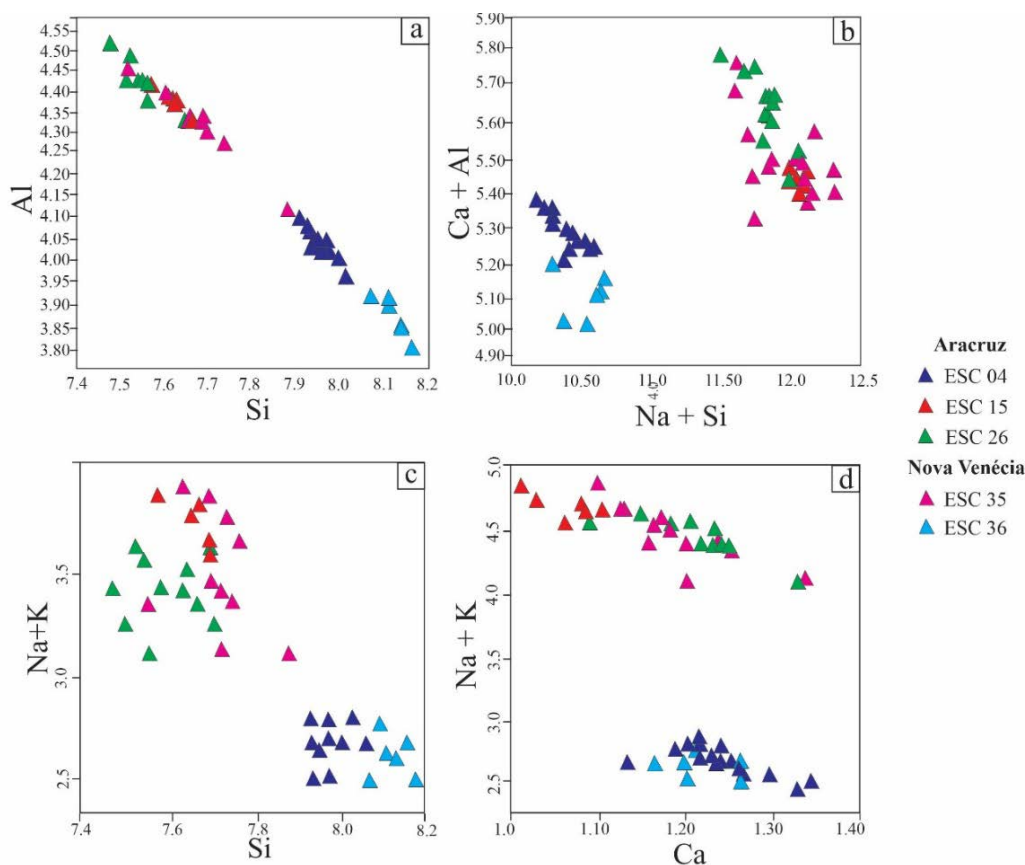


Figura 4 - Correlações dos elementos químicos em afu: a) Si x Al. b) Ca + Al x Na + Si. c) Na + K x Si. d) Na + K x Ca.

e ESC 36, no canto inferior direito no intervalo entre Si 7,9 e 8,2 afu, com quantidades de Na < 3 afu (Tabela 2). Os termos com quantidades maiores de Na+K podem estar relacionados em zonas de reação em proximidade de rochas ígneas, inferindo as condições de cristalização das escapolitas como ocorrências de temperaturas relativamente altas, enquanto os termos com quantidades menores Na+K para ocorrências de média a altas temperaturas, semelhantemente ao que ocorre na formação dos plagioclásios conforme Vlach (2002).

Na figura 4 b-d também é possível identificar as mesmas dispersões que inferem condições de cristalização, como observado para as amostras ESC 15, ESC 26 e ESC 35 com Na > 4 afu concentrados no canto superior direito do diagrama, e amostras ESC 04 e ESC 36 com Na < 3 afu no canto inferior esquerdo (Tabela 2). Mesquita (2016) correlaciona que ocorrências de escapolitas em contato com granito podem apresentar quantidades maiores em Na em sua composição, ao estudar escarnitos na região sul

do estado do Espírito Santo.

A correlação elementar Na+K e Ca afu no diagrama da figura 4d apresenta tendência negativa para ambos os depósitos. As substituições de cátions monovalentes – divalentes entre Na⁺ e K⁺ por Ca²⁺, corroboram com as informações de Teertstra & Sherriff (1997), para as ocupações presentes nos interstícios do sítio M das escapolitas.

