

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**JÚLIA SILVEIRA SOBIESIAK**

**TURMALINA COMO INDICADOR PETROGENÉTICO DE ROCHAS  
QUARTZÍTICAS DAS BORDAS DO COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO**

**PORTO ALEGRE – RIO GRANDE DO SUL**

**2019**

JÚLIA SILVEIRA SOBIESIAK

**TURMALINA COMO INDICADOR PETROGENÉTICO DE ROCHAS  
QUARTZÍTICAS DAS BORDAS DO COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina de Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus  
Orientador: Prof. Dr. Norberto Dani

PORTO ALEGRE  
2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitora:** Jane Fraga Tutikian

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Sobiesiak, Júlia Silveira

Turmalina como indicador petrogenético de rochas quartzíticas das bordas do complexo metamórfico Passo Feio. / Júlia Silveira Sobiesiak. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2019.

[76 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2019.

Orientadores: Marcus Vinicius Dorneles Remus  
Norberto Dani

1. Turmalina. 2. Quartzito. 3. Complexo Metamórfico Passo Feio. 4. Protólito. 5. Zonação. I. Título.

CDU 550.4

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

---

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais Ana e Eliseu e aos meus irmãos Bruna e Matheus por todo apoio e confiança nesses cinco anos, e às minhas duas famílias porto-alegrenses que nunca mediram esforços nas horas em que precisei.

Agradeço aos meus orientadores Marcus Remus e Norberto Dani pelas discussões, paciência e acompanhamento durante esse trabalho.

Aos meus geoamigos pelo companheirismo e parceria nos campos, jogos do Grêmio, na banquinha, e no famoso cafezinhos pós almoço. A Mari, pelas jantinhas e água tônica compartilhadas nesses anos.

Agradeço à UFRGS pela estrutura e pelo ensino de qualidade, aos funcionários, professores e técnicos que sempre fizeram o possível para que o sonho de ser geóloga pudesse se tornar realidade.

Por último, ao meu amigo e companheiro Rodrigo, pelo apoio incondicional e por todos os momentos que passamos até chegar aqui.

## RESUMO

Uma das questões científicas especialmente intrigantes, envolvendo rochas metamórficas e hidrotermais do Escudo Sul-Riograndense, é a origem de rochas quartzíticas associadas espacialmente ao batólito granítico de Caçapava e ao Complexo Metamórfico Passo Feio na região de Caçapava do Sul. Estas rochas são constituídas predominantemente por quartzo (> 80%), turmalina, muscovita, K-feldspato, biotita, ilmenita e zircão. Este estudo propõe uma origem distinta para o protólito destas rochas, localizadas na borda SE do Granito Caçapava, utilizando especialmente a forma, composição e padrões de zonação da turmalina, combinado com feições de campo e paragéneses minerais associadas. O trabalho focou em duas áreas denominadas Ponto-01 e Chácara Queimada, distantes cerca de 6 Km. Determinou-se a composição química dos minerais, através de análises de microsonda eletrônica, em grãos de turmalina, muscovita, k-feldspato e biotita. A temperatura de formação da turmalina nessas rochas, entre 450-470°C, foi calculada com base no geotermômetro turmalina-biotita. Os dados obtidos para esse trabalho mostram parâmetros que poderiam classificar o protólito destas rochas tanto de origem sedimentar detrítica (quartzito) como magmático-hidrotermal (quartzolito ou quartzito secundário). Os principais parâmetros levantados até o momento, no entanto, favorecem uma origem magmático-hidrotermal (quartzolito ou quartzito secundário) para as rochas quartzosas estudadas, tais como: (1) as turmalinas analisadas mostram composições relativamente restritas e homogêneas (dravita-schorlita) com zonação óptica e composicional concêntrica; (2) ausência de texturas sedimentares (ex: arredondamento) nos grãos de turmalina, tanto no núcleo quanto nas bordas; (3) a magnitude da variação composicional entre os grãos de turmalinas é relativamente pequena, o que em estudos de proveniência não é comum, pois haveria apenas uma população detrítica referente a mesma rocha fonte; (4) associação mineralógica (muscovita, feldspato potássico e ilmenita) frequentemente encontrada nos leucogranitos do batólito granítico, especialmente associado; (5) a composição de rocha total mostra teores de SiO<sub>2</sub>, um pouco mais elevados, mas comparáveis aos leucogranitos mais evoluídos do Granito Caçapava; (6) as rochas quartzosas possuem afinidade geoquímica peraluminosa consistentes com *trends* de diferenciação magmática altamente evoluídos. Para enriquecer a discussão e poder comprovar a origem dessas rochas, seriam necessários estudos adicionais

envolvendo maior número de amostras de rocha total, composição mineralógica, principalmente de elementos traço, além de composição isotópica de B na turmalina e Sr.

Palavras-chave: quartzito, turmalina, Complexo Metamórfico Passo Feio

## ABSTRACT

One of the especially intriguing scientific questions, involving metamorphic and hydrothermal rocks of the Sul-Riograndense Shield, is the origin of quartzite rocks spatially associated with the Caçapava granitic batholith and the Passo Feio Metamorphic Complex in the Caçapava do Sul region. These rocks consist predominantly of quartz (>80%), tourmaline, muscovite, k-feldspar, biotite, ilmenite and zircon. This study proposes a distinct origin for the protolith of these rocks, located on the SE edge of Caçapava Granite, using especially the form, composition and tourmaline zonation patterns, combined with field features and associated mineral paragenesis. This study focused on two areas called Ponto-01 and Chácara Queimada, distant about 6 km. The chemical composition of the minerals was determined by electron microprobe analysis in tourmaline, muscovite, k-feldspar and biotite grains. The formation temperature of tourmaline in these rocks, between 450-470 ° C, was calculated based on the tourmaline-biotite geothermometer. The data obtained for this work show parameters that could classify the protolith of these rocks as of detrital sedimentary origin (quartzite) as well as hydrothermal magmatic origin (quartzolite or secondary quartzite). The main parameters raised so far, however, support a magmatic-hydrothermal origin (quartzolite or secondary quartzite) for the studied quartz rocks, such as: (1) analyzed tourmaline show relatively restricted and homogeneous composition (dravita-schorlita) with concentric optical and compositional zonation; (2) absence of sedimentary textures (eg: rounding) in tourmaline grains, both at the core and at the edges; (3) the magnitude of the compositional variation between tourmaline grains is relatively small, in which provenance studies is not common, because there would be only one detrital population referring to the same source rock; (4) mineralogical association (tourmaline, muscovite, potassic feldspar, ilmenite) frequently found in leucogranites of the spatially associated granitic batolith; (5) the total rock composition shows slightly higher SiO<sub>2</sub> levels, but comparable to the more advanced leucogranites of Caçapava Granite; (6) quartz rocks have peraluminous geochemical affinity, in total-rock, and are consistent with highly evolved trends of magmatic differentiation. To enrich the discussion and to be able to prove the origin of these rocks, would be necessary further studies involving a larger number of samples of total rock, mineralogical composition, mainly trace elements, besides isotopic composition of B in tourmaline and Sr.

Key-words: quartzite, tourmaline, Passo Feio Metamorphic Complex



## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. A) ROTA SAINDO DA CAPITAL, PORTO ALEGRE, ATÉ A CIDADE DE CAÇAPAVA DO SUL. B) MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO, EVIDENCIANDO O GRANITO CAÇAPAVA E O COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO. OS LOCAIS EXATOS DE ESTUDO ENCONTRAM-SE DESTACADOS EM PONTOS AMARELOS. FONTE: AUTORA COM BASE NOS DADOS VETORIAIS DA CPRM, GOOGLE EARTH E IBGE..... 16
- FIGURA 2.** IMAGEM ILUSTRANDO O CINTURÃO DOM FELICIANO, QUE SE ESTENDE DE SANTA CATARINA ATÉ O URUGUAI. DETALHE EM VERMELHO NO BLOCO SÃO GABRIEL. FONTE: MODIFICADO DE PHILIPP ET AL., 2016..... 20
- FIGURA 3.** COMPILAÇÃO DOS ELEMENTOS RELATADOS QUE OCORREM NAS TURMALINAS (COLORIDOS). OS ELEMENTOS EM VERDE, OCORREM NO SÍTIO X; AQUELES EM ROXO, NO SÍTIO Y; EM AZUL, OS DO SÍTIO Z; EM LARANJA, NO SÍTIO T; EM AZUL ESCURO PERTENCEM AO SÍTIO V E EM VERMELHO AO SÍTIO W. APENAS O B OCORRE NO SÍTIO B. ELEMENTOS COLORIDOS POR MAIS DE UMA COR, FORAM RELATADOS EM MÚLTIPLOS SÍTIOS. ELEMENTOS EM CINZA SÓ OCORREM COMO TRAÇO (<0,1 WT.%) E NÃO SÃO RELACIONADOS A NENHUM SÍTIO ESPECÍFICO. (FONTE: BERRYMAN, 2016)..... 23
- FIGURA 4.** FÓRMULA MINERAL E SEUS POSSÍVEIS CONSTITUINTES (AS ESPÉCIES ENTRE PARÊNTESES AINDA NÃO ESTÃO COMPROVADAS NESSES LOCAIS). ..... 24
- FIGURA 5.** REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CRISTAL DE TURMALINA EM VISTA NORMAL (A) E PARALELA (B) AO EIXO C. O SÍTIO X (EM ROXO), OCUPADO POR NA, CA, K OU VACANTE, LOCALIZA-SE LOGO ACIMA DOS ANÉIS TETRAÉDRICOS (EM AZUL ESCURO) E É LIGADO PELO CANTO INTERNO POR OUTRO TETRAEDRO (T) E TRIGONALMENTE COORDENADO PELO GRUPO B (EM VERDE). O O1, SÍTIO W (EM VERMELHO), É COORDENADO POR TRÊS SÍTIOS Y (EM AMARELO). O O1-H1 LIGA COM O HIDROGÊNIO ORIENTADO EM AZUL CLARO, APONTANDO EM DIREÇÃO AO SÍTIO X. O O3, SÍTIO V (EM VERMELHO), É COORDENADO COM UM SÍTIO Y E DOIS SÍTIOS Z (EM LARANJA). O O3-H3 É LIGADO E ORIENTADO NA DIREÇÃO -C COM H3 DIVIDINDO A LIGAÇÃO COM O SÍTIO O5 (LINHAS TRACEJADAS) NO ANEL TETRAÉDRICO. FONTE: (BERRYMAN, 2016) ..... 24
- FIGURA 6.** DIAGRAMA AL-Fe(TOTAL)- Mg (EM PROPORÇÕES MOLECULARES) PARA TURMALINAS ORIGINADAS DE DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS. OS DADOS ENTRE COLCHETES INDICAM A QUANTIDADE DE PONTOS UTILIZADA PARA DEFINIR CADA CAMPO. OS TIPOS DE ROCHA REPRESENTADOS SÃO: (1) GRANITOIDE PEGMATÍTICO OU APLITICO RICO EM LI [106] , (2) GRANITOIDES E SEUS ASSOCIADOS PEGMATÍTICOS E APLITOS POBRES EM LI [98], (3) ROCHAS QUARTZO-TURMALINAS (GRANITOS HIDROTERMALMENTE ALTERADOS) RICOS EM Fe+3 [7], (4) METAPELITOS E METAPSAMITOS COEXISTINDO COM UMA FASE SATURADA EM AL [21], (5) METAPELITOS E METAPSAMITOS NÃO COEXISTINDO COM FASES SATURADAS EM AL [45], (6) ROCHAS QUARTZO TURMALINAS, CÁLCICO-SILICÁTICAS E METAPELITOS RICOS EM Fe+3 [38], (7) METAUSTRAMAFITOS BAIXO-CA E METASSEDIMENTOS RICOS EM CR E V [23], E (8) METACARBONATITOS E METAPIROXENITOS [55] (FONTE: HENRY; GUIDOTTI, 1985)). ..... 25
- FIGURA 7.** DIAGRAMA Ca-Fe(TOTAL)-Mg (EM PROPORÇÕES MOLECULARES) PARA TURMALINA DE DIFERENTES TIPOS DE ROCHA. OS TIPOS DE ROCHA DEFINIDOS PELOS CAMPOS NESSE DIAGRAMA SÃO UM POUCO DIFERENTES DA FIG. 4. ESSES CAMPOS SÃO: (1) GRANITOIDES PEGMATÍTICOS E APLITICOS RICOS EM LI

[128], (2) GRANITOIDES E ASSOCIADOS PEGMATÍTICOS E APLÍTICOS POBRES EM LI [146], (3) METAPELITOS, METAPSAMITOS E ROCHAS CÁLCICO-SILICÁTICAS RICAS EM CA [36], (4) METAPELITOS, METAPSAMITOS E ROCHAS QUARTZO TURMALINAS POBRES EM CA [69], (5) METACARBONATOS [54], E (6) ULTRAMAFITOS [14] (FONTE: HENRY; GUIDOTTI, 1985)).	26
<b>FIGURA 8.</b> DIAGRAMA DE HENRY, GUIDOTTI E THOMSON (2005) QUE DETERMINA A TEMPERATURAS ATRAVÉS DE VALORES PLOTADOS DE TI NA BIOTITA (A.P.F.U) VERSUS SEUS VALORES DE MG/(MG +FE), A PARTIR DA CALIBRAÇÃO EMPÍRICA DE HENRY E GUIDOTTI (2002) PARA BIOTITAS PERALUMINOSAS EM METAPELITOS EQUILIBRADOS ENTRE 4-6 KBAR.	29
<b>FIGURA 9.</b> IMAGEM GERAL DO AFLORAMENTO.	33
<b>FIGURA 10.</b> IMAGENS MACROSCÓPICAS DA AMOSTRA. A) TURMALINA (TUR) DISSEMINADA NA ROCHA; B) AGREGADO DE TURMALINA.	34
<b>FIGURA 11.</b> FOTOMICROGRAFIA DAS LÂMINAS. A) TURMALINA (TUR) DA LÂMINA CQ; B) LÂMINA CQ MOSTRANDO AS MICAS MUSCOVITA (MS) E BIOTITA (BT), PRESENÇA DE ILMENITA (ILM) E QUARTZO (QTZ); C) MUSCOVITA DO PONTO-01, PRESENÇA DE QUARTZO E ORTOCLÁSIO (OR); D) QUARTZO MOSTRANDO A TEXTURA GRANOBLÁSTICA INTERLOBADA, DO PONTO-01.	35
<b>FIGURA 12.</b> FOTOMICROGRAFIA DAS TURMALINAS (TUR) DAS LÂMINAS PTJ-003A E PTJ-003D, A ESQUERDA (A,C,E), EM LUZ NATURAL E A DIREITA (B, D,F), EM LUZ POLARIZADA.	36
<b>FIGURA 13.</b> À ESQUERDA, GRÁFICO INDICANDO OS TEORES DE SI, FE, CA, NA, MG E AL POR FÓRMULA UNITÁRIA DE ACORDO COM OS PONTOS REALIZADOS NA TURMALINA, A DIREITA. NO GRÁFICO, A ÁREA ACINZENTADA INDICA OS PONTOS REALIZADOS NO CENTRO DO CRISTAL.	39
<b>FIGURA 14.</b> CLASSIFICAÇÃO DAS TURMALINAS ESTUDADAS BASEADA NA OCUPAÇÃO DO SITIO X DE HAWTHORNE & HENRY (1999). EM VERDE ENCONTRAM-SE OS DADOS DA CHÁCARA QUEIMADA E, EM AZUL E VERMELHO, BORDA E CENTRO, RESPECTIVAMENTE, DO PONTO 1.	40
<b>FIGURA 15.</b> GRÁFICO DE SUBTIPOS DE TURMALINA REFERENTES AO CENTRO E BORDA DO PONTO 1, VERMELHO E AZUL RESPECTIVAMENTE. A. UTILIZANDO NA (NA+CA) VERSUS MG/(FE+MG). B. A PARTIR DAS PROPORÇÕES MOLECULARES FE(TOTAL) VERSUS MG. MODIFICADO DE: YANG ET AL., 2015	41
<b>FIGURA 16.</b> DIAGRAMA TRIANGULAR AL - FE (TOT) - MG MODIFICADO DE HENRY E GUIDOTTI (1985) COM OS DADOS DE COMPOSIÇÃO DE CENTRO DAS TURMALINAS DO PONTO-01.	42
<b>FIGURA 17.</b> DIAGRAMA TRIANGULAR AL - FE (TOT) - MG MODIFICADO DE HENRY E GUIDOTTI (1985) COM OS DADOS DE BORDA DAS TURMALINAS DO PONTO-01.	43
<b>FIGURA 18.</b> DIAGRAMA TRIANGULAR AL - FE (TOT) - MG MODIFICADO DE HENRY E GUIDOTTI (1985) COM OS DADOS DE CENTRO E BORDA DAS TURMALINAS DO PONTO 1, NAS CORES VERMELHO E AZUL RESPECTIVAMENTE, E EM VERDE, OS DADOS REFERENTES AS TURMALINAS DA CHÁCARA QUEIMADA (CQ).	44
<b>FIGURA 19.</b> DIAGRAMA TRIANGULAR CA - FE (TOT) - MG MODIFICADO DE HENRY E GUIDOTTI (1985) COM OS DADOS DE CENTRO E BORDA DAS TURMALINAS DO PONTO 1, NAS CORES VERMELHO E AZUL RESPECTIVAMENTE.	45
<b>FIGURA 20.</b> MOSAICO DE MAPAS COMPOSICIONAIS DA TURMALINA DO PONTO-01 UTILIZANDO IMAGENS DE BACKSCATTERING (A) E QUANTITATIVAS DE MG (B), AL (C), FE (D), TI (E) E NA (F), MOSTRANDO A VARIAÇÃO EM CONTAGENS DE CADA ELEMENTO.	46

<b>FIGURA 21.</b> MOSAICO DE MAPAS COMPOSICIONAIS DA TURMALINA DO PONTO-01, UTILIZANDO IMAGENS DE BACKSCATTERING (A) E QUANTITATIVAS DE FE (B), AL (C), MG (D), TI (E) E NA (F), MOSTRANDO A VARIAÇÃO EM CONTAGENS DE CADA ELEMENTO. ....	47
<b>FIGURA 22.</b> MOSAICO DE MAPAS COMPOSICIONAIS DA TURMALINA DO PONTO-01, UTILIZANDO IMAGENS DE BACKSCATTERING E QUANTITATIVAS DE MG (B), AL (C), FE (D), TI (E) E NA (F), MOSTRANDO A VARIAÇÃO EM CONTAGENS DE CADA ELEMENTO. ....	48
<b>FIGURA 23.</b> IMAGENS DE BACKSCATTERING MOSTRANDO OS FELDSPATOS ANALISADOS. MS- MUSCOVITA, OR – ORTOCLÁSIO E QTZ- QUARTZO. ....	49
<b>FIGURA 24.</b> DIAGRAMA TRIANGULAR DA CLASSIFICAÇÃO DOS FELDSPATOS CONFORME SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, UTILIZANDO OR - OROCLÁSIO, AL – ALBITA E AN - ANORTITA COMO TERMOS FINAIS. MODIFICADO DE DEER, HOWIE E ZUSSMAN (1992). ....	51
<b>FIGURA 25.</b> GRÁFICO CLASSIFICANDO MICAS POTÁSSICAS DIOCTAÉDRICAS COM BASE ${}^{IV}Al-(Fe+Mg)-{}^{VI}Al$ , ONDE SÃO REPRESENTADOS OS POLOS COMPOSICIONAIS DA MUSCOVITA (MS), MUSCOVITA FERROSA (FE-MS), CELADONITA (CD), LEUCOFILITA (LC), FENGITA (PH) E FENGITA FERROSA (FE-PH). MODIFICADO DE GUIDOTTI (1984). ....	53
<b>FIGURA 26.</b> DADOS DAS BIOTITAS DA CHÁCARA QUEIMADA NO GRÁFICO DO GEOTERMÔMETRO DE HENRY, GUIDOTTI E THOMSON (2005) QUE UTILIZA O TI A.P.F.U VERSUS $Mg/(Mg+Fe)$ . A TEMPERATURA É DADA PELAS ISOTERMAS (°C), E AS LINHAS PONTILHADAS REPRESENTAM VALORES INTERMEDIÁRIOS DE 50 °C. ....	56
<b>FIGURA 27.</b> DIAGRAMA MODIFICADO DE SHAND (1943) PARA CLASSIFICAR A AFINIDADE QUÍMICA DA ROCHA, UTILIZANDO OS VALORES DE $Al_2O_3/ CaO+Na_2O+K_2O$ , UTILIZANDO DADOS ANTERIORES DO CGC (BIOTITA GRANITO), EM AZUL, CGC (LEUCOGRANITO), EM LARANJA, AMBOS RETIRADOS DE NARDI E BITENCOURT (1989), E, EM CINZA, AS AMOSTRAS DO PONTO-01. ....	58

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> RESULTADOS REPRESENTATIVOS DAS ANÁLISES DE CENTRO E BORDA DAS TURMALINAS DO PONTO-01, A ESQUERDA E, A DIREITA, DUAS ANÁLISES REPRESENTATIVAS DAS TURMALINAS DA CHÁCARA QUEIMADA. AMBAS REPRESENTADAS EM ÓXIDOS E POR FÓRMULA UNITÁRIA COM BASE EM 15 CÁTIONS (T+Z+Y).....	38
<b>TABELA 2.</b> DADOS DE MICROSSONDA ELETRÔNICA (ME) REFERENTE AOS FELDSPATOS DO PONTO-01. ....	50
<b>TABELA 3.</b> DADOS QUÍMICOS DE MICROSSONDA ELETRÔNICA DE CRISTAIS DE MUSCOVITA DO PONTO-01 E CHÁCARA QUEIMADA. ....	52
<b>TABELA 4.</b> DADOS QUÍMICOS DE MICROSSONDA ELETRÔNICA DAS BIOTITAS DA CHÁCARA QUEIMADA.....	54
<b>TABELA 5.</b> DADOS DA AMOSTRA DA CHÁCARA QUEIMADA UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO GEOTERMÔMETRO BIOTITA-TURMALINA.....	55

## LISTA DE ABREVIACOES

Bt - biotita

CGCS – Complexo Granítico Caçapava do Sul

CMPF – Complexo Metamórfico Passo Feio

FRX - Espectroscopia de Fluorescência de Raios X

Ilm - ilmenita

$\ln K_D$  – logaritmo natural do coeficiente de partição

$K_D$  – Coeficiente de partição

ME – Microsonda Eletrônica

Ms – muscovita

Or – ortoclásio

Qtz – quartzo

SGB – Bloco São Gabriel

Tur- turmalina

XMg- Teor de Magnésio –  $Mg/(Fe+Mg)$

# Sumário

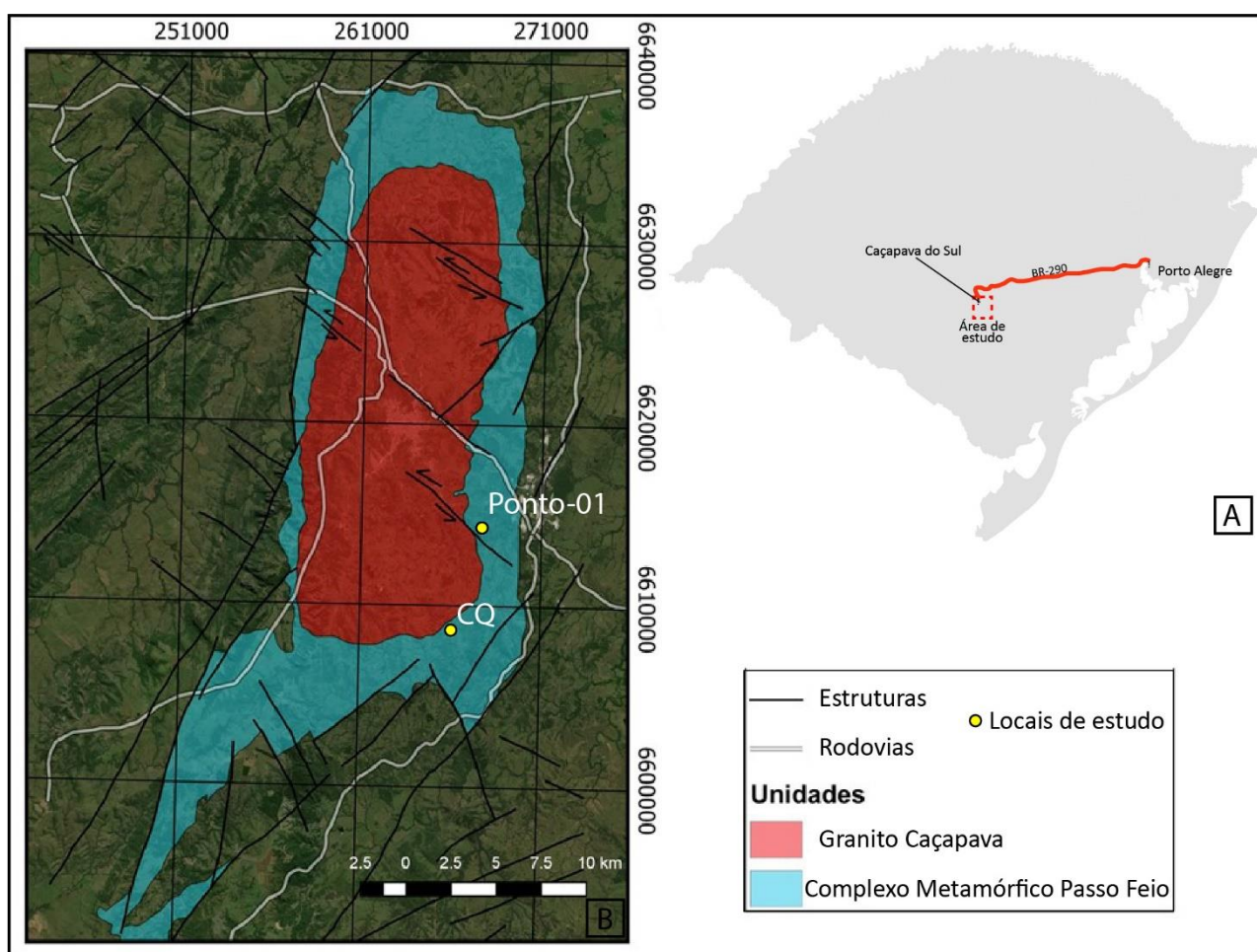
1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	Localização e área de estudo .....	16
1.2.	Caracterização do problema / Hipóteses .....	17
1.3.	Justificativa.....	17
1.4.	Objetivos .....	18
2.	ESTADO DA ARTE .....	19
2.1.	Contexto Geológico.....	19
2.1.1.	Bloco São Gabriel.....	19
2.1.2.	Complexo Metamórfico Passo Feio .....	20
2.1.3.	Complexo Granítico de Caçapava do Sul.....	21
2.2.	Turmalina como indicador petrogenético .....	22
2.3.	Geotermômetro .....	26
2.3.1.	Turmalina-biotita.....	26
2.3.2.	Ti na biotita .....	28
3.	METODOLOGIA .....	30
3.1.	Trabalho de Campo .....	30
3.2.	Petrografia.....	30
3.3.	Microsonda Eletrônica.....	31
3.4.	Fluorescência de raios X (FRX) .....	32
4.	RESULTADOS .....	33
4.1.	Campo.....	33
4.2.	Petrografia Óptica .....	34
4.3.	Microsonda Eletrônica.....	37
4.3.1.	Turmalina.....	37
4.3.2.	Feldspato.....	49

4.3.3. Micas .....	51
4.3.4. Geotermômetro.....	54
4.4. Fluorescência de Raios-X (FRX).....	57
5. DISCUSSÕES .....	59
6. CONCLUSÕES.....	61
7. REFERÊNCIAS .....	63
8. ANEXOS.....	66

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Localização e área de estudo

A área de estudo localiza-se próxima à cidade de Caçapava do Sul, que fica a 260km da capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. O acesso à cidade a partir da capital, dá-se partindo da BR-116, pegando a BR-290 e, após 220km, dobrando-se a esquerda no entroncamento com a BR-392 (Fig. 1A). A carta topográfica utilizada para área de estudo é a Folha SH.22-Y-A-V-I MI-2996/1 na escala 1:50.000 produzida pela Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. A) Rota saindo da capital, Porto Alegre, até a cidade de Caçapava do Sul. B) Mapa geológico da área de estudo, evidenciando o Granito Caçapava e o Complexo Metamórfico Passo Feio. Os locais exatos de estudo encontram-se destacados em pontos amarelos. Fonte: Autora com base nos dados vetoriais da CPRM, Google Earth e IBGE.



