



CARACTERIZAÇÃO DOS LAMPRÓFIROS ESPESSARTÍICOS DA REGIÃO DE  
VILA NOVA DO SUL, RS

Porto Alegre, 2011

NATALIA BUCKOWSKI

CARACTERIZAÇÃO DOS LAMPRÓFIROS  
ESPESSARTÍTIOS DA REGIÃO DE VILA NOVA  
DO SUL, RS

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 Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer;

Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima.

Porto Alegre, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso: “CARACTERIZAÇÃO DOS LAMPRÓFIROS ESPESSARTÍTIOS DA REGIÃO DE VILA NOVA DO SUL, RS”, elaborado por NATALIA BUCKOWSKI, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

---

Lauro Valentim Stoll Nardi

---

Vitor Paulo Pereira

*Dedico aos meus pais, que pela assídua participação em todas as etapas do meu processo de formação, daria também o título de bacharéis em geologia.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio e amor incondicional durante todas as etapas desse processo. A vocês, meu eterno amor e agradecimento.

Agradeço aos meus orientadores Carlos Augusto Sommer, e Evandro Fernandes de Lima, pelos ensinamentos em geologia, amizade e apoio.

Agradeço também aos meus colegas de pesquisa, (Diego, Felipe, Vini e Carla) pelo companheirismo e ajuda sempre que precisei.

Ao meu eterno orientador, Rommulo Vieira Conceição, não só pelas gastrites nos meus primeiros anos de curso, mas também por sempre ter acreditado na minha capacidade. Muito obrigada pelos conselhos e pela sincera amizade.

Aos amigos que fiz na geologia, especialmente aos que sempre estiveram ao meu lado, na saúde e na doença: Gabriel e Luiz Gustavo.

Aos meus amigos espalhados pelo Brasil, em especial aos baianos que mesmo longe se fizeram presentes: Rita, Peu, Muriel e Marcelo. Acreditem, “boto fé em você” fez toda a diferença. Amo-os.

Aos meus amigos de Porto Alegre que me entenderam quando tive que me ausentar por conta de aulas, provas, pesquisa ou trabalhos de campo. A todos vocês, obrigada pela compreensão e carinho.

Aos professores do Instituto de Geociências da Ufrgs, pelo ensino de qualidade e por sempre estarem dispostos a ajudar.

*“... Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o bem que poderíamos ter conquistado se não fosse o medo de tentar.”*

William Shakespeare.

## RESUMO

Na região do Cerro Tupanci, ao norte do município de Vila Nova do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, foram investigados dois diques lamprófíricos com características texturais e composicionais distintas. O corpo principal tem espessura métrica com direção N-NE e foi classificado como uma brecha-tufisítica lamprófírica, sendo intrusiva nas rochas andesíticas da Formação Hilário. A rocha apresenta textura particulada (vulcanoclástica), caracterizada pela presença de fragmentos acidentais de rochas andesíticas (encaixantes) e cognatos de espessartitos de diferentes tamanhos, envoltos por uma matriz tufácea. Texturalmente, a rocha possui fragmentos esferoidais juvenis, indicando alta fluidização do sistema. Além deste corpo, ocorre um dique de menores proporções de um lamprófiro espessartítico intrusivo nos granitóides do Supercomplexo Cambaí. A rocha possui textura panidiomórfica, representada pela dominância de fenocristais euédricos de anfibólio, mostrando textura de fluxo, numa matriz composta basicamente por micrólitos de plagioclásio. Geoquimicamente os lamprófiros da região do Cerro Tupanci apresentam um *trend* de composição subalcalina, com características de séries cálcio-alcálicas alto K. Esta característica pode ser observada pelos valores  $K_2O$  maiores que  $(Na_2O-2)$  e se manteve na análise dos elementos traços e imóveis. São saturados em  $SiO_2$ , mostrando que ao longo da diferenciação os elementos Sr, Rb e Ba mostram um caráter incompatível, enquanto os elementos Zr, Nb, Y, Cr, Ni e Co mostram caráter compatível. Os padrões de distribuição dos elementos traços e terras raras, quando normalizados para o padrão OIB, observa-se um leve enriquecimento em LILEs e uma leve depleção em HFSE, além de fortes anomalias negativas de Nb e positivas de Pb. Quando normalizados para o padrão condrítico, observa-se um moderado enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP, além da ausência de anomalia de Eu, feições indicativas de magmas shoshoníticos ou cálcio-alcálicos alto-K. Em relação aos espessartitos de Lavras do Sul observa-se que estes apresentam valores mais elevados de  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  e álcalis, e mais baixos de FeO, MgO, MnO, e CaO. As razões  $K_2O/Na_2O$  também são mais elevadas, sendo próximas da unidade, característica típica de rochas shoshoníticas. Esta constatação também é observada em relação aos elementos traços onde os teores para as rochas de Lavras do Sul mostram-se invariavelmente mais elevados e mais coerentes com a afinidade shoshonítica proposta para o seu magmatismo. Dados obtidos em MEV atestam a importância metalogenética destas rochas, presença de sulfetos, ouro e platina disseminados na matriz. As características geológicas, petrográficas e geoquímicas observadas nos lamprófiros da região de Vila Nova do Sul, permitem sugerir a sua vinculação aos terrenos vulcânicos neoproterozóicos do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Lamprófiros; Espessartíticos; Brecha-tufisítica; Mineralizações.

## ABSTRACT

In Cerro Tupanci region, north of Vila Nova do Sul city, in Rio Grande do Sul state, were investigated two lamprophyric dykes with different textural and compositional features. The main body has metric thickness with N-NE direction and was classified as lamprophyric tuffisitic breccia, being intrusive in andesitic rocks of Hilário Formation. The rock presents particulate texture (volcanoclastic), characterized by accidental fragments presence of andesitic rocks (country rock) and cognate of spessartites varying sizes, surrounded by tuffaceous matrix. Texturally, the rock has spheroidal juvenile fragments, indicating high fluidization of system. Beyond this body, occurs a spessartitic lamprophyre dyke of smaller proportions intrusive in Cambaí Supercomplex granitoids. The rock has panidiomorphic texture, represented by dominance of euhedral phenocrysts of amphibole, showing flow texture, in a matrix composed basically by plagioclase microliths. Geochemically the lamprophyres of Cerro Tupanci region presents a trend of subalkaline composition, with characteristics of calc-alkaline high-K series. This feature can be observed by  $K_2O$  values major than  $(Na_2O \cdot 2)$  and remained in the analysis of trace and immobile elements. They are saturated in  $SiO_2$ , showing that along the differentiation of elements Sr, Rb and Ba show a incompatible character, while elements as Zr, Nb, Y, Ni e Co show a compatible character. The distribution patterns of trace elements and rare earth elements, when normalized to OIB pattern, there is a slight enrichment in LILEs and a slight depletion in HFSE, and strong Nb negative and Pb positive anomalies. When normalized to the chondrite standard, there is a moderate enrichment of LREE relative to HREE, and the absence of Eu anomaly, indicative features of shoshonitic or calc-alkaline high-K magma. Regarding Lavras do Sul spessartites there is a increase of values of  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  and alkalis, and lower content of FeO, MgO, MnO and CaO. The  $K_2O/Na_2O$  ratio are also higher, being close to unity, typical feature of shoshonitic rocks. This finding is also observed for trace elements where their levels to the rocks of Lavras do Sul are invariably higher and more consistent with shoshonitic affinity proposal for your magmatism. Data obtained by SEM show the metallogenic importance of these rocks, presence of sulfides, gold and platinum disseminated in the matrix. The geological, petrographic and geochemical features observed in lamprophyres of Vila Nova do Sul region, allow to suggest your link to neoproterozoic volcanic terrain of Rio Grande do Sul.

Keywords: Lamprophyres; Spessartites; Tuffisitic breccia; Mineralizations.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo. Modificada de Lima <i>et al.</i> (2007).....	12
Figura 2 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo. Figura modificada de Menegotto e Medeiros (1976). .....	13
Figura 3 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo, mostrando a localização com corpos lamprofíricos: a – Brecha-tufisítica lamprofírica; b – Lamprófiro espessartítico. Figura modificada de Menegotto e Medeiros (1976). .....	33
Figura 4 - Fotografias mostrando as principais feições macroscópicas da brecha-tufisítica lamprofírica: (A) e (B) amostras da brecha; (C) clasto de andesito; (D) xenólito ultramáfico; (E) e (F) clasto de espessartito. ....	35
Figura 5 - Fotografia tirada em direção NW em cima do Cerro Tupanci, mostrando as relações estratigráficas das unidades vulcano-sedimentares da região. Em a: panorâmica da região onde aflora o dique da brecha-tufisítica lamprofírica. Em b e c: amostras retiradas na porção de borda do corpo intrusivo e porção mais interna do corpo, respectivamente. ....	36
Figura 6 - Amostra do lamprófiro espessartítico, mostrando os diferentes graus de alteração da rocha.....	38
Figura 7 - Classificação granulométrica para depósitos piroclásticos primários polimodais (Modificado a partir de Fisher, 1966b).....	40
Figura 8 - Fotomicrografias mostrando as principais características microscópicas da brecha-tufisítica lamprofírica. (A), (B) e (C): aspectos gerais da lâmina; (D), (E), (F), (G) e (H): fragmentos líticos; (I) e (J) alterações.....	41
Figura 9 - Fragmento de granada analisada por EDS no microscópio eletrônico de varredura.....	42
Figura 10 - Grão de piroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.....	42
Figura 11 - Cristal de ortopiroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.....	43
Figura 12 - Cristal de clinopiroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.....	43
Figura 13 - Fotomicrografias mostrando os aspectos texturais da brecha-tufisítica lamprofírica. Em (A): <i>wrapped droplets</i> ; (B) e (C) <i>spinning droplets</i> em LP e LN, respectivamente; em (D) e (E) exsolução de clinopiroxênio em ortopiroxênio. ....	44
Figura 14 - Foto obtida no microscópio eletrônico e varredura e seus respectivos gráficos mostrando a composição (1) de um fenocristal de anfibólio e (2) da matriz de plagioclásio.....	45
Figura 15 - Representação esquemática dos dois tipos de fragmentos esferoidais juvenis que ocorrem na brecha-tufisítica lamprofírica. (Modificado de Junqueira-Brod, 2003). ....	46
Figura 16 - Fotomicrografia em LN mostrando os principais aspectos microscópicos do lamprófiro espessartítico. ....	47
Figura 17 - (A) textura geral da lâmina; (B) textura glomeroporfírica dos fenocristais de anfibólio; (C) e (D) detalhe da matriz composta por micrólitos de plagioclásio em LN e LP, respectivamente.....	48

Figura 18 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura de um agregado de sulfeto de cobre disseminado na matriz.....	49
Figura 19 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando um grão de ouro disperso na matriz. ....	49
Figura 20 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando um grão de platina disperso na matriz.....	50
Figura 21 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando grãos de platina dispersos na matriz.....	50
Figura 22 - Fotografia extraída do MEV de um grão de ouro envolto por uma mistura de outros elementos (Cl, S, Zn, Si, Al, K, Ca). ....	51
Figura 23 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas em diagrama TAS (Le Bas <i>et al.</i> 1986) de classificação de rochas vulcânicas.....	53
Figura 24 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Perccerillo e Taylor (1976).....	54
Figura 25 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Winchester e Floyd (1977).....	55
Figura 26 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Hastie <i>et al.</i> (2007).....	56
Figura 27 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama sugerido por Rock (1987) para classificação das rochas lamprofíricas.....	57
Figura 28 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas nos diagramas discriminantes de Harcker para elementos maiores. ....	59
Figura 29 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas nos diagramas discriminantes de Harcker para elementos menores e traços. ....	61
Figura 30 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Sun e McDonough (1989) normalizado para o padrão OIB. ....	62
Figura 31 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Nakamura (1974) normalizadas para o padrão condrítico. ....	63
Figura 32 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Meschede (1986). AI, AII = campos dos álcali-basaltos intraplaca; AIII, C = campos dos toleítos intraplaca; B = campo do MORB tipo P; D = campo do MORB tipo N; D = campo do basalto de arco.....	64
Figura 33 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Pearce e Cann (1973). ....	65

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	11
1.2 HIPÓTESE .....	14
1.3 OBJETIVOS .....	14
1.3.1 Objetivos Gerais .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
<b>2 ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>16</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE LAMPRÓFIROS.....	16
2.1.1 Classificação dos Lamprófiros .....	17
2.1.2 Modos de Ocorrência.....	18
2.1.3 Petrografia e Mineralogia dos Lamprófiros .....	19
2.1.4 Geoquímica dos Lamprófiros .....	21
2.2 OCORRÊNCIAS NO RIO GRANDE DO SUL.....	23
2.3 MINERALIZAÇÕES EM LAMPRÓFIROS .....	24
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	27
3.2 ETAPA DE LEVANTAMENTO GEOLÓGICO BÁSICO.....	27
3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO .....	28
3.3.1 Petrografia de Luz Transmitida .....	28
3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	28
3.3.3 Litogeoquímica .....	29
3.3.4 Geoprocessamento .....	30
3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL DOS DADOS.....	30
<b>4 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>31</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DOS LAMPRÓFIROS DA REGIÃO DO CERRO TUPANCI ...	34
<b>5 ASPECTOS PETROGRÁFICOS .....</b>	<b>39</b>
5.1 BRECHA-TUFISÍTICA LAMPROFÍRICA .....	39
5.1.1 Aspectos Texturais .....	45
5.2 LAMPRÓFIRO ESPESSARTÍTICO .....	46
5.1.2 Mineralizações Associadas.....	48
<b>6 LITOGEOQUÍMICA .....</b>	<b>52</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão abordados os temas envolvendo a localização da área de estudo, a caracterização do problema, as hipóteses e os objetivos do trabalho.