Os elementos menores quantificados por EDS, como Ti, Fe, Mg, Ba, Mn, Pb e S apresentam valores entre 0,0035 e 0,014 afu. Neste caso, foi necessário complementar com dados de Microsonda Eletrônica – ME para identificação composicional mais precisa.

Microsonda eletrônica (ME)

A análise química das escapolitas de Aracruz e Nova Venécia por Microsonda Eletrônica – ME, permitiu analisar os elementos menores como Cl e quantificar óxidos não detectados por EDS, como SrO. Os dados foram plotados na tabela 3 e os óxidos normalizados em (afu) para correlação elementar.

Tabela 3 - Dados químicos das escapolitas de Aracruz e Nova Venécia por Microsonda Eletrônica (ME) em % peso, por átomos por fórmula unitária (afu) e porcentagem Me.

| Óxidos (%) | ARACRUZ | | | | NOVA VENÉCIA | | | |
|--------------------------------|---------|-------|--------|-------|--------------|-------|--------|-------|
| | ESC 04 | | ESC 26 | | ESC 36 | | ESC 37 | |
| SiO ₂ | 53,89 | 53,60 | 54,12 | 53,58 | 54,08 | 55,06 | 54,27 | 54,35 |
| Al ₂ O ₃ | 23,06 | 23,10 | 23,09 | 23,06 | 23,04 | 23,30 | 22,88 | 22,88 |
| TiO ₂ | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,07 |
| P ₂ O ₅ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ₂ O | 7,11 | 6,97 | 7,35 | 7,29 | 7,20 | 7,30 | 7,15 | 7,24 |
| K ₂ O | 1,34 | 1,22 | 1,23 | 1,20 | 1,17 | 1,18 | 1,24 | 1,19 |
| MgO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CaO | 8,77 | 8,73 | 8,36 | 8,42 | 8,41 | 8,35 | 8,56 | 8,53 |
| SrO | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 0,56 | 0,00 | 0,56 | 0,03 | 0,04 |
| BaO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| MnO | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 |
| PbO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cl | 2,69 | 2,63 | 2,70 | 2,66 | 2,70 | 2,74 | 2,60 | 2,60 |
| F | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,12 |
| SO ₃ | 0,42 | 0,44 | 0,38 | 0,42 | 0,35 | 0,36 | 0,01 | 0,01 |
| Total | 97,41 | 96,58 | 97,92 | 97,34 | 97,08 | 98,97 | 96,32 | 96,45 |
| (afu) | | | | | | | | |
| Si | 7,98 | 7,96 | 7,99 | 7,96 | 7,99 | 8,01 | 8,02 | 8,02 |
| Al | 4,02 | 4,04 | 4,02 | 4,04 | 4,01 | 3,99 | 3,98 | 3,98 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| P | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na | 2,04 | 2,01 | 2,10 | 2,10 | 2,06 | 2,06 | 2,05 | 2,07 |
| K | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,22 |
| Mg | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 1,39 | 1,39 | 1,32 | 1,34 | 1,33 | 1,30 | 1,36 | 1,35 |
| Sr | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| Ba | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pb | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cl | 0,68 | 0,66 | 0,68 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,65 | 0,65 |
| F | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,05 |
| S | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
| Me% | 40,54 | 40,90 | 38,58 | 38,98 | 39,22 | 38,73 | 39,81 | 39,44 |

Os resultados identificaram os óxidos maiores como SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO e K₂O, assim como verificados por EDS. Em concentrações abaixo de 1% para Fe₂O₃, BaO, MnO, PbO e SO₃ e concentrações pontuais para SrO e F (Tabela 3).

Os resultados da porcentagem Me revelam variações semelhantes para ambos os depósitos (Tabela 3). As amostras de Aracruz apresentam Me entre 38,58% e 40,90%, e 38,73% a 39,81% para as de Nova Venécia, permitindo a classi-

ficação das ocorrências como pertencentes à espécie intermediária Marialita cálcica – Ma₁₆₋₅₀.

As faixas de composição das amostras de Aracruz ESC – 04 e ESC – 26, e de Nova Venécia ESC – 36 e ESC – 37 em razão Si/Al, não revelaram correlações aparentes para a maioria dos óxidos menores, conforme diagramas na Figura 5a-e. Conforme Teertstra & Sherriff (1997) os membros extremos apresentam razão Si/Al entre 3,0 para Marialita e 1,0 para Meionita.