A área de estudo encontra-se no Complexo Metamórfico Passo Feio, no limite sudeste com o Granito Caçapava. Os pontos estudados, encontram-se em amarelo no mapa da Figura 1B. O sítio localizado a norte foi denominado de Ponto-01, enquanto a área a sul, de Chácara Queimada.

## 1.2. Caracterização do problema / Hipóteses

A identificação do protólito das rochas metamórficas é essencial, pois além de ser fundamental para o conhecimento geológico da área com a classificação das rochas precursoras e do respectivo ambiente gerador, pode auxiliar na correta identificação das condições petrológicas de sua geração e na definição do potencial econômico de uma determinada região.

A turmalina é um indicador petrogenético útil, pois sua estrutura permite uma variação composicional, ocorrendo geralmente como mineral secundário ou acessório em uma ampla variedade de rochas, de sedimentar a hidrotermal, metamórfica e magmática. A larga faixa de estabilidade da turmalina, tanto na pressão quanto na temperatura, facilita sua ocorrência, o que a torna sensível a composição de seu ambiente hospedeiro (HENRY; GUIDOTTI, 1985; VAN HINSBERG; HENRY; MARSCHALL, 2011).

No presente estudo, pretende-se definir o protólito e a origem petrogenética de camadas quartzosas associadas aos xistos pelíticos encontrados na região. Para tanto, serão utilizados dados de associação de campo, petrografia e parâmetros composicionais de turmalina na fração silicosa.

## 1.3. Justificativa

Existem dúvidas sobre a origem de corpos de composição silicosa (quartzitos) associadas espacialmente aos xistos pelíticos, do Complexo Metamórfico Passo Feio. A definição de sua origem é importante para o conhecimento da geologia da região. Os estudos anteriores dedicaram pouca atenção a estes corpos silicosos e apontaram para uma origem sedimentar clástica, sem entrar em detalhes (BITENCOURT, 1983; RIBEIRO et al, 1966).

No entanto, a origem destes corpos pode estar ligada alternativamente a processos de sedimentação química (cherts) ou mesmo a processos ígneos e/ou hidrotermais. Assim é importante o conhecimento da geologia da região, revisar a gênese destes corpos silicosos utilizando estudos geoquímicos de composição de rocha total e de química mineral inexistentes até o momento. A correta identificação dos protólitos das camadas quartzosas permitirá a elaboração de mapas geológicos mais precisos e auxiliará na avaliação do ambiente geológico de sua formação e do potencial econômico da região.

A presença de turmalina, além de muscovita, biotita e K-feldspato nestas rochas quartzosas representa uma oportunidade para realizar estudos composicionais destes minerais e utilizá-los como indicadores petrogenéticos, especialmente a turmalina, de modo a discriminar as possíveis rochas pré-metamórficas contribuindo para o enriquecimento do conhecimento geológico no local.

#### 1.4. Objetivos

Esse trabalho tem o objetivo de estudar as frações silicosas associadas espacialmente aos xistos pelíticos do Complexo Metamórfico Passo Feio através de dados petrográficos e composicionais de turmalina além de composição química de rocha total.

Para isso, será necessário:

- Definir a associação dessas rochas em campo;
- Definir características metamórficas através da petrografia;
- Caracterização das turmalinas através de análises químicas;

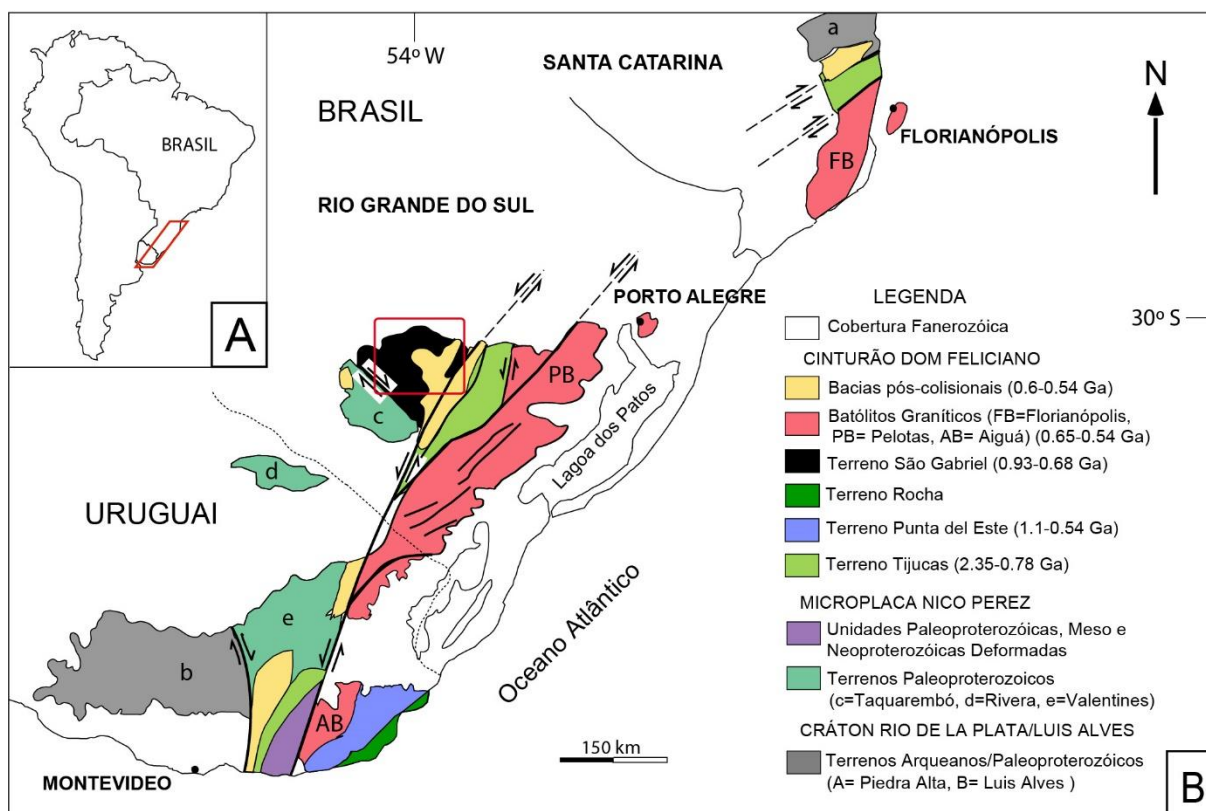
## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Contexto Geológico

#### 2.1.1. Bloco São Gabriel

O Bloco São Gabriel (SGB) encontra-se na porção mais a oeste do Cinturão Dom Feliciano (CDF), o qual possui uma forma alongada NE-SW. Essa região é coberta a oeste e norte pelas unidades fanerozóicas da Bacia do Paraná, limitada ao sul pelo Lineamento de Ibaré e a oeste pelo Lineamento de Caçapava do Sul (Fig. 2) (PHILIPP; PIMENTEL; CHEMALE JR, 2016).

Uma característica única do Bloco São Gabriel é a assinatura juvenil Neoproterozóica de rochas vulcano-sedimentares metamorfizadas e rochas gnáissicas (BABINSKI et al., 1996) em contraste com a maioria dos outros cinturões Brasileiros que são caracterizados por remobilização da crosta continental mais antiga. As rochas juvenis foram formadas entre 880 e 700 Ma. Elas representam uma associação juvenil Neoproterozóica de TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito), rochas andesíticas, harzburgíticas e metassedimentares. Além disso, o SGB inclui remanescentes paleoproterozóicos e Arqueanos expostos a sudoeste que são separados das rochas juvenis do Neoproterozóico pelo Lineamento de Ibaré (SAALMANN et al., 2011).



**Figura 2.** Imagem ilustrando o Cinturão Dom Feliciano, que se estende de Santa Catarina até o Uruguai. Detalhe em vermelho no Bloco São Gabriel. Fonte: Modificado de Philipp *et al.*, 2016.

### 2.1.2. Complexo Metamórfico Passo Feio

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) ocorre na região de Caçapava do Sul - RS, circundando o Complexo Granítico de Caçapava do Sul e estendendo-se na direção N-S (HARTMANN; TINDLE; BITENCOURT, 1990). Composto por uma sequência metavulcano-sedimentar, contém ardósias, filitos e xistos pelíticos, grafita xistos, mármore, quartzitos, metaconglomerados, rochas cálcico-silicáticas, anfíbolitos, metabasaltos subordinados e xistos magnesianos sendo a maioria do fácies anfíbolito inferior (RIBEIRO *et al.*, 1966; BITENCOURT, 1983; REMUS *et al.*, 2000).

A parte sedimentar do CMPF é representada por uma sequência areno-pelítica-carbonatada indicada pela ocorrência de cascalhos, fragmentos de quartzo, calcário e rochas silicáticas nos leitos de metaritimtos, a qual pode ter sido depositada a partir de correntes de turbidez. A geoquímica de rochas metabásicas indica derivação de

toleítos e rochas da série alcalina (BITENCOURT; HARTMANN, 1984; BICALHO et al., 2019).

Foram registrados dois eventos metamórficos (M1 e M2), localmente reequilibrados na fácies anfibolito (HARTMANN; TINDLE; BITENCOURT, 1990). O efeito térmico do Granito Caçapava nas rochas da unidade Passo Feio é restrito à recristalização ao longo dos contatos de suas apófises. O metamorfismo regional varia entre a zona da clorita da fácies xisto verde e a zona da estauroлита da fácies anfibolito. Análises de datação de U-Pb realizada em zircões mostram que a unidade Passo Feio possui idade neoproterozoica, suas rochas supracrustais foram afetadas por um metamorfismo regional dinamotermal a  $\pm 700$  Ma, e tiveram distintas populações herdadas de idades arqueanas, paleoproterozoicas e neoproterozoicas, indicando uma fonte continental complexa (REMUS et al., 2000).

O CMPF possui diversos depósitos de Cu (Au) encontrados nas rochas metavulcano-sedimentares que estão espacialmente relacionados ao Complexo Granítico de Caçapava do Sul. Os depósitos conhecidos situam-se tanto no flanco oeste como no leste do batólito e ocorrem como sulfetos de Cu, Fe, Pb (Au) e óxidos de Fe na forma de disseminações ou *stockworks* e em veios preenchendo fraturas ou falhas em xistos e outros metamorfitos (REMUS et al., 2011).

### 2.1.3. Complexo Granítico de Caçapava do Sul

O Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS) (BITENCOURT, 1983) é um batólito de forma elíptica alongada na direção N-S, que intrude no CMPF sintectonicamente durante o evento de deformação transcorrente (D2) a  $\pm 562$  Ma, conforme dados de U-Pb em zircão (REMUS et al., 2000).

O CGCS é composto por três fácies principais, são elas: biotita granitoides, leucogranitoides e granitoides transicionais. A primeira é caracterizada por rochas que variam entre granodiorito, tonalito, quartzo monzodiorito a quartzo diorito, ocorrendo nas partes oeste, sul e sudoeste do complexo. Na segunda, sua composição varia entre sienogranitos e granodioritos, predominante na porção norte do corpo. Os granitoides transicionais, possuem características intermediárias entre as outras duas fácies, com rochas de composição monzogranítica a granodiorítica, os quais situam-se geralmente nas porções central e leste. A biotita é o principal mineral máfico,

enquanto que a hornblenda é subordinada. Os principais acessórios são alanita, zircão, apatita, titanita, pirita e magnetita. No fácies dos leucogranitoides há rochas micrograníticas, aplíticas e pegmatíticas associadas, as quais geralmente possuem muscovita e pequenas quantidades de turmalina (BITENCOURT, 1983; NARDI; BITENCOURT, 1989; REMUS et al., 2000).

Em relação aos teores de álcalis e cálcio, os granitoides mostram composição cálcico-alcálico de acordo com os baixos valores de  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  com relação a 70% de  $\text{Si}_2\text{O}$ . Os termos leucocráticos mais diferenciados do CGCS possuem teores que alcançam até 77,4% de  $\text{SiO}_2$ . As propriedades mineralógicas e texturais dos leucogranitos possibilita caracterizá-los como diferenciados da série cálcico-alcálica ou subalcálica (NARDI; BITENCOURT, 1989).

## 2.2. Turmalina como indicador petrogenético

Os minerais do supergrupo da turmalina são ciclossilicatos do sistema trigonal e constituem o borossilicato mais comum da crosta da Terra. Estudos recentes mostram que a composição química da turmalina está relacionada a composição da rocha hospedeira e/ou ao ambiente no qual se originou. Sua extensa faixa de estabilidade de pressão e temperatura, entre 150 – 900°C, cobre a maioria das condições encontradas na crosta terrestre e pode estar em equilíbrio com uma ampla gama de fluídos geológicos. Essa estabilidade se deve, em parte, a flexibilidade da sua estrutura de se ajustar a composição, em resposta a mudanças de pressão, temperatura e químicas nos ambientes em que está inserida (HENRY; GUIDOTTI, 1985; DUTROW; HENRY, 2011; HENRY; DUTROW, 2012).

Turmalinas metamórficas são formadas mais comumente próximas a um sistema fechado, seja por recristalização de grãos detríticos de turmalina ou por reações progressivas, envolvendo boro adsorvido na fração argila de sedimentos pré-existente, ou ambos. Turmalina em rochas metamórficas tem um grande campo de estabilidade, de xistos verdes até a fácies anfíbolito, mas quebra a altas temperaturas correspondentes a fácies anfíbolito superior e granulito. A variabilidade composicional das turmalinas pode refletir mudanças físicas e químicas durante a cristalização da rocha hospedeira, e, portanto, possui um potencial de preservação de assinaturas

químicas através de múltiplos eventos metamórficos ou hidrotermais. Mesmo em temperaturas relativamente altas, a turmalina pode preservar informações químicas e texturais originais, devido a sua estabilidade e as baixas taxas de difusão de volume para elementos maiores e traços. A distinção óptica e composicional do zoneamento nas turmalinas é preservada até a zona da silimanita inferior, mas fica cada vez mais indistinta em rochas de alto grau devido a difusão intensificada (ABU EL-ENEN; OKRUSCH, 2007; DUTROW; HENRY, 2011).

A turmalina possui uma grande faixa composicional, em termos de elementos principais e traços (Fig. 3), o que a torna um indicador sensível da composição de seu ambiente hospedeiro, pois sua estrutura cristalina consegue acomodar elementos com carga e raio iônico amplamente variáveis (VAN HINSBERG; HENRY; MARSCHALL, 2011).

**Química da Turmalina**

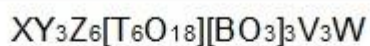
$XY_3Z_6T_6O_{18}(BO_3)_3V_3W$

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57-70	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-94																
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu										

**Figura 3.** Compilação dos elementos relatados que ocorrem nas turmalinas (coloridos). Os elementos em verde, ocorrem no sítio X; aqueles em roxo, no sítio Y; em azul, os do sítio Z; em laranja, no sítio T; em azul escuro pertencem ao sítio V e em vermelho ao sítio W. Apenas o B ocorre no sítio B. Elementos coloridos por mais de uma cor, foram relatados em múltiplos sítios. Elementos em cinza só ocorrem como traço (<0,1 wt.%) e não são relacionados a nenhum sítio específico. (Fonte: Berryman, 2016)

Os minerais do supergrupo da turmalina constituem o borossilicato mais comum da crosta da Terra, ocorrendo geralmente como mineral secundário ou acessório, com dezoito espécies aceitas (DUTROW; HENRY, 2011). Sua célula unitária de fórmula geral  $XY_3Z_6[T_6O_{18}][BO_3]_3V_3W$  é baseada na composição química e ordenação nos diferentes locais cristalográficos da estrutura da turmalina. Na Figura 4, se observa

que é possível atribuir as letras da fórmula aos seguintes constituintes (as espécies entre parênteses ainda não estão comprovadas nesses locais): (HAWTHORNE; HENRY, 1999)



X = Ca, Na, K, (vacância)

Y = Li, Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al, Cr<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, (Ti<sup>+</sup>)

Z = Mg, Al, Fe<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>

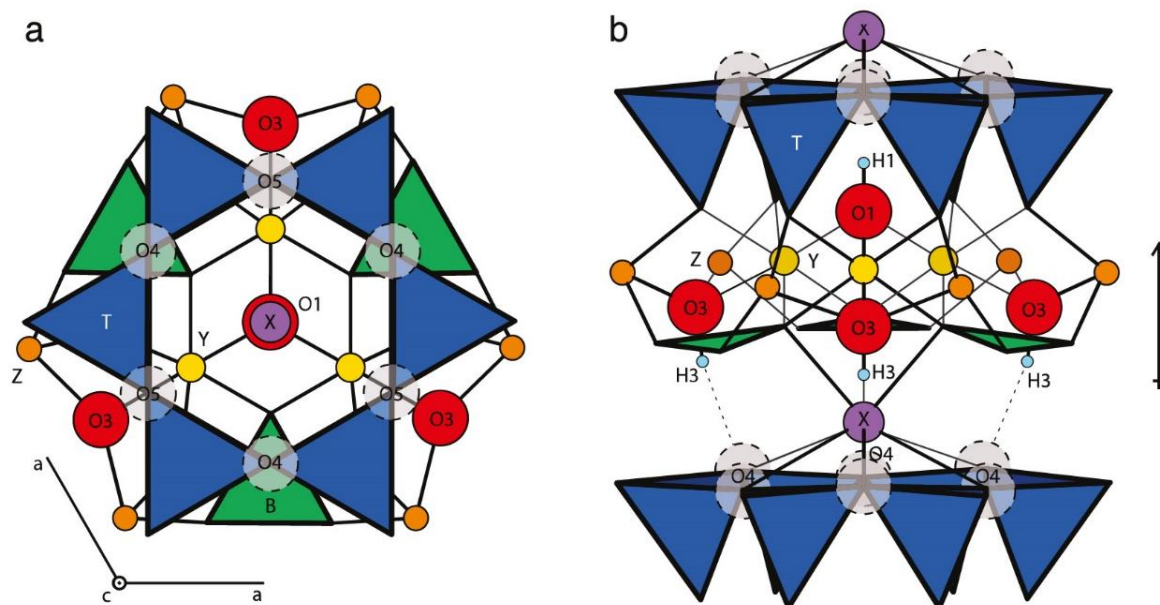
T = Si, Al, (B)

B = B, (vacância)

V = OH, O = [O(3)]

W = OH, F, O = [O(1)]

**Figura 4.** Fórmula mineral e seus possíveis constituintes (as espécies entre parênteses ainda não estão comprovadas nesses locais).

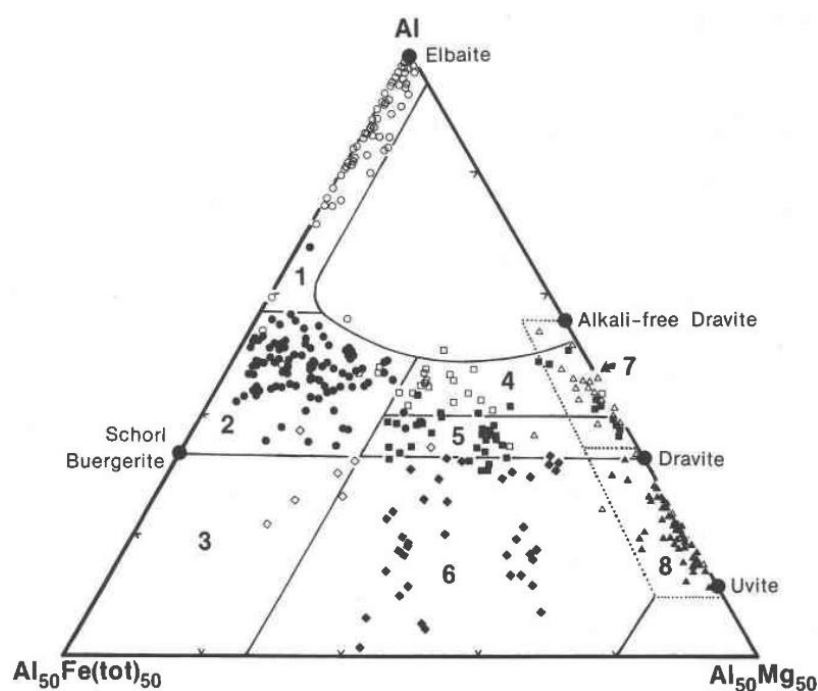


**Figura 5.** Representação esquemática do cristal de turmalina em vista normal (a) e paralela (b) ao eixo c. O sítio X (em roxo), ocupado por Na, Ca, K ou vacante, localiza-se logo acima dos anéis tetraédricos (em azul escuro) e é ligado pelo canto interno por outro tetraedro (T) e trigonalmente coordenado pelo grupo B (em verde). O O1, sítio W (em vermelho), é coordenado por três sítios Y (em amarelo). O O1-H1 liga com o hidrogênio orientado em azul claro, apontando em direção ao sítio X. O O3, sítio V (em vermelho), é coordenado com um sítio Y e dois sítios Z (em laranja). O O3-H3 é ligado e orientado na direção -c com H3 dividindo a ligação com o sítio O5 (linhas tracejadas) no anel tetraédrico. Fonte: (Berryman, 2016)



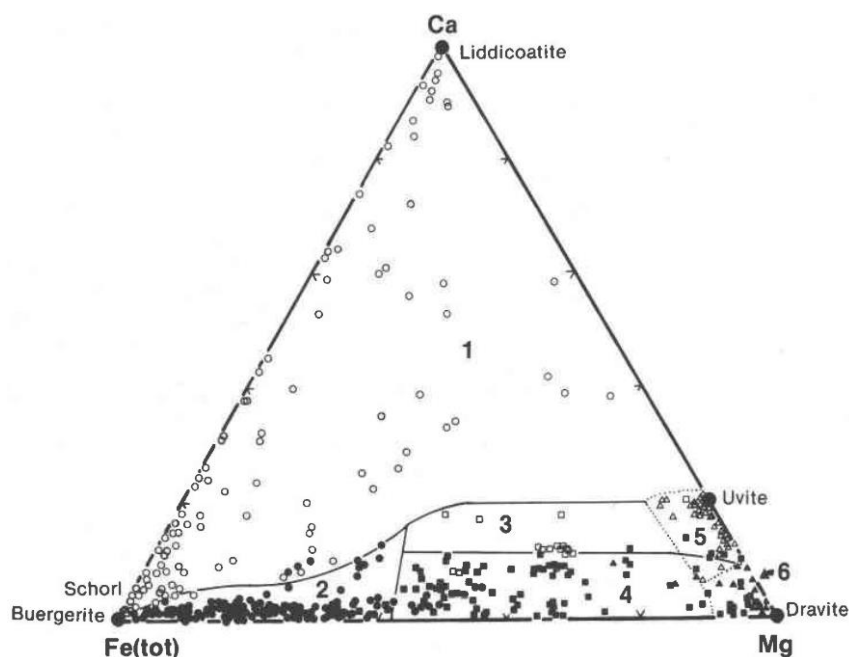
Como visto na figura 5, a estrutura consiste em um anel de seis tetraedros (sítio T) no topo de um arranjo concêntrico de três octaedros em Y e seis no Z, sendo Z um pouco menor que Y. Dentro do anel hexagonal, todos os tetraedros apontam para a camada de octaedros, e esse arranjo resulta nas características polares da turmalina, pois proíbe a presença de elementos de simetria perpendiculares ao eixo longo. O sítio X fica em um polígono de nove coordenadas, situado no topo do anel hexagonal. Três poliedros de boro trigonal estão ainda presentes dentro da camada de octaedro na célula unitária, aproximadamente perpendicular ao eixo c (VAN HINSBERG; HENRY; MARSCHALL, 2011).

A partir de uma revisão bibliográfica realizada por Henry e Guidotti (1985), os dados composicionais das turmalinas disponíveis foram plotados em diagramas ternários químicos de Al-Fe-Mg e Ca-Fe-Mg, e notou-se que havia a possibilidade de distinguir as turmalinas originadas em diferentes tipos de rochas. Os diagramas discriminantes encontram-se abaixo com seus membros finais plotados como referência.



**Figura 6.** Diagrama Al-Fe(total)- Mg (em proporções moleculares) para turmalinas originadas de diferentes tipos de rochas. Os dados entre colchetes indicam a quantidade de pontos utilizada para definir cada campo. Os tipos de rocha representados são: (1) Granitoide pegmatítico ou aplítico rico em Li [106], (2) Granitoides e seus associados pegmatíticos e aplitos pobres em Li [98], (3) Rochas quartzo-turmalinas (granitos hidrotermalmente alterados) ricos em Fe+3 [7], (4) Metapelitos e metapsamitos coexistindo com uma fase saturada em Al [21], (5) Metapelitos e metapsamitos não coexistindo com fases saturadas em Al [45], (6) Rochas quartzo turmalinas, cálcico-silicáticas e

metapelitos ricos em Fe<sup>+3</sup> [38], (7) Metaultramafitos baixo-Ca e metassedimentos ricos em Cr e V [23], e (8) Metacarbonatitos e metapiroxenitos [55] (Fonte: HENRY; GUIDOTTI, 1985)).



**Figura 7.** Diagrama Ca-Fe(total)-Mg (em proporções moleculares) para turmalina de diferentes tipos de rocha. Os tipos de rocha definidos pelos campos nesse diagrama são um pouco diferentes da Fig. 4. Esses campos são: (1) Granitoides pegmatíticos e apliticos ricos em Li [128], (2) Granitoides e associados pegmatíticos e apliticos pobres em Li [146], (3) Metapelitos, metapsamitos e rochas cálcico-silicáticas ricas em Ca [36], (4) Metapelitos, metapsamitos e rochas quartzo turmalinas pobres em Ca [69], (5) Metacarbonatos [54], e (6) Ultramafitos [14] (Fonte: HENRY; GUIDOTTI, 1985)).

## 2.3. Geotermômetro

### 2.3.1. Turmalina-biotita

Os geotermômetros podem ser uma ferramenta muito útil para o entendimento da evolução termal dos sistemas geológicos e são utilizados como complemento neste trabalho, para inferir a temperatura dos eventos geológicos em que a rocha hospedeira da turmalina foi formada.