### 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A região do Cerro Tupanci, localiza-se a aproximadamente 15 km a norte do município de Vila Nova do Sul e cerca de 14 km a oeste do município de São Sepé, no estado do Rio Grande do Sul. (Figura 1).

A geologia desta região é caracterizada por rochas vulcânicas e hipabissais ácidas neoproterozóicas, representadas principalmente por depósitos efusivos e piroclásticos (Formação Acampamento Velho). Esta sequência é antecedida por uma sequência vulcânica/hipabissal de composição intermediária caracterizada por andesitos e lamprófiros. O embasamento dessas sequências é constituído por rochas sedimentares do Grupo Maricá, representada por arenitos e pelitos arcoseanos, além de granitoides do Supercomplexo Cambaí, enquanto que as rochas sedimentares de cobertura são associadas à Formação Rio Bonito da Bacia do Paraná. (Figura 2).

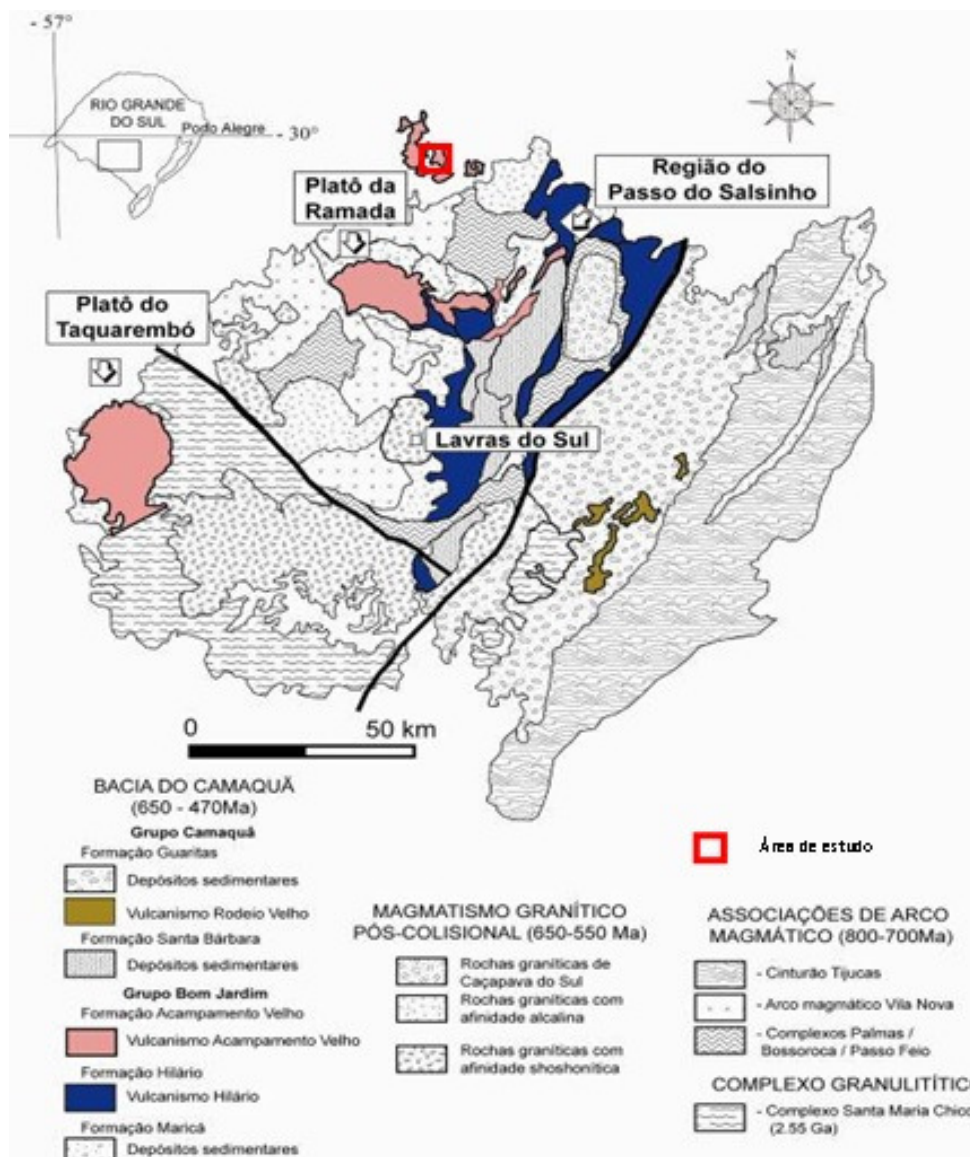
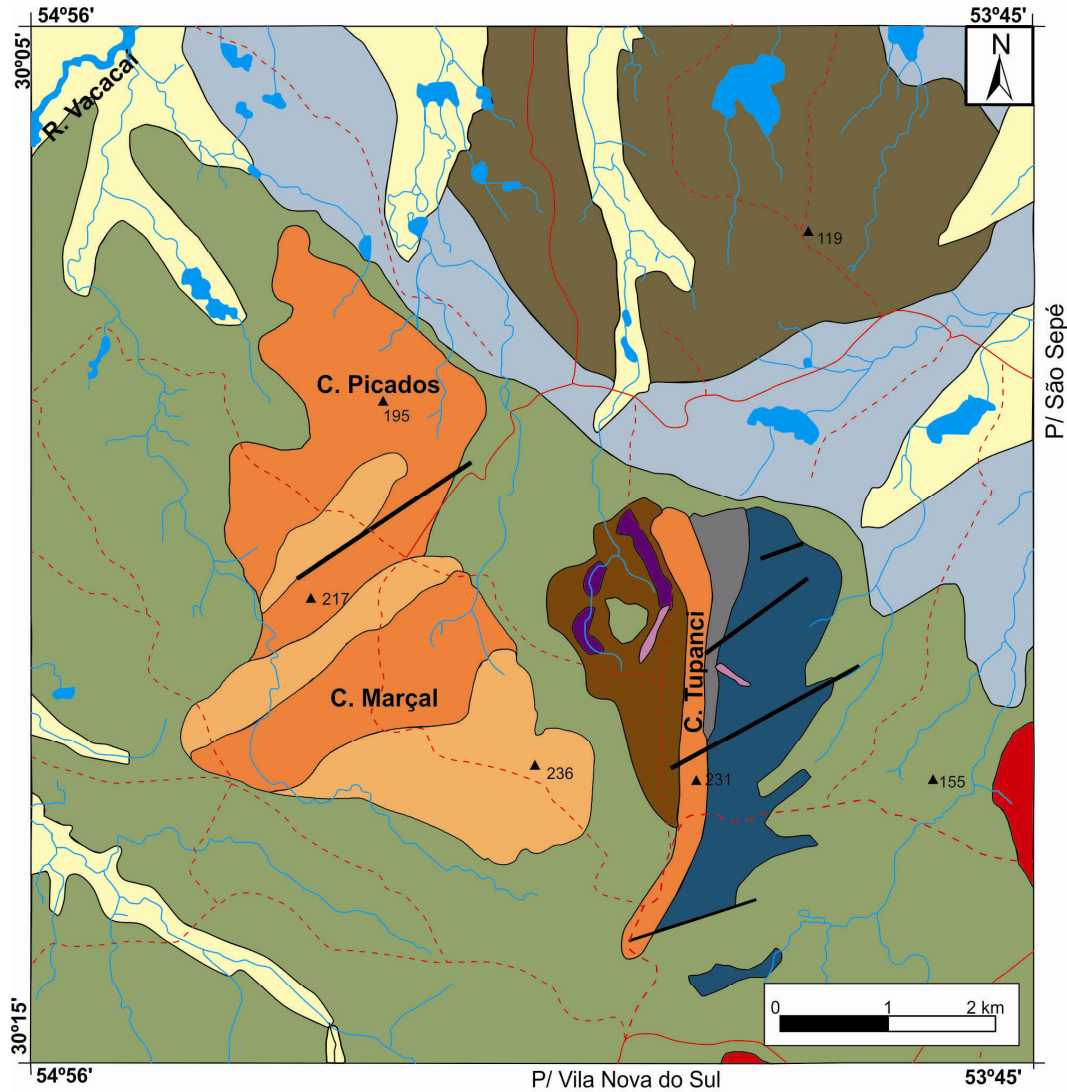


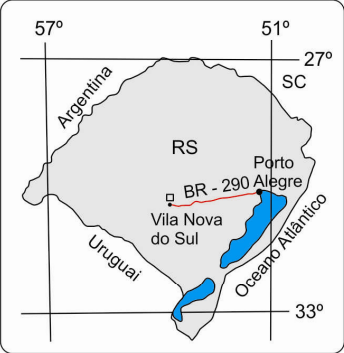
Figura 1 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo. Modificada de Lima *et al.* (2007).

Na região do Tupanci foram investigados dois diques lamprofíricos que com características texturais e composicionais distintas. O corpo principal tem espessura métrica com direção N-NE e foi classificado como uma brecha-tufisitica, e é intrusiva nas rochas andesíticas da Formação Hilário. Além deste corpo, ocorre um dique de menores proporções de um lamprófiro espessartítico intrusivo nos granitoides do Supercomplexo Cambaí. (Figura 2).

Devido a desatualização e escassez dos dados sobre esses corpos lamprofíricos, se torna indispensável a caracterização geológica e petrológica dessas rochas.



FOLHA RIO VACACAÍ (SH.22-Y-A-I-1) PARCIAL  
 Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG - Sistema de Projeção: LAT/LONG



**LEGENDA**

- Estrada Principal
- - - Estrada Secundária
- Drenagem
- ▲ Ponto Cotado
- Contatos
- / Falhas

COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA		
IDADE	UNIDADE	LITOLOGIA
Quaternário	—	Areias e Argilas Aluvionares
	Fm. Irati	Folhelhos silticos e betum.
Permo - Carbonífero	Fm. Palermo	Folhelhos e Siltitos cinza
	Fm. Rio Bonito	Arenitos ferruginosos e silt.
Ordoviciano Cambriano	Fm. Ac. Velho	Riolitos
		Ignimbritos
		Granito São Sepé
	Fm. Hilário	Lamprófiros
		Andesitos
Eo - Cambriano	Gr. Maricá	Siltitos, Ardósias e Arcóseos
Pré - Cambriano	Supercomplexo Cambaí	Microgranitos
		Granitóides deformados e xenólitos gnáissicos

Figura 2 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo. Figura modificada de Menegotto e Medeiros (1976).

## 1.2 HIPÓTESE

Algumas ocorrências de lamprófiros e rochas relacionadas têm sido descritas no Escudo Sul-Rio-Grandense (e.g. Issler e Roisenberg, 1972; Caldasso e Sander, 1994; Boff e Ferron, 1996), porém os dados apresentados são gerais, destacando-se a ausência de investigações específicas relacionadas a litoquímica, geoquímica isotópica, química mineral e relações com áreas mineralizadas. Exceção são as rochas lamprofíricas da região de Lavras do Sul, onde investigações realizadas ao longo dos últimos anos têm gerado um volume significativo de informações sobre os litotipos espessartíticos e sua vinculação ao magmatismo shoshonítico do Neoproterozóico do Rio Grande do Sul (e.g. Lima e Nardi, 1991, 1998; Lima *et al.* 2007).

Na região de Vila Nova do Sul, próximo ao Cerro Tupanci, ocorrem corpos intrusivos lamprofíricos, cujos dados publicados existentes mostram-se preliminares e desatualizados (Menegotto e Medeiros, 1976; Roisenberg *et al.*, 1983). A principal ocorrência de lamprófiros espessartíticos na região é representada por um corpo intrusivo com feições vulcanoclásticas, definida como brecha-tufisítica espessartítica, sendo considerada como primeiro registro deste tipo de ocorrência no Rio Grande do Sul. Investigações geológicas e petrológicas feitas nestes lamprófiros visam contribuir na discussão sobre a origem destas rochas, seu potencial metalogenético, bem como sua e relação genética com os espessartitos da região de Lavras do Sul, visando estabelecer vínculos com o vulcanismo alcalino associado ao magmatismo neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-Grandense.

## 1.3 OBJETIVOS

Nesta etapa, serão apresentados os principais objetivos gerais e específicos do trabalho.

### **1.3.1 Objetivos Gerais**

O objetivo geral do presente trabalho é a caracterização geológica e petrológica dos lamprófiros espessartíticos da região de Vila Nova do Sul, RS. Os estudos de campo, petrográficos e de geoquímica visam estabelecer os principais parâmetros envolvidos na evolução de magmas lamprofíricos. Este conjunto de dados adicionados a outros pré-existentes possibilitam estabelecer hipóteses sobre a vinculação destes sistemas com as demais ocorrências de lamprófiros espessartíticos no estado.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são: a investigação dos lamprófiros na região de Vila Nova do Sul, a atualização dos dados pré-existentes, o mapeamento faciológico dos corpos intrusivos, a caracterização petrográfica e geoquímica desses corpos, além de comparar com as ocorrências já estudadas de espessartitos, principalmente na região de Lavras do Sul, onde o volume de dados é significativo.