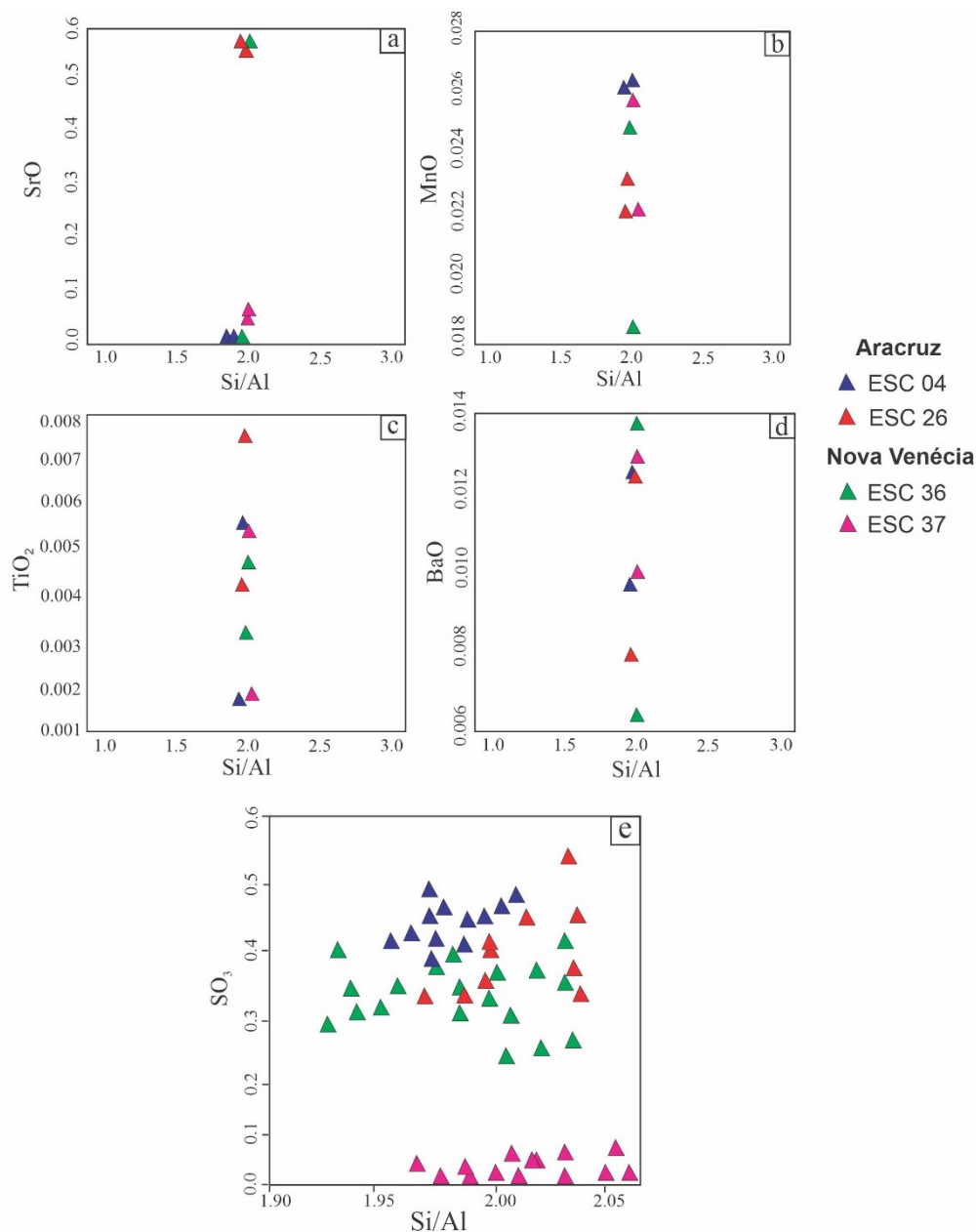


Figura 5 - Correlações dos óxidos menores em razão Si/Al. a) SrO. b) MnO. c) TiO. d) BaO. e) SO₃.

Os valores para ambos os depósitos se encontram entre 2,0 a 2,05, inferindo uma composição para membro intermediário.