Utilizando o geotermômetro granada-biotita como base, Colopietro e Friberg (1987) propuseram um geotermômetro empiricamente calibrado utilizando o par turmalina-biotita em metapelitos da zona da granada, estauroлита e silimanita. Eles assumiram que a partição intercrystalina do Fe e Mg entre a turmalina e a biotita ocorre

em função da temperatura e chegaram a seguinte equação (ABU EL-ENEN; OKRUSCH, 2007):

$$\ln K_D = -3150/T(K)$$

Onde,

$$K_D = \frac{(Mg/Fe)_{tur}}{(Mg/Fe)_{bt}}$$

Para a interpretação, Bröcker e Franz (2000) sugeriram duas alternativas de modelos que precisam ser consideradas:

1. Henry e Dutrow (1996) criticaram a confiabilidade do método de Colopietro e Friberg (1987), porque a simples substituição Fe-Mg pode não ser atingida entre a turmalina e a biotita devido a substituição acoplada na turmalina que envolve o Mg independente do Fe, e a ocorrência de ambos os elementos em diferentes sítios cristalográficos da estrutura da turmalina.

2. A importância de deficiências sistemáticas é superestimada e pode ser desconsiderada. Sob circunstâncias favoráveis, o geotermômetro biotita-turmalina pode fornecer temperaturas estimadas realistas, mas o reequilíbrio durante o resfriamento ou alteração retrógrada pode tornar os resultados sem sentido (BRÖCKER; FRANZ, 2000).

Dados disponíveis parecem suportar a segunda alternativa com o que foi observado em baixas temperaturas, sendo o resultado da reequilíbrio mineral parcial durante estados posteriores do evento magmático. As complexidades cristaloquímicas da estrutura da turmalina reduzem a eficiência do particionamento do Mg-Fe entre a turmalina e a biotita como um geotermômetro útil (BRÖCKER; FRANZ, 2000; ABU EL-ENEN; OKRUSCH, 2007).

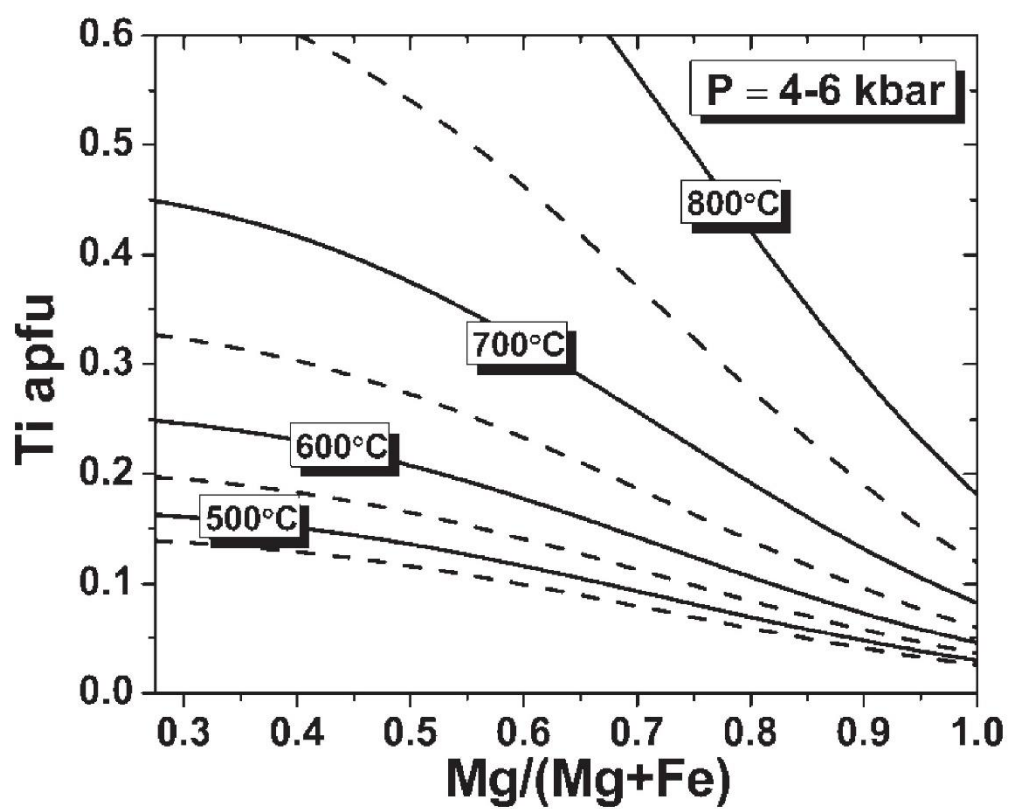
Abu El-enen e Okrusch (2007) obtiveram resultados consistentes que demonstram que esse método pode ser utilizado mesmo para temperaturas acima de 600 °C.

### 2.3.2. Ti na biotita

Pesquisadores tem observado os diferentes fatores que influenciam a incorporação de Ti na biotita, a interação da temperatura, pressão, a química e assembleia mineral. Através dos experimentos, a temperatura tem demonstrado ser a mais influente.

Com base na relação entre o teor de Ti na biotita, a temperatura e  $Mg/(Mg + Fe)$ , Henry e Guidotti (2002) calibraram empiricamente um geotermômetro para biotitas peraluminosas em metapelitos equilibrados entre 4-6kbar. Os autores utilizaram isopletras de titânio calculadas, utilizando um diagrama de T (°C) vs.  $Mg/(Mg + Fe)$ . Porém, Henry, Guidotti e Thomson (2005) aperfeiçoaram o gráfico, determinando temperaturas através de valores plotados de Ti na biotita (a.p.f.u) *versus*  $Mg/(Mg + Fe)$ . Os altos teores de Ti são encontrados nas biotitas de alta temperatura, mas com o aumento das quantidades de Mg, também diminui o limite de saturação do Ti.

A relação do Ti na biotita pode servir como base para um indicador sensível de equilíbrio químico, ou falta dele. A precisão do geotermômetro pode ser avaliada por estimativas de temperatura obtidas por geotermômetros independentes ou redes petrogenética. Os resultados obtidos para metapelitos com minerais saturados em Ti, mas sem grafita, pode-se obter temperaturas razoáveis, mas que também podem ser irregulares (HENRY; GUIDOTTI; THOMSON, 2005).



**Figura 8.** Diagrama de Henry, Guidotti e Thomson (2005) que determina a temperaturas através de valores plotados de Ti na biotita (a.p.f.u) versus seus valores de  $Mg/(Mg + Fe)$ , a partir da calibração empírica de Henry e Guidotti (2002) para biotitas peraluminosas em metapelitos equilibrados entre 4-6 kbar.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida em quatro etapas, iniciando com o trabalho de campo e sua preparação, a petrografia, análises laboratoriais e, por último, compilação e conclusão.

#### 3.1. Trabalho de Campo

A preparação para o trabalho de campo foi realizada a partir da revisão bibliográfica e da realização de estudos aerogeológicos. A revisão bibliográfica foi realizada através de estudos anteriores relacionados ao Bloco São Gabriel e ao Complexo Metamórfico Passo Feio para um melhor entendimento da geologia local. Trabalhos relacionados a química composicional e a relação das turmalinas com os diversos tipos de rocha, também foram importantes para fixar conceitos e obter um maior entendimento do assunto.

Os estudos aerogeológicos foram efetuados com o auxílio do software de geoprocessamento QGis® assim como o mapa geológico de localização da área utilizando dados vetoriais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Google Earth. Com base nisso, foi possível identificar a área de estudo, localizar as estradas de acesso e realizar o mapa geológico.

O trabalho de campo foi realizado durante os dias 14 e 17 de janeiro de 2019, na região de Caçapava do Sul - RS. Foram visitados dois pontos com cristas e morros de quartzitos com níveis abundantes em muscovita e turmalina. A amostragem foi feita procurando-se coletar amostras representativas dos afloramentos.

#### 3.2. Petrografia

A descrição macroscópica foi feita com o auxílio da lupa para fazer uma melhor avaliação petrográfica das amostras coletadas em campo, facilitando na seleção de amostras para laminação.

Na petrografia óptica realizada através do uso do microscópio ótico de luz transmitida, foi possível identificar os principais minerais e seus acessórios, assim como a relação entre eles, texturas e classificação. A partir disso, foi possível selecionar os domínios e minerais para a análise na Microsonda Eletrônica (ME).

### 3.3. Microsonda Eletrônica

A microsonda eletrônica (ME) é essencial para esse trabalho, pois seus dados de química mineral possuem uma grande precisão. Para isso, a ME utiliza um feixe de elétron com diâmetro de até 1  $\mu\text{m}$ , o qual incide sobre a amostra de forma pontual, interagindo e liberando raios X. Essa energia é detectada por espectrômetros que fazem a leitura a partir da dispersão em comprimento de onda. Normalmente, a máquina é equipada com um espectrômetro EDS (*Energy-Dispersive Spectrometry*), para uma rápida verificação de maneira qualitativa/semiquantitativa dos pontos desejados, e espectrômetros WDS (*Wavelength-Dispersive X-Ray Spectroscopy*), que fornecem dados quantitativos dos pontos selecionados. Dessa forma, pode-se analisar elementos químicos a partir do boro (B) até o urânio (U) com pequenas diferenças químicas (<0,01% de peso) (KLEIN; DUTROW, 2012). Para analisar o boro, a máquina precisa de uma calibração especial, em função disso, ele geralmente não é analisado.

Os dados de composição química podem ser obtidos a partir de 1-3  $\mu\text{m}^3$  do mineral. Para isso, um computador conectado com o equipamento realiza procedimentos de correção voltados às diversas interações entre os raios X gerados e o seu caminho através da amostra antes da detecção pelo espectrômetro, baseada em padrões utilizados para comparações das quantidades medidas (KLEIN; DUTROW, 2012).

Além disso, a ME realiza mapas composicionais qualitativos e quantitativos através de análises pontuais de uma determinada área, indicando, através de cores, o conteúdo de determinado elemento por contagens.

### 3.4. Fluorescência de raios X (FRX)

A Fluorescência de raios X (FRX) avalia a composição química da rocha de forma quantitativa, estabelecendo a concentração de cada elemento. Para isso são necessárias 10g da amostra homogênea, moída até 200 mesh, dessas 10g, 4g serão usadas para a pastilha fundida e 6g para a pastilha prensada. As análises foram realizadas utilizando o equipamento RIX 2000 da Rigaku do Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geociências da UFRGS.

Para a preparação da pastilha fundida, é preciso misturar a amostra com o fundente de  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  e colocar na Fusora, onde a mistura funde resultando na pastilha que contém a composição da rocha a ser analisada. Para a preparação da pastilha prensada, a mistura é realizada com ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) ou cera para FRX. Essa mistura é prensada sobre uma base de ácido bórico na prensa Herzog 40kN.

A pastilha com a amostra é irradiada por um curto período de tempo com raios-x policromáticos gerados num tubo de raios-x de alta intensidade. A energia absorvida resulta no espectro de raios-x característico do elemento. A análise pode ser tanto quantitativa como qualitativa. Na quantitativa compara-se a intensidade dos picos de raios x com o padrão das composições conhecidas, determinando a perda ao fogo, elementos maiores, com número atômico maior que 10 em quantidades >1%, e elementos traço em escala de ppm (KLEIN; DUTROW, 2012).



## 4. RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos com as metodologias descritas anteriormente.

### 4.1. Campo

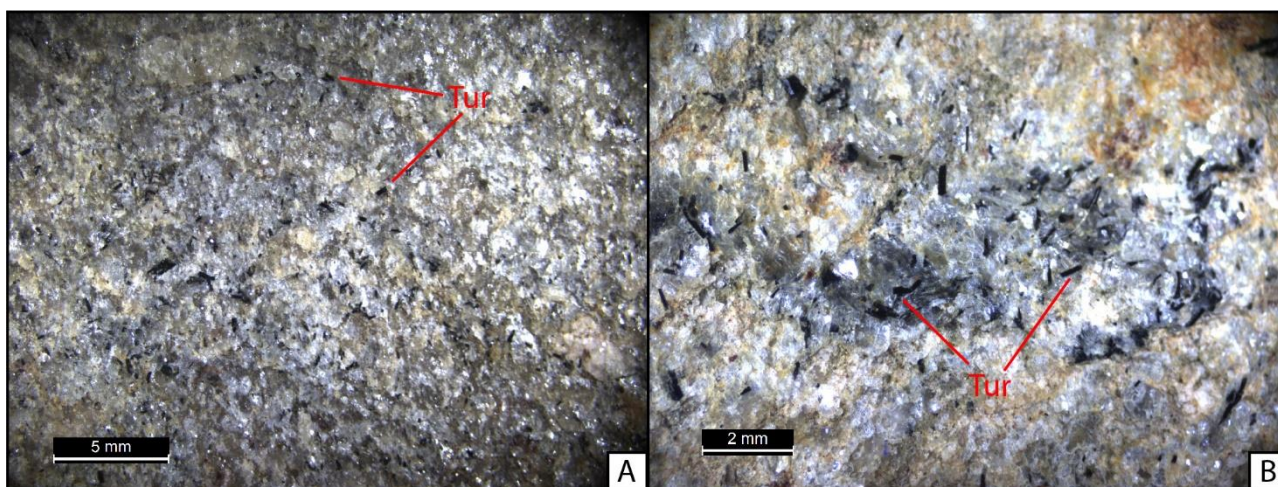
O afloramento do primeiro ponto visitado foi um corte de estrada com dimensões de aproximadamente 10 x 3,5m, possuindo os dois extremos de composição quartzo-feldspática e o centro composto por quartzitos basculados de atitude (45/085); (50/092) e (46/085) em notação de mão esquerda. Os quartzitos possuem níveis ricos em muscovita e turmalina.



**Figura 9.** Imagem geral do afloramento.

A turmalina apresenta-se geralmente de forma disseminada na rocha, mas também se concentra em agregados em determinados domínios da rocha (Fig. 10). Seu tamanho varia de 3mm a menor que 1mm com forma euédrica prismática. Muitos

grãos apresentam-se fraturados, indicando sua fragilidade. A muscovita encontram-se em forma de agregados.



**Figura 10.** Imagens macroscópicas da amostra. A) Turmalina (Tur) disseminada na rocha; B) Agregado de turmalina.

O segundo ponto localiza-se na Chácara Queimada (CQ), próximo a uma antiga extração de quartzito que estava encoberta pela mata. Em função disso, foram utilizadas lâminas do acervo do orientador para esse local.

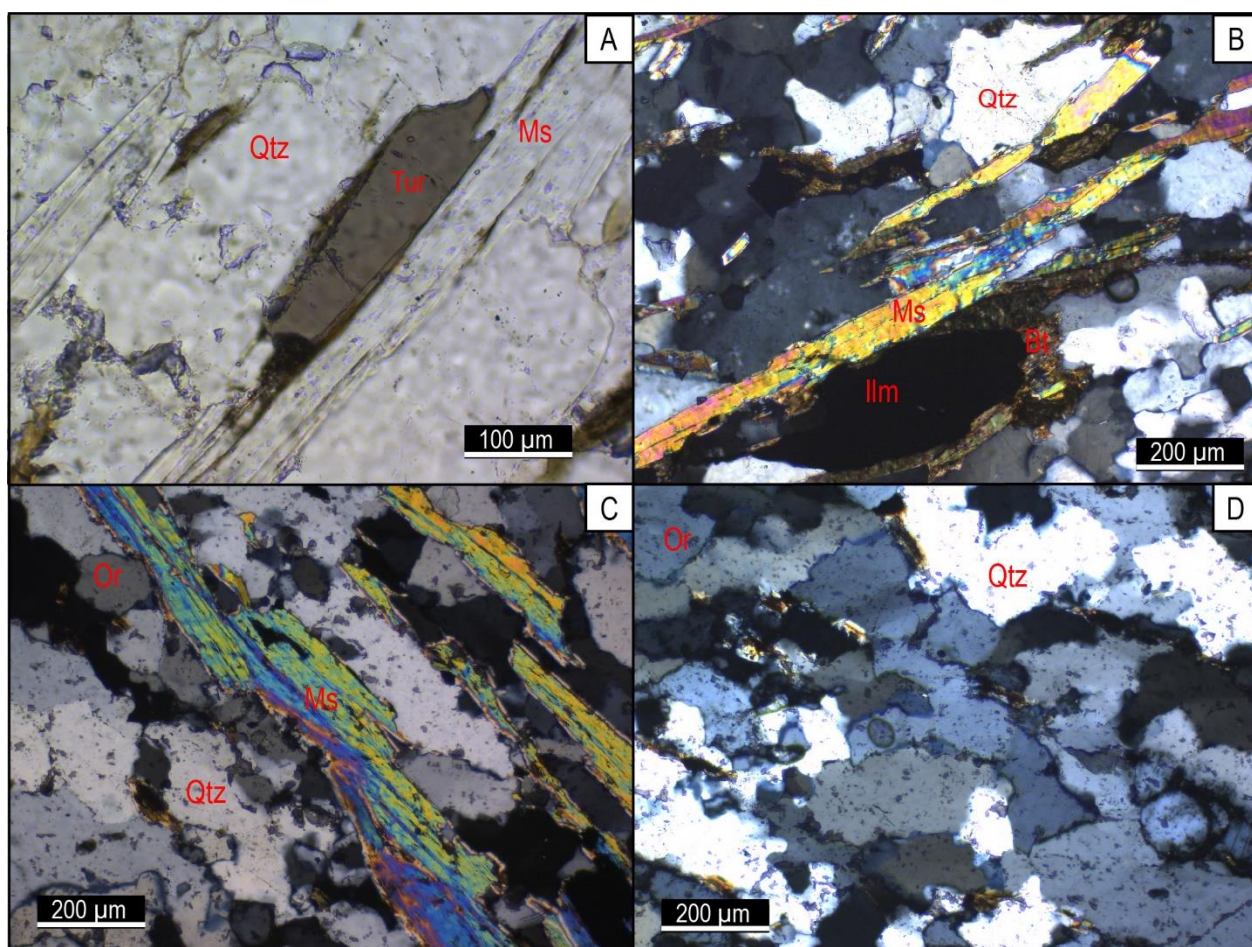
## 4.2. Petrografia Óptica

As amostras selecionadas anteriormente, foram enviadas para a laminação no Laboratório de Preparação de Amostras as UFRGS. Em função da fragilidade das turmalinas, muitas delas foram arrancadas na hora da laminação. Por essa razão, foram realizadas 6 lâminas, mas apenas 2 possuíam turmalinas.

Foram descritas três lâminas do Ponto-01 e uma do ponto CQ, oriunda do acervo do orientador. A CQ é composta por quartzo, feldspato, turmalina e micas biotita e muscovita (Fig. 11). O quartzo de tamanho 0,1 – 1mm apresenta textura inequigranular, granoblástica interlobada, muitas vezes com extinção ondulante, apresentando-se deformado através de rotação de subgrão. O feldspato encontra-se de forma euédrica-subédrica com tamanho que varia de 0,2- 0,4 mm, em torno de 10% da amostra. As micas possuem textura lepidoblástica fina, a muscovita encontra-se em maior quantidade que a biotita.



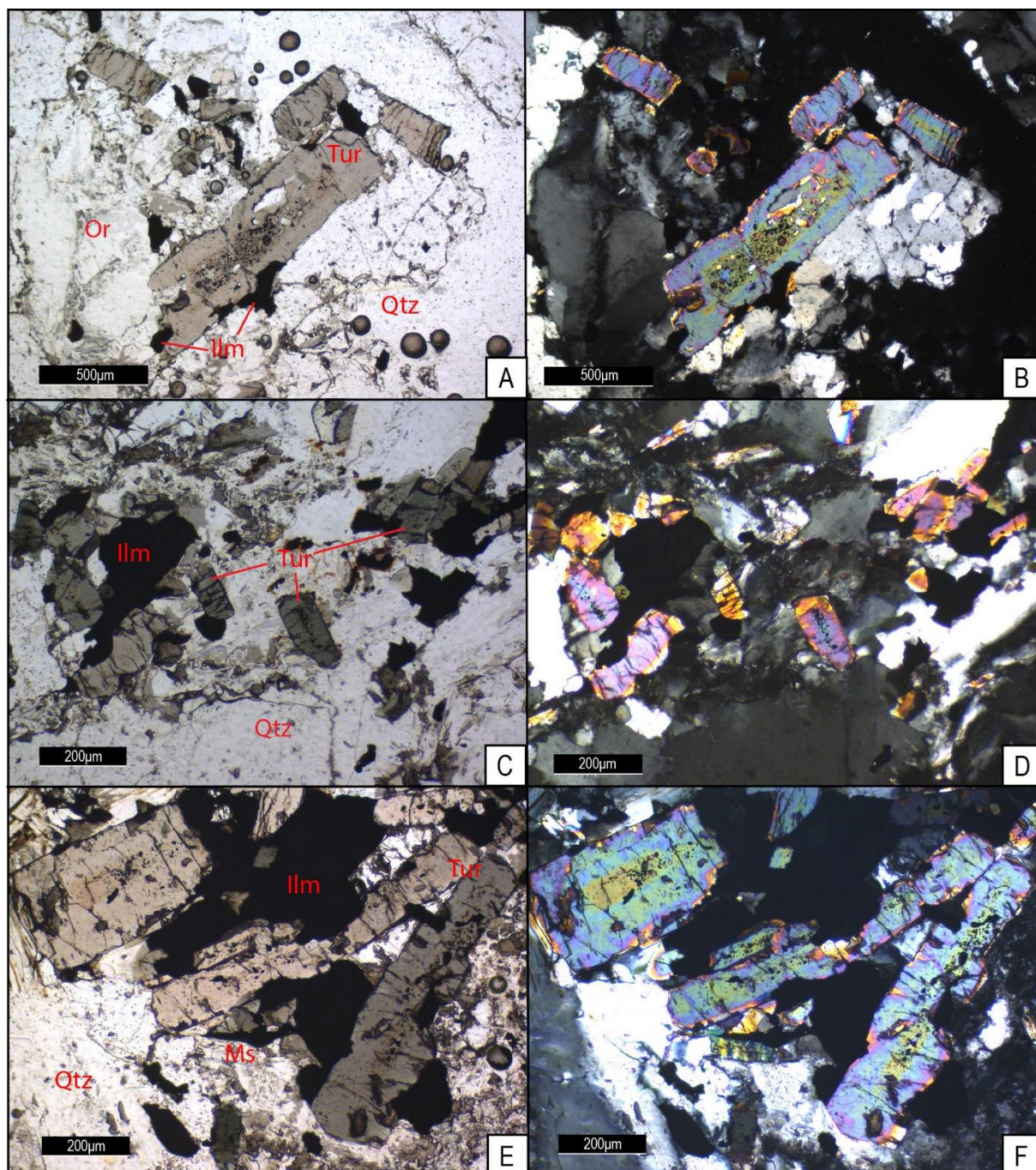
Nas lâminas do Ponto-01 o quartzo encontra-se com tamanho entre 1,3 – 0,01 mm apresenta textura inequigranular, granoblástica interlobada, deformado com rotação de subgrão e, muitas vezes, com extinção ondulante. O feldspato apresenta-se de forma euédrica-subédrica 0,03- 0,4mm. Sua proporção fica entre 10-15% da amostra. A muscovita 1,2 – 0,5 mm encontra-se com textura lepidoblástica quando ortogonal aos níveis de muscovita e turmalina, muitas vezes deformada, formando kink bands (Fig 12.E e F). Através de dados obtidos por EDS na microsonda, foi possível identificar que o opaco encontrado na amostra é ilmenita, e ocorre como inclusões de cristais prismáticos subédricos, com bordas irregulares ou arredondados/elípticos em torno de 0,001mm no centro de muitas turmalinas, geralmente crescendo orientados em relação ao grão em que estão hospedados. A ilmenita aparece também disseminada na matriz da rocha, anédrica, com tamanhos variados chegando a 0,60mm. Assim como a turmalina, a ilmenita compõe cerca de 5% da amostra, e zircão como acessório.



**Figura 11.** Fotomicrografia das lâminas. A) Turmalina (Tur) da lâmina CQ; B) Lâmina CQ mostrando as micas muscovita (Ms) e biotita (Bt), presença de ilmenita (Ilm) e quartzo (Qtz); C) Muscovita do Ponto-01, presença de quartzo e ortoclásio (Or); D) Quartzo mostrando a textura granoblástica interlobada, do Ponto-01.



Na lâmina CQ-01, a quantidade de turmalina presente é bem inferior se comparado com as do Ponto-01, ocorrendo como acessório de forma euédrica com uma média de tamanho de 0,2mm. Em luz natural possuem pleocroísmo de marrom para verde oliva.



**Figura 12.** Fotomicrografia das turmalinas (Tur) das lâminas PTJ-003A e PTJ-003D, a esquerda (A,C,E), em luz natural e a direita (B, D,F), em luz polarizada.

Nas lâminas PTJ-003D e PTJ-003B, as turmalinas ocorrem e os grãos de turmalina de forma euédrica a subédrica, possuem tamanho de 0,130 até 1,10 mm, sendo a média de 0,3 mm. Em luz natural, possui um pleocroísmo de marrom claro para marrom-esverdeado no centro e rosa-amarronado para verde oliva, nas bordas. Essa variação do pleocroísmo devido a zonação ocorre de maneira abrupta onde, no centro as tonalidades são mais escuras passando para uma faixa de coloração mais clara, em direção a borda.

### 4.3. Microsonda Eletrônica

As análises de química mineral foram obtidas através da microsonda eletrônica CAMECA SX-Five do Instituto de Geociências da UFRGS, sob condições analíticas de 15keV e 10nA. Essa máquina é equipada com um espectrômetro EDS e cinco espectrômetros tipo WDS.

Foram realizadas análises pontuais em duas lâminas e em uma seção polida do Ponto-01 e uma lâmina da Chácara Queimada. Na primeira, as análises foram feitas nos cristais de turmalina, muscovita e feldspato, e na segunda, nos cristais de turmalina, biotita e muscovita. Além disso, foram realizados três mapas composicionais de turmalinas, os quais ajudam a ilustrar a variação composicional no cristal.

#### 4.3.1. Turmalina

Com o objetivo de caracterizar a zonação química da turmalina e de tentar descobrir o protólito no qual está inserida através dos diagramas ternários discriminantes de Henry e Guidotti (1985), foram feitos 170 pontos nos cristais do Ponto-01, sendo 94 no centro e 76 na borda. Em função da pequena quantidade de turmalinas na Chácara Queimada, foram realizados apenas 4 pontos, porém, essas turmalinas estavam próximas a cristais de biotita, o que possibilitou que o geotermômetro biotita- turmalina pudesse ser testado.