## 2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos abordados no presente trabalho. Serão abordados os temas: Caracterização e Classificação de Lamprófiros, Petrografia e Mineralogia dos lamprófiros, Modos de Ocorrência, Geoquímica, Ocorrências no Rio Grande do Sul e Mineralizações em Lamprófiros.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE LAMPRÓFIROS

O trabalho pioneiro de Gumbel (1874) definiu os lamprófiros como um grupo de rochas exóticas, caracterizadas pela presença de fenocristais de biotita e hornblenda e associadas a pequenas intrusões. Durante esse período, poucos resultados foram obtidos, e foram consideradas sem qualquer importância científica e econômica.

A partir de Rosenbusch (1897), o nome lamprófiro passa a ser utilizado como um termo mais abrangente, envolvendo uma grande variedade de rochas hipabissais, com fenocristais de minerais ferromagnesianos (*e.g.* minete, kersantito, camptonito e vogesito). Na realidade, eram enquadradas neste grupo, quaisquer rochas enriquecidas em fenocristais máficos que apresentasse dificuldades de classificação em outras categorias existentes.

Rock (1991) definiu uma definição mais completa de lamprófiros, usando uma classificação que utiliza de critérios geológicos e petrográficos baseada em trabalhos de Mitchell (1986,1989) e Clement *et al.* (1984).

Segundo estes autores, os lamprófiros foram definidos como um grupo de rochas alcalinas ricas em H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, com composições variando de sódicas à alcalina e de intermediárias à ultrabásicas. Apresentam textura inequigranular, constituída por megacristais envolvidos por uma matriz fina. Os macro/megacristais são euédricos a arredondados de ilmenita magnésiana, piropo baixo Cr, olivina forsterita, clinopiroxênio baixo Cr, flogopita, enstatita, cromita baixo Ti, anfibólio e feldspato alcalino. Os minerais que constituem a matriz são: olivina primária euédrica (2<sup>o</sup> geração), clinopiroxênios e anfibólios (variando de cálcicos a sódicos), biotita ou flogopita (normalmente ricas em Ti

e/ou Ba), feldspatos, feldspatoides, melilita, ilmenita (Mg, Mn), perovskita, espinélios, monticelita, apatita e carbonatos (Ca-Mg-Fe) e clorita/serpentina primários de estágio tardio. As fases primárias essenciais da rocha são constituídas de anfibólio e/ou flogopita/biotita. A presença de estruturas globulares esféricas a irregulares preenchidas por combinações de carbonatos, clorita, feldspatos, feldspatoides e zeolitas é freqüente, sendo comum a alteração dos minerais primários por estas fases. A forma de ocorrência mais comum dessas rochas são como diques, sills, pipes e condutos, podem ser encontrados na forma de enxames ou “*clusters*”, apesar de serem pequenos. A brechação dessas intrusões é comum, assim como de suas encaixantes.

Em termos mais simplificados, pode-se dizer que as rochas lamprófíricas são um grupo de rochas ígneas alcalinas, ricas em H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, meso à melanocráticas, normalmente hipabissais, exibindo uma textura panidiomórfica, com fenocristais de biotita/flogopita e/ou anfibólio em abundância, com ou sem piroxênio e olivina, envoltos por uma matriz composta pela mesma mineralogia, com a presença de feldspatos (normalmente feldspato alcalino).

### 2.1.1 Classificação dos Lamprófíros

Na década de 70, a Subcomissão Sobre a Sistemática das Rochas Ígneas da IUGS apresentou uma proposta de classificação de lamprófíros, reconhecendo três grupos principais: cálcio-alcalinos, alcalinos e melilitíticos (Streckeisen, 1979). Posteriormente, Middlemost (1986) e Rock (1986, 1991) estenderam a definição, incluindo no grupo das rochas lamprófíricas os lamproítos, kimberlitos e as rochas que apresentavam fenocristais de feldspatos e leucita. A partir destas modificações e seguindo recomendações da IUGS, Le Maitre (1989) propõe a subdivisão das rochas lamprófíricas em: lamprófíros cálcio-alcalinos (shoshoníticos) - CAL, lamprófíros alcalinos - AL, lamprófíros ultramáficos - UML, kimberlitos - KIL e lamproítos - LL.

Baseado nesta classificação, Rock (1991) usa o termo lamprófiro como um sinônimo para Clan dos Lamprófíros. Esta classificação tem sido constantemente discutida por vários autores e Mitchell (1994 a) propõe a adoção de uma sistemática de classificação levando-se em conta aspectos genéticos da rocha.

Woolley *et al.* (1996) propõe uma classificação individual para cada um dos grupos: lamprófiros, lamproítos, kimberlitos, e rochas kalsilíticas, melilitíticas e leucíticas. O autor formulou fluxogramas baseados na mineralogia, nas principais texturas, minerais normativos, conteúdo molar de  $K_2O/Na_2O$ , índice de minerais máficos, e sugere que esses critérios sejam respeitados para que se possa usar a classificação correta dessas rochas.

Além disso, os lamprófiros podem ser classificados de acordo com a ocorrência e proporção de minerais félsicos (Quadro 1).

Constituintes de cor clara		Minerais Máficos Predominantes			
Feldspatos	Foid	biotita, augita diopsídica, (olivina)	hornblenda, augita diopsídica, (olivina)	anfíbólio, (barkevita, kaersuita), augita titanífera olivina, biotita	melilita, biotita, augita titanífera, olivina, calcita
or > pl	-	Minete	Vogesito	-	-
pl > or	-	Kersanito	Spessartito	-	-
or > pl	feld > foid	-	-	Sanaito	-
pl > or	feld > foid	-	-	Camptonito	-
-	vidro ou foid	-	-	Monchiquito	Polzenito
-	-	-	-	-	Alnoito

Quadro 1 - Classificação e nomenclatura dos Lamprófiros baseada na ocorrência e proporção de minerais de cor clara. Feldspato Alcalino (or), Plagioclásio (pl), Feldspato (feld) e Feldspatóide (foid) (Modificado de Streckeisen, 1979).

### 2.1.2 Modos de Ocorrência

A grande maioria dos lamprófiros formam diques, “*sills*”, “*pipes*”, folhas ou diatremas. Comumente estas formas ocorrem associadas, representando diferentes fácies de um evento magmático (c.f. Mitchell, 1986). Os diques e os “*sills*” apresentam, tipicamente, espessuras variando de 0,1 à 5 metros, raramente chegando a 10 metros. Os *pipes* e as diatremas mostram-se maiores com espessuras na ordem de dezenas a centenas de metros. Tipicamente um lamprófiro cálcio-alcálico ocorre na forma de diques e *sills*, enquanto que lamprófiros ultramáficos ocorrem associados a “*pipes*” e

diatremas. Genericamente pode-se constatar que a razão do volume de magma entre as intrusões dique + “*sill*” e “*pipe*” + diatrema decresce na seguinte ordem: CAL – AL – UML.

Os corpos intrusivos individuais de lamprófiros, normalmente ocorrem associados a outros corpos formando “clusters”, enxames ou complexos. Dependendo da quantidade de intrusões associados a estes conjuntos, é possível em alguns casos, principalmente em CAL e AL, atingir áreas superficiais equivalentes a um batólito (> 100 km<sup>2</sup>).

Segundo Cas *et al.* (2008a) existe uma incerteza na utilização do termo “intrusivo” a litologias classificadas como brechas-tufisíticas intrusivas, argumentando que o magma é intrusivo quando passa pelas rochas encaixantes durante seu caminho até a superfície, porém, não pode mais ser considerado desta natureza depois que o conduto é aberto e que o mesmo é preenchido.

### **2.1.3 Petrografia e Mineralogia dos Lamprófiros**

Os lamprófiros exibem, normalmente, a clássica textura panidiomórfica, onde a maioria dos grãos de biotita e hornblenda são pseudo-hexagonais e os clinopiroxênios pseudo-octogonais, normalmente euédricos. Esta textura é geralmente, melhor desenvolvida em minetes e kersantitos e menos desenvolvidos em camptonitos. Agregados cumulo-fíricos ou glomeroporfíricos são comuns. Segundo Joplin (1966), estas texturas traçam um rápido crescimento do cristal, facilitado pelo alto conteúdo de voláteis. Isto levanta a curiosa sugestão de que os fenocristais em lamprófiros podem não representar, necessariamente, fases líquidas, mas meramente grãos que cresceram mais rapidamente no líquido rico em voláteis. A evidência dessa alta concentração de voláteis é descrita por Junqueira-Brod (2003) através do estudo detalhado da textura de brechas-tufisíticas, nas quais apresentam fragmentos esferoidais juvenis, mostrando que houve a interação de uma grande quantidade de voláteis com sedimento fino.

Cloos (1941) definiu que é chamada de tufisito a rocha formada em condições subterrâneas, onde ocorreu o fraturamento da encaixante pela alta

concentração de voláteis, e conseqüente fragmentação e mistura dos clastos por fluidização.

Este tipo de rocha vulcanoclástica associada a intrusões recebe o nome de brecha-tufisítica. Esta nomenclatura é aplicada a brecha-tufos intrusivos e relacionados a chaminés, diques e soleiras, nas quais os constituintes são de origem magmática (juvenil) acompanhados de fragmentos derivados da parede do conduto vulcânico e das encaixantes. (Le Maitre, 2002). Cas *et al.* (2008) define clastos juvenis como clastos de material derivado do magma em erupção, além de incluir os lápilis acrescionários como clastos juvenis, pois eles contem cinza fina juvenil significativa, e são geradas durante a erupção explosiva.

Cas (2008a) sugere que nova nomenclatura dessas rochas vulcanoclásticas seja adotada. Segundo o autor o termo brecha-tufisítica kimberlítica, rocha que possui processo genético análogo a brecha-tufisítica lamprofírica usada neste trabalho, seja abandonado, pois não é um termo descritivo e informativo, além da incerteza que causa sobre o que ele representa e de ser processo de formação. O autor aponta que o uso do termo brecha-tufisítica implica em admitir que as diferentes fácies do conduto possuíram os mesmos processos de formação e que as condições envolvidas eram as mesmas. Assim, conclui que uma nomenclatura textural sedimentar análoga aplicada à vulcanologia, ajudaria a entender a textura dessas rochas.

Então sugere um esquema de classificação que difere de outros esquemas de classificação petrológica que são baseadas apenas na mineralogia e texturas, neste esquema de nomenclatura de fácies suas características petrológicas, assim como condições deposicionais tanto quanto estruturas e texturas deposicionais, relações de contato e contexto são incluídas.

Portanto, o autor sugere que brechas-tufisíticas sejam descritas como rochas maciças, mal selecionadas, preservam uma textura tipo *wackestone* a *packstone*, indicando a presença de uma matriz fina original. Porém, esses termos sedimentológicos implicam em sugerir que essas rochas não sofreram processos de fluidização intensa, pois essas texturas indicam que a matriz original já era de material fino, mesmo com a alteração.

Devido às características dos constituintes destas rochas, torna-se necessária uma rigorosa análise petrográfica para separar as fases conatas daquelas originadas de líquidos parentais, de magmas relacionados, mantélicas ou até acidentais (xenocristais). A análise deve ser submetida aos minerais da matriz e também aos fenocristais que cristalizaram a partir do próprio magma lamprófico, mostrando um equilíbrio com a matriz.

Os lamprófiros contêm, normalmente, um ou mais minerais típicos de rochas alcalinas. Entre eles destacam-se anfibólios e piroxênios alcalinos, flogopitas ricas em Ba e Ti, Ba-K-feldspatos, feldspatóides, granada melanítica, monticelita, provskita, etc. Alguns destes minerais raramente ocorrem em outras rochas ígneas, sendo por isso diagnósticos no reconhecimento de rochas lampróficas.

#### **2.1.4 Geoquímica dos Lamprófiros**

Ao contrário do que ocorre em outras rochas ígneas, como andesitos e basaltos, que evidentemente foram originados a partir de magmas de composições distintas, os diferentes tipos petrográficos de lamprófiros podem ter sido formados de um mesmo magma-tipo, isso se deve ao fenômeno de heteromorfismo. Portanto, todas as discussões a respeito desses litotipos, devem levar em conta a composição do líquido magmático, e não das diferentes rochas que podem cristalizar a partir deles.

Quando um magma submetido a diferentes condições cristaliza mais de um tipo de assembléia mineral, se diz que esse magma sofreu o fenômeno chamado de heteromorfismo. As rochas formadas a partir desse fenômeno são chamadas de heteromórficas, apresentando a mesma composição química, porém com diferentes composições modais, podendo ser local ou global. O tipo local é consiste na coexistência de heteromorfos dentro de um mesmo corpo ígneo. O heteromorfismo global é quando se tem várias rochas-tipo de composições globalmente idênticas.

Geneticamente é proposto um espectro contínuo de 4 magmas-tipo, normalmente gradacionais entre si, embora haja a separação petrográfica dos lamprófiros em 3 grupos gradacionais (CAL, AL e UML). (quadro 2).