No diagrama da figura 5a é possível verificar concentrações pontuais de SrO e abaixo do limite de detecção, observados nas amostras ESC 26 e transicional para ESC 36, podendo inferir

variações geoquímicas no ambiente de formação com entrada facilitada no sítio M da estrutura das escapolitas pelo incremento da temperatura, semelhantemente como descreve Vlach (2002) na formação de feldspatos. Em todas as análises o MnO e BaO revelam-se menores que 0,1 % peso, com 0,027% peso e 0,014 % peso, respec-

tivamente (Figura 5b e d), corroborando com as informações de Teertstra & Sherriff (1997) para cátions monovalentes no sítio M. As concentrações de TiO₂ também são pontuais e raramente estão acima de 0,006% peso, podendo ser relacionadas a presença de impurezas (Figura 5c).

No diagrama da figura 5e, apresenta uma sutil tendência em relação Si/Al e SO₃. Em todas as amostras, SO₃ apresenta teores entre 0,2% a 0,6%, corroborando com as informações de Teertstra & Sherriff (1997) para concentrações maiores de SO₃ em escapolitas com Si/Al ≤ 2,0.

As correlações entre elementos menores em afu nos diagramas da figura 6a-f apresentam

importantes tendências para a variedade estudada. A correlação entre Fe e Ti apresentou dispersões, no entanto verifica-se sutil tendência negativa nas amostras ESC 26 - Aracruz e ESC 36 – Nova Venécia, com mensurações abaixo de 0,0014 para Fe e 0,003 para Ti (Figura 6a-b). As substituições de cátions Fe²⁺ e Ti²⁺ podem estar relacionadas com as interações no sítio M e T da estrutura, como verificado por Teertstra & Sherriff (1997). As concentrações identificadas no eixo central dos diagramas para Fe afu, podem estar relacionadas com inclusões ferruginosas, em comparação as análises macroscópicas realizadas previamente.