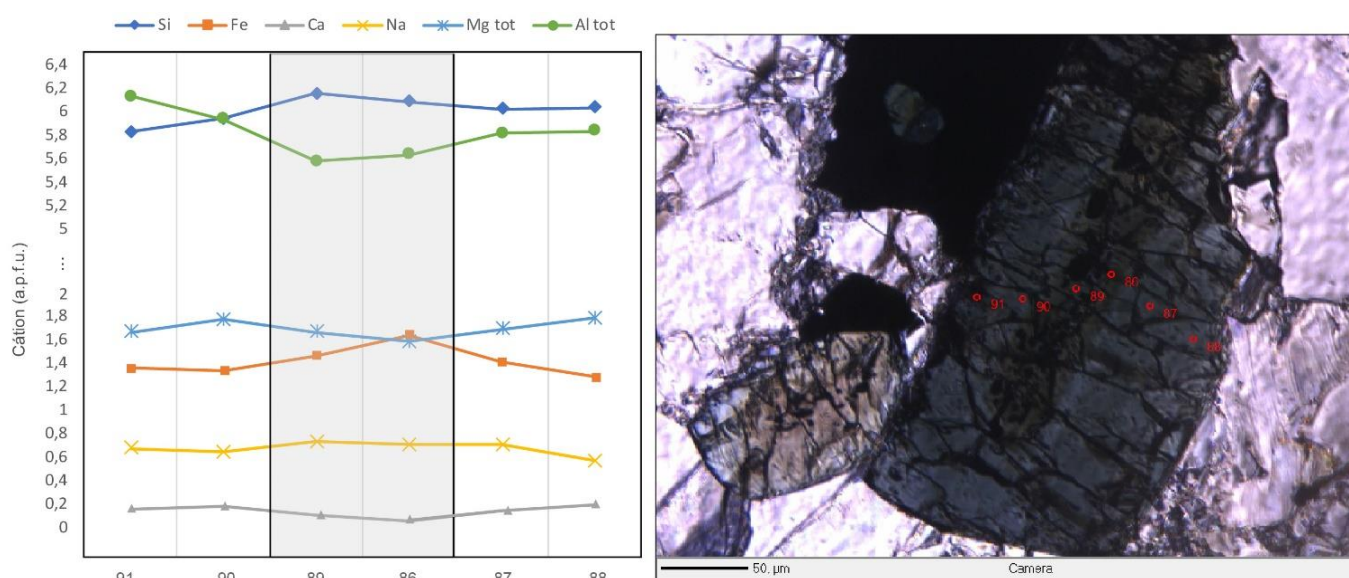
As análises realizadas nas lâminas e seção polida do Ponto-01 mostram que o conteúdo de  $\text{SiO}_2$  varia entre 34,06 - 38,63%, o conteúdo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 28,29 – 32,87% e o conteúdo de  $\text{MgO}$ , 5,92 – 7,96% em porcentagem de peso de óxido na turmalina. Já o  $\text{FeO}$ , é o óxido com maior variação de 7,9 a 12,29. Os óxidos com menor variação são  $\text{Na}_2\text{O}$  com 1,5 a 2,72,  $\text{CaO}$  com 0,05 a 1,16 e o  $\text{TiO}_2$  com 0,19 a 1,08. A Tabela 1 apresenta resultados representativos dos dados obtidos, os resultados completos podem ser vistos nos Anexos A e B.

**Tabela 1.** Resultados representativos das análises de centro e borda das turmalinas do Ponto-01, a esquerda e, a direita, duas análises representativas das turmalinas da Chácara Queimada. Ambas representadas em óxidos e por fórmula unitária com base em 15 cátions (T+Z+Y). Os óxidos estão em wr%.

Ponto	Turmalina				Chácara Queimada	
	Ponto 1					
	Borda		Centro			
	53/1.	124/2.	95/1.	104/2.	106/CQ	107/CQ
$\text{SiO}_2$	35,87	36,13	36,02	35,96	34,04	33,54
$\text{TiO}_2$	0,30	0,31	0,56	1,08	0,60	0,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30,31	30,39	29,32	29,83	30,20	30,60
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,04	0,02	0,06	0,02	-	0,02
$\text{FeO}$	10,06	9,71	10,49	10,39	10,10	10,24
$\text{MgO}$	7,22	6,96	6,89	6,51	6,69	6,52
$\text{CaO}$	0,85	1,03	0,27	0,13	1,28	1,40
$\text{Na}_2\text{O}$	2,01	1,91	2,38	2,22	1,91	1,87
$\text{K}_2\text{O}$	0,10	0,12	0,07	0,08	0,07	0,08
Total	86,75	86,61	86,13	86,23	84,88	84,77
Cátions normalizados por fórmula unitária com base em 15 cátions (T + Z + Y)						
Na	0,65	0,61	0,77	0,72	0,63	0,62
Al	5,92	5,93	5,78	5,86	6,05	6,15
Si	5,94	5,98	6,02	5,99	5,79	5,72
Mg	1,78	1,72	1,72	1,62	1,70	1,66
K	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00
Ca	0,15	0,18	0,05	0,02	0,23	0,26
Ti	0,04	0,04	0,07	0,13	0,08	0,07
Cr	0,01	0,00	0,01	0,00	-	-
Fe	1,39	1,34	1,47	1,45	1,44	1,46



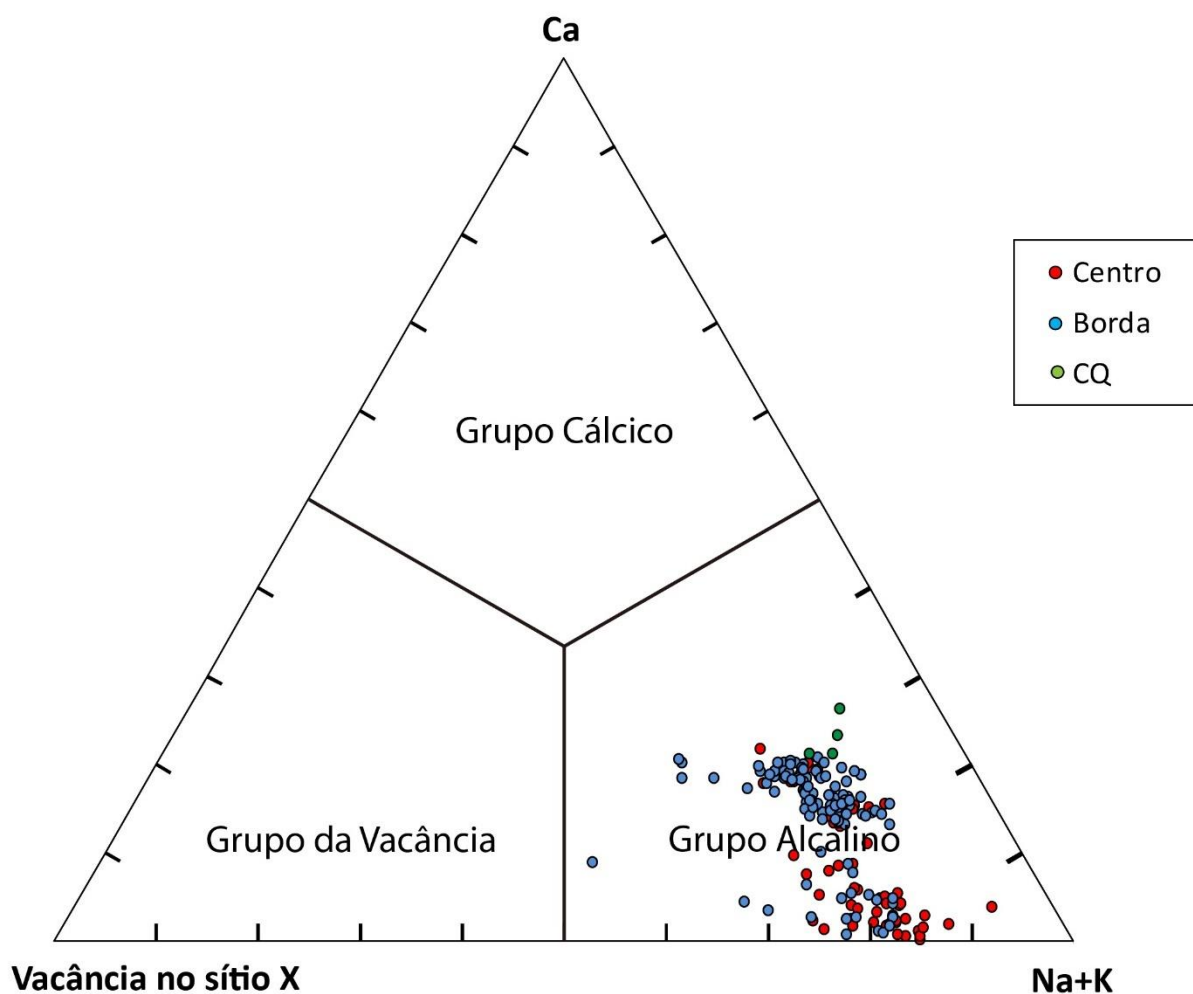
Através dos dados pontuais obtidos de borda e centro, nota-se um pequeno enriquecimento de Fe no núcleo em relação às bordas, o que ocorre de forma inversa com o Mg. Apesar dessa variação ser perceptível, ela não é uma regra. Muitas vezes é possível encontrar teores semelhantes entre Fe e Mg, como mostrado no ponto 89 da figura 13, que apesar de estar no centro, não possui teor muito elevado de Fe.



**Figura 13.** À esquerda, gráfico indicando os teores de Si, Fe, Ca, Na, Mg e Al por fórmula unitária de acordo com os pontos realizados na turmalina, a direita. No gráfico, a área acinzentada indica os pontos realizados no centro do cristal.

Para a classificação do grupo das turmalinas, Hawthorne e Henry (1999) propuseram um esquema preliminar de classificação. Eles sugerem que a turmalina pode ser dividida em três grupos primários com base na ocupação do sítio X, que pode ser ocupado por Na e K, Ca e vacância. A partir disso, o diagrama pode ser dividido em três grupos principais, são eles: o grupo das turmalinas alcalinas (Na+K dominante no sítio X), grupo das turmalinas cálcicas (Ca dominante no sítio X) e o grupo da vacância no sítio X. Cada um desses grupos contém um cátion ou vacância com carga diferente, a qual requer uma compensação de carga em outros sítios da estrutura da turmalina. Esses grupos comumente refletem significativamente em diferenças nas paragêneses.

As turmalinas estudadas, tanto do Ponto-01 quanto da Chácara Queimada, pertencem ao grupo alcalino, com Na + K dominante no sítio X (Fig. 14).

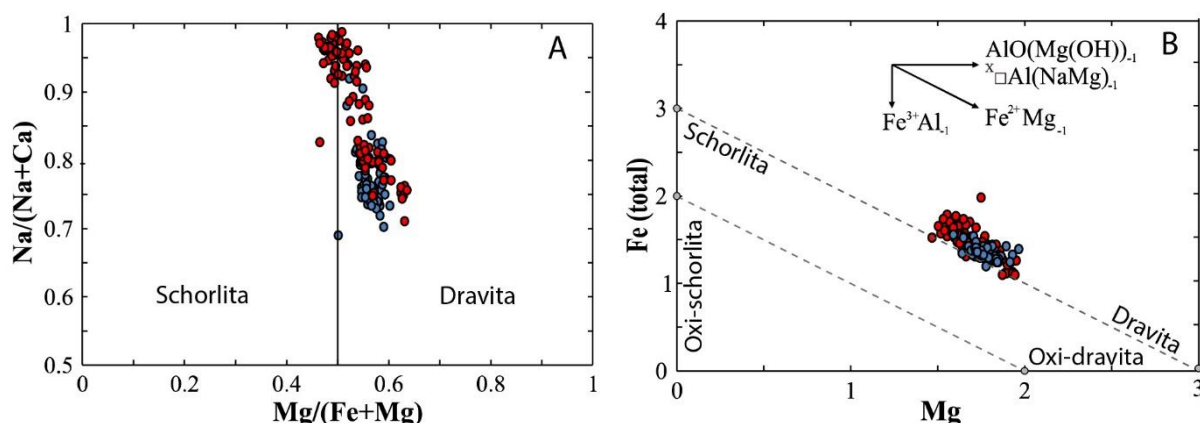


**Figura 14.** Classificação das turmalinas estudadas baseada na ocupação do sítio X de Hawthorne & Henry (1999). Em verde encontram-se os dados da Chácara Queimada e, em azul e vermelho, borda e centro, respectivamente, do Ponto 1.

Para a classificação dos subtipos da turmalina, foi empregada uma classificação baseada na quantidade de  $Mg/(Fe+Mg)$  versus  $Na/(Na+Ca)$  (Fig. 15A) e Fe total versus Mg (Fig. 15B) a partir da solução sólida schorlita – dravita (YANG et al., 2015)

As turmalinas do Ponto-01, apresentam-se muito próximas ao meio da solução sólida dravita-schorlita. Sua composição predominante é dravítica, apesar de alguns pontos referentes ao centro, possuírem uma composição schorlítica, o que é evidenciado principalmente no gráfico da Figura 15 A.



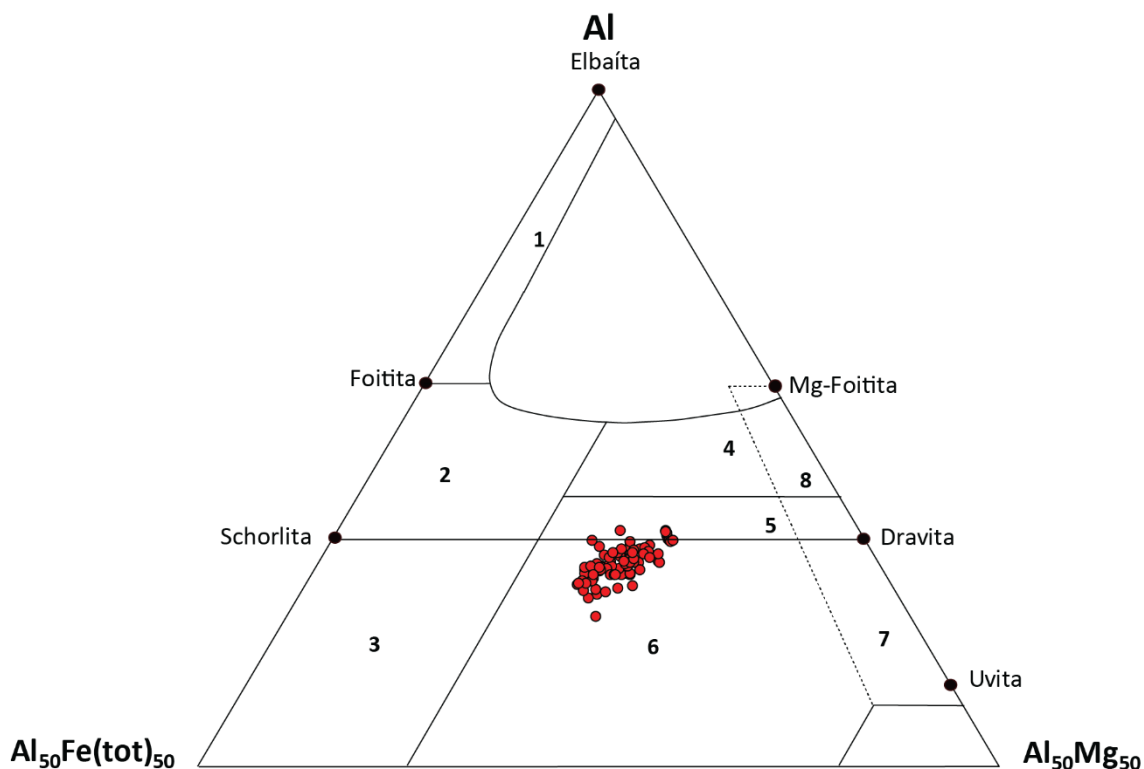


**Figura 15.** Gráfico de subtipos de turmalina referentes ao centro e borda do Ponto 1, vermelho e azul respectivamente. A. Utilizando Na (Na+Ca) versus Mg/(Fe+Mg). B. A partir das proporções moleculares Fe(total) versus Mg. Modificado de: YANG *et al.*, 2015

Os diagramas ternários de Henry e Guidotti (1985) utilizam Al-Fe(tot)-Mg e Ca-Fe(tot)-Mg, em proporções moleculares, em regiões que definem a composição da turmalina com os diferentes tipos de rocha. Por ser mecanicamente e quimicamente estável, cada grão de turmalina pode fornecer informações importantes sobre a rocha no qual foi encontrada, mostrando a relação do mineral com a composição da rocha em que foi formada.

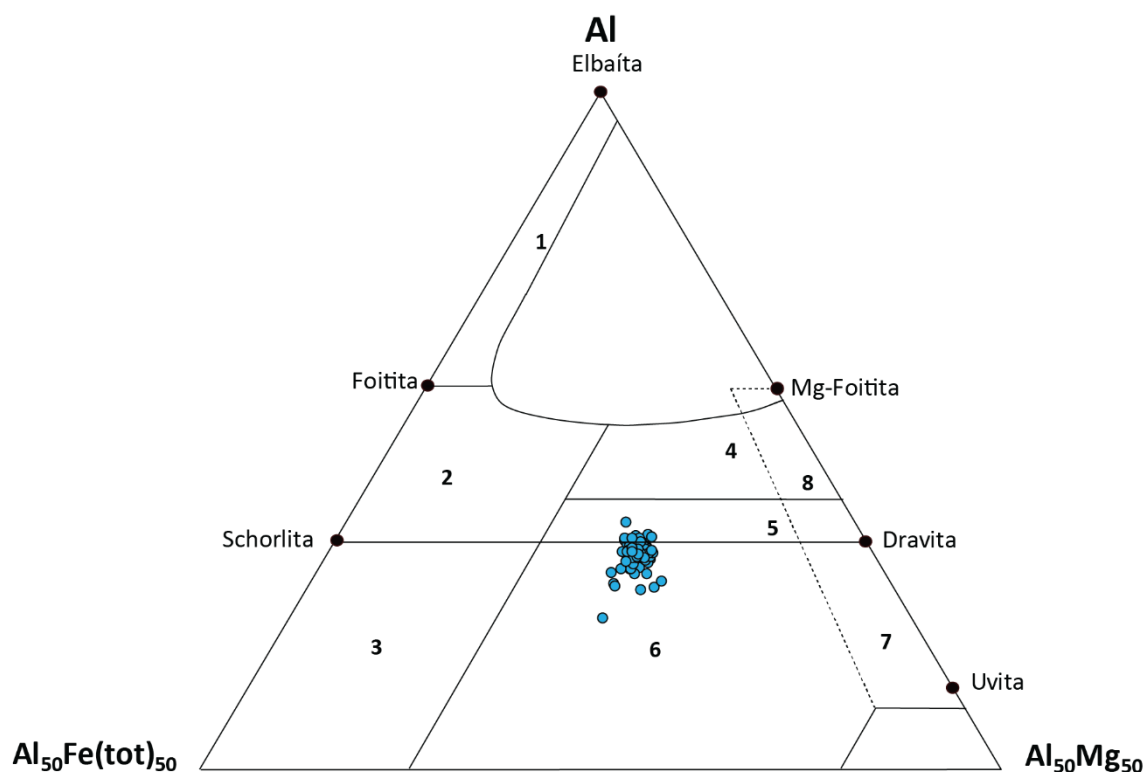
O primeiro diagrama ternário de Henry e Guidotti (1985) utiliza Al-Fe(total)-Mg (em proporções moleculares) para turmalinas originadas de diferentes tipos de rochas. Os tipos de rocha que representam cada campo são: (1) Granitoide pegmatítico ou aplitico rico em Li, (2) Granitoides e seus associados pegmatíticos e pelíticos pobres em Li, (3) Rochas quartzo-turmalinas (granitos hidrotermalmente alterados) ricos em Fe<sup>+3</sup>, (4) Metapelitos e metapsamitos coexistindo com uma fase saturada em Al, (5) Metapelitos e metapsamitos não coexistindo com fases saturadas em Al, (6) Rochas quartzosas com turmalina, cálcico-silicáticas e metapelitos ricos em Fe<sup>+3</sup>, (7) Metaultramafitos com baixo Ca e metassedimentos ricos em Cr e V, e (8) Metacarbonatitos e metapiroxenitos.

O gráfico da Figura 16 mostra os 94 pontos de centro plotados, dos quais, 5 caem no campo 5 dos metapelitos e metapsamitos não coexistentes com fases saturadas em Al, e 89 encontram-se no campo 6 das rochas quartzosas com turmalina, cálcico-silicáticas e metapelitos ricos em  $\text{Fe}^{+3}$ . Os dados se dispõem num *trend* de variação entre os campos 5 e 6 a partir da variação de Fe e Mg.



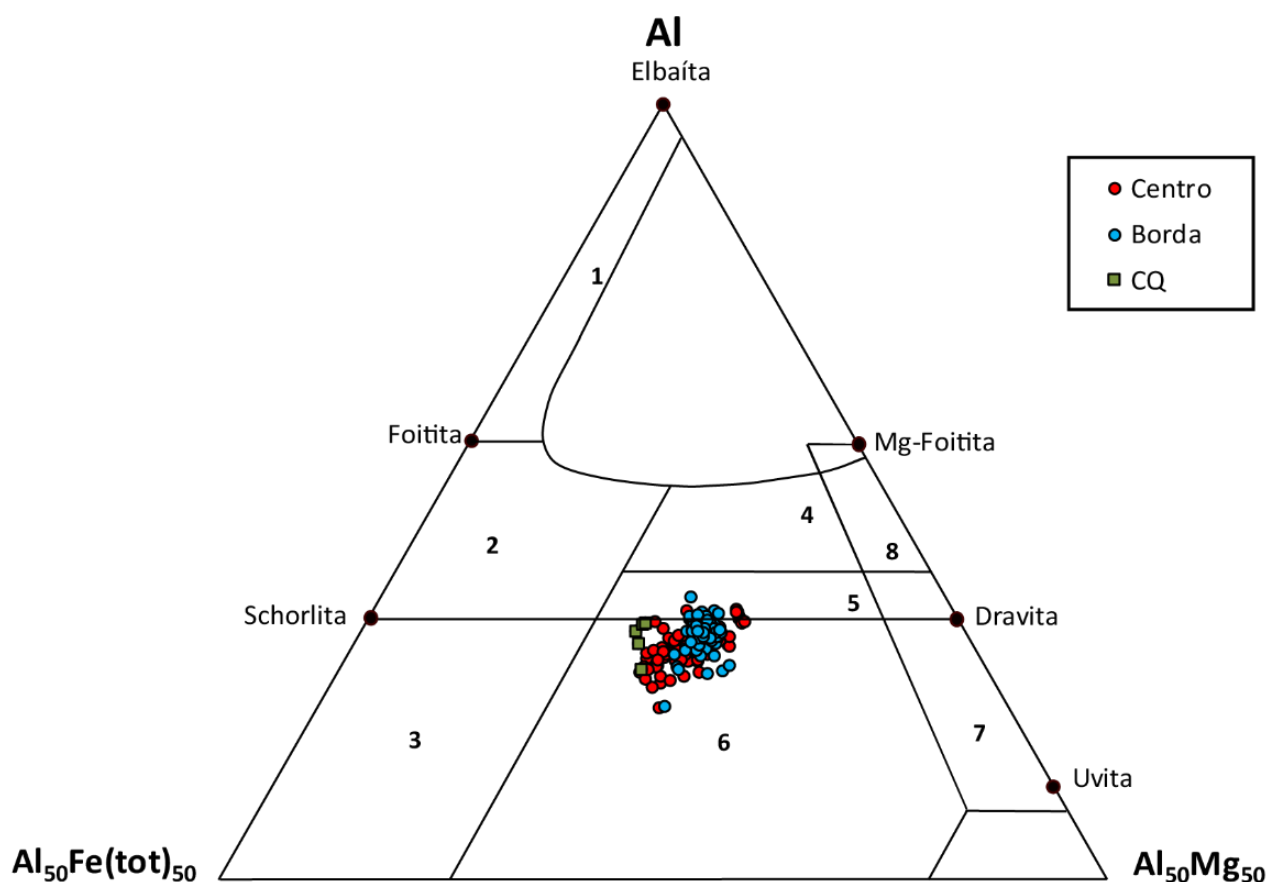
**Figura 16.** Diagrama triangular Al - Fe (tot) - Mg modificado de Henry e Guidotti (1985) com os dados de composição de centro das turmalinas do Ponto-01.

No gráfico da Figura 17 foram plotados 76 pontos relacionados a borda dos cristais, nos quais 7 encontram-se no campo 5 e 69 no campo 6. Nota-se que a variação entre Fe e Mg é menor, enquanto a de Al é mais representativa, resultando numa concentração dos dados.



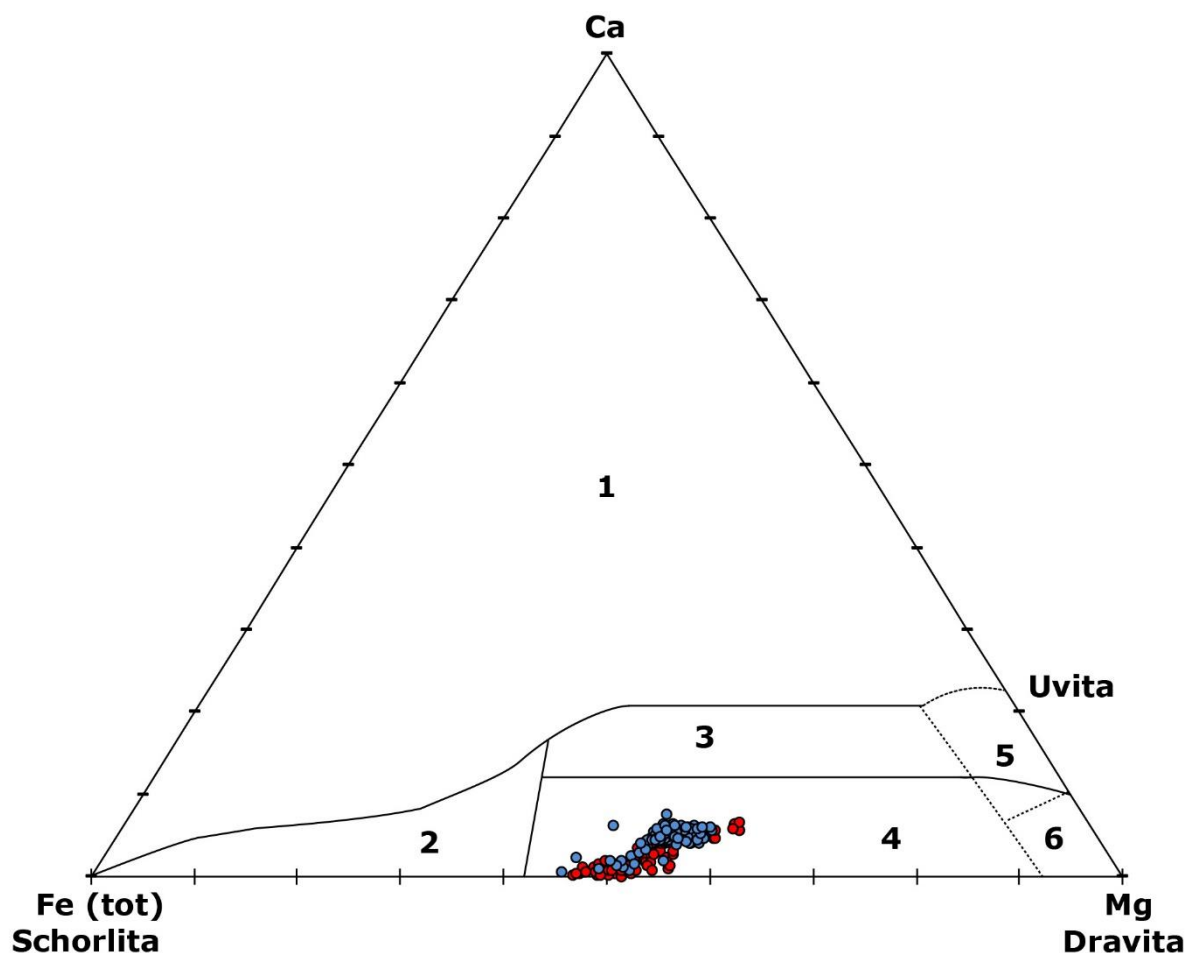
**Figura 17.** Diagrama triangular Al - Fe (tot) - Mg modificado de Henry e Guidotti (1985) com os dados de borda das turmalinas do Ponto-01.