	Composição	Rocha derivada	Saturação em sílica	Saturação em Al	Na/K	Regime	Ambiente tectônico	Associação magmática	Inclusões	Primário ?
M1	Basanítica-melilitítica	Todos: AC, AM Algun: UL, UP	Subsaturada  (ne e lc normativa)	Saturado  (an normativa)	Sódico	Continental e oceânico	Ilhas oceânicas, rifts, junções tríplices, zonas de subducção	M	Mantélicas comuns; crustais podem ocorrer	Alguns
M2	Sílico-carbonatítica	UA, UD, UO	Ultra-alcalina (ka, la normativa)	Variável (an/ac normativa)	Sódico-potássico	Continental e oceânico	Ilhas oceânicas, rifts	S	Mantélicas comuns; crustais podem ocorrer	A maioria
M3	Ultrabásica, ultra-alcalina	KIL Gr. I	Ultra-alcalina (ka, la normativa)	Saturado (an normativa)	Potássico	Somente continental	Crátons estáveis e margens cratônicas	R	Mantélicas comuns; crustais podem ocorrer	A maioria
M4	Ultrabásica, ultra-alcalina	KIL Gr. II Olivina-lamproíto	Ultra-alcalina (ka, la normativa)	Saturado (an normativa)	Potássico	Somente continental	Crátons estáveis (somente África do Sul ?)	R	Mantélicas comuns; crustais comuns	A maioria
M5	Lamproítica	A maioria dos lamproíto	Variável (qz, ne normativa)	Perpotássico (ks normativa)	Ultra-potássico	Somente continental	Crátons estáveis, cinturões móveis, relacionado à subducção ?	R	Mantélicas podem ocorrer; crustais podem ocorrer	A maioria
M6	Shoshonítica	CM (e.g. tipo Navajo); algum LC	Variável (qz, ne normativa)	Variável (an/ac normativa)	Shoshonítico	Somente continental	Relacionado à subducção, rifts, greenstone belts	R	Mantélicas podem ocorrer; crustais comuns	Alguns
M7	Cálcio-alcalina alto-K	Algun: CM; a maioria CV, CK, CS, CA	Variável (qz, ne normativa)	Variável (an/ac normativa)	Shoshonítico	Somente continental	Cinturões orogênicos, rifts, arcos de ilha, greenstone belts	A, B, C	Mantélicas ausentes; crustais comuns	Alguns

Quadro 2 - Tipos de magmas lamprofíricos (modificado a partir de Rock, 1991). Legenda: AC = Camptonito; AM = Monchiquito; UL = Alnoíto; UP = Polzeíto; UA = Ailiquito; UD = Damkjernito; UO = Ouaquitito; KIL = Kimberlito; CM = Minete; LC = Cocito; CV = Vogesito; CK

## 2.2 OCORRÊNCIAS NO RIO GRANDE DO SUL

No sul do Brasil foram descritas ocorrências de lamprófiros e lamproítos (*e.g.* Boff e Ferron, 1996; Issler e Roisenberg, 1972; Caldasso e Sander, 1994), porém os dados apresentados são gerais, destacando-se a ausência de investigações específicas relacionadas a litoquímica e química mineral. Caldasso descreveu uma ocorrência de um dique de rocha alcalina subsaturada nas proximidades da cidade de Canguçu/RS, possuindo feldspato alcalino, feldspatoide e máficos, além de zircão, apatita e opacos, podendo ser caracterizada como fonolito. O fonolito está associado a uma rocha brechada na forma de diatrema, possuindo fragmentos de quartzito, granito, milonito e andesito. Tanto os fragmentos quanto os fenocristais e cristais da matriz da rocha possuem texturas que indicam fluidização.

Lima e Nardi (1991, 1998), destacam as ocorrências de lamprófiros espessartíticos (potássicos) na região de Lavras do Sul. Petrograficamente, os lamprófiros da ASLS possuem textura panidiomórfica, com fenocristais de anfibólio e clinopiroxênio. Geoquimicamente possuem conteúdos mais elevados de álcalis, MgO, Ni e Cr e mais baixos de  $Al_2O_3$ , Sr, Zr e Nb, quando comparados com litotipos com composições traquiandesíticas presentes nessa região. Segundo Lima (1998), estes podem ter sido gerados pela modificação de um líquido básico shoshonítico por mecanismos de assimilação de crosta continental. Podendo-se correlacioná-los aos estágios finais do magmatismo shoshonítico.

Dados isotópicos de U-Pb em zircões do núcleo shoshonítico do Complexo Granítico de Lavras do Sul indicam idades de  $592 \pm 5$  Ma (Remus *et al.*, 1997). As baixas razões iniciais de isótopos de  $Sr^{87}/Sr^{86}$  em torno de 0,704, aliadas à presença de basaltos shoshoníticos indicam a dominância de fontes mantélicas na geração deste magmatismo (Nardi e Lima, 2000).

A importância econômica destes terrenos é bem ilustrada no trabalho de Heithersay e Walshe (1995), onde estes autores discutem a estrita vinculação dos sistemas tipo pórfiro ou Au epitermal com complexos vulcânicos shoshoníticos, muitos com rochas espessartíticas. Esta relação deve-se a um grupo de fatores como a elevada temperatura destes magmas, a fonte predominantemente mantélica e a expressiva participação de voláteis, registrada especialmente nos lamprófiros e nos termos mais diferenciados.



### 2.3 MINERALIZAÇÕES EM LAMPRÓFIROS

No final dos anos 70 a descoberta de minas de diamante e ouro-sulfetos associados a lamprófiros determinou o incremento no volume de dados, que levaram a novas interpretações sobre a origem e evolução destas rochas. Estudos recentes investigam a íntima relação entre lamprófiros e depósitos de elementos do grupo da platina (EGP), mostrando que existe a potencialidade de mineralizações do tipo ouro-sulfetos em lamprófiros potássicos. Essa evidência permitiu aumentar o interesse científico, demonstrando a importância econômica deste segmento de rochas ígneas. Segundo Müller e Grooves (1997) os depósitos de EGP em intrusões máficas-ultramáficas apontam para um enriquecimento congruente de metais preciosos em partes do manto, pois esses elementos se comportam de maneira incompatível no manto, permanecendo na olivina (Fo) durante a fusão parcial, constituindo o resíduo da fusão.

A importância econômica destes terrenos é bem ilustrada no trabalho de Heithersay e Walshe (1995), onde estes autores discutem a estreita vinculação dos sistemas tipo pórfiro ou Au epitermal com complexos vulcânicos shoshoníticos, muitos com rochas espessartíticas. Esta relação, de acordo com estes, deve-se a um grupo de fatores como a elevada temperatura destes magmas, a fonte predominantemente mantélica e a expressiva participação de voláteis (condições potencialmente apropriadas para o transporte de Au do manto para crosta), registrada especialmente nos lamprófiros e nos termos mais diferenciados.

A discussão petrogenética sobre a origem dos magmas lamprofíricos envolve essencialmente duas de suas principais características: o enriquecimento em elementos incompatíveis e em voláteis (e.g. Allan e Carmichael, 1984; Barreiro e Cooper, 1987; Müller *et al.*, 1993; Beard *et al.*, 1996) sugerem que os líquidos lamprofíricos podem ser representantes ou derivados de pequenas quantidades de fusão do manto superior, ou de maiores proporções de fusão de uma fonte mantélica metassomatizada. Porém a ocorrência de alguns corpos lamprofíricos com a ausência dessas mineralizações (Ashley & Cook, 1994), dão margem para a discussão sobre a correlação genética entre estes depósitos mesotermiais de ouro e os lamprófiros. Uma das hipóteses é se os magmas lamprofíricos forneceria componentes hidrotermais (incluindo os metais) e o calor para produzir os sistemas hidrotermais. Outra hipótese seria se essas rochas simplesmente compartilham o

mesmo controle estrutural como o sistema de veios mesotermiais, sem interação dos componentes.

Essa hipótese é sugerida por Rock (1991) quando ressalta que magmas cálcio-alcálicos fornecem um *overlap* de mineralização de ouro ao mesmo tempo e espaço, sendo freqüentemente as únicas rochas a serem posicionadas ao mesmo tempo que a mineralização. Entretanto, devido essa tendência, algumas associações ouro-lamprófiros são puramente espaciais. A hipótese de que partes profundas do manto e do núcleo sejam enriquecidas em ouro, devido a diferenciação primitiva da Terra, juntamente com a evidência de que os magmas lamprofíricos se originam em regiões profundas, corrobora com a ideia que esses magmas podem ter a capacidade de transportar o ouro. Além da característica dos líquidos lamprofíricos serem similares aos fluídos mineralizantes em sistemas de alteração de ouro, sendo, portanto, um fácil transportador da mineralização. Isso é evidenciado tanto pela mineralogia, quanto a alteração de *wall-rock* em torno dos depósitos de ouro mesotermiais, e pela química total, indicado pelos altos teores de K, Rb, Ba, CO<sub>2</sub> e moderados valores de S e baixos de Cl.

Porém, outros tipos de mineralizações são associados a estes depósitos. As características químicas dos lamprófiros como o enriquecimento em F, Cl, S, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, quando comparados a maioria das rochas ígneas, juntamente com características de formação dessas rochas, conferem a estes líquidos de composição lamprofírica a capacidade de dissolver e transportar elementos que formam complexos solúveis com uma ou mais dessas ligas.

A natureza intrusiva dos magmas lamprofíricos é estudada por Currie & Ferguson (1970), onde os sistemas de repetidas perfurações explosivas pelas fases voláteis nas rochas encaixantes, seguida da resolução de voláteis dentro de líquido lamprofíricos, são trabalhos, e observa-se a possibilidade de dissolução de certos elementos a partir das rochas encaixantes. Entre estes elementos, destacam-se os metais de transição Zr, Th e U, nos quais os lamprófiros são conhecidos por apresentarem enriquecimento. Embora não haja nenhum dado concreto, é possível sugerir que essas rochas também podem ser enriquecidas em metais como Mo, Sn, W, etc. Com as evidências da origem profunda, pode-se pensar que esses magmas podem não somente abrir partes inacessíveis da Terra, podendo ser intrinsecamente enriquecidas em muitos desses elementos, mas transportá-los em seu caminho até

a crosta. Portanto, é possível esperar que os lamprófiros sejam associados com diversos depósitos minerais, por seu amplo enriquecimento de elementos raros.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão detalhadas as metodologias utilizadas no projeto, bem como os riscos e as dificuldades e o cronograma nas quais essas atividades serão realizadas.

#### 3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Revisão bibliográfica; compilação de dados; aquisição de imagens de satélite e fotografias aéreas; seleção de áreas alvos.

Nesta etapa foi realizada a leitura de artigos e publicações sobre lamprófiros, bem como a aquisição de informações, mapas e figuras relativas ao contexto geológico regional das áreas estudadas.

#### 3.2 ETAPA DE LEVANTAMENTO GEOLÓGICO BÁSICO

Esta etapa foi realizada entre os dias 27 de abril e 3 de maio do presente ano. Nesta etapa foram também utilizadas imagens de satélite do sensor TM - LANDSAT 7 e ASTER em formato digital e com complemento de fotografias aéreas (escalas 1:60.000 e 1:25.000), com o objetivo de definir as principais estruturas tectônicas e a disposição das principais unidades litoestratigráficas da área. Estes dados, juntamente com outros reunidos a partir de campanhas de trabalho de campo, permitiram a construção de bases geológicas destacando as ocorrências de rochas lamprófíricas. As atividades de campo envolveram, principalmente, o mapeamento de detalhe através de análise faciológica, levantamento estrutural e a coleta de amostras para petrografia, geoquímica de rocha total e isotópica.

A análise faciológica foi baseada na descrição dos diversos litotipos e organização das fácies, com o objetivo de definir as relações espaciais e temporais entre os vulcanitos e os lamprófiros.

O levantamento estrutural objetivou a análise das estruturas e a distribuição dos lamprófiros, coletando-se um número significativo de medidas por afloramento;

### 3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

Neste item são descritas as atividades realizadas em laboratório.

#### 3.3.1 Petrografia de Luz Transmitida

Nesta etapa foi feita a descrição petrográfica de cerca de 6 lâminas delgadas. Os estudos petrográficos visaram a identificação dos constituintes e texturas diagnósticas para a definição do tipo de lamprófiro e evolução petrogenética.

#### 3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram realizadas três sessões para estudos relacionados a matriz dos lamprófiros, bem como dos fenocristais e minerais opacos.

O microscópio eletrônico de varredura utilizado nesta etapa foi um JEOL JSM 5800 do Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS. As análises químicas foram semiquantitativas por EDS, para identificação de fases minerais e obtenção de mapas de elementos.

O procedimento para análises de MEV e a metalização da lamina ou amostra e pode ser realizada, por exemplo, com C, Au e Pd. Esse procedimento e realizado para a condução de elétrons pela amostra, pois abundância de elétrons sendo detectados pode gerar imagens distorcidas.

O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de um feixe de elétrons por um filamento de tungstênio, mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30kV. Esse feixe de elétrons e colimado para que sua parte mais coesa e sem interferências possa atingir a amostra. Quando o feixe atinge a amostra, os elétrons dos elementos são arrancados, podendo ser arrancados das partes mais superficiais da amostra, gerando a imagem de elétrons secundários ou da parte mais interna, que e chamada imagem de elétrons retroespalhados.