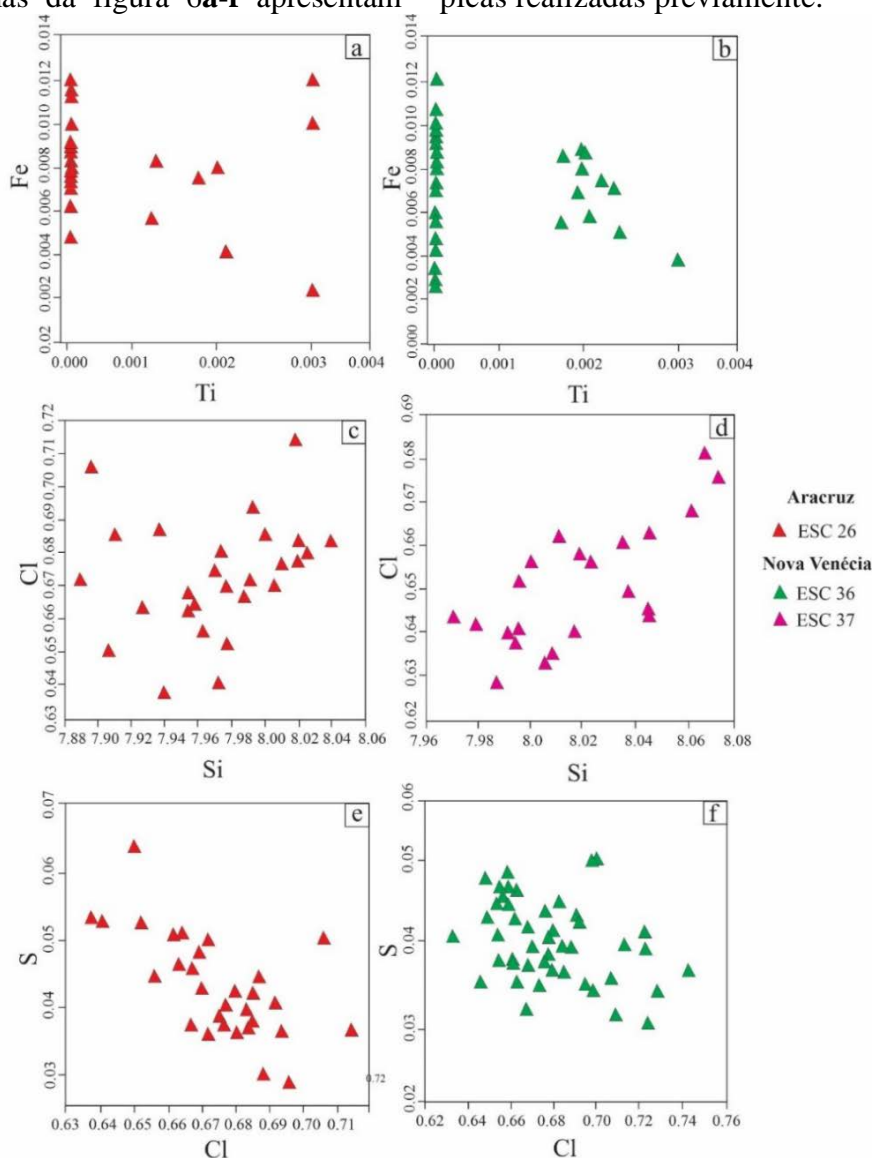


Figura 6 - Correlações dos elementos químicos em afu. a) Aracruz: Fe e Ti. b) Nova Venécia: Fe e Ti. c) Aracruz: Cl e Si. d) Nova Venécia: Cl e Si. e) Aracruz: S e Cl. f) Nova Venécia: S e Cl.

Nos diagramas entre Si – Cl reunidos na figura 6c-d, verifica-se correlações positivas, com algumas dispersões, para ESC – 26 e ESC – 37, podem inferir que o Cl⁻ como o único ânion monovalente na composição, promove o excesso de carga positiva ao longo dos sítios de ocupação

desses elementos, como relatado por Teertstra & Sherriff (1996). As escapolitas apresentam concentrações semelhantes entre 0,63 a 0,72 para Cl afu e teores entre 7,78 a 8,08 Si afu.

Na Figura 6 e-f, o diagrama entre Cl e S, observa-se correlação negativa com algumas

dispersões. As tendências entre esses elementos sugerem substituições no sítio A, onde o enxofre (S) forma um ânion bivalente, corroborando com as informações de Teerstra & Sherriff (1996). As amostras apresentam concentrações semelhantes em afu entre 0,03 a 0,07 de S e entre 0,62 a 0,73 de Cl. Assim, concentrações superiores de Cl na composição das amostras, inferem que o sítio A é majoritariamente preenchido por esse átomo na variedade identificada como Marialita cálcica para os depósitos de Aracruz (Me₃₈) e Nova Venécia (Me₃₉).

Conhecidamente, a substituição isomorfa de componentes nas estruturas dos cristais, pode manifestar alterações em suas propriedades físicas. Nas amostras ESC 4 - Aracruz e ESC 36 - Nova Venécia em comparação com os dados químicos por ME e estruturais por DRX, verifica-se aumento do volume (V_o) da cela unitária em relação a concentração de Cl (Tabela 4). Fay (1980) também identificou mudanças estruturais em escapolitas ao relatar substituições de ânions de carbonato com ânions monovalentes como o Cl.

Tabela 4 - Compilação do resultado estrutural (DRX) e dado elementar de Cl mensurado por Microsonda Eletrônica (ME): ESC 04 - Aracruz e ESC 36 - Nova Venécia.

| DRX | | ME | |
|--------|----------------------------|----|-------------|
| ESC 04 | V = 933.277 Å ³ | Cl | 2.69 a 2.63 |
| ESC 36 | V = 937.74 Å ³ | Cl | 2.70 a 2.74 |

CONCLUSÕES

As escapolitas de Aracruz e Nova Venécia apresentam-se como uma variedade do membro intermediário da série, identificadas em diversos aspectos como Marialita cálcica – [(Na_{2,06}Ca_{1,35})(Al_{4,01}Si_{7,99})O₂₄]⁺¹, com porcentagem Me₃₈₋₄₀.

As análises químicas por Microsonda Eletrônica – ME evidenciaram as substituições principais da série isomorfa em: Ca-Na, Si-Al e SO₃-Cl. Tendo substituição acoplada para as escapolitas entre Na+Si e Ca+Al representantes das ocupações dos sítios M e T da série sólida. Também, evidenciaram algumas interações sutis entre Si e Cl; Fe e Ti; e Cl e S. O cloro (Cl) e óxido de enxofre (SO₃) revelam-se ocupando o sítio A, com predomínio de Cl nos interstícios da estrutura da Escapolita. A maioria dos óxidos menores apresentam-se próximo ou abaixo de 1%, como verificados para Fe₂O₃, BaO, MnO, PbO e SO₃ ou em concentrações pontuais para SrO e F, indicando as variações geoquímicas no ambiente de formação das escapolitas com entrada no sítio M da estrutura pelo incremento da temperatura. As análises por EDS evidenciaram amostras com teores de sódio (Na) em: Na > 4afu e Na < 3afu. As ocorrências em dois grupos, podem inferir as condições de formação