Ao juntar os dados de centro com os de borda (Fig. 18), é possível perceber que a diferença na composição é pequena e que por mais que os dados de borda apresentem uma variação mais expressiva, os dados tendem a se concentrar no mesmo lugar que os de núcleo. Acrescentando os 4 dados de turmalina da Chácara Queimada (CQ), em verde no gráfico, nota-se que elas caem na mesma área do campo definido pelo Ponto-01, possuindo basicamente a mesma composição química.



**Figura 18.** Diagrama triangular Al - Fe (tot) - Mg modificado de Henry e Guidotti (1985) com os dados de centro e borda das turmalinas do Ponto 1, nas cores vermelho e azul respectivamente, e em verde, os dados referentes as turmalinas da Chácara Queimada (CQ).

O segundo diagrama ternário de Henry e Guidotti (1985) que utiliza Ca-Fe(total)-Mg, em proporções moleculares, para turmalina de diferentes tipos de rocha. Os tipos de rocha definidos pelos campos nesse diagrama são um pouco diferentes da figura 19. Esses campos são: (1) Granitoides pegmatíticos e aplíticos ricos em Li, (2) Granitoides e associados pegmatíticos e aplíticos pobres em Li, (3) Metapelitos, metapsamitos e rochas cálcico-silicáticas ricas em Ca, (4) Metapelitos, metapsamitos e rochas quartzo turmalinas pobres em Ca, (5) Metacarbonatos, e (6) Ultramafitos.



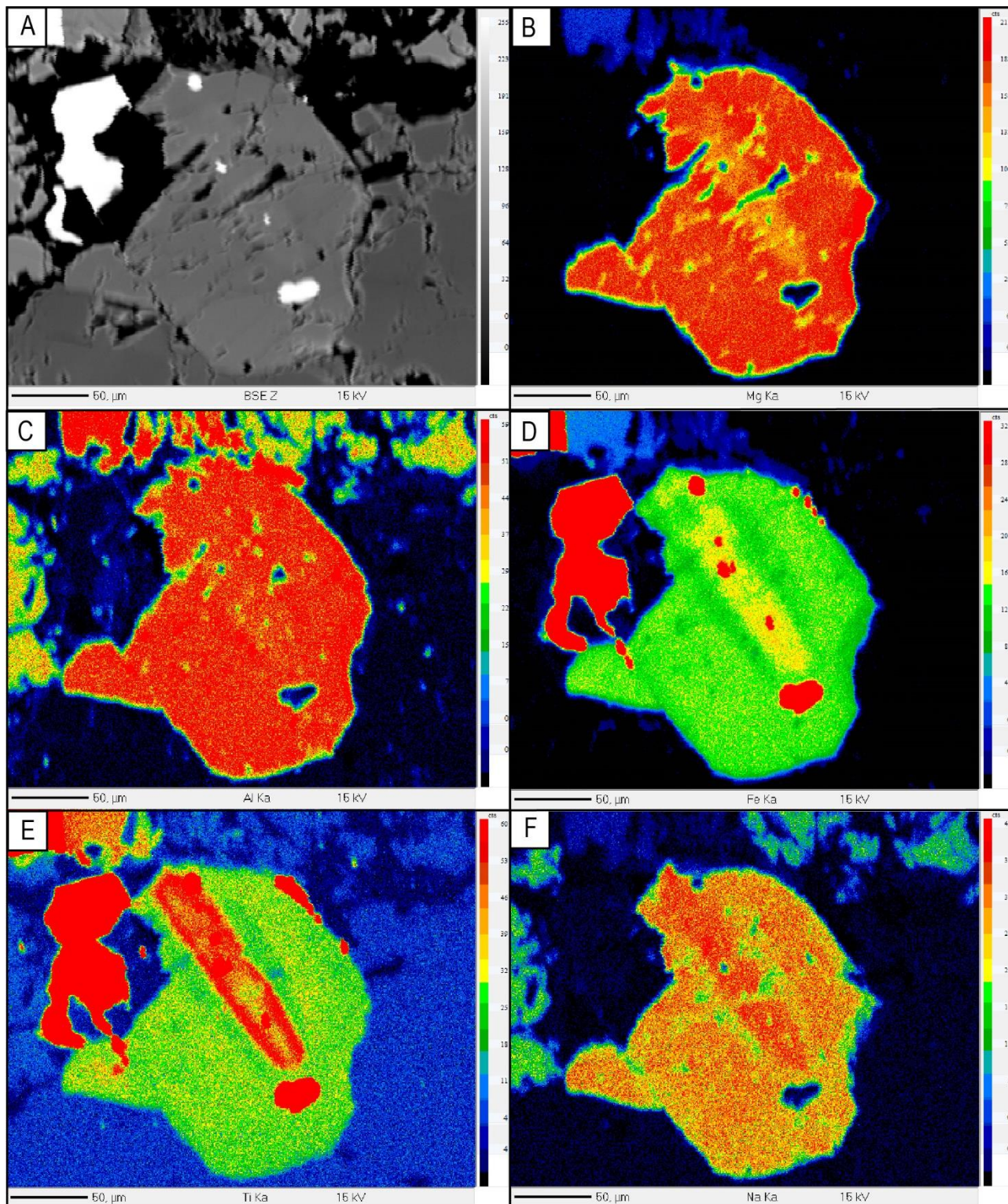
**Figura 19.** Diagrama triangular Ca - Fe (tot) - Mg modificado de Henry e Guidotti (1985) com os dados de centro e borda das turmalinas do Ponto 1, nas cores vermelho e azul respectivamente.

No gráfico da figura 19 foram plotados os 170 dados de borda e centro. Nesse caso, os dois apresentam a mesma distribuição, localizando-se no campo 4 dos metapelitos, metapsamitos e rochas quartzo turmalinas pobres em Ca.

Para ajudar a ilustrar a variação composicional, foram escolhidos três cristais de turmalina da amostra do Ponto-01 para produzir mapas composicionais semi-quantitativos, utilizando WDS, dos elementos Na, Fe, Mg, Ti e Al. Além desses elementos, foi realizado um mapa composicional qualitativo utilizando EDS para o Si, como esse mapa apresenta-se homogêneo, ele não encontra-se nos mosaicos a seguir, porém pode ser encontrado no Anexo 3. Como a quantidade de Ca é muito

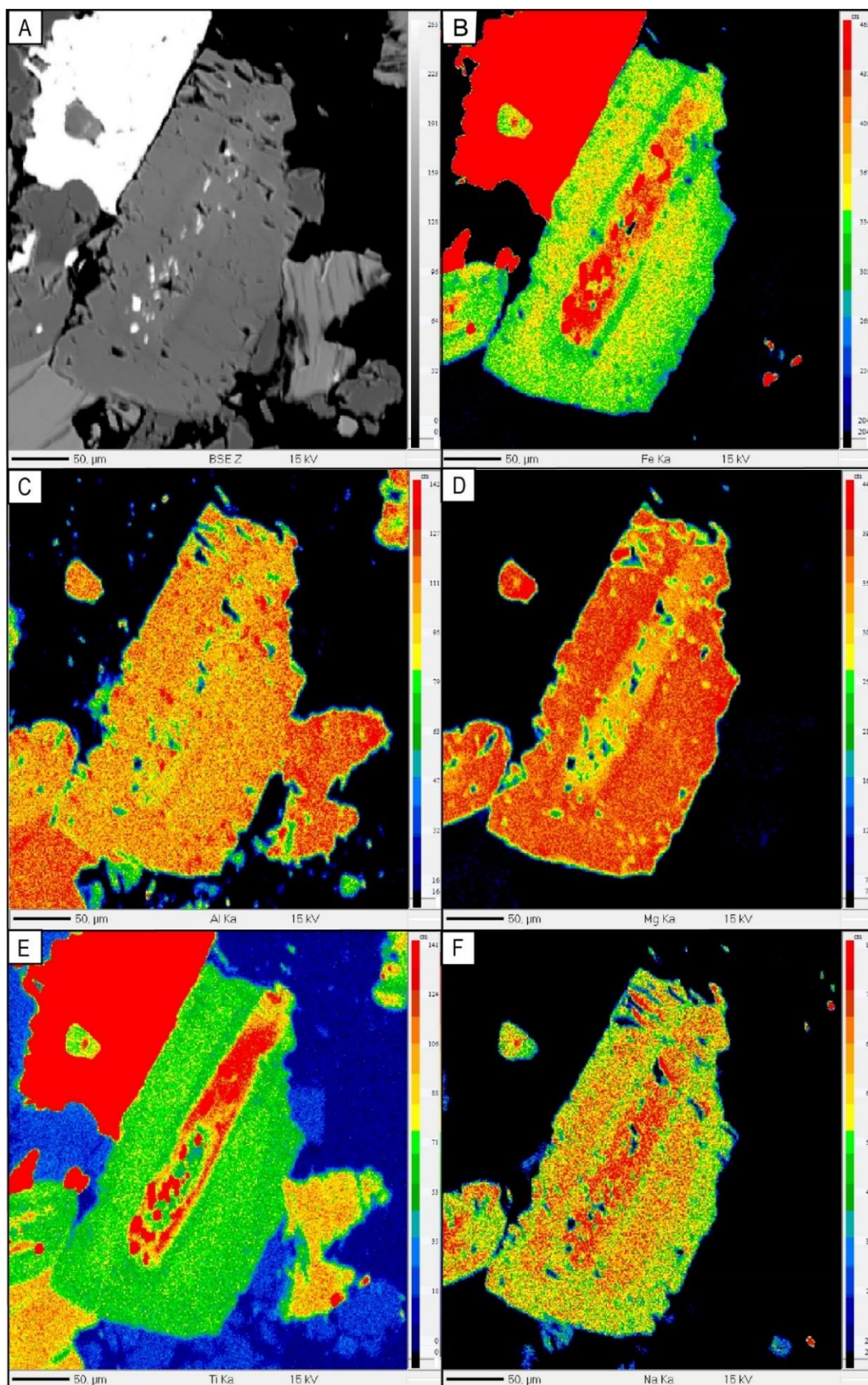


baixa nos cristais analisados e há apenas 5 espectrômetros de WDS no laboratório, não foi realizado esse mapa.



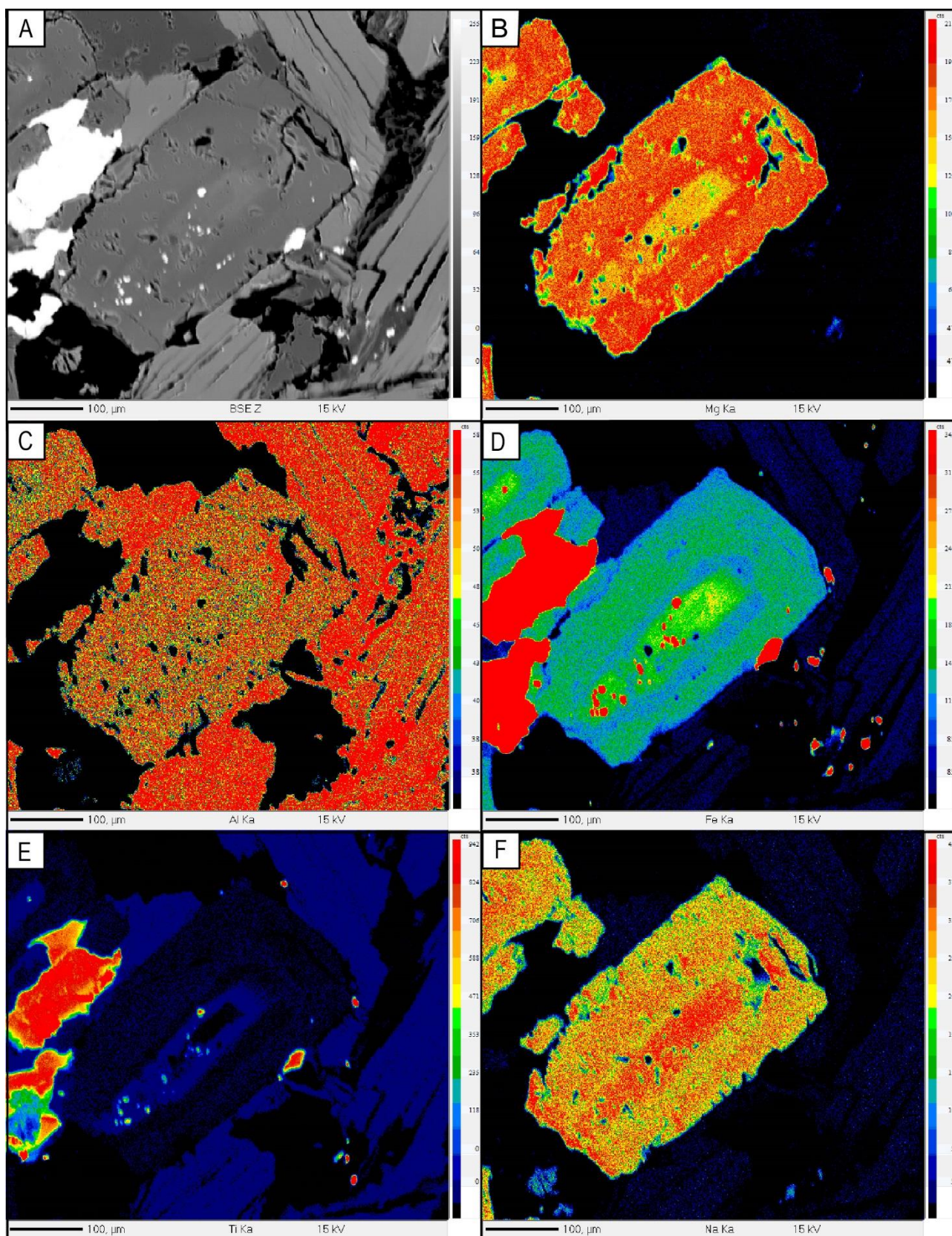
**Figura 20.** Mosaico de mapas composicionais da turmalina do Ponto-01 utilizando imagens de *backscattering* (A) e quantitativas de Mg (B), Al (C), Fe (D), Ti (E) e Na (F), mostrando a variação em contagens de cada elemento.





**Figura 21.** Mosaico de mapas composicionais da turmalina do Ponto-01, utilizando imagens de *backscattering* (A) e quantitativas de Fe (B), Al (C), Mg (D), Ti (E) e Na (F), mostrando a variação em contagens de cada elemento.





**Figura 22.** Mosaico de mapas composicionais da turmalina do Ponto-01, utilizando imagens de *backscattering* e quantitativas de Mg (B), Al (C), Fe (D), Ti (E) e Na (F), mostrando a variação em contagens de cada elemento.

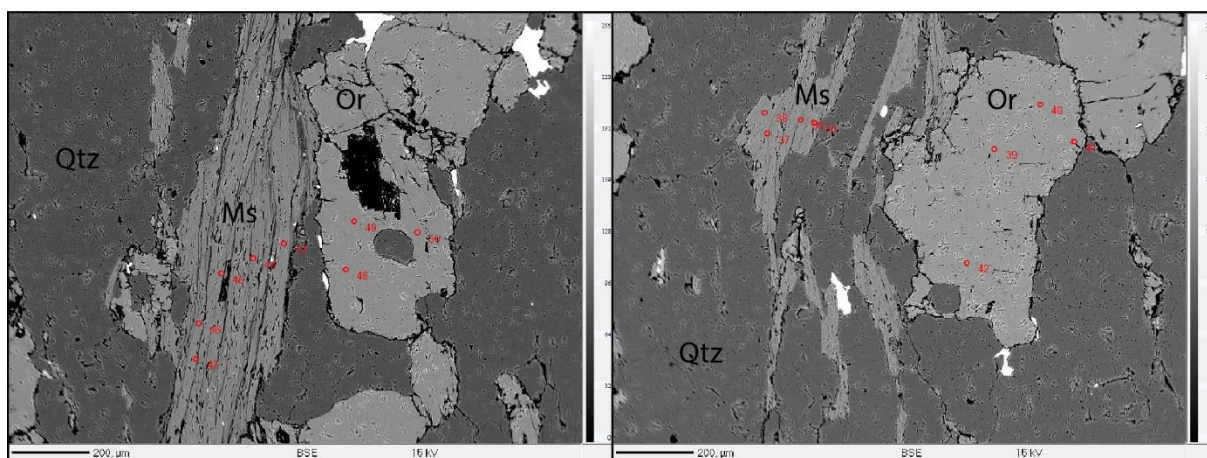


Com base nos mapas composicionais das três turmalinas, é possível perceber um padrão de zonação composicional contínua, no qual o Fe, Na e Ti aumentam à medida que o Mg e Al diminuem, até o centro de distinção ótica ser encontrado. Ao redor do centro há um limite de descontinuidade ótica, onde ocorre uma grande concentração no gradiente, no qual o Al e Mg diminuem significativamente, enquanto o Fe, Na e Ti aumentam. Esse comportamento é facilmente percebido nas turmalinas das figuras 21 e 22, em que as zonas estão bem marcadas. Já na turmalina da figura 20, essa zonação aparece com menor intensidade em alguns elementos.

Os elementos Mg e Al apresentam um comportamento inverso comparado aos demais, enriquecendo em direção a borda. O Al apresenta uma variação muito sutil do centro para as bordas, dificultando a distinção em certos casos, como na turmalina da figura 21.

#### 4.3.2. Feldspato

Para caracterizar os feldspatos do Ponto-01, foram realizadas 7 análises pontuais nos cristais. A partir da sua química, foi possível classificá-lo utilizando o diagrama Al – An – Or retirado de Deer, Howie e Zussman (1992).

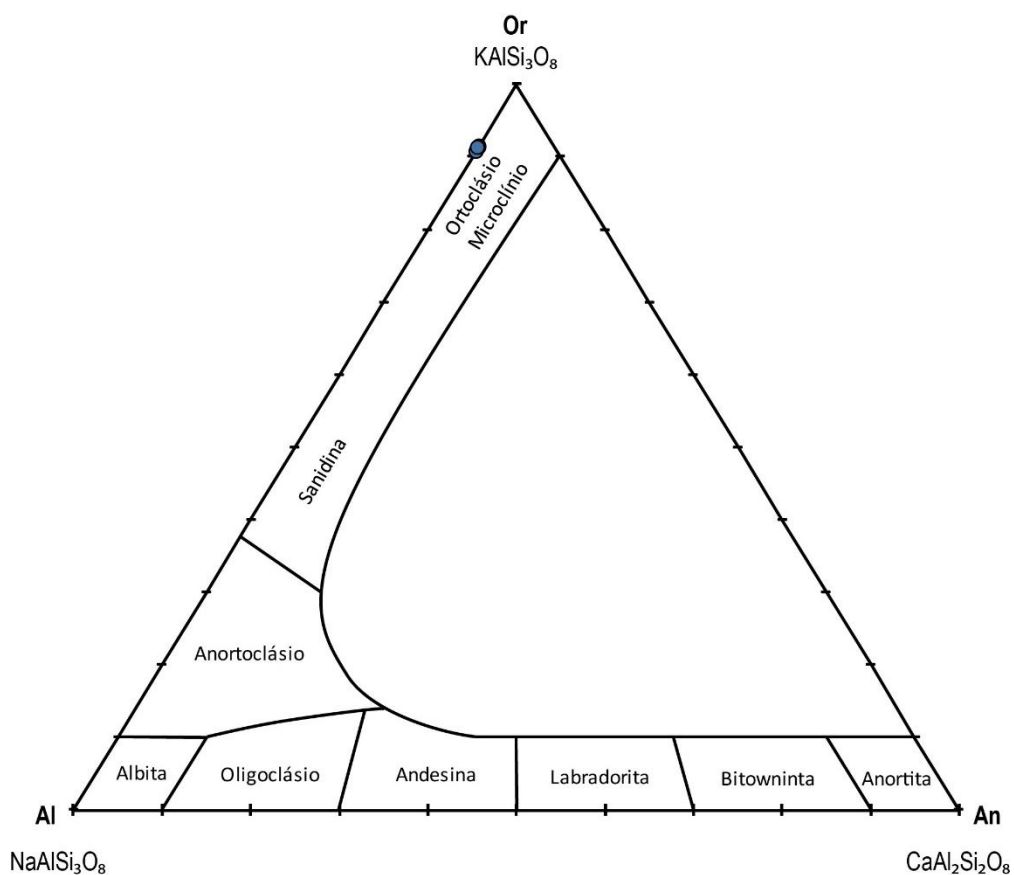


**Figura 23.** Imagens de *backscattering* mostrando os feldspatos analisados. Ms- muscovita, Or – ortoclásio e Qtz- quartzo.

**Tabela 2.** Dados de microsonda eletrônica (ME) referente aos feldspatos do Ponto-01.

Ponto	Feldspato						
	39 / 1 .	40 / 1 .	41 / 1 .	42 / 1 .	48 / 1 .	49 / 1 .	50 / 1 .
Na <sub>2</sub> O	1,02	0,97	0,93	0,96	1,01	0,95	0,96
SiO <sub>2</sub>	63,84	63,96	63,9	64,19	63,89	64,28	63,91
MgO	0,01	0,01	0,02	-	-	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,51	18,85	18,72	18,78	18,87	18,94	18,58
K <sub>2</sub> O	15,24	15,31	15,35	15,32	15,35	15,17	15,33
FeO	-	-	0,03	0,06	0,01	0,07	0,02
BaO	0,48	0,57	0,67	0,63	0,64	0,74	0,59
Total	99,08	99,68	99,63	99,93	99,77	100,15	99,41
Foram utilizados 8 oxigênios por célula unitária							
Na	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09
Si	2,98	2,97	2,97	2,98	2,97	2,97	2,98
Al	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02
K	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,91
Ba	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ab (%)	9,23	8,78	8,43	8,70	9,09	8,61	8,69
Or (%)	90,77	91,22	91,57	91,30	90,91	91,39	91,31

Com base nos dados obtidos por microsonda eletrônica na Tabela 2 e plotados no diagrama ternário de classificação dos feldspatos (Fig. 24), o feldspato que ocorre no Ponto-01 possui teores de albita que variam entre 8,43 e 9,23% (Ab<sub>8,43</sub> – 9,23) e de ortoclásio que muda de 90,77 a 91,57 (Or<sub>90,77</sub> – 91,57). Não possui Ca, em consequência, a componente anortita é nula. Logo, o feldspato encontra-se no campo do ortoclásio.



**Figura 24.** Diagrama triangular da classificação dos feldspatos conforme sua composição química, utilizando Or - ortoclásio, Al – albita e An - anortita como termos finais. Modificado de Deer, Howie e Zussman (1992).

#### 4.3.3. Micas

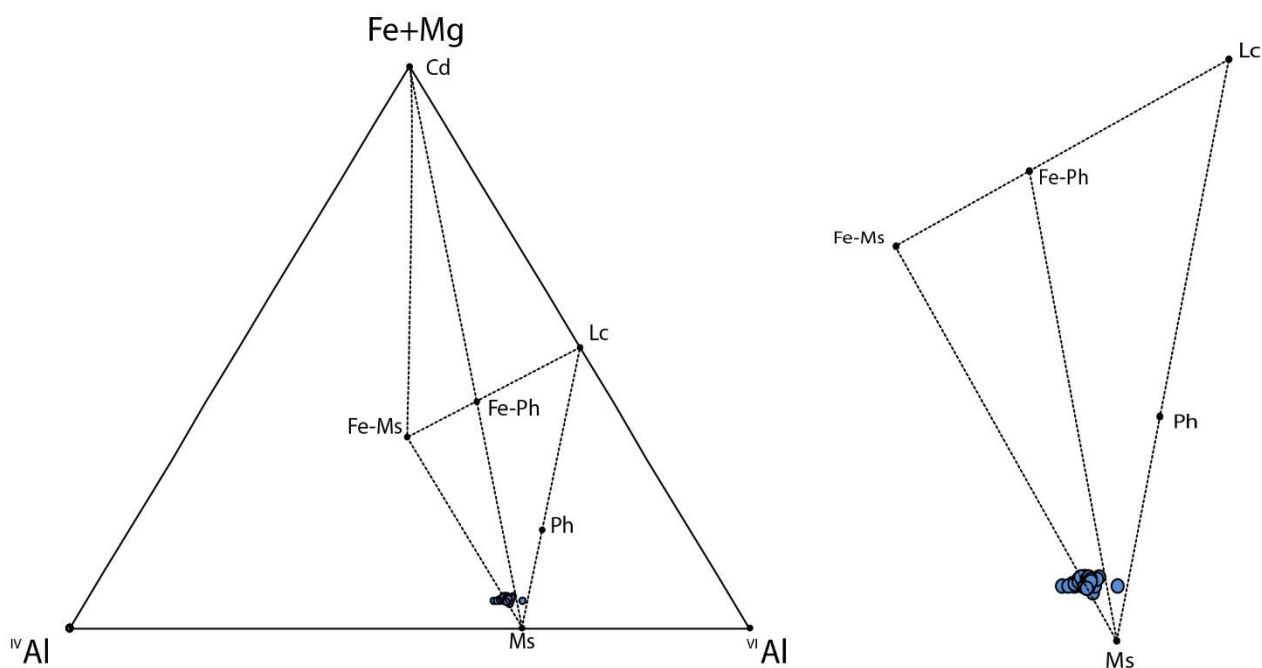
As micas são um dos principais constituintes das amostras estudadas. Porém no Ponto-01, há apenas mica muscovita, enquanto na Chácara Queimada há, além da muscovita, biotita. Nas amostras do Ponto-01 foram realizadas 60 análises de muscovita, já na Chácara Queimada, foram feitos 25 pontos nas muscovitas e 10 em biotitas.

A Tabela 3 mostra 7 resultados obtidos através da microsonda eletrônica, nos quais os quatro primeiros são referentes as amostras do Ponto-01 e os outros 3, da Chácara Queimada.