No caso da detecção de elétrons secundários, que são gerados a partir de colisões inelásticas com o feixe incidente, são atraídos por um campo elétrico onde

são amplificados e detectados. Para o caso dos elétrons retroespalhados (backscattered electrons), os elétrons analisados são os arrancados por colisão elástica com o feixe. Como os elementos mais pesados (com número atômico maior) exigem uma maior energia para a atração de elétrons do que os de menor número atômico, esta técnica é usada para a identificação de contrastes entre elementos.

Tem como vantagem a possibilidade de fazer o imageamento semiquantitativo da amostra, além de possibilitar a análise em amostra bruta. Porém a análise é semiquantitativa.

### 3.3.3 Litogeoquímica

Nesta etapa foram efetuadas as análises de rocha total com a obtenção de elementos maiores, elementos-traço e ETR de oito amostras lamprófiros de Vila Nova do Sul. Posteriormente, estes dados foram incorporados a um banco de dados, contendo análises de oito amostras de lamprófiros de Lavras do Sul previamente elaborado em projetos anteriores. Destas oito amostras, apenas duas foram feitas foram analisadas juntamente com os lamprófiros de Vila Nova do Sul. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos no *Activation Laboratories Ltd.* – Ontário, Canadá, utilizando a técnica de ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma – Emission Spectrometry*) para elementos maiores e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Microspectrometry*) para os elementos-traço e terras raras.

A Espectroscopia de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente é uma técnica analítica capaz de detectar composições isotópicas e concentrações de elementos-traço (incluindo ETR) presentes na amostra.

A amostra é introduzida no plasma do ICP como um aerosol, as partículas são ionizadas como partículas de Ar gasoso (para solução) ou como uma mistura de Ar/He para ablação por laser. Os íons entram no espectrômetro de massa sendo desviados e separados de acordo com suas massas, por campos magnéticos formados por magnetos posicionados dentro do aparelho. A leitura é feita através dos receptores.

A vantagem desse método é que a técnica é absoluta e não requer calibração com solução de concentração conhecida, além de ter elevada sensibilidade e precisão. É um método capaz de medir a maioria dos elementos da tabela periódica com baixos limites de detecção e boa precisão em diversas ordens de magnitude. Entretanto,

possui custo elevado, é sensível a contaminação e depende de boa qualidade de calibração do traçador.

### **3.3.4 Geoprocessamento**

Nesta fase foram incluídos os procedimentos de processamento dos dados e geração de um banco de dados georreferenciados, para a geração de mapas temáticos e modelamento final das áreas estudadas.

a) edição da carta base digital: digitalização das curvas de nível, da rede de drenagem, estruturas das áreas e geração do modelo numérico do terreno (MNT), utilizando-se as cartas topográficas 1:50.000 do SGE. Esta etapa utilizou um sistema CAD para registro das informações vetoriais e SIG para geração da MNT com base em coordenadas UTM.

b) tratamento das imagens digitais multiespectrais dos sensores Landsat 7 – sensor TM, 6 bandas, e ASTER. As imagens foram realçadas permitindo a extração de informações morfológicas, geológicas, estruturais e radiométricas da área de estudo.

c) geração do banco de dados georreferenciados: os pontos de amostragem em campo foram cadastrados em um banco de dados do SIG contendo sua caracterização geográfica, estrutural, petrológica, geoquímica e geofísica.

## **3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL DOS DADOS**

Nesta etapa foi feita a integração dos dados para construção de hipóteses sobre a origem e evolução dos lamprófiros espessartíticos na região de Vila Nova do Sul e sua relação possível com o vulcanismo shoshonítico neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense, enfatizando a potencialidade metalogenética destas áreas, para posterior elaboração da monografia final.

## 4 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A região do Cerro Tupanci pode ser considerada uma janela do Escudo Sul-Rio-Grandense, pois se encontra envolvida por coberturas sedimentares gonduânicas. Afloram nesta região litotipos relacionadas ao embasamento granítico-gnáissico do Supercomplexo Cambaí e unidades vulcano-sedimentares vinculadas a Bacia do Camaquã (Paim *et al.*, 2000): Grupo Maricá, Formação Hilário e Formação Acampamento Velho (Figura 3). Estas últimas formações representam o vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano do Escudo Sul-Rio-Grandense.

O Supercomplexo Cambaí é subdividido em Complexo Vila Nova e Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua. De acordo com o mapeamento realizado por UFRGS (2001), o Complexo Vila Nova é composto por sequências ortometamórficas, constituídas de gnaisses tonalíticos e dioríticos, que apresentam lentes alongadas de uma sequência parametamórfica, constituída de biotita gnaisses quartzosos, intercalada segundo o bandamento principal. A estrutura principal é um bandamento metamórfico de fácies anfíbolito inferior a médio, cuja posição original era subhorizontal. As rochas gnáissicas são intrudidas concordantemente pelo Tonalito Buriti, outra unidade do Supercomplexo Cambaí, constituído de biotita tonalitos foliados, sendo todo esse conjunto afetado por intenso dobramento que evolui para zonas de cisalhamento subverticais de direção NE.

A Bacia do Camaquã é uma bacia do tipo *strike-slip*, formada nos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-africano, é caracterizada pela alternância de ciclos vulcânicos e sedimentação siliciclástica, desenvolvidos predominantemente sob condições subaéreas em ambientes continentais. (Lima *et al.*, 2007a).

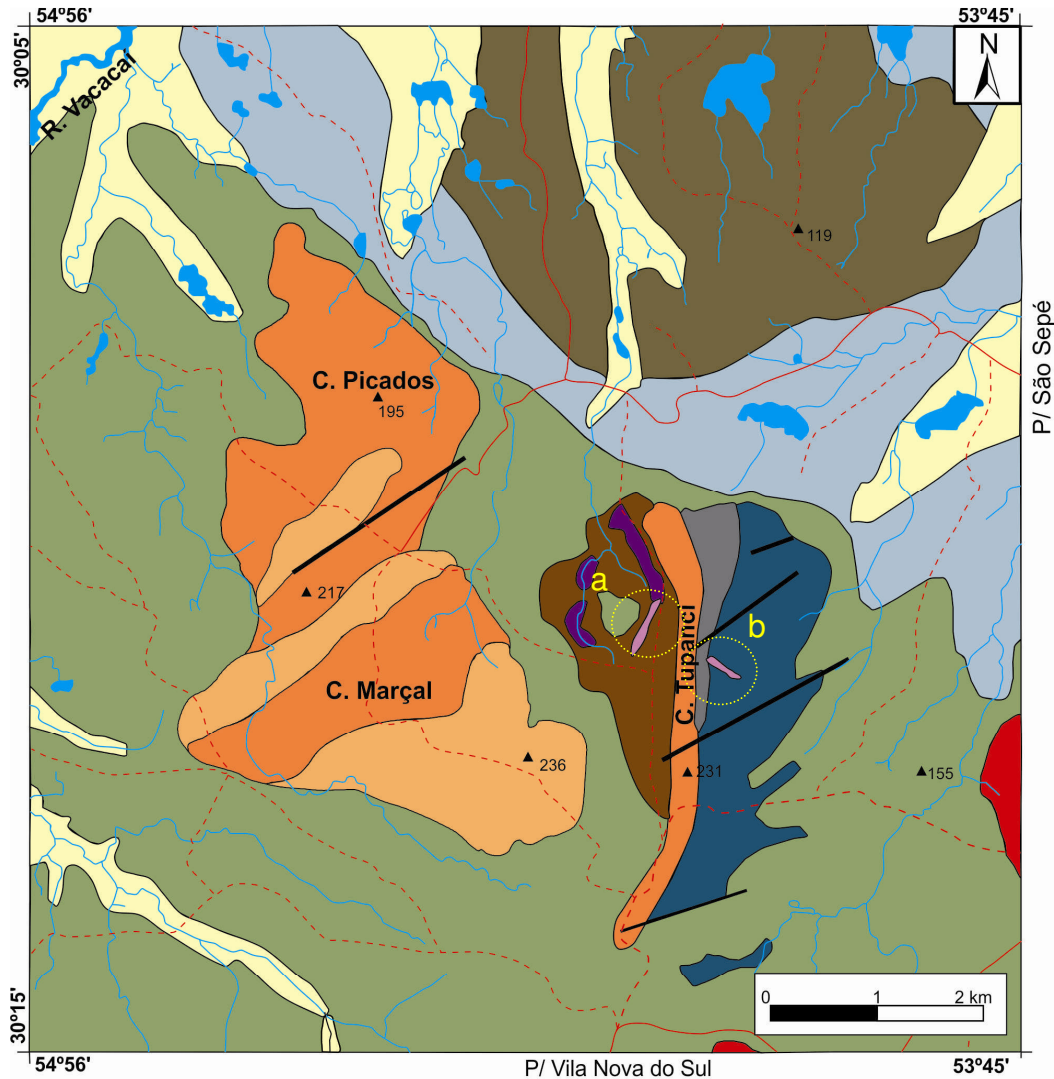
O Grupo Maricá representa a porção basal do Supergrupo Camaquã (sensu Frago-Cesar *et al.* 2003), ocorrendo apenas na Sub-Bacia Camaquã Ocidental. É constituída por depósitos de arenitos arcoseanos, localmente conglomeráticos, e subordinadamente pelitos (Pelosi *et al.*, 2003). Na região do Cerro Tupanci, este pacote está recoberto por derrames andesíticos relacionados a Formação Hilário.

A Formação Hilário é um conjunto de rochas vulcânicas e hipabissais associadas, intercaladas e gradualmente sucedidas por conglomerados ricos em clastos vulcânicos e por depósitos arenosos e pelíticos. (Lima *et al.*, 2007). As rochas desta unidade foram descritas por esses autores como sendo de afinidade

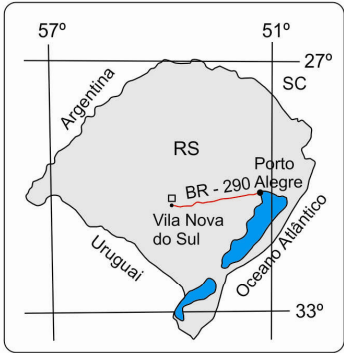


shoshonítica, apresentando grande variação composicional desde termos mais básicos a ácidos. Já o vulcanismo da Formação Acampamento Velho sucede o magmatismo shoshonítico, sendo descrito como uma associação bimodal constituída predominantemente de rochas ácidas, com termos básicos subordinados, relacionado a um magmatismo alcalino sódico e saturado em sílica. As relações estratigráficas desta formação tem sido discutida por diversos autores, como (Wildner *et al.*, 1999, 2002; Sommer *et al.*, 1999, 2005, 2005a; Almeida *et al.*, 2002), sendo definidas as regiões do Platô da Ramada e do Cerro Tupanci, em Vila Nova do Sul, o Platô do Taquarembó, em Dom Pedrito, e nos Cerros do Bugio e Perau, em Caçapava do Sul, as melhores exposições desse magmatismo.

Na região do Cerro Tupanci os riolitos hipabissais vinculados a Formação Acampamento Velho ocorrem na forma de um corpo intrusivo alongado e de grandes dimensões que cortam as unidades anteriores.



FOLHA RIO VACACAÍ (SH.22-Y-A-I-1) PARCIAL  
 Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG - Sistema de Projeção: LAT/LONG



**LEGENDA**

Estrada Principal	Ponto Cotado
Estrada Secundária	Contatos
Drenagem	Falhas

COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA		
IDADE	UNIDADE	LITOLOGIA
Quaternário	—	Areias e Argilas Aluvionares
	Fm. Irati	Folhelhos silticos e betum.
	Fm. Palermo	Folhelhos e Siltitos cinza
Permo - Carbonífero	Fm. Rio Bonito	Arenitos ferruginosos e silt.
	Fm. Ac. Velho	Riolitos
Ordoviciano Cambriano	Fm. Hilário	Ignimbritos
		Granito São Sepé
		Lamprófiro
		Andesitos
Eo - Cambriano	Gr. Maricá	Siltitos, Ardósias e Arcóseos
Pré - Cambriano	Supercomplexo Cambaí	Microgranitos
		Granitóides deformados e xenólitos gnáissicos

Figura 3 - Localização e contexto geológico regional da área de estudo, mostrando a localização com corpos lamprofíricos: a – Brecha-tufística lamprofírica; b – Lamprófiro espessartítico. Figura modificada de Menegotto e Medeiros (1976).

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DOS LAMPRÓFIROS DA REGIÃO DO CERRO TUPANCI

Os lamprófiros da região do Cerro Tupanci ocorrem na forma de dois corpos intrusivos, com características petrográficas e composicionais distintas. (Figura 3).

O corpo principal ocorre como um dique de direção N-NE, com espessuras médias de 40 m e comprimento estimado de 300 m, alinhado à drenagem. É constituído por uma rocha vulcanoclástica, caracterizada por fragmentos líticos de andesitos, espessartitos e xenólitos máficos/ultramáficos com formas e dimensões variáveis. (Figura 4). Sendo intrusivo nas rochas andesíticas da Formação Hilário e observa-se um aumento no tamanho dos fragmentos líticos em direção as rochas encaixantes. Observa-se em algumas porções a presença de carbonatos preenchendo interstícios entre os fragmentos, indicando a presença de voláteis. (Figura 5).