das escapolitas em fácies metamórficas em proximidade a granitóides, com termos que apresentam maiores quantidades de sódio, conforme disposto na literatura. Tais observações, sugerem que substituições químicas são mais complexas e variáveis ao longo da série. As investigações estruturais por DRX em relação aos perfis químicos adquiridos por MEV-EDS e ME, evidenciaram alterações nos parâmetros de rede, principalmente no volume da cela unitária (V_o), relacionadas com concentrações de Cl. Também, verifica-se que a simetria estrutural das escapolitas obedece ao grupo espacial P4₂/n, conforme disposto na literatura para membros intermediários da série.

Os resultados por CL-óptica e CL-MEV, evidenciaram uma luminescência na faixa do laranja (600-602nm) com diferentes intensidades na presença de microfraturas, que inferem, como elemento ativador, a presença do íon S²⁻ na composição das escapolitas.

Este estudo espera ter contribuído com maiores informações sobre o grupo das escapolitas, em especial os aspectos químicos e mineralógicos das ocorrências dos depósitos de Aracruz e Nova Venécia, e, assim, incentivar investigações em trabalhos posteriores..

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização dessa pesquisa, bem como aos laboratórios responsáveis pelas análises: LAPEM (UFPR), LAMIR (UFPR), CME (UFPR) e CRTi (UFG). Este trabalho é parte da dissertação de mestrado da primeira autora, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFPR.