**Tabela 3.** Dados químicos de microsonda eletrônica de cristais de muscovita do Ponto-01 e Chácara Queimada.

<u>Muscovita</u>							
Ponto	4/ 1.	12/ 1.	30/ 1.	52/ 1.	64 / CQ.	74 / CQ .	80 / CQ .
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,19	0,21	0,24	0,31	0,35	0,36
SiO <sub>2</sub>	43,07	46,23	45,81	46,48	43,43	44,41	42,05
MgO	1,08	1,43	1,11	1,35	1,21	1,26	1,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,76	30,02	30,99	30,46	30,29	30,41	31,22
K <sub>2</sub> O	10,77	10,59	10,93	10,53	10,84	10,77	10,73
TiO <sub>2</sub>	1,00	1,61	1,64	1,50	1,15	0,87	0,93
FeO	4,79	4,73	4,56	4,77	5,25	5,73	4,95
MnO	-	-	-	0,01	0,04	0,05	-
Total	92,73	94,80	95,25	95,33	92,49	93,80	91,34
Foram utilizados 11 oxigênios por fórmula unitária							
Na	0,07	0,05	0,06	0,06	0,09	0,09	0,10
Si	6,05	6,32	6,24	6,31	6,14	6,19	6,02
Mg	0,23	0,29	0,23	0,27	0,26	0,26	0,23
Al	5,26	4,84	4,98	4,87	5,05	5,00	5,27
K	1,93	1,85	1,90	1,82	1,95	1,91	1,96
Ti	0,11	0,17	0,17	0,15	0,12	0,09	0,10
Fe	0,56	0,54	0,52	0,54	0,62	0,67	0,59
Mn	-	-	-	0,00	0,00	0,01	-
x Mg	0,29	0,35	0,30	0,34	0,29	0,28	0,28

Conforme os dados da Tabela 3, as muscovitas não possuem uma variação composicional muito significativa. Em relação aos óxidos, o SiO<sub>2</sub> varia entre 46,97 e 41,66, enquanto o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 29,33 e 31,94. O xMg também tem uma variação pequena entre 0,28 e 0,35.



**Figura 25.** Gráfico classificando micas potássicas dioctaédricas com base  $IVAl-(Fe+Mg)-VIAl$ , onde são representados os polos composicionais da Muscovita (Ms), Muscovita Ferrosa (Fe-Ms), Celadonita (Cd), Leucofilita (Lc), Fengita (Ph) e Fengita Ferrosa (Fe-Ph). Modificado de Guidotti (1984).

Conforme o gráfico de Guidotti (1984) (Fig. 25) classificou-se as micas potássicas com base no sistema ternário  $IVAl-(Fe+Mg)-VIAl$ , utilizando polos composicionais da Muscovita (Ms), Muscovita Ferrosa (Fe-Ms), Celadonita (Cd), Leucofilita (Lc), Fengita (Ph) e Fengita Ferrosa (Fe-Ph). A mica é classificada como muscovita, mas com componentes de muscovita ferrosa.

Foram analisados 10 pontos nas biotitas da Chácara Queimada, as quais se encontram na tabela 4. Com esses dados é possível notar um pequeno aumento no  $xMg$  em comparação com as muscovitas, que varia entre 0,31 e 0,35. Os conteúdos de  $SiO_2$  variam de 31,6 até 37,1 para e de  $Al_2O_3$  de 15,25 até 24,91.

**Tabela 4.** Dados químicos de microsonda eletrônica das biotitas da Chácara Queimada.

Ponto	<u>Biotita</u>									
	66/ 1.	70/ 1.	71/ 1.	72/ 1.	75/ 1.	92/ 1.	93/ 1.	95/ 1.	96/ 1.	97/ 1.
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,11	0,09	0,10	0,11	0,13	0,20	0,16	0,12	0,09
SiO <sub>2</sub>	31,60	35,12	35,40	34,58	37,10	34,91	35,46	34,27	35,33	35,34
MgO	8,47	9,58	9,50	9,50	10,36	10,75	8,99	9,20	10,08	9,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,91	16,81	16,95	16,53	15,25	15,21	17,66	16,41	16,76	17,04
K <sub>2</sub> O	7,35	9,66	9,37	9,51	8,89	6,88	8,56	8,23	8,02	9,35
CaO	0,06	-	-	-	-	0,10	0,03	0,01	0,03	0,05
TiO <sub>2</sub>	2,36	2,42	2,36	2,47	2,39	2,20	2,64	2,46	2,36	3,04
FeO	16,55	20,04	19,08	19,85	19,47	19,51	18,21	19,79	18,22	18,53
MnO	0,23	0,19	0,17	0,20	0,25	0,20	0,22	0,18	0,19	0,21
Total	91,78	94,04	92,97	92,77	93,93	89,90	91,98	90,79	91,18	93,56
Foram utilizados 11 oxigênios por fórmula unitária										
Na	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01
Si	2,44	2,74	2,77	2,73	2,86	2,80	2,77	2,75	2,79	2,74
Mg	0,98	1,11	1,11	1,12	1,19	1,29	1,05	1,10	1,19	1,14
Al	2,27	1,55	1,56	1,54	1,39	1,44	1,63	1,55	1,56	1,56
K	0,73	0,96	0,94	0,96	0,88	0,70	0,85	0,84	0,81	0,93
Ca	0,01	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,13	0,16	0,15	0,14	0,18
Fe	1,07	1,31	1,25	1,31	1,26	1,31	1,19	1,33	1,20	1,20
Mn	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
xMg	0,33856	0,32358	0,33232	0,32376	0,3474	0,3553	0,33051	0,31723	0,35618	0,34697

#### 4.3.4. Geotermômetro

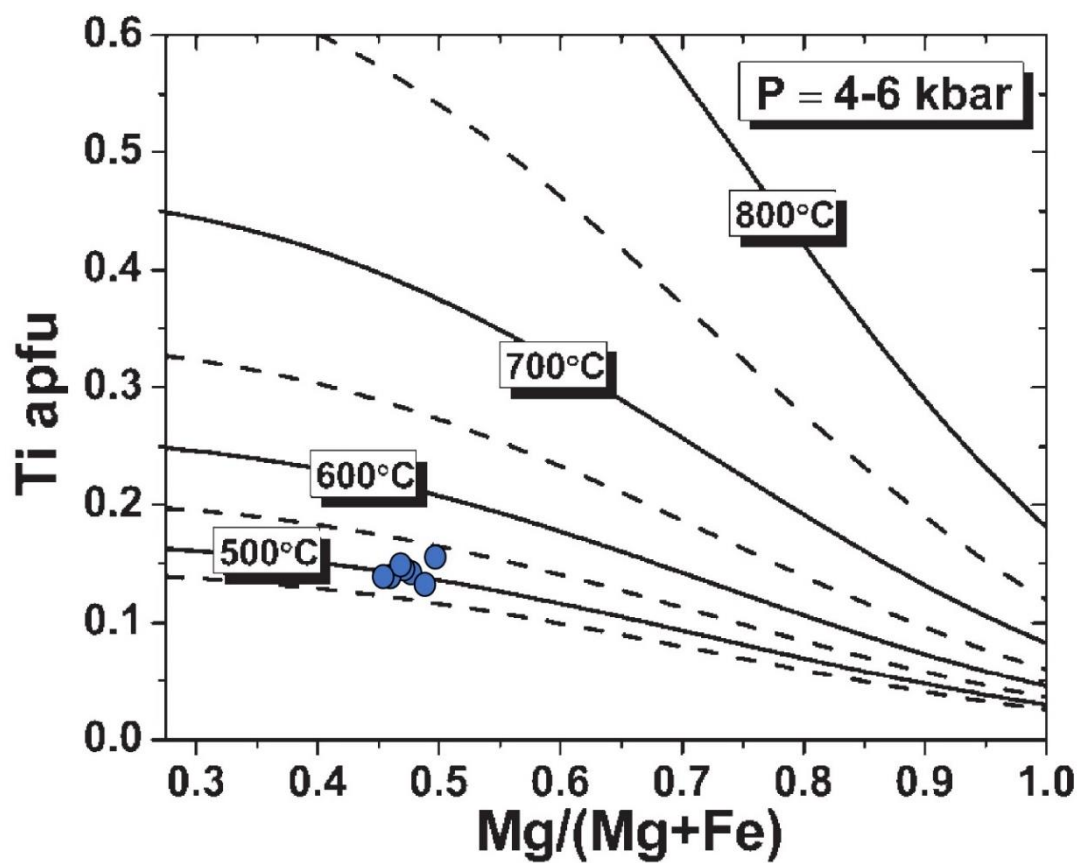
Em função da presença do par biotita-turmalina na amostra da Chácara Queimada, foi possível testar um geotermômetro para essa rocha. Baseado na comparação com o geotermômetro biotita-granada e assumindo que a partição intercrystalina do Fe e Mg entre a biotita e a turmalina ocorre em função da temperatura, Colopietro e Friberg (1987) desenvolveram esse geotermômetro.

**Tabela 5.** Dados da amostra da Chácara Queimada utilizados para a elaboração do geotermômetro biotita-turmalina.

Pontos	Geotermômetro biotita- turmalina					
	Mg/Fe <sub>Tur</sub>	Mg/Fe <sub>Bt</sub>	K <sub>D</sub>	ln K <sub>D</sub>	T (K)	T (°C)
CQ 106-66	0,514067	0,397097	1,29456	0,258171	739,1193	465,9693
CQ 107-70	0,493506	0,371112	1,329775	0,28501	743,8034	470,6534
CQ 108-71	0,482643	0,386135	1,249932	0,223089	733,0848	459,9348
CQ 109-92	0,503221	0,427547	1,176995	0,162965	722,9687	449,8187

A partir dos dados obtidos por microsonda eletrônica das turmalinas e biotitas da Chácara Queimada, foi possível testar o geotermômetro da tabela 5. Foram correlacionados 4 pontos de turmalina com 4 de biotita, utilizando ambas as razões de Fe e Mg e aplicando na fórmula, gerando um dado de temperatura em Kelvin que foi transformado para graus Celsius. O resultado obtido de temperatura entre os quatro pontos fica entre 449,81 e 470,65 °C.

Para fins de comparação, também se testou o geotermômetro de Henry, Guidotti e Thomson (2005), o qual utiliza o Ti a.p.f.u. *versus* Mg/(Mg+Fe) de biotitas peraluminosas em metapelitos equilibrados entre 4-6kbar. Nesse caso, foram usadas 9 análises de biotita da Chácara Queimada. Os resultados obtidos ficam entre as temperaturas de 470 – 540 °C, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 26.



**Figura 26.** Dados das biotitas da Chácara Queimada no gráfico do geotermômetro de Henry, Guidotti e Thomson (2005) que utiliza o Ti a.p.f.u versus Mg/(Mg+Fe). A temperatura é dada pelas isothermas (°C), e as linhas pontilhadas representam valores intermediários de 50 °C.

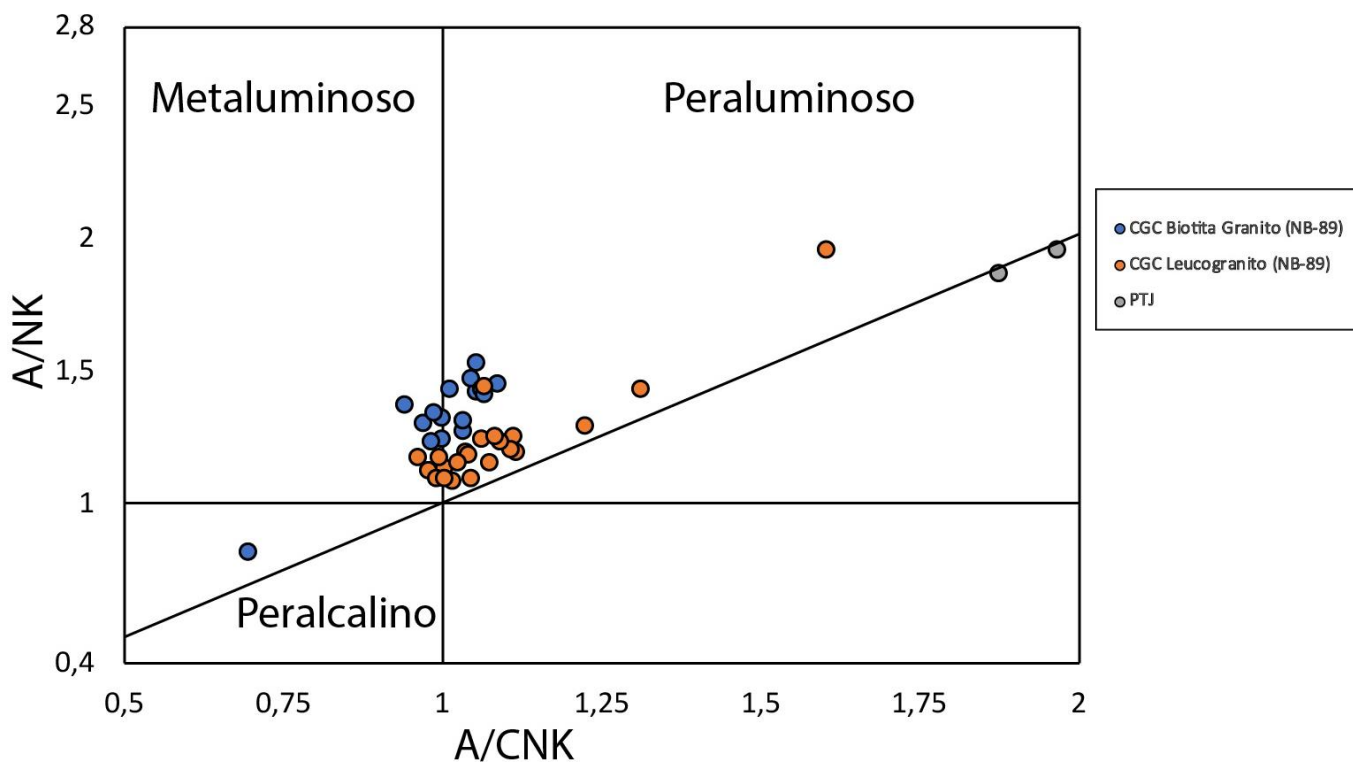


#### 4.4. Fluorescência de Raios-X (FRX)

Foram enviadas duas amostras do Ponto-01 para o Laboratório de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (XRF) da UFRGS. Os resultados obtidos foram a partir de análise quantitativa com curva de calibração a partir de padrões de rocha tabelados, e os valores apresentados em porcentagem de peso da amostra.

As amostras enviadas, PTJ-003A e PTJ-003B apresentam teores em porcentagem em peso dos óxidos de  $\text{SiO}_2$  de 88,6 e 84,99%, respectivamente, e os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 6,12 e 8,16%. O  $\text{TiO}_2$  é mais elevado na amostra que possui mais  $\text{SiO}_2$ , contendo 0,34% enquanto na que contém mais  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é de 0,21%. A amostra PTJ-003B, além de possuir teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , também conta com maiores teores  $\text{MgO}$  com 0,12% comparado com 0,01%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com 1,56% e  $\text{K}_2\text{O}$  com 3,84%. Na amostra PTJ-003A, o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é de 1,29% e o  $\text{K}_2\text{O}$  3,02%.

Os dados obtidos com as amostras PTJ-003A e PTJ-003B foram plotados juntamente com os dados do Complexo Granítico Caçapava (CGC) do Biotita Granito e Leucogranito (NARDI; BITENCOURT, 1989) no diagrama de Shand (1943) para verificar a afinidade química da rocha e identificar o caráter alcalino x aluminoso (Fig. 27). Esses valores são baseados em  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ , divididos por seu peso molar. A rocha estudada é classificada como peraluminosa.



**Figura 27.** Diagrama modificado de Shand (1943) para classificar a afinidade química da rocha, utilizando os valores de  $Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O$ , utilizando dados anteriores do CGC (biotita granito), em azul, CGC (leucogranito), em laranja, ambos retirados de Nardi e Bitencourt (1989), e, em cinza, as amostras do Ponto-01.

## 5. DISCUSSÕES

A petrografia mostra os grãos de turmalina euédricos a subédricos, feldspatos subédricos e quartzo com textura granoblástica interlobada. O quartzo também apresenta-se bem deformado, muitas vezes com extinção ondulante.

De acordo com a classificação obtida através da química da turmalina, os cristais estudados pertencem principalmente a série dravita-schorlita, as quais são típicas de metamorfismo regional (BRÖCKER; FRANZ, 2000).

Nos diagramas de Henry e Guidotti (1985), os dados de turmalina encontram-se predominantemente no campo 6 (rochas quartzosas com turmalina, cálcico-silicáticas e metapelitos ricos em  $Fe^{+3}$ ) no diagrama do Al - Fe (tot) - Mg e no campo 4 (metapelitos, metapsamitos e rochas quartzosas com turmalina e pobres em Ca) no diagrama Ca-Fe-Mg. De acordo com esse resultado e considerando que a rocha estudada é uma rocha quartzosa com turmalina, pode-se interpretar de duas maneiras:

- 1) As turmalinas são metassedimentares e são originadas todas pela mesma fonte;
- 2) As turmalinas foram originadas junto com o quartzo, provavelmente a partir de um líquido magmático-hidrotermal residual fracionado.

Henry e Dutrow (1996) descrevem a zonação encontrada em turmalina com núcleo detrítico arredondado, onde os cristais contêm três domínios de composição e texturas distintos que refletem estágios da cristalização da turmalina: o centro com dois sobrecrecimentos, um na zona interna e outro na externa. Os domínios são caracterizados por uma descontinuidade química/textural abrupta. Essa descontinuidade serve como um relativo marcador temporal que separa determinados estágios do crescimento da turmalina. Porém no estudo realizado pelos autores, a turmalina é detrítica e exibe variados graus de arredondamento, herdados do ambiente sedimentar, onde o crescimento metamórfico nas bordas é euédrico. Os núcleos dos vários grãos detríticos possuem composição química variada e contrastante com a borda, indicando proveniência distinta dos grãos detríticos. Esse crescimento das bordas, possui composição similar àquelas encontradas nas

turmalinas desse estudo, em que ocorre enriquecimento de Mg indo do núcleo em direção a borda externa. Henry e Dutrow (1996) explicam que esse sobrecrescimento da banda interior se desenvolveu como resultado da quebra diagenética de minerais de argila antes da depleção de Fe resultante de interações sulfeto-silicato. As bordas externas são enriquecidas em Mg. As turmalinas da região de Caçapava, diferentemente das turmalinas descritas acima, possuem composição restrita e relativamente homogêneas no núcleo indicando, portanto, crescimento relativamente contínuo a partir de um fluido rico em Boro.

Os resultados obtidos pelo geotermômetro turmalina-biotita de Colopietro e Frieberg (1987) encontram-se entre 449,8 e 470,6°C. Também testou-se o geotermômetro que utiliza o Ti na biotita de Henry, Guidotti e Thomson (2005), no qual as temperaturas ficaram pouco mais elevadas, entre 470 – 540°C. Apesar desses geotermômetros não possuírem uma precisão tão boa e dependerem de vários fatores, os resultados obtidos vão ao encontro dos dados adquiridos em estudos de inclusões fluidas de quartzo realizadas em pegmatitos de área próxima, por Silva (2019) (informação verbal), e da temperatura de deformação dos granitóides (450-480°C) estimadas por Nardi e Bitencourt (1989).

Roda-Robles et al.(2011) separaram seus conjuntos de amostras com base no coeficiente de partição ( $K_D$ ) entre o Fe e Mg do par biotita-turmalina., o qual foi calculado para o geotermômetro turmalina-biotita nesse trabalho. Seus resultados foram de (1,65-1,95) para os leucogranitos; (0,87) para granitos metassomatizados; (1,3) para migmatitos e para os metassedimentos, onde há uma variação muito grande, (1,05 – 1,7). Esses dados estão de acordo com a calibração de Colopietro e Frieberg (1987). A amostras desse estudo possuem um  $K_D$  que varia entre 1,17 – 1,32.

Os dados obtidos com as análises de FRX e comparados com as CGC Biotita Granito e CGC Leucogranito (NARDI; BITENCOURT, 1989) através do diagrama de Shand (1943), além de classificar as amostras como peraluminosas, mostra que elas pertencem a um *trend* de fracionamento semelhante ao das amostras pertencentes ao CGC. Segundo Nardi e Bitencourt (1989), os termos mais diferenciados do CGCS possuem teores de SiO<sub>2</sub> de até 77,4%, mais baixos, mas próximos aos valores de 84,9 e 88,6, que podem ser considerados como possíveis teores de resíduo de cristalização mais evoluído do mesmo líquido.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados de temperatura obtidos pelo geotermômetro biotita-turmalina, indicam que os quartzitos estudados se formaram por volta dos 450- 470°C, equivalente a fácies xisto-verde superior, consistente com dados obtidos por outros métodos. Os dados coletados durante esse trabalho, mostram parâmetros que poderiam classificar o protólito destas rochas tanto de origem sedimentar detrítica (quartzitos) como magmático-hidrotermal (quartzolitos ou quartzito secundário).

As feições que tendem para uma origem sedimentar clástica para estas rochas consistem de:

1. Rocha constituída predominantemente por quartzo e associada espacialmente aos metapelitos do Complexo Metamórfico Passo Feio, consistente com ambiente sedimentar clástico;
2. Os valores de  $K_b$  entre o par turmalina- biotita: quando comparados com os de Roda-Robles *et al.* (2011), se assemelham aos metassedimentos;
3. Crescimento composicional metamórfico: os padrões composicionais de crescimento coincidem com aqueles atribuídos a processos metamórficos (Henry e Dutrow, 1996), embora não sejam exclusivos deste ambiente.

Entretanto, a maioria das evidências estudadas até o momento, favorecem uma origem magmático-hidrotermal para as rochas quartzosas estudadas, tais como:

1. As turmalinas analisadas mostram composição relativamente restritas e homogêneas (dravita-schorlita), mesmo coletadas em pontos distantes;
2. O padrão do zoneamento concêntrico dos cristais de turmalina analisados mostra variações significativas, mas relativamente contínuas, indicando zonação de crescimento a partir da disposição de um fluido rico em B;
3. Não ocorrem texturas sedimentares nos grãos de turmalina, tanto no núcleo quanto nas bordas, isto é, não apresentam feições de abrasão, como arredondamento dos grãos. As texturas sedimentares são ausentes também nos grãos de ilmenita, K-feldspato e do próprio quartzo, embora este último mostre feições de recristalização;

4. A magnitude da variação composicional entre os grãos de turmalinas é relativamente pequena, sendo praticamente homogêneas, o que em estudos de proveniência não é comum, pois haveria apenas uma população detrítica referente a mesma rocha fonte;
5. Associação mineralógica contendo feldspato potássico junto com muscovita e ilmenita. Tal associação mineral é frequente nos leucogranitos e termos mais diferenciados do batólito granítico, especialmente associado.
6. A composição de rocha total mostra teores de  $\text{SiO}_2$ , pouco mais elevados, mas consistentes e comparáveis aos leucogranitos mais evoluídos do Granito Caçapava;
7. No diagrama triangular discriminante de Henry e Guidotti (1985) as turmalinas posicionam-se no campo 6 (rochas quartzosas com turmalina e outros tipos), indicando que as turmalinas depositaram junto com o quartzo e, portanto, tiveram uma mesma origem;
8. A associação de campo mostra intercalações das rochas quartzosas com rochas feldspáticas e proximidade espacial de seus afloramentos com o Granito Caçapava;
9. As rochas quartzosas possuem afinidade geoquímica peraluminosa, em rocha total, e consistentes com *trends* de diferenciação magmática altamente evoluídos.

Para enriquecer este estudo e comprovar a origem destas rochas, sugere-se a ampliação do número de análises composicionais de rocha total e química-mineral combinado com estudos de elementos-traço, terras raras e composição isotópica do Sr e B da turmalina.

## 7. REFERÊNCIAS

ABU EL-ENEN, M. M.; OKRUSCH, M. The texture and composition of tourmaline in metasediments of the Sinai, Egypt : Implications for the tectono-metamorphic evolution of the Pan-African basement. **Mineralogical Magazine**, [s. l.], v. 71,n.1,p. 17–40, feb 2007.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR, F; HARTMANN, L.A.; VAN SCHMUS, W.R.; da SILVA, L.C. Juvenile accretion at 750 – 700 Ma in Southern Brazil. **Geological Society of America**, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 439–442, 1996.

BERRYMAN, E. J. **Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: The crystal chemistry of tourmaline's X site**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências), Technischen Universität Berlin, Berlin, 2016.

BICALHO, V.; REMUS, M.V.D; RIZZARDO, R.; DANI, N. Geochemistry, metamorphic evolution and tectonic significance of metabasites from Caçapava do Sul, southern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, [s. l.], v. 49, n. 2, 2019.

Bitencourt, M.F. **Geologia, Petrologia e Estrutura dos Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS**. 1983. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

BITENCOURT, M.F.; HARTMANN, L.A. Geoquímica das rochas anfíbolíticas da região de Caçapava do Sul, Parte I: Caracterização geológica e petrográfica, elementos maiores e menores. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, v.9, p. 4266-4278, 1984a.

BRÖCKER, M.; FRANZ, L. The contact aureole on Tinos (Cyclades, Greece): tourmaline-biotite geothermometry and Rb-Sr geochronology. **Mineralogy and Petrology**, v.70, n. 3-4, p. 257–283, 2000.

DEER W.A.; HOWIE R.A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to rock forming minerals**. Harlow: Longman. p. 696, 1992

DUTROW, B. L.; HENRY, D. J. Tourmaline : A Geologic DVD. **Elements**, [s. l.], v. 7, n.5, p. 301–306, 2011.

GUIDOTTI, C.V. Micas in metamorphic rocks. **Micas, reviews in mineralogy**, v. 13, p. 357-467, 1984.

HARTMANN, L. A.; TINDLE, A.; BITENCOURT, M. F. O metamorfismo de fácies anfíbolito no complexo metamórfico Passo Feio, RS, com Base em química dos minerais. **Pesquisas em Geociências**, [s. l.], v. 17, n. 1–2, p. 62–71, 1990.

HAWTHORNE, F. C.; HENRY, D. J. Classification of the minerals of the tourmaline group. **European Journal of Mineralogy**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 201–216, 1999.

HENRY, D.J.; DUTROW, B.L. Tourmaline at diagenetic to low-grade metamorphic conditions: Its petrologic applicability. **Lithos**, [s. l.], v. 154, p. 16–32, 2012.

HENRY, D. J.; DUTROW, B. L. Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: Anovitz, L. M.; Grew, E. S. (Eds.). **Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry: Reviews in Mineralogy**. Berlin, Boston: De Gruyter, v.33, p. 503–557, 1996.

HENRY, D.J.; GUIDOTTI, C.V. Titanium in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystal-chemical controls, and petrologic applications. **American Mineralogist**, [s. l.], v. 87, n. 4, p. 375–382, 2002.

HENRY, D. J.; GUIDOTTI, C. V. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. **American Mineralogist**, [s. l.], v. 70, n. 1–2, p. 1–15, 1985.

HENRY, D. J.; GUIDOTTI, C.V.; THOMSON, J.A. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. **American Mineralogist**, [s. l.], v. 90, n. 2–3, p. 316–328, 2005.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. Bookman Editora, 2009.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 153–169, 1989.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, [s. l.], v. 46, p. 83–104, 2016.

REMUS, M. V. D.; DANI, N; GAZZONI, C.P.; HOERLLE, G.S.; dos REIS, R.S. Minério de Cu (Au) de alto teor em zonas de alteração clorítica em escarnitos magnesianos de Caçapava do Sul, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 13., 2011, Gramado. **Anais...**, [s. l.], v.3, p. 1485-1488, 2011.

REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A; MCNAUGHTON, N.J; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 191–216, 2000.

RIBEIRO, M.,J.; BOCCHI, P. R; FIGUEIREDO Fº, P.M.; TESSARI, R. I. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. **Boletim**, v.127, 1966.

RODA-ROBLES, E.; PESQUERA, A.; GIL-CRESPO, P.P.; TORRES-RUIZ, J. Occurrence, paragenesis and compositional evolution of tourmaline from the Tormes Dome area, Central Iberian Zone, Spain. **The Canadian Mineralogist**, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 207–224, 2011.