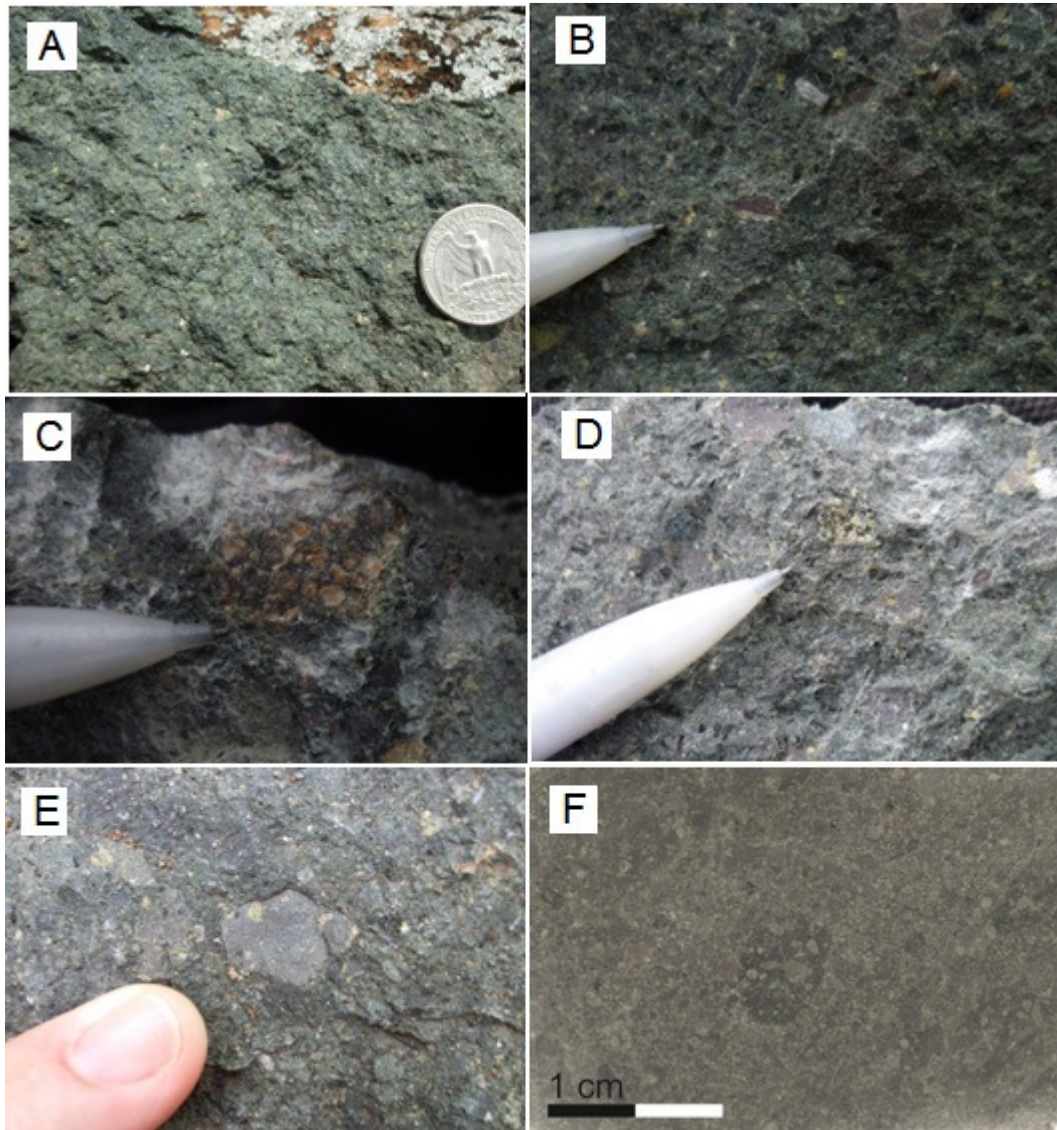


Figura 4 - Fotografias mostrando as principais feições macroscópicas da brecha-tufisítica lamprofírica: (A) e (B) amostras da brecha; (C) clasto de andesito; (D) xenólito ultramáfico; (E) e (F) clasto de espessartito.



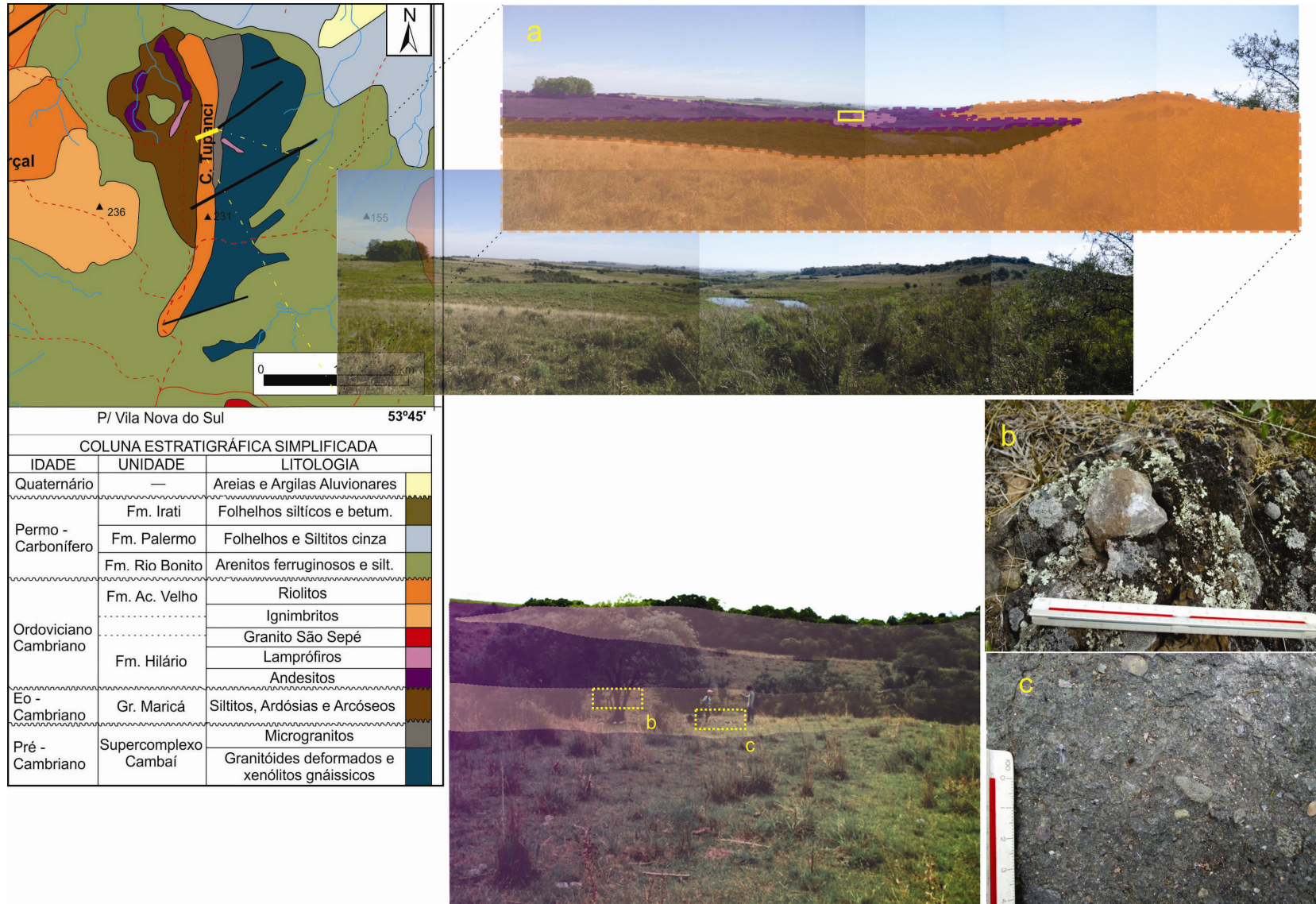


Figura 5 - Fotografia tirada em direção NW em cima do Cerro Tupanci, mostrando as relações estratigráficas das unidades vulcano-sedimentares da região. Em a: panorâmica da região onde aflora o dique da brecha-tufisítica lamprofírica. Em b e c: amostras retiradas na porção de borda do corpo intrusivo e porção mais interna do corpo, respectivamente.

Este tipo de rocha vulcanoclástica associada a intrusões recebe o nome de brecha-tufisítica. Esta nomenclatura é aplicada a brecha-tufos intrusivos e relacionados a chaminés, diques e soleiras, nas quais os constituintes são de origem magmática (juvenil) acompanhados de fragmentos derivados da parede do conduto vulcânico e das encaixantes. (Le Maitre, 2002). Cas *et al.* (2008) define clastos juvenis como clastos de material derivado do magma em erupção, além de incluir os lópilis acrescionários como clastos juvenis, pois eles contem cinza fina juvenil significativa, e são geradas durante a erupção explosiva.

Cas (2008a) sugere que nova nomenclatura dessas rochas vulcanoclásticas seja adotada. Segundo o autor o termo brecha-tufisítica kimberlítica, rocha que possui processo genético análogo a brecha-tufisítica lamprofírica usada neste trabalho, seja abandonado, pois não é um termo descritivo e informativo, além da incerteza que causa sobre o que ele representa e de ser processo de formação. O autor aponta que o uso do termo brecha-tufisítica implica em admitir que as diferentes fácies do conduto possuíram os mesmos processos de formação e que as condições envolvidas eram as mesmas. Assim, conclui que uma nomenclatura textural sedimentar análoga aplicada à vulcanologia, ajudaria a entender a textura dessas rochas. Então sugere um esquema de classificação que difere de outros esquemas de classificação petrológica que são baseadas apenas na mineralogia e texturas, neste esquema de nomenclatura de fácies suas características petrológicas, assim como condições deposicionais tanto quanto estruturas e texturas deposicionais, relações de contato e contexto são incluídas.

Portanto, o autor sugere que brechas-tufisíticas sejam descritas como rochas maciças, mal selecionadas, preservam uma textura tipo *wackestone* a *packstone*, indicando a presença de uma matriz fina original. Porém, esses termos sedimentológicos implicam em sugerir que essas rochas não sofreram processos de fluidização intensa, pois essas texturas indicam que a matriz original já era de material fino, mesmo com a alteração.

Portanto, neste trabalho adotamos o termo brecha-tufisítica, pois a rocha que ocorre nessa área apresenta texturas características, que serão descritas no próximo capítulo (ver seção 5.1.1), que comprovam a alta concentração de voláteis no magma e a evidência de que essa rocha passou por processos de fluidização durante a sua formação.

A outra ocorrência de lamprófiros na região do Tupanci situa-se a sudeste da brecha tufisítica. É caracterizado por espessartitos porfíricos, com maior grau de alteração. Possui contatos encobertos, mas é intrusivo nas rochas do Complexo Cambaí (Figura 6). Possui dimensões métricas e um formato alongado segundo SE-NW.

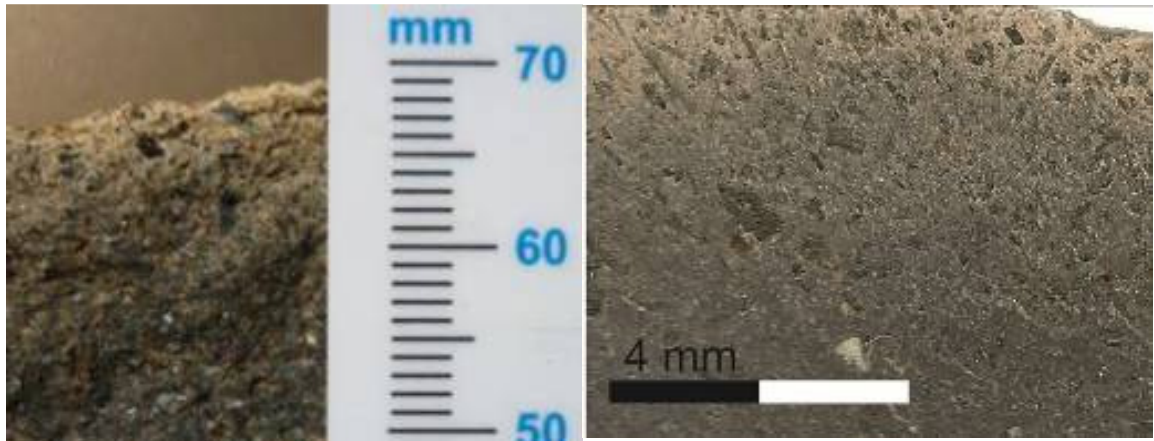


Figura 6 - Amostra do lamprófiro espessartítico, mostrando os diferentes graus de alteração da rocha.

A rocha é caracterizada por ser uma rocha maciça com textura porfírica panidiomórfica, evidenciada pela presença de fenocristais de anfibólio euédricos, subordinadamente clinopiroxênio, envoltos por uma matriz equigranular fina a afanítica, rica em plagioclásio.

## 5 ASPECTOS PETROGRÁFICOS

Neste capítulo serão descritos os principais aspectos petrográficos das rochas estudadas, como mineralogia, texturas e mineralizações associadas.

### 5.1 BRECHA-TUFISÍTICA LAMPROFÍRICA

A rocha apresenta uma textura particulada (vulcanoclástica), caracterizada pela presença de fragmentos de diferentes tamanhos e composições, envoltos por uma matriz tufácea. Adota-se para estes tipos de rochas uma classificação descritiva, baseada principalmente no tamanho dos fragmentos. (Quadro 3).