REFERÊNCIAS

- BENITEZ, L.; CARNEIRO, M.L.S.; VIEIRA, V.S.; SILVA, S.M. Depósitos de minerais gemológicos no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 46, 2012. Santos. **Anais...**Santos: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012.
- BURGNER, R.P.; SCHEETZ, B.E.; WHITE, W.B. Vibration Structure of the S-2 Luminescence in Scapolite. Pensilvânia, **Physics and Chemistry of Minerals**, n. 4, v. 2, p. 317-324, 1978.
- CARMONA, L.C. De M. **Estudos geológicos, geoquímicos e isotópico da região compreendida entre Fagundes e Itatuba (PB), terreno Alto Moxotó, Nordeste do Brasil**. Recife, 2006. 233 p. Tese (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. **The x-ray spectrographic determination of sulfúfur coordination in scapolite**. The American Mineralogist, v. 53, p. 1735-1738, 1968.
- COSTA, F.C.; SCHOLZ, R., ABREU MARQUES, R., QUEIROGA, G.N.; CASTRO, M.P. Geoquímica de Feldspato, Mica, Berilo e Turmalina e U-Pb Geocronologia em Monazita de Pegmatitos Fazenda Concórdia e São Domingos-Espírito Santo, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 64-85, 2020
- FAY, C. C. **Estudo sobre as escapolitas**. 1980. 31p. Curitiba. Tese (Professor titular), Universidade Federal do Paraná,
- FORTES, P.T.F.O.; BASTOS, A.C.; LANA, C.E.; ALTHOFF, F.J.; ESPINOZA, J.A.A.; CAMPOS, R.S. **Carta geológica da Folha Aracruz (SE.24-Y-D-IV)**. Vitória: CPRM, 2014. Escala 1:100.000. Contrato CPRM-UFES 038/PR/09.
- GALVÃO, M.S. **Caracterização petrológica e estrutural da região dos municípios de Aracruz, Ibiracu e João Neiva, norte do Espírito Santo**. 94 p. Alegre, 2012. Monografia (Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo.
- GRADIM, C.T. **Complexo Nova Venécia e magmatismo associado, Orógeno Araçuaí, Estado do Espírito Santo**. 127 p. Belo Horizonte, 2013. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Geras,
- HAUGHTON, D.R. A mineralogical study of scapolite. M. Sc. thesis, McMaster University, 1967. 135 p.
- HAUGHTON, D.R. Plagioclase-scapolite equilibrium. **Mineralogical Association of Canada**, v. 10, p. 854-870, 1971.
- KRAMBROCK, K. **Caracterização física e química de escapolitas naturais e tratadas de cor roxa e amarela**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 47. Salvador, 2014. **Anais...**Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014.
- LOPES, R. G. **Geologia da Região de Colatina (ES): Uma abordagem geocronológica, petrográfica e estrutural por ASM**. São Paulo, 2016. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de São Paulo.
- MESQUITA, R.B. **Petrogênese, geoquímica, balanço de massa e idade de escarnitos associados a diques metamórficos e félsicos do complexo Paraíba do Sul, sul do Espírito Santo**. 123 p. Ouro Preto, 2016. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Geologia, Escola de Minas.
- QUEIROGA, G.N.; PEDROSA-SOARES, A.C.; RONCADO JÚNIOR, J.G.; DIAS, P.H. A.; GUIMARÃES, H.A.; COUTINHO, M.O.G.; FREITAS, N.C.; GRADIM, C.T.; BRAGA, F. C. S.; NOVO, T.A. **Mapa geológico da Folha Nova Venécia (SE. 24-Y-B-IV)**. Belo Horizonte: CPRM, 2009. Escala 1:100.000. Contrato CPRM-106/PR/06-UFMG.
- RONCADO JÚNIOR, J.G. **As Suítes Graníticas Tipo-S do Norte do Espírito Santo na região das Folhas Ecoporanga, Mantena, Montanha e Nova Venécia**. Belo Horizonte, 2009. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- SCHWARCZ, H.P. & SPEELMAN, E.L. Determination of sulfur and carbon coordination in scapolite by infra-red absorption spectroscopy. **The American Mineralogist**, v. 50, p. 656-666, 1965.
- SHAW, D.M. The geochemistry of scapolite. Part I. Previous work and general mineralogy. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 1, n. 2, p. 218-260, 1960.
- SILVA, D.S.; ABREU, E.A.P.; RANDOW, I.C.V.; FERREIRA, P.D.; NEWMAN CARVALHO, D.T.; DEPIANTI, J.B. **Caracterização da Andaluzita de Santa Teresa – ES**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 48, Porto Alegre. 2016. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.
- SOKOLOVA, E. & HAWTHORNE, F.C. The chemistry of the scapolite-group minerals. I. Crystal structure and long-range order. **The Canadian Mineralogist**, Canada, v. 46, p. 1527-1554, 2008.
- SOKOLOVA, E.V.; KABALOV, Y.K.; SHERRIFF, B.L.; TEERTSTRA, D.K.; JENKINS, D.M.; KUNATH-FANDREI, G.; GOETZ, S.; JÄGER, C. Marialite: Rietveld Structure-refinement and ²⁹Al satellite transition NMR Spectroscopy. **The Canadian Mineralogist**, Canada, v. 35, p. 1039-1050, 1996.
- SUPERCHI, M.; PEZZOTTA, F.; GAMBINI, E.; CASTAMAN, E. Yellow Scapolite from Ihosy, Madagascar. **Gems & Gemology**, v. 46, n. 4, p. 274-279, 2010.
- SWAYZE, G.A. & CLARK, R.N. Infrared Spectra and Crystal Chemistry of Scapolites: Implications for Martian Mineralogy. **Journal of Geophysical Reserch**, Washington, v. 95, p. 14,481-14,495, 1990.
- TEERTSTRA, D.K. & SHERRIFF, B.L. Scapolite cell-parameter trends along the solid-solution series. **American Mineralogist**, v. 81, p. 169-180, 1996.
- TEERTSTRA, D.K. & SHERRIFF, B.L. **Substitutional mechanisms, compositional trends and the end-member formulae of scapolite**. Chemical Geology, Canada, issues 3-4, v. 136, p. 233-260, 1997.
- TEERTSTRA, D.K.; SCHINDLER, M.; SHERRIFF, B.L.; HAWTHORNE, F.C. **Silvialite, a new sulfate-dominant member of the scapolite group with an Al-Si composition near the I4/m-P4₂/n phase transition**. Mineralogical Magazine, Canada, v. 63, p. 321-329, 1999.
- VIEIRA, V.S. Unidades Estratigráficas. In: **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2015. 289 p.
- VLACH, S.R.F. **A Classe dos tectossilicatos: guia geral da teoria e exercício**. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, v. 1, p. 1-49, 2002.
- WEHRENBUR, J.P. The infrared absorption spectra of scapolite. **The American Mineralogist**, v. 56, p. 1639-1654, 1971.

Submetido em 10 de dezembro de 2021
Aceito para publicação em 25 de fevereiro de 2022