SAALMANN, K.; GERDES, A; LAHAYE, Y.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; LÄUFER, A. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: The prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. **International Journal of Earth Sciences**, [s. l.], v. 100, n. 2-3, p. 355–378, 2011.



VAN HINSBERG, V. J.; HENRY, D. J.; MARSCHALL, H. R. Tourmaline: an ideal indicator of its host environment. **Canadian Mineralogist**, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 1–16, 2011.

YANG, S.Y.; JIANG, S.Y.; ZHAO, K.D.; DAI, B.Z.; YANG, T. Tourmaline as a recorder of magmatic – hydrothermal evolution: an in situ major and trace element analysis of tourmaline from the Qitianling batholith, South China. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, [s. l.], v. 170, n. 5-6, p. 1–21, 2015.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Porcentagem em óxidos das análises realizados em turmalina do Ponto-01. Resultados obtidos a partir de análises na Microsonda Eletrônica

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
1 / 1.	2,23	28,86	36,56	6,84	0,09	0,49	0,79	0,15	0,04	11,06	87,13
2 / 1.	2,26	29,14	36,32	6,47	0,08	0,27	0,62	0,09	0,03	11,30	86,57
3 / 1.	1,96	30,97	36,06	7,45	0,13	0,99	0,25	0,03	0,00	8,98	86,83
4 / 1.	2,02	30,33	36,42	7,45	0,09	0,86	0,39	0,21	0,01	9,82	87,59
5 / 1.	1,86	30,19	36,29	7,02	0,12	0,96	0,30	0,03	0,05	9,81	86,62
6 / 1.	2,15	30,01	36,68	7,22	0,09	0,88	0,34	0,12	0,07	9,82	87,37
7 / 1.	2,11	29,70	36,27	7,10	0,07	0,84	0,36	0,05	0,06	10,21	86,77
8 / 1.	2,23	30,43	35,59	7,05	0,11	0,81	0,36	0,04	0,01	10,23	86,87
9 / 1.	2,18	30,31	35,69	7,08	0,09	0,81	0,33	0,06	0,04	9,90	86,49
10 / 1.	1,91	30,49	36,05	7,27	0,13	1,07	0,27	0,05	0,04	9,90	87,17
11 / 1.	1,88	30,41	36,25	7,35	0,11	1,05	0,31	0,05	0,01	9,36	86,79
12 / 1.	2,14	29,45	37,00	7,20	0,10	0,58	0,66	0,12	0,03	10,35	87,62
13 / 1.	2,14	31,60	37,14	7,18	0,08	0,20	0,58	0,08	0,04	10,04	89,08
14 / 1.	2,45	29,93	36,83	6,79	0,10	0,24	0,65	0,12	0,07	10,23	87,40
16 / 1.	2,36	29,41	37,01	6,71	0,10	0,16	0,78	0,00	0,02	10,96	87,50
18 / 1.	2,29	28,66	36,86	6,88	0,09	0,31	0,87	0,00	0,00	11,01	86,96
19 / 1.	2,41	28,31	36,38	6,68	0,10	0,28	1,10	0,17	0,02	11,95	87,41
20 / 1.	2,09	30,13	36,13	7,40	0,08	0,91	0,40	0,02	0,00	9,89	87,06
21 / 1.	1,85	30,32	36,28	7,39	0,11	1,15	0,33	0,00	0,00	9,19	86,63
22 / 1.	2,16	29,92	36,61	7,41	0,08	0,78	0,41	0,14	0,07	10,51	88,11
23 / 1.	2,10	29,33	36,20	7,17	0,09	0,78	0,38	0,15	0,02	10,31	86,54
24 / 1.	2,02	29,50	36,17	7,13	0,09	0,80	0,40	0,03	0,03	10,53	86,69
25 / 1.	1,89	30,96	35,74	7,29	0,10	1,06	0,34	0,13	0,00	9,51	87,02
26 / 1.	1,96	30,61	35,67	7,09	0,13	1,06	0,33	0,00	0,02	10,01	86,88
27 / 1.	1,81	29,16	36,65	7,46	0,13	1,01	0,32	0,17	0,03	9,49	86,23
28 / 1.	1,58	27,42	38,54	8,07	0,12	1,06	0,31	0,12	0,00	10,10	87,34
29 / 1.	2,08	29,89	36,17	7,06	0,11	0,85	0,26	0,01	0,03	9,83	86,29
30 / 1.	2,04	30,22	35,99	7,20	0,11	0,94	0,29	0,15	0,04	10,12	87,10
31 / 1.	1,97	30,17	36,34	7,17	0,10	0,98	0,32	0,19	0,01	9,84	87,08
32 / 1.	1,80	29,79	36,14	7,30	0,07	1,08	0,34	0,05	0,04	9,22	85,81
33 / 1.	1,70	28,64	37,75	7,83	0,07	1,06	0,39	0,11	0,01	9,02	86,58
34 / 1.	2,19	29,95	36,30	7,11	0,11	0,81	0,34	0,07	0,05	10,33	87,26
35 / 1.	2,12	30,49	36,14	7,14	0,09	0,92	0,33	0,05	0,00	10,06	87,34
37 / 1.	2,25	28,65	36,53	7,11	0,09	0,44	0,67	0,00	0,00	11,03	86,78
38 / 1.	2,00	30,61	35,99	7,01	0,09	0,89	0,30	0,02	0,04	9,83	86,77
39 / 1.	1,91	29,79	35,91	7,49	0,11	1,10	0,36	0,06	0,05	9,88	86,66
42 / 1.	1,86	29,46	35,76	7,26	0,10	1,06	0,30	0,10	0,00	10,08	85,97
43 / 1.	2,15	29,55	36,17	7,02	0,07	0,68	0,55	0,00	0,06	10,49	86,74

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
44 / 1 .	2,39	29,11	35,84	6,28	0,09	0,07	0,43	0,08	0,04	11,27	85,60
45 / 1 .	2,34	30,12	36,03	6,71	0,09	0,30	0,70	0,04	0,05	10,27	86,63
46 / 1 .	2,22	32,87	34,06	5,92	0,07	0,15	0,73	0,02	0,03	10,86	86,93
47 / 1 .	2,00	30,18	35,77	7,12	0,08	0,90	0,29	0,00	0,00	9,97	86,32
48 / 1 .	2,15	29,71	36,44	7,13	0,08	0,36	0,65	0,02	0,05	10,17	86,76
49 / 1 .	1,91	30,37	35,38	6,93	0,13	1,03	0,33	0,05	0,01	9,98	86,14
50 / 1 .	2,09	30,42	35,39	6,87	0,10	0,92	0,35	0,00	0,05	10,06	86,26
51 / 1 .	1,91	30,54	36,11	7,47	0,05	1,10	0,34	0,09	0,04	9,40	87,05
53 / 1 .	2,01	30,31	35,87	7,22	0,10	0,85	0,30	0,04	0,00	10,06	86,75
54 / 1 .	1,91	30,67	35,90	7,33	0,11	1,14	0,31	0,05	0,08	9,51	87,01
55 / 1 .	2,07	30,26	36,02	7,11	0,12	0,87	0,31	0,00	0,08	10,20	87,05
57 / 1 .	2,11	30,10	36,40	7,27	0,11	0,79	0,35	0,24	0,01	9,94	87,31
58 / 1 .	1,89	31,51	35,12	7,31	0,10	1,14	0,39	0,00	0,01	9,28	86,76
59 / 1 .	1,92	31,14	35,47	7,84	0,08	1,03	0,46	0,01	0,00	8,02	85,99
60 / 1 .	2,47	30,76	35,56	6,28	0,07	0,16	0,64	0,22	0,00	11,04	87,20
61 / 1 .	2,19	31,15	36,39	7,40	0,13	0,84	0,50	0,05	0,04	9,25	87,95
62 / 1 .	2,12	30,31	36,23	7,84	0,09	0,89	0,54	0,00	0,02	8,99	87,02
63 / 1 .	2,32	29,23	35,96	6,46	0,05	0,14	0,71	0,05	0,00	11,10	86,02
65 / 1 .	2,07	30,65	35,42	7,34	0,09	0,81	0,53	0,00	0,04	9,28	86,24
66 / 1 .	2,13	30,43	35,64	7,49	0,08	0,76	0,53	0,00	0,01	9,46	86,53
67 / 1 .	2,27	28,91	36,04	7,62	0,10	0,74	0,78	0,00	0,05	10,21	86,71
68 / 1 .	2,45	29,38	36,05	6,46	0,06	0,06	0,55	0,07	0,02	11,12	86,23
69 / 1 .	1,98	29,56	35,75	7,33	0,11	0,82	0,50	0,11	0,03	9,01	85,20
70 / 1 .	2,35	28,63	35,87	6,63	0,09	0,26	0,81	0,05	0,06	11,89	86,63
71 / 1 .	2,2	30,45	35,55	7,34	0,09	0,82	0,5	0	0	9,1	86,05
72 / 1 .	2,15	30,4	35,72	7,92	0,06	0,91	0,58	0,11	0,08	9,03	86,98
73 / 1 .	2,45	29,28	35,61	6,5	0,07	0,1	0,59	0,05	0,05	12,04	86,74
74 / 1 .	1,89	30,28	35,89	7,32	0,14	1,04	0,46	0,24	0	9,01	86,26
75 / 1 .	2,01	30,51	35,88	7,28	0,11	0,86	0,5	0,16	0,03	9,12	86,47
76 / 1 .	1,85	31,02	35,9	7,66	0,08	1,07	0,48	0,14	0,07	7,95	86,22
77 / 1 .	1,99	30,31	35,93	7,39	0,1	0,9	0,44	0,05	0	9,03	86,14
79 / 1 .	1,97	30,74	35,94	7,5	0,1	0,97	0,46	0,09	0,04	9	86,82
80 / 1 .	2,05	30,53	35,4	7,22	0,08	0,82	0,49	0,01	0,01	8,99	85,61
81 / 1 .	1,95	31,31	34,9	7,57	0,1	1,09	0,44	0,06	0	7,9	85,33
82 / 1 .	1,95	31,47	35,6	7,87	0,11	1,12	0,46	0,23	0,03	8,12	86,97
83 / 1 .	2,28	29,13	35,92	7,03	0,1	0,33	0,92	0,14	0	10,54	86,39
84 / 1 .	2,13	30,48	36,04	7,73	0,08	1,07	0,51	0,01	0,05	8,76	86,88
85 / 1 .	2,06	30,18	35,74	7,51	0,1	0,78	0,52	0,03	0,04	9,37	86,33
86 / 1 .	2,09	30,37	35,65	7,19	0,11	0,83	0,47	0	0	9	85,71
87 / 1 .	1,92	31,08	35,49	7,83	0,09	1,02	0,44	0,06	0,04	7,99	85,97
88 / 1 .	2,51	29,58	35,53	6,58	0,1	0,16	0,62	0	0,06	10,69	85,83
89 / 1 .	1,93	31,17	35,36	7,64	0,09	1,14	0,53	0,04	0,06	7,93	85,89
90 / 1 .	2,07	30,38	35,78	7,28	0,09	0,86	0,48	0,02	0,03	9,17	86,16
91 / 1 .	2,08	30,44	35,89	7,31	0,11	0,93	0,43	0,04	0	9,14	86,37
92 / 1 .	2,12	28,79	36,65	7,4	0,09	0,43	0,85	0,08	0,02	10,38	86,78

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
93 / 1 .	2,13	30,27	36,2	7,41	0,1	0,76	0,49	0,07	0,02	9,46	86,92
94 / 1 .	2,41	28,41	35,95	6,87	0,08	0,31	0,88	0,06	0,07	11,55	86,59
95 / 1 .	2,38	29,32	36,02	6,89	0,07	0,27	0,56	0,06	0,06	10,49	86,13
96 / 1 .	2,72	28,1	35,8	6,53	0,05	0,22	0,74	0	0,03	12,29	86,48
97 / 1 .	1,97	30,16	35,99	7,32	0,13	0,94	0,48	0	0,06	9,14	86,18
98 / 1 .	2,25	30,39	35,88	7,49	0,1	0,88	0,49	0,12	0,02	9,12	86,74
99 / 1 .	1,78	31,11	36,21	7,9	0,09	1,24	0,49	0	0,02	8,05	86,9
100 / 1 .	2,47	29	35,97	6,46	0,06	0,12	0,72	0	0,02	11,76	86,58
101 / 1 .	2,6	29,8	35,9	6,64	0,04	0,01	0,3	0,14	0	11,22	86,65
102 / 1 .	2,18	30,3	35,37	7,37	0,09	0,85	0,56	0,13	0,01	9,35	86,21
103 / 1 .	2,01	30,89	35,43	7,19	0,11	0,87	0,51	0,04	0,08	9,18	86,31
104 / 1 .	2,1	30,41	36,04	7,23	0,11	1,07	0,39	0	0,02	9,09	86,46
105 / 1 .	1,92	31,31	36,04	7,63	0,1	1,03	0,44	0	0,04	7,97	86,48
106 / 1 .	2,62	29,33	35,86	6,57	0,06	0,11	0,31	0	0,07	10,78	85,71
107 / 1 .	2,14	30	36	7,38	0,09	0,75	0,54	0,07	0,03	9,05	86,04
108 / 1 .	2,1	30,36	36,04	7,47	0,11	0,87	0,53	0,12	0,03	8,89	86,51
109 / 1 .	2,13	30,54	35,55	7,39	0,09	0,81	0,47	0,07	0,05	9,12	86,2
110 / 1 .	2,24	30,19	35,64	7,54	0,08	0,88	0,58	0,15	0,01	9,13	86,45
111 / 1 .	1,92	30,23	35,39	7,35	0,13	0,95	0,45	0,07	0,02	8,86	85,37
112 / 1 .	1,85	31,2	36,32	7,96	0,1	1,02	0,49	0,07	0,02	7,91	86,94
1 / 2 .	1,96	30,31	36,22	6,97	0,10	1,09	0,31	9,61	0,05	0,11	86,73
2 / 2 .	2,18	29,80	36,17	7,04	0,11	0,94	0,31	10,06	0,06	0,05	86,70
3 / 2 .	2,10	29,07	36,23	7,18	0,09	0,76	0,42	10,14	0,06	0,07	86,12
4 / 2 .	2,54	29,03	36,55	6,33	0,04	0,03	0,19	11,19	0,02	0,02	85,95
5 / 2 .	2,18	29,92	35,95	7,15	0,12	0,96	0,29	9,81	0,02	0,03	86,42
6 / 2 .	1,88	30,47	36,39	7,03	0,10	1,16	0,35	9,63	0,07	0,00	87,08
7 / 2 .	2,07	30,23	35,96	6,83	0,10	1,09	0,29	9,71	0,03	0,02	86,33
8 / 2 .	2,14	29,96	36,49	7,01	0,10	0,87	0,31	9,72	0,00	0,00	86,61
9 / 2 .	2,14	29,59	36,41	7,10	0,09	0,87	0,32	10,17	0,00	0,03	86,72
10 / 2 .	2,14	29,58	36,40	6,98	0,10	0,84	0,34	10,15	0,04	0,07	86,65
11 / 2 .	2,15	29,93	36,26	7,11	0,11	0,82	0,32	10,09	0,03	0,00	86,82
12 / 2 .	1,83	30,08	36,01	7,11	0,11	1,05	0,32	9,35	0,04	0,05	85,93
13 / 2 .	2,46	29,28	36,60	6,65	0,08	0,23	0,52	10,72	0,06	0,04	86,64
14 / 2 .	2,45	29,64	36,70	6,67	0,04	0,19	0,52	11,11	0,02	0,07	87,41
15 / 2 .	2,11	30,06	36,44	7,00	0,10	0,82	0,39	10,64	0,03	0,04	87,64
16 / 2 .	2,09	29,39	36,32	7,03	0,06	0,80	0,39	9,87	0,05	0,03	86,02
17 / 2 .	1,84	30,07	36,49	7,13	0,09	1,09	0,33	9,66	0,00	0,08	86,80
30 / 2 .	2,29	29,47	35,31	6,30	0,08	0,14	0,67	10,63	0,03	0,00	84,92
31 / 2 .	1,88	30,48	34,25	6,66	0,12	1,15	0,33	9,39	0,05	0,07	84,37
32 / 2 .	1,97	30,92	34,60	7,06	0,07	1,03	0,30	8,65	0,05	0,00	84,65
33 / 2 .	2,38	28,79	35,02	6,02	0,10	0,12	0,65	11,68	0,00	0,00	84,77
34 / 2 .	1,96	30,24	34,51	6,43	0,10	0,98	0,32	9,35	0,00	0,08	83,95
35 / 2 .	1,91	30,57	34,22	6,74	0,07	1,14	0,34	9,09	0,06	0,02	84,14
36 / 2 .	2,30	29,63	35,18	6,35	0,08	0,21	0,63	10,64	0,05	0,08	85,16
37 / 2 .	2,10	29,63	34,69	6,66	0,09	0,85	0,39	9,94	0,06	0,11	84,52

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
38 / 2 .	0,95	15,53	58,04	4,09	0,04	0,84	0,19	5,64	0,00	0,00	85,32
39 / 2 .	2,02	30,71	35,05	6,64	0,10	0,98	0,32	9,76	0,05	0,00	85,64
40 / 2 .	2,26	29,84	35,57	6,97	0,09	0,84	0,35	10,05	0,06	0,00	86,02
41 / 2 .	2,41	28,89	35,87	6,11	0,08	0,10	0,45	11,86	0,04	0,05	85,87
42 / 2 .	2,34	28,74	35,66	6,38	0,09	0,28	0,80	11,04	0,04	0,03	85,41
43 / 2 .	2,52	28,87	35,85	6,20	0,08	0,07	0,44	12,26	0,03	0,00	86,32
44 / 2 .	2,23	29,33	36,24	6,82	0,09	0,49	0,65	10,05	0,05	0,09	86,02
45 / 2 .	1,89	30,35	35,84	6,96	0,11	1,05	0,30	9,37	0,05	0,02	85,96
46 / 2 .	1,99	30,89	35,75	7,07	0,10	1,03	0,28	9,12	0,01	0,00	86,24
52 / 2 .	2,48	30,13	36,56	6,71	0,09	0,13	0,48	9,99	0,03	0,01	86,60
53 / 2 .	2,01	30,54	35,76	6,96	0,09	0,93	0,27	9,45	0,00	0,00	86,02
54 / 2 .	1,69	31,07	33,27	6,36	0,12	0,94	0,28	9,19	0,02	0,10	83,05
58 / 2 .	2,41	29,99	36,51	6,71	0,09	0,24	0,53	9,34	0,03	0,07	85,92
59 / 2 .	2,10	28,77	35,97	6,80	0,10	0,69	0,48	10,33	0,06	0,05	85,36
60 / 2 .	2,02	31,12	35,27	7,01	0,11	1,11	0,30	9,21	0,00	0,06	86,20
61 / 2 .	2,41	29,05	35,25	6,30	0,09	0,24	0,93	11,11	0,09	0,03	85,49
62 / 2 .	1,89	30,73	35,92	7,15	0,08	1,07	0,31	8,55	0,01	0,00	85,70
63 / 2 .	2,12	30,09	36,00	7,16	0,07	0,89	0,39	9,83	0,05	0,06	86,65
64 / 2 .	2,07	30,35	35,93	6,92	0,09	0,99	0,30	9,64	0,00	0,07	86,37
65 / 2 .	1,85	30,89	35,49	7,05	0,12	1,12	0,29	9,21	0,01	0,00	86,04
66 / 2 .	2,41	28,90	35,97	6,23	0,10	0,17	0,66	11,40	0,06	0,00	85,89
67 / 2 .	2,00	29,79	35,20	6,86	0,09	0,85	0,33	9,97	0,02	0,01	85,13
68 / 2 .	2,01	30,14	36,13	7,04	0,12	0,88	0,29	9,88	0,00	0,06	86,53
69 / 2 .	2,38	28,91	36,36	6,00	0,10	0,12	0,59	11,69	0,07	0,13	86,34
75 / 2 .	2,29	29,26	36,09	6,42	0,08	0,23	0,57	10,46	0,00	0,06	85,45
76 / 2 .	2,18	29,12	35,75	6,72	0,09	0,54	0,53	10,49	0,01	0,09	85,52
77 / 2 .	2,13	30,65	35,46	6,75	0,11	0,92	0,31	9,76	0,04	0,06	86,18
78 / 2 .	2,34	29,13	38,63	6,78	0,10	0,08	0,63	11,01	0,07	0,05	88,82
79 / 2 .	2,43	29,14	35,68	6,48	0,10	0,36	0,81	10,93	0,01	0,09	86,02
80 / 2 .	2,02	30,44	35,13	6,77	0,13	0,87	0,30	9,65	0,05	0,00	85,36
81 / 2 .	2,05	30,51	35,76	6,93	0,12	1,02	0,33	9,70	0,04	0,00	86,46
82 / 2 .	2,18	30,36	35,55	6,97	0,13	0,97	0,31	9,59	0,01	0,06	86,13
83 / 2 .	2,16	28,48	36,84	6,69	0,11	0,45	0,72	10,63	0,00	0,02	86,09
84 / 2 .	1,99	30,34	36,20	7,05	0,12	1,06	0,32	9,39	0,06	0,06	86,58
85 / 2 .	2,22	29,92	36,89	6,95	0,09	0,49	0,48	9,48	0,03	0,07	86,60
86 / 2 .	2,18	28,60	36,42	6,37	0,08	0,30	0,78	11,70	0,00	0,11	86,52
87 / 2 .	2,19	29,58	36,08	6,80	0,10	0,83	0,31	10,11	0,04	0,04	86,08
88 / 2 .	1,78	30,03	36,61	7,27	0,12	1,13	0,30	9,33	0,03	0,00	86,60
89 / 2 .	2,29	28,59	37,16	6,74	0,03	0,63	0,24	10,59	0,03	0,10	86,40
90 / 2 .	2,00	30,23	35,68	7,14	0,11	1,01	0,34	9,56	0,00	0,04	86,12
91 / 2 .	2,12	31,55	35,36	6,78	0,09	0,90	0,36	9,91	0,00	0,04	87,12
94 / 2 .	2,27	29,88	36,00	6,86	0,09	0,81	0,40	9,88	0,06	0,13	86,37
95 / 2 .	1,96	30,39	36,23	6,90	0,12	0,94	0,30	9,68	0,00	0,08	86,60
96 / 2 .	2,22	28,93	35,30	6,23	0,11	0,33	0,91	11,15	0,05	0,11	85,34
97 / 2 .	2,08	30,97	34,47	6,49	0,12	0,72	0,45	9,66	0,08	0,08	85,13

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
98 / 2 .	2,16	30,00	34,93	6,63	0,09	0,82	0,29	10,00	0,06	0,06	85,05
99 / 2 .	2,30	29,18	35,65	6,26	0,08	0,13	0,61	11,11	0,05	0,02	85,38
100 / 2 .	1,90	30,61	34,76	6,71	0,11	1,00	0,30	9,32	0,03	0,08	84,83
101 / 2 .	2,51	29,00	35,90	6,22	0,04	0,05	0,63	12,65	0,02	0,00	87,03
102 / 2 .	2,01	29,97	35,80	7,08	0,11	1,02	0,37	10,10	0,03	0,02	86,50
104 / 2 .	2,22	29,83	35,96	6,51	0,08	0,13	1,08	10,39	0,06	0,02	86,28
105 / 2 .	2,22	29,17	36,14	6,83	0,10	0,62	0,51	10,40	0,06	0,06	86,11
106 / 2 .	2,06	29,78	36,09	7,03	0,10	0,87	0,36	9,50	0,06	0,13	85,97
107 / 2 .	2,29	28,61	35,62	6,38	0,11	0,21	1,03	12,49	0,03	0,11	86,87
108 / 2 .	2,32	28,86	36,04	6,09	0,08	0,10	0,60	11,36	0,03	0,12	85,61
109 / 2 .	2,20	28,92	36,59	6,93	0,10	0,76	0,45	10,74	0,06	0,04	86,79
110 / 2 .	2,07	30,15	35,93	6,78	0,13	0,88	0,31	9,77	0,00	0,14	86,15
111 / 2 .	2,06	29,58	36,69	6,92	0,08	0,55	0,60	9,49	0,06	0,09	86,12
112 / 2 .	2,07	30,11	36,52	6,93	0,12	0,83	0,33	10,26	0,00	0,08	87,25
113 / 2 .	1,86	30,60	36,45	7,18	0,09	1,15	0,33	9,64	0,04	0,00	87,34
114 / 2 .	2,48	28,79	36,58	6,30	0,05	0,11	0,74	12,16	0,01	0,00	87,22
115 / 2 .	2,23	28,74	36,24	6,55	0,09	0,37	0,87	11,55	0,02	0,11	86,77
116 / 2 .	2,07	29,77	36,05	6,88	0,08	0,83	0,36	10,08	0,00	0,08	86,20
117 / 2 .	1,87	30,36	35,16	6,85	0,12	1,09	0,31	9,92	0,00	0,07	85,76
118 / 2 .	2,03	30,05	35,98	6,89	0,10	0,90	0,29	9,87	0,03	0,03	86,17
119 / 2 .	2,49	29,15	36,31	6,37	0,08	0,15	0,82	11,14	0,00	0,14	86,66
120 / 2 .	2,61	29,13	36,67	6,40	0,02	0,03	0,18	11,66	0,01	0,05	86,77
121 / 2 .	2,54	28,29	36,20	6,06	0,07	0,08	0,54	12,21	0,02	0,02	86,03
122 / 2 .	2,07	29,77	36,12	7,17	0,06	0,86	0,38	9,52	0,07	0,07	86,09
123 / 2 .	1,96	30,69	35,55	6,93	0,12	1,14	0,31	9,70	0,03	0,02	86,44
124 / 2 .	1,91	30,39	36,13	6,96	0,12	1,03	0,31	9,71	0,01	0,02	86,61

Porcentagem em óxidos dos pontos realizados em turmalina da Chácara Queimada. Resultados obtidos a partir de análises na Microsonda Eletrônica.