<b>Piroclástico (primário e sin-eruptivo ressedimentado)</b>	
< 0,0625 mm	Cinza fina/tufo
0,0625 – 2 mm	Cinza grossa/tufo
2 – 4 mm	Lápili extremamente fino/lapilito
4 – 8 mm	Lápili muito fino/lapilito
8 – 16 mm	Lápili fino/lapilito
16 – 32 mm	Lápili médio/lapilito
32 – 64 mm	Lápili grosso/lapilito
> 64 mm	Bomba/ aglomerado; Bloco/ brecha

Quadro 3 - Classificação genética granulométrica de depósitos piroclásticos e vulcanoclásticos unimodais bem selecionados ressedimentados ou mistos. Modificado de Cas (2005a).

Como descrito anteriormente, observa-se um aumento de granulometria dos fragmentos líticos em direção às bordas da intrusão, chegando até fragmentos tamanho bloco (> 64 mm). Mas, de uma maneira geral, a granulometria dominante dos fragmentos é do tamanho lápili (2 – 64 mm) e cinza (< 2mm), esta última dominante na matriz. (Figura 7).



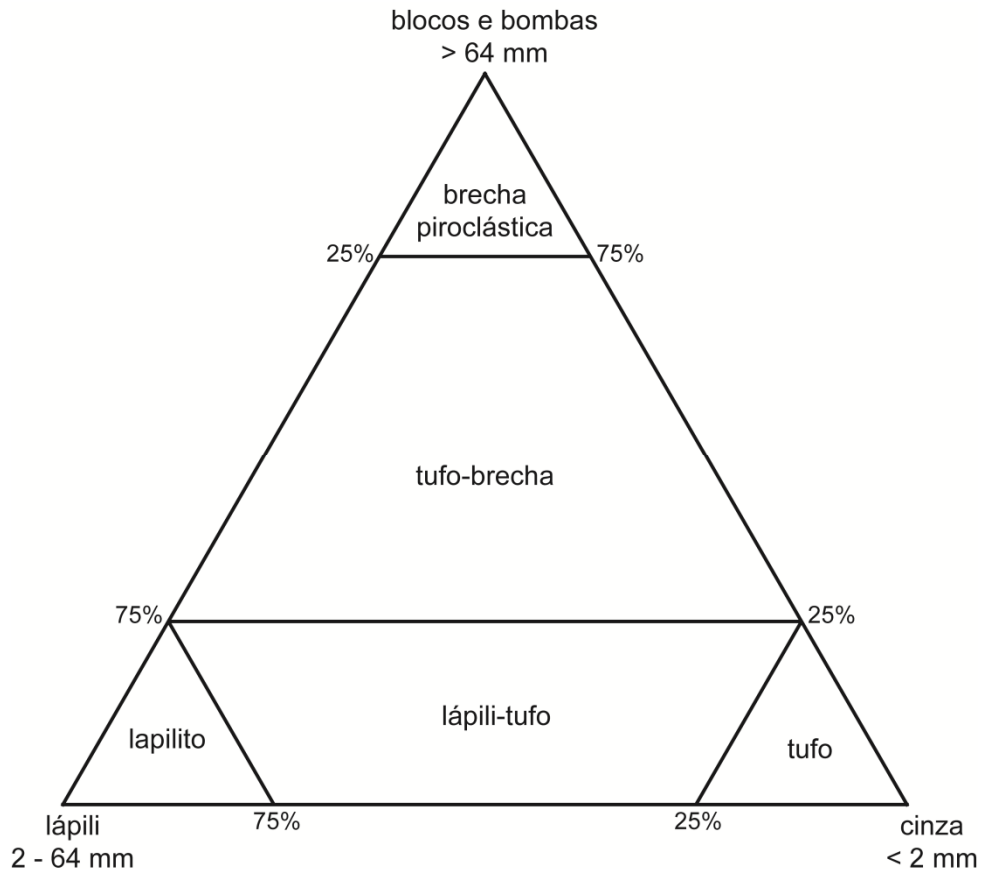


Figura 7 - Classificação granulométrica para depósitos piroclásticos primários polimodais (Modificado a partir de Fisher, 1966)

Os líticos de maiores dimensões são representados por fragmentos acidentais de rochas andesíticas (encaixantes) e cognatos de espessartitos. Esta proporção inverte-se na fração lapilítica e tufácea, onde há um amplo domínio de fragmentos de espessartitos e, subordinadamente, clastos de andesitos e xenólitos máficos/ultramáficos, provavelmente de origem mantélica. (Figura 8). Estes últimos são constituídos principalmente por clinopiroxênios, com maclas deformadas e ocasionalmente granada. Com a finalidade de estimar-se a composição destas fases minerais, foram feitas análises de EDS, utilizando-se o MEV. Os dados obtidos indicam a presença de piroxênios e granadas ricos em Ca. (Figuras 9,10, 11 e 12).

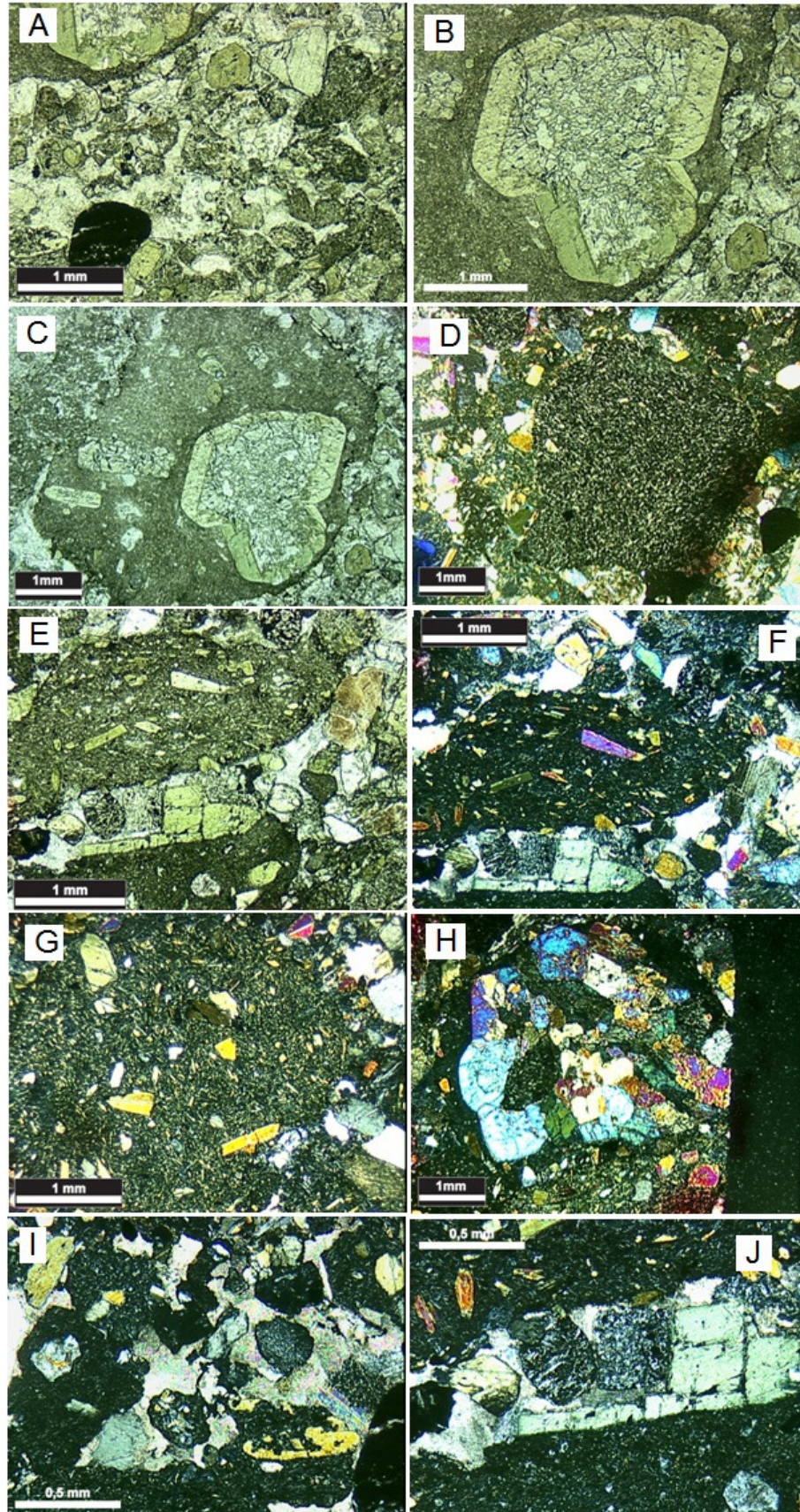


Figura 8 - Fotomicrografias mostrando as principais características microscópicas da brecha-tufisítica lamprofírica. (A), (B) e (C): aspectos gerais da lâmina; (D), (E), (F), (G) e (H): fragmentos líticos; (I) e (J): alterações.



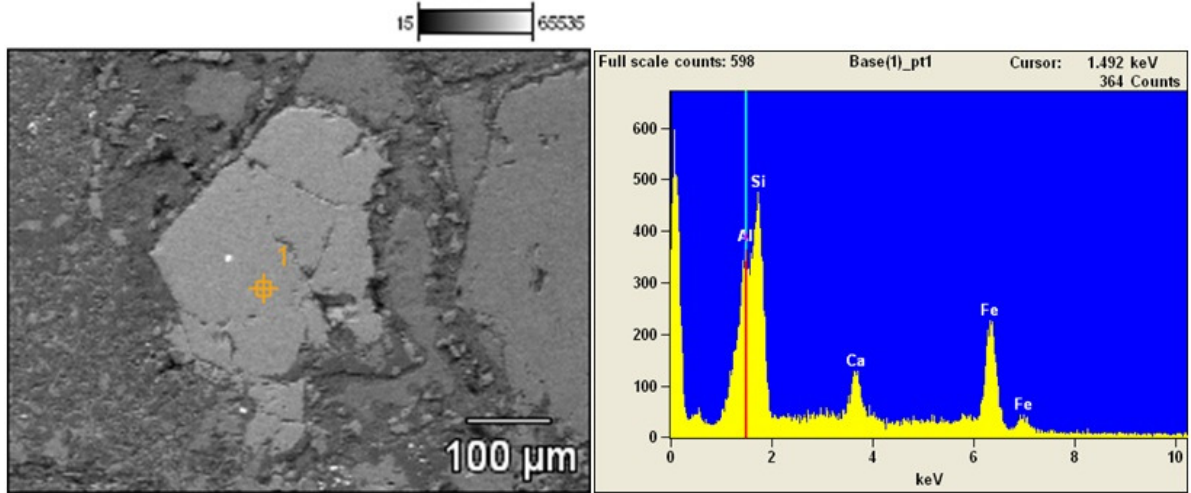


Figura 9 - Fragmento de granada analisada por EDS no microscópio eletrônico de varredura.

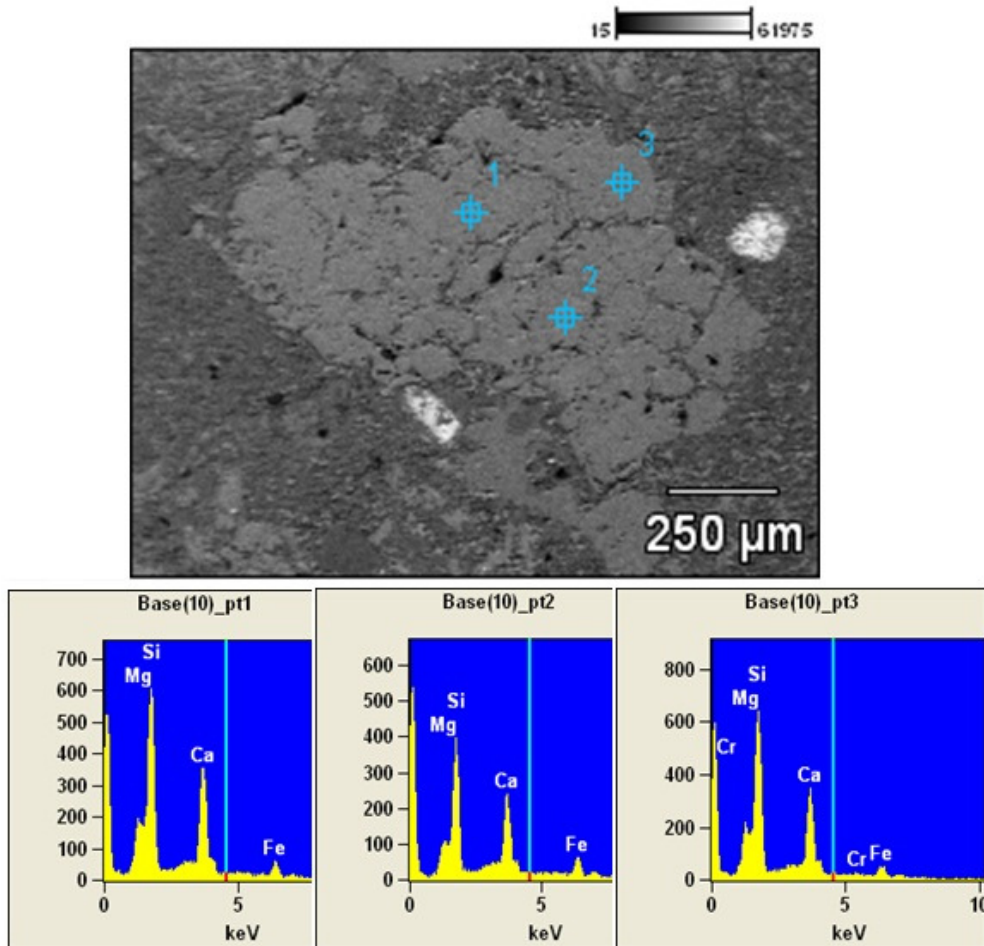


Figura 10 - Grão de piroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.

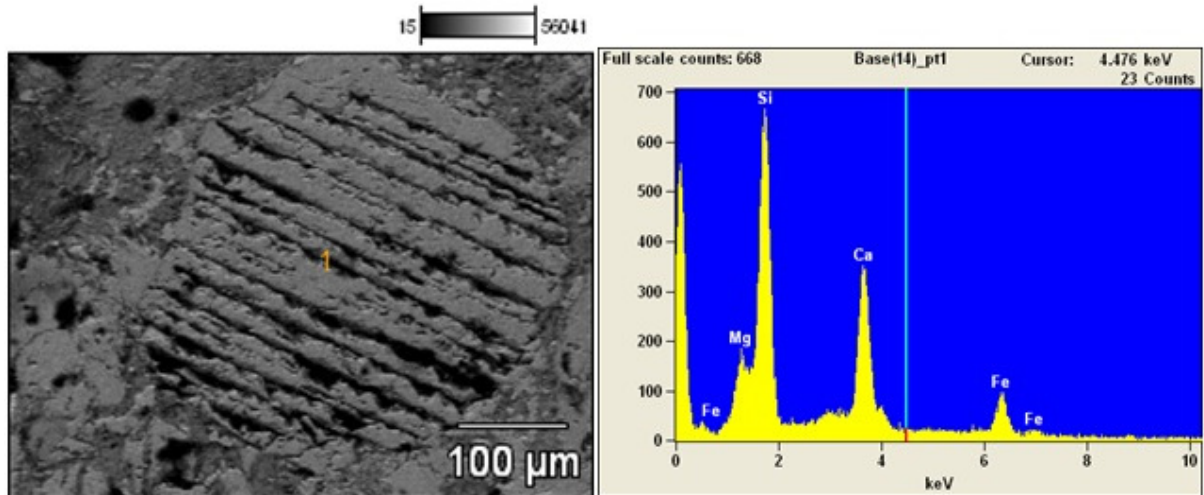


Figura 11 - Cristal de ortopiroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.

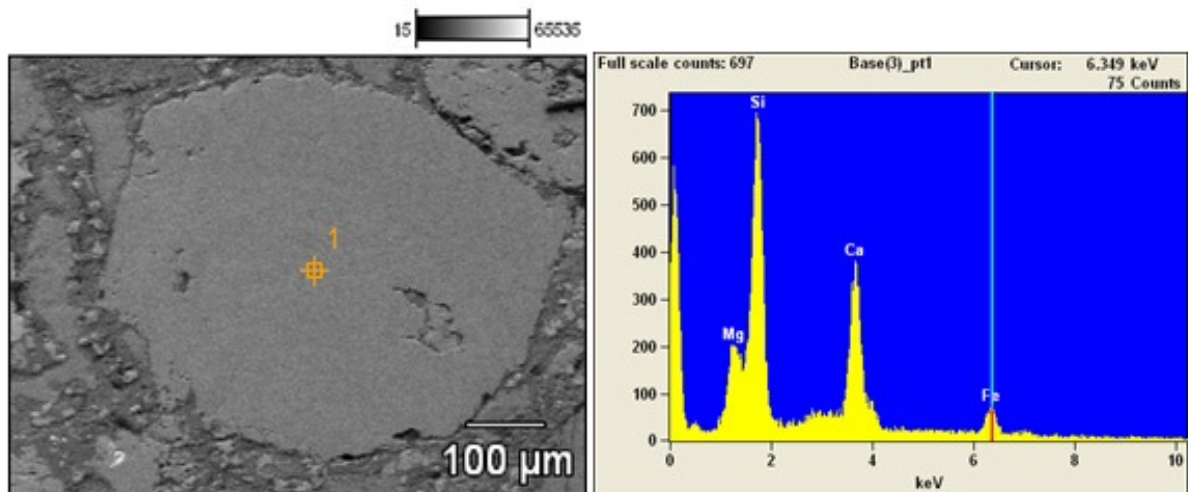


Figura 12 - Cristal de clinopiroxênio analisado por EDS no microscópio eletrônico de varredura.

Os fragmentos de espessartitos mostram-se alongados com bordas irregulares, enquanto que os de andesitos apresentam bordas arredondadas.

Na fração tufácea, além dos constituintes líticos constata-se a presença de fragmentos de cristais, principalmente anfibólios, piroxênios e plagioclásio e material originalmente vítreo e vesiculado, provavelmente púmices, indicando a alta vesiculação do sistema durante a intrusão. Alguns piroxênios podem ser identificados como ortopiroxênios com textura de intercrescimento lamelar, sendo representada por lamelas de exsolução de clinopiroxênio, podendo ser interpretado como intercrescimento no mineral hospedeiro em um estágio sólido de reação. (Figura 13). Alguns dos grãos de ortopiroxênio que não apresentam as lamelas de exsolução possuem extinção ondulante. Fenocristais de anfibólio (grupo da



hornbenda) e clinopiroxênio (grupo da augita) são comuns e se caracterizam por serem euédricos e apresentarem bordas retas. Alguns cristais possuem textura coronítica, feição interpretada como resultado de reação incompleta do mineral no núcleo com o líquido, para formar o mineral que está circundando.

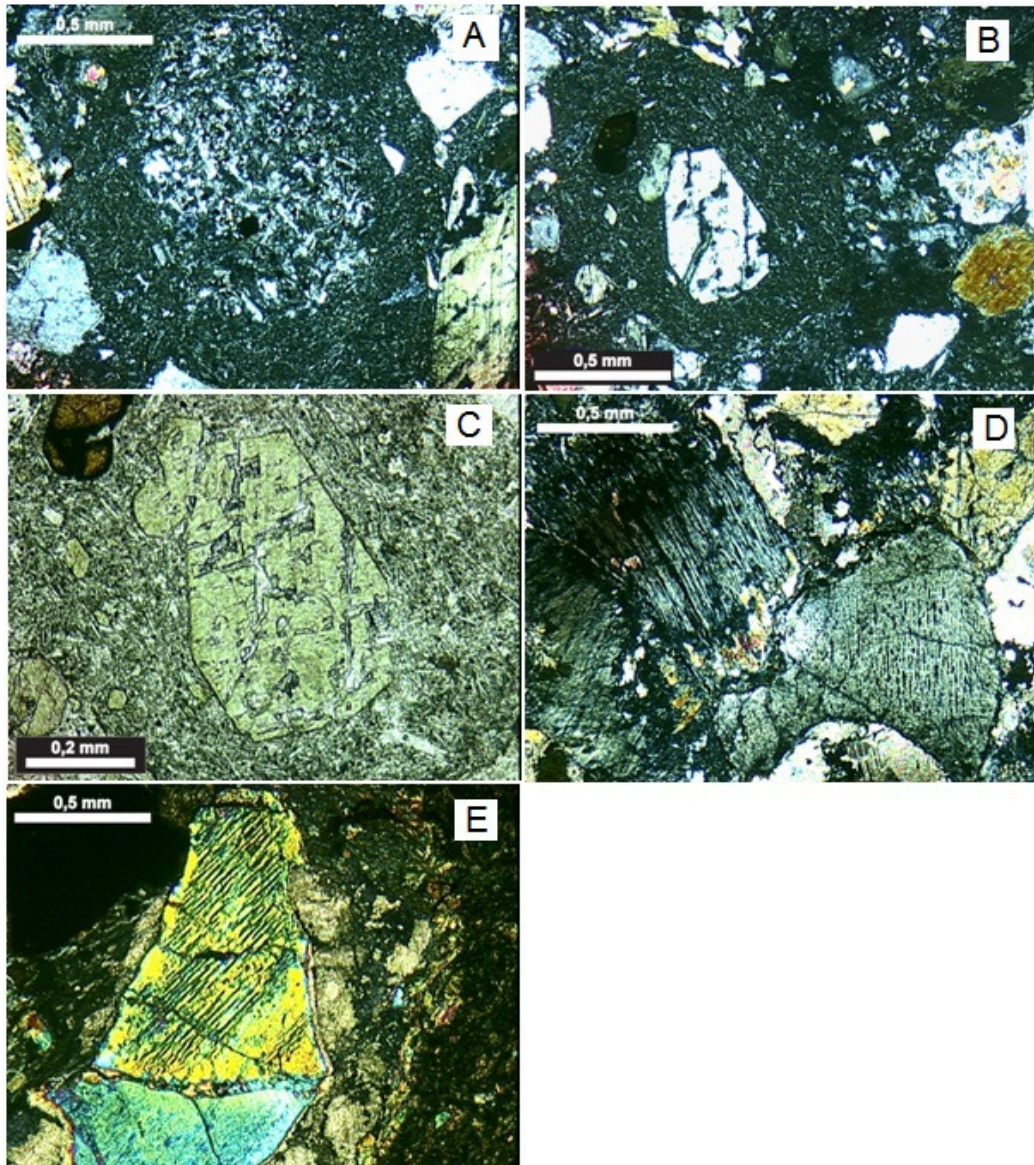


Figura 13 - Fotomicrografias mostrando os aspectos texturais da brecha-tufisítica lamprofírica. Em (A): *wrapped fragments*; (B) e (C) *spinning droplets* em LP e LN, respectivamente; em (D) e (E) exsolução de clinopiroxênio em ortopiroxênio.

Estas fases máficas foram analisadas pelo MEV (EDS) e as composições aproximadas indicaram uma característica cálcica, confirmando o sugerido anteriormente. A matriz é constituída principalmente por fragmentos de plagioclásio,

anfíbólio e clinopiroxênio, além de micrólitos de plagioclásio, cuja composição aproximada foi avaliada por MEV. (Figura 14).

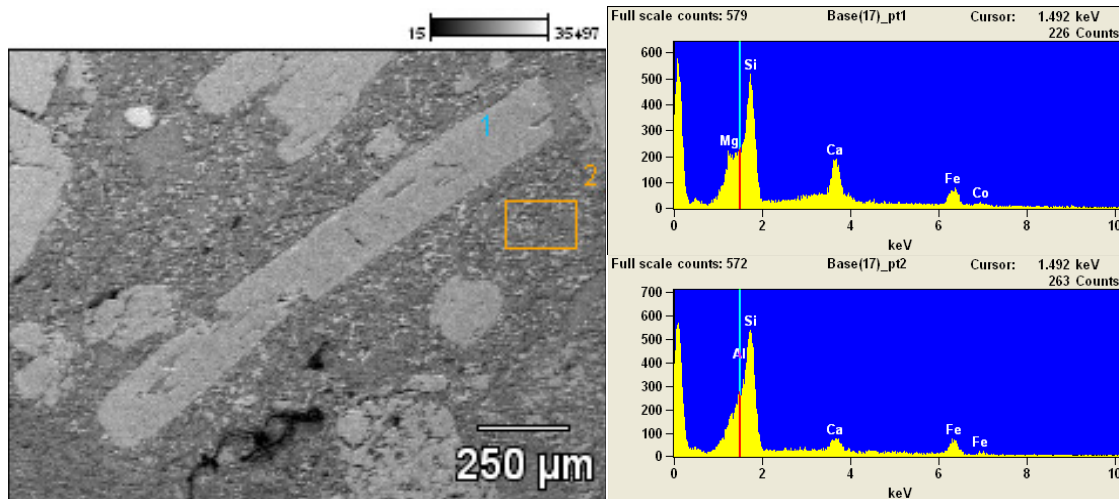


Figura 14 - Foto obtida no microscópio eletrônico e varredura e seus respectivos gráficos mostrando a composição (1) de um fenocristal de anfíbólio e (2) da matriz de plagioclásio.

Constituindo os minerais secundários observa-se a presença de carbonato preenchendo principalmente os interstícios e, subordinadamente, clorita e epidoto (Figura 8).

De acordo com as características texturais da rocha e por tratar-se de uma rocha intrusiva, optou-se adotar o termo brecha-tufisítica, seguindo as sugestões de Le Maitre, (2002). Face à composição dos constituintes juvenis (cristais) e a característica dos líticos cognatos dominantes, e seguindo-se a sugestão da IUGS para a classificação do tipo de lamprófiro, decidiu-se classificar a rocha brecha-tufisítica espessartítica.

### 5.1.1 Aspectos Texturais

A brecha lamprófica possui fragmentos juvenis esferoidais, sendo classificados como *spinning droplets* e *wrapped fragments*. As *spinning droplets* são constituídas por um núcleo de apenas um cristal de dimensões variando entre 0,5mm por 0,3 mm. Os *wrapped fragments* têm o núcleo composto por um fragmento lítico microcristalino