Amostra	Na2O	Al2O3	SiO2	MgO	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	FeO	Total
106 / 3 .	1,91	30,20	34,04	6,69	0,07	1,28	0,60	0,00	0,00	10,10	84,88
107 / 3 .	1,87	30,60	33,54	6,52	0,08	1,40	0,50	0,02	0,03	10,24	84,80
108 / 3 .	1,83	30,72	33,63	6,45	0,08	1,48	0,46	0,00	0,00	10,37	85,03
109 / 3 .	1,83	30,18	33,96	6,86	0,10	1,57	0,51	0,02	0,04	10,58	85,66

**Anexo 2. Porcentagem em peso (Wt%) dos pontos realizados em turmalina do Ponto-01. Resultados obtidos a partir de análises na Microsonda Eletrônica.**

Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
1 / 1 .	1,66	15,27	17,09	4,13	0,08	0,35	0,48	0,10	0,03	8,60	39,34	87,13
2 / 1 .	1,67	15,42	16,98	3,90	0,06	0,19	0,37	0,06	0,02	8,78	39,10	86,57
3 / 1 .	1,46	16,39	16,86	4,50	0,11	0,71	0,15	0,02	0,00	6,98	39,66	86,83
4 / 1 .	1,50	16,05	17,03	4,49	0,07	0,61	0,23	0,15	0,01	7,63	39,82	87,59
5 / 1 .	1,38	15,98	16,96	4,23	0,10	0,69	0,18	0,02	0,04	7,63	39,42	86,62
6 / 1 .	1,60	15,88	17,14	4,35	0,07	0,63	0,20	0,08	0,05	7,63	39,72	87,37
7 / 1 .	1,56	15,72	16,95	4,28	0,06	0,60	0,21	0,03	0,05	7,94	39,36	86,77
8 / 1 .	1,66	16,11	16,64	4,25	0,09	0,58	0,22	0,03	0,01	7,95	39,34	86,87
9 / 1 .	1,62	16,04	16,68	4,27	0,07	0,58	0,20	0,04	0,03	7,70	39,26	86,49
10 / 1 .	1,42	16,14	16,85	4,38	0,11	0,77	0,16	0,04	0,03	7,69	39,59	87,17
11 / 1 .	1,40	16,10	16,94	4,43	0,09	0,75	0,19	0,04	0,01	7,27	39,57	86,79
12 / 1 .	1,59	15,58	17,30	4,34	0,08	0,41	0,39	0,08	0,02	8,04	39,77	87,62
13 / 1 .	1,59	16,73	17,36	4,33	0,06	0,14	0,35	0,05	0,03	7,81	40,63	89,08
14 / 1 .	1,81	15,84	17,22	4,09	0,09	0,17	0,39	0,08	0,05	7,95	39,71	87,40
16 / 1 .	1,75	15,57	17,30	4,05	0,08	0,11	0,46	0,00	0,01	8,52	39,64	87,50
18 / 1 .	1,70	15,17	17,23	4,15	0,08	0,22	0,52	0,00	0,00	8,56	39,34	86,96
19 / 1 .	1,79	14,98	17,01	4,03	0,08	0,20	0,66	0,12	0,02	9,29	39,23	87,41
20 / 1 .	1,55	15,95	16,89	4,46	0,07	0,65	0,24	0,01	0,00	7,69	39,55	87,06
21 / 1 .	1,37	16,05	16,96	4,46	0,09	0,82	0,20	0,00	0,00	7,14	39,54	86,63
22 / 1 .	1,61	15,83	17,11	4,47	0,07	0,56	0,25	0,10	0,06	8,17	39,89	88,11
23 / 1 .	1,56	15,52	16,92	4,32	0,08	0,56	0,23	0,10	0,02	8,02	39,22	86,54
24 / 1 .	1,50	15,61	16,91	4,30	0,08	0,57	0,24	0,02	0,02	8,18	39,26	86,69
25 / 1 .	1,40	16,38	16,71	4,40	0,08	0,75	0,21	0,09	0,00	7,39	39,61	87,02
26 / 1 .	1,45	16,20	16,67	4,27	0,11	0,75	0,20	0,00	0,01	7,78	39,42	86,88
27 / 1 .	1,34	15,43	17,13	4,50	0,11	0,72	0,19	0,11	0,03	7,38	39,29	86,23
28 / 1 .	1,18	14,51	18,02	4,87	0,10	0,76	0,19	0,08	0,00	7,85	39,78	87,34
29 / 1 .	1,54	15,82	16,91	4,25	0,09	0,61	0,16	0,01	0,02	7,64	39,24	86,29
30 / 1 .	1,51	16,00	16,82	4,34	0,09	0,67	0,17	0,10	0,03	7,86	39,49	87,10
31 / 1 .	1,46	15,97	16,98	4,32	0,08	0,70	0,19	0,13	0,01	7,65	39,59	87,08
32 / 1 .	1,33	15,77	16,89	4,40	0,06	0,77	0,20	0,04	0,03	7,16	39,16	85,81
33 / 1 .	1,26	15,16	17,64	4,72	0,06	0,76	0,24	0,07	0,01	7,01	39,65	86,58
34 / 1 .	1,62	15,85	16,97	4,29	0,09	0,58	0,21	0,05	0,04	8,03	39,54	87,26
35 / 1 .	1,57	16,13	16,89	4,31	0,08	0,66	0,20	0,03	0,00	7,82	39,65	87,34
37 / 1 .	1,67	15,16	17,07	4,29	0,08	0,32	0,40	0,00	0,00	8,57	39,21	86,78
38 / 1 .	1,48	16,20	16,82	4,22	0,08	0,64	0,18	0,01	0,03	7,64	39,47	86,77
39 / 1 .	1,42	15,77	16,79	4,51	0,09	0,79	0,22	0,04	0,04	7,68	39,32	86,66
42 / 1 .	1,38	15,59	16,72	4,38	0,08	0,76	0,18	0,07	0,00	7,84	38,99	85,97
43 / 1 .	1,59	15,64	16,91	4,23	0,06	0,49	0,33	0,00	0,05	8,15	39,29	86,74
44 / 1 .	1,78	15,41	16,75	3,79	0,07	0,05	0,26	0,05	0,03	8,76	38,65	85,60
45 / 1 .	1,73	15,94	16,84	4,04	0,07	0,22	0,42	0,03	0,03	7,98	39,32	86,63
46 / 1 .	1,65	17,39	15,92	3,57	0,06	0,11	0,44	0,01	0,02	8,44	39,32	86,93
47 / 1 .	1,48	15,97	16,72	4,30	0,07	0,64	0,18	0,00	0,00	7,75	39,21	86,32

Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
48 / 1 .	1,59	15,73	17,03	4,30	0,06	0,26	0,39	0,01	0,04	7,91	39,44	86,76
49 / 1 .	1,42	16,07	16,54	4,18	0,11	0,74	0,20	0,04	0,01	7,76	39,08	86,14
50 / 1 .	1,55	16,10	16,54	4,14	0,09	0,66	0,21	0,00	0,04	7,82	39,11	86,26
51 / 1 .	1,41	16,16	16,88	4,50	0,05	0,79	0,20	0,06	0,03	7,31	39,66	87,05
53 / 1 .	1,49	16,04	16,77	4,36	0,08	0,60	0,18	0,03	0,00	7,82	39,39	86,75
54 / 1 .	1,42	16,23	16,78	4,42	0,09	0,81	0,19	0,04	0,06	7,39	39,58	87,01
55 / 1 .	1,54	16,02	16,84	4,29	0,10	0,62	0,19	0,00	0,06	7,93	39,47	87,05
57 / 1 .	1,57	15,93	17,01	4,38	0,09	0,56	0,21	0,16	0,01	7,73	39,66	87,31
58 / 1 .	1,40	16,68	16,42	4,41	0,09	0,81	0,24	0,00	0,01	7,22	39,50	86,76
59 / 1 .	1,43	16,48	16,58	4,73	0,07	0,74	0,28	0,01	0,00	6,23	39,45	85,99
60 / 1 .	1,83	16,28	16,62	3,79	0,06	0,12	0,38	0,15	0,00	8,58	39,39	87,20
61 / 1 .	1,63	16,48	17,01	4,46	0,11	0,60	0,30	0,04	0,03	7,19	40,10	87,95
62 / 1 .	1,57	16,04	16,94	4,73	0,07	0,63	0,33	0,00	0,01	6,99	39,71	87,02
63 / 1 .	1,72	15,47	16,81	3,89	0,04	0,10	0,43	0,03	0,00	8,63	38,89	86,02
65 / 1 .	1,53	16,22	16,56	4,43	0,08	0,58	0,32	0,00	0,03	7,22	39,28	86,24
66 / 1 .	1,58	16,10	16,66	4,52	0,07	0,54	0,32	0,00	0,00	7,36	39,38	86,53
67 / 1 .	1,68	15,30	16,84	4,59	0,08	0,53	0,47	0,00	0,04	7,94	39,24	86,71
68 / 1 .	1,82	15,55	16,85	3,89	0,05	0,05	0,33	0,05	0,02	8,65	38,98	86,23
69 / 1 .	1,47	15,64	16,71	4,42	0,09	0,58	0,30	0,08	0,02	7,00	38,88	85,20
70 / 1 .	1,74	15,15	16,77	4,00	0,07	0,19	0,48	0,04	0,05	9,24	38,91	86,63
71 / 1 .	1,64	16,11	16,62	4,43	0,07	0,59	0,3	0	0	7,07	39,22	86,05
72 / 1 .	1,6	16,09	16,7	4,78	0,05	0,65	0,35	0,08	0,06	7,02	39,6	86,98
73 / 1 .	1,82	15,5	16,64	3,92	0,06	0,07	0,35	0,04	0,04	9,36	38,95	86,74
74 / 1 .	1,4	16,02	16,78	4,41	0,11	0,74	0,27	0,16	0	7	39,35	86,26
75 / 1 .	1,49	16,15	16,77	4,39	0,09	0,62	0,3	0,11	0,02	7,09	39,44	86,47
76 / 1 .	1,37	16,42	16,78	4,62	0,06	0,77	0,29	0,1	0,05	6,18	39,58	86,22
77 / 1 .	1,48	16,04	16,79	4,46	0,08	0,65	0,26	0,03	0	7,02	39,33	86,14
79 / 1 .	1,46	16,27	16,8	4,52	0,08	0,7	0,27	0,06	0,03	7	39,62	86,82
80 / 1 .	1,52	16,16	16,55	4,35	0,07	0,59	0,29	0,01	0,01	6,99	39,07	85,61
81 / 1 .	1,45	16,57	16,31	4,57	0,08	0,78	0,27	0,04	0	6,14	39,12	85,33
82 / 1 .	1,45	16,66	16,64	4,75	0,09	0,8	0,27	0,16	0,02	6,32	39,82	86,97
83 / 1 .	1,69	15,41	16,79	4,24	0,08	0,24	0,55	0,1	0	8,19	39,1	86,39
84 / 1 .	1,58	16,13	16,85	4,66	0,07	0,76	0,31	0,01	0,04	6,81	39,66	86,88
85 / 1 .	1,53	15,97	16,71	4,53	0,08	0,56	0,31	0,02	0,03	7,28	39,31	86,33
86 / 1 .	1,55	16,07	16,66	4,34	0,09	0,6	0,28	0	0	7	39,12	85,71
87 / 1 .	1,42	16,45	16,59	4,72	0,08	0,73	0,26	0,04	0,03	6,21	39,43	85,97
88 / 1 .	1,87	15,66	16,61	3,97	0,08	0,12	0,37	0	0,05	8,31	38,81	85,83
89 / 1 .	1,43	16,49	16,53	4,6	0,08	0,82	0,32	0,03	0,05	6,16	39,38	85,89
90 / 1 .	1,54	16,08	16,73	4,39	0,07	0,62	0,29	0,01	0,02	7,13	39,29	86,16
91 / 1 .	1,55	16,11	16,77	4,41	0,09	0,67	0,26	0,03	0	7,1	39,38	86,37
92 / 1 .	1,57	15,23	17,13	4,46	0,07	0,31	0,51	0,05	0,01	8,07	39,37	86,78
93 / 1 .	1,58	16,02	16,92	4,47	0,08	0,54	0,29	0,05	0,02	7,36	39,59	86,92
94 / 1 .	1,79	15,04	16,81	4,14	0,07	0,22	0,53	0,04	0,06	8,98	38,93	86,59
95 / 1 .	1,76	15,52	16,84	4,16	0,06	0,19	0,34	0,04	0,05	8,16	39,02	86,13
96 / 1 .	2,02	14,87	16,73	3,94	0,04	0,16	0,44	0	0,03	9,55	38,7	86,48



Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
97 / 1 .	1,46	15,96	16,82	4,41	0,11	0,67	0,29	0	0,05	7,1	39,31	86,18
98 / 1 .	1,67	16,08	16,77	4,52	0,09	0,63	0,3	0,08	0,01	7,09	39,51	86,74
99 / 1 .	1,32	16,47	16,93	4,77	0,08	0,88	0,29	0	0,02	6,25	39,89	86,9
100 / 1.	1,83	15,35	16,81	3,89	0,05	0,09	0,43	0	0,02	9,14	38,96	86,58
101 / 1.	1,93	15,77	16,78	4,01	0,03	0,01	0,18	0,1	0	8,72	39,13	86,65
102 / 1.	1,62	16,04	16,53	4,44	0,07	0,61	0,33	0,09	0	7,26	39,2	86,21
103 / 1.	1,49	16,35	16,56	4,33	0,1	0,62	0,3	0,03	0,06	7,13	39,33	86,31
104 / 1.	1,56	16,1	16,85	4,36	0,09	0,76	0,23	0	0,02	7,06	39,43	86,46
105 / 1.	1,42	16,57	16,84	4,6	0,08	0,74	0,27	0	0,03	6,2	39,73	86,48
106 / 1.	1,94	15,52	16,76	3,96	0,05	0,08	0,19	0	0,05	8,38	38,77	85,71
107 / 1.	1,58	15,88	16,83	4,45	0,07	0,53	0,32	0,05	0,02	7,03	39,26	86,04
108 / 1.	1,55	16,07	16,85	4,5	0,09	0,62	0,32	0,08	0,02	6,91	39,49	86,51
109 / 1.	1,58	16,16	16,62	4,46	0,07	0,58	0,28	0,05	0,04	7,09	39,29	86,2
110 / 1.	1,66	15,98	16,66	4,55	0,07	0,63	0,35	0,1	0,01	7,1	39,35	86,45
111 / 1.	1,43	16	16,54	4,43	0,11	0,68	0,27	0,05	0,01	6,89	38,97	85,37
112 / 1.	1,37	16,51	16,98	4,8	0,08	0,73	0,3	0,05	0,02	6,15	39,96	86,94
1 / 2 .	1,46	16,04	16,93	4,20	0,09	0,78	0,18	7,47	0,04	0,07	39,47	86,73
2 / 2 .	1,62	15,77	16,91	4,24	0,09	0,67	0,19	7,82	0,04	0,04	39,32	86,70
3 / 2 .	1,56	15,38	16,94	4,33	0,07	0,54	0,25	7,88	0,05	0,05	39,07	86,12
4 / 2 .	1,88	15,36	17,09	3,82	0,03	0,02	0,12	8,70	0,02	0,01	38,90	85,95
5 / 2 .	1,61	15,84	16,80	4,31	0,10	0,69	0,17	7,62	0,02	0,02	39,24	86,42
6 / 2 .	1,39	16,13	17,01	4,24	0,09	0,83	0,21	7,48	0,05	0,00	39,65	87,08
7 / 2 .	1,53	16,00	16,81	4,12	0,09	0,78	0,17	7,55	0,02	0,01	39,25	86,33
8 / 2 .	1,59	15,86	17,06	4,23	0,08	0,62	0,19	7,55	0,00	0,00	39,43	86,61
9 / 2 .	1,59	15,66	17,02	4,28	0,08	0,62	0,19	7,90	0,00	0,02	39,36	86,72
10 / 2 .	1,59	15,66	17,02	4,21	0,08	0,60	0,20	7,89	0,03	0,05	39,32	86,65
11 / 2 .	1,60	15,84	16,95	4,29	0,09	0,59	0,19	7,84	0,02	0,00	39,41	86,82
12 / 2 .	1,35	15,92	16,83	4,29	0,09	0,75	0,19	7,27	0,03	0,04	39,18	85,93
13 / 2 .	1,82	15,50	17,11	4,01	0,07	0,16	0,31	8,33	0,04	0,03	39,25	86,64
14 / 2 .	1,82	15,69	17,15	4,03	0,03	0,13	0,31	8,64	0,02	0,05	39,55	87,41
15 / 2 .	1,57	15,91	17,03	4,22	0,09	0,59	0,23	8,27	0,03	0,03	39,68	87,64
16 / 2 .	1,55	15,55	16,98	4,24	0,05	0,57	0,23	7,67	0,04	0,02	39,12	86,02
17 / 2 .	1,37	15,92	17,06	4,30	0,08	0,78	0,20	7,51	0,00	0,05	39,54	86,80
30 / 2 .	1,70	15,60	16,50	3,80	0,07	0,10	0,40	8,27	0,02	0,00	38,47	84,92
31 / 2 .	1,39	16,13	16,01	4,02	0,10	0,82	0,19	7,30	0,04	0,05	38,32	84,37
32 / 2 .	1,46	16,36	16,17	4,26	0,06	0,74	0,18	6,73	0,04	0,00	38,66	84,65
33 / 2 .	1,77	15,24	16,37	3,63	0,08	0,09	0,39	9,08	0,00	0,00	38,12	84,77
34 / 2 .	1,45	16,00	16,13	3,88	0,08	0,70	0,19	7,26	0,00	0,06	38,20	83,95
35 / 2 .	1,41	16,18	15,99	4,07	0,06	0,82	0,20	7,06	0,04	0,01	38,30	84,14
36 / 2 .	1,71	15,68	16,45	3,83	0,07	0,15	0,38	8,27	0,04	0,06	38,53	85,16
37 / 2 .	1,56	15,68	16,22	4,02	0,08	0,61	0,23	7,73	0,04	0,07	38,29	84,52
38 / 2 .	0,71	8,22	27,13	2,46	0,04	0,60	0,11	4,39	0,00	0,00	41,67	85,32
39 / 2 .	1,50	16,26	16,38	4,01	0,09	0,70	0,19	7,59	0,04	0,00	38,89	85,64
40 / 2 .	1,68	15,79	16,62	4,20	0,08	0,60	0,21	7,81	0,05	0,00	38,98	86,02
41 / 2 .	1,79	15,29	16,77	3,68	0,06	0,07	0,27	9,22	0,03	0,04	38,64	85,87

Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
42 / 2 .	1,74	15,21	16,67	3,84	0,08	0,20	0,48	8,58	0,03	0,02	38,55	85,41
43 / 2 .	1,87	15,28	16,76	3,74	0,06	0,05	0,26	9,53	0,02	0,00	38,74	86,32
44 / 2 .	1,65	15,52	16,94	4,11	0,07	0,35	0,39	7,81	0,04	0,06	39,08	86,02
45 / 2 .	1,40	16,06	16,75	4,20	0,09	0,75	0,18	7,28	0,04	0,02	39,18	85,96
46 / 2 .	1,48	16,35	16,71	4,26	0,08	0,73	0,17	7,09	0,01	0,00	39,36	86,24
52 / 2 .	1,84	15,94	17,09	4,04	0,07	0,09	0,29	7,77	0,02	0,01	39,44	86,60
53 / 2 .	1,49	16,16	16,72	4,20	0,08	0,66	0,16	7,35	0,00	0,00	39,20	86,02
54 / 2 .	1,25	16,44	15,55	3,84	0,10	0,67	0,17	7,14	0,02	0,07	37,79	83,05
58 / 2 .	1,79	15,87	17,06	4,04	0,08	0,17	0,32	7,26	0,02	0,05	39,25	85,92
59 / 2 .	1,56	15,23	16,81	4,10	0,09	0,49	0,29	8,03	0,04	0,04	38,68	85,36
60 / 2 .	1,50	16,47	16,49	4,23	0,09	0,79	0,18	7,16	0,00	0,04	39,26	86,20
61 / 2 .	1,79	15,38	16,48	3,80	0,07	0,17	0,56	8,64	0,07	0,02	38,53	85,49
62 / 2 .	1,40	16,26	16,79	4,31	0,07	0,77	0,18	6,64	0,01	0,00	39,27	85,70
63 / 2 .	1,57	15,92	16,83	4,32	0,06	0,63	0,24	7,64	0,04	0,04	39,37	86,65
64 / 2 .	1,53	16,06	16,80	4,17	0,08	0,71	0,18	7,49	0,00	0,05	39,30	86,37
65 / 2 .	1,37	16,35	16,59	4,25	0,10	0,80	0,18	7,16	0,01	0,00	39,23	86,04
66 / 2 .	1,79	15,30	16,81	3,75	0,08	0,12	0,40	8,86	0,05	0,00	38,74	85,89
67 / 2 .	1,48	15,77	16,45	4,14	0,08	0,61	0,20	7,75	0,01	0,01	38,63	85,13
68 / 2 .	1,49	15,95	16,89	4,24	0,10	0,63	0,17	7,68	0,00	0,04	39,34	86,53
69 / 2 .	1,77	15,30	16,99	3,62	0,08	0,08	0,35	9,09	0,05	0,09	38,92	86,34
75 / 2 .	1,70	15,49	16,87	3,87	0,06	0,16	0,34	8,13	0,00	0,04	38,79	85,45
76 / 2 .	1,62	15,41	16,71	4,05	0,08	0,38	0,32	8,15	0,01	0,06	38,72	85,52
77 / 2 .	1,58	16,22	16,57	4,07	0,09	0,65	0,19	7,59	0,03	0,04	39,15	86,18
78 / 2 .	1,74	15,42	18,06	4,09	0,08	0,06	0,38	8,56	0,06	0,03	40,36	88,82
79 / 2 .	1,80	15,42	16,68	3,91	0,08	0,26	0,49	8,50	0,01	0,06	38,83	86,02
80 / 2 .	1,50	16,11	16,42	4,08	0,11	0,62	0,18	7,50	0,04	0,00	38,80	85,36
81 / 2 .	1,52	16,15	16,71	4,18	0,10	0,73	0,20	7,54	0,03	0,00	39,30	86,46
82 / 2 .	1,62	16,07	16,62	4,21	0,11	0,69	0,19	7,45	0,00	0,04	39,13	86,13
83 / 2 .	1,60	15,07	17,22	4,04	0,09	0,32	0,43	8,26	0,00	0,01	39,05	86,09
84 / 2 .	1,48	16,06	16,92	4,25	0,10	0,76	0,19	7,30	0,04	0,04	39,45	86,58
85 / 2 .	1,64	15,83	17,24	4,19	0,07	0,35	0,29	7,37	0,02	0,05	39,54	86,60
86 / 2 .	1,62	15,13	17,02	3,84	0,07	0,21	0,47	9,09	0,00	0,08	39,00	86,52
87 / 2 .	1,62	15,66	16,86	4,10	0,08	0,59	0,19	7,86	0,03	0,03	39,06	86,08
88 / 2 .	1,32	15,89	17,11	4,38	0,10	0,81	0,18	7,26	0,02	0,00	39,53	86,60
89 / 2 .	1,70	15,13	17,37	4,06	0,03	0,45	0,14	8,23	0,02	0,07	39,19	86,40
90 / 2 .	1,49	16,00	16,68	4,31	0,09	0,72	0,21	7,43	0,00	0,03	39,17	86,12
93 / 2 .	1,02	19,63	13,38	2,93	0,06	0,13	0,21	6,47	0,04	0,02	37,07	80,96
94 / 2 .	1,68	15,81	16,83	4,14	0,07	0,58	0,24	7,68	0,04	0,09	39,21	86,37
95 / 2 .	1,45	16,08	16,93	4,16	0,10	0,67	0,18	7,53	0,00	0,05	39,43	86,60
96 / 2 .	1,65	15,31	16,50	3,76	0,09	0,24	0,54	8,67	0,04	0,08	38,47	85,34
97 / 2 .	1,54	16,39	16,11	3,92	0,10	0,52	0,27	7,51	0,06	0,06	38,66	85,13
98 / 2 .	1,61	15,88	16,33	4,00	0,08	0,59	0,17	7,78	0,04	0,04	38,54	85,05
99 / 2 .	1,71	15,44	16,66	3,77	0,07	0,10	0,36	8,64	0,04	0,01	38,58	85,38
100 / 2 .	1,41	16,20	16,25	4,05	0,09	0,71	0,18	7,25	0,02	0,05	38,61	84,83
101 / 2 .	1,86	15,35	16,78	3,75	0,03	0,04	0,38	9,83	0,02	0,00	38,99	87,03

Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
102 / 2.	1,49	15,86	16,73	4,27	0,09	0,73	0,22	7,85	0,03	0,01	39,22	86,50
104 / 2.	1,65	15,79	16,81	3,93	0,06	0,10	0,65	8,08	0,04	0,02	39,17	86,28
105 / 2.	1,65	15,44	16,89	4,12	0,08	0,44	0,31	8,09	0,04	0,04	39,01	86,11
106 / 2.	1,52	15,76	16,87	4,24	0,08	0,62	0,22	7,39	0,05	0,09	39,14	85,97
107 / 2.	1,70	15,14	16,65	3,85	0,09	0,15	0,62	9,71	0,02	0,08	38,87	86,87
108 / 2.	1,72	15,28	16,85	3,67	0,07	0,07	0,36	8,83	0,02	0,08	38,66	85,61
109 / 2.	1,63	15,31	17,10	4,18	0,09	0,54	0,27	8,35	0,05	0,03	39,25	86,79
110 / 2.	1,54	15,96	16,80	4,09	0,11	0,63	0,19	7,59	0,00	0,09	39,17	86,15
111 / 2.	1,53	15,66	17,15	4,18	0,07	0,39	0,36	7,37	0,04	0,06	39,31	86,12
112 / 2.	1,53	15,93	17,07	4,18	0,10	0,59	0,20	7,98	0,00	0,06	39,61	87,25
113 / 2.	1,38	16,20	17,04	4,33	0,07	0,82	0,20	7,49	0,03	0,00	39,78	87,34
114 / 2.	1,84	15,23	17,10	3,80	0,04	0,08	0,45	9,45	0,00	0,00	39,22	87,22
115 / 2.	1,66	15,21	16,94	3,95	0,08	0,26	0,52	8,98	0,01	0,07	39,09	86,77
116 / 2.	1,54	15,75	16,85	4,15	0,07	0,59	0,22	7,83	0,00	0,05	39,15	86,20
117 / 2.	1,39	16,07	16,43	4,13	0,10	0,78	0,19	7,71	0,00	0,05	38,91	85,76
118 / 2.	1,50	15,91	16,82	4,15	0,08	0,64	0,17	7,67	0,02	0,02	39,17	86,17
119 / 2.	1,85	15,43	16,97	3,84	0,07	0,10	0,49	8,66	0,00	0,09	39,14	86,66
120 / 2.	1,93	15,41	17,14	3,86	0,02	0,02	0,11	9,07	0,01	0,03	39,16	86,77
121 / 2.	1,88	14,97	16,92	3,65	0,05	0,06	0,32	9,49	0,02	0,01	38,64	86,03
122 / 2.	1,53	15,75	16,89	4,32	0,05	0,62	0,23	7,40	0,06	0,04	39,20	86,09
123 / 2.	1,45	16,24	16,62	4,18	0,10	0,81	0,19	7,54	0,03	0,01	39,28	86,44
124 / 2.	1,42	16,08	16,89	4,20	0,10	0,74	0,19	7,55	0,01	0,01	39,42	86,61

Porcentagem em peso (Wt%) dos pontos realizados em turmalina da Chácara Queimada. Resultados obtidos a partir de análises na Microsonda Eletrônica.

Amostra	Na	Al	Si	Mg	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	O	Total
106 / 2.	1,41	15,98	15,91	4,04	0,06	0,91	0,36	0,00	0,00	7,85	38,36	84,88
107 / 2.	1,39	16,19	15,68	3,93	0,07	1,00	0,30	0,01	0,02	7,96	38,24	84,80
108 / 2.	1,36	16,26	15,72	3,89	0,06	1,06	0,28	0,00	0,00	8,06	38,34	85,03
109 / 2.	1,36	15,97	15,87	4,14	0,08	1,13	0,31	0,02	0,03	8,22	38,53	85,66

**Anexo 3.** Mapa composicional qualitativo de Si utilizando EDS através da Microsonda Eletrônica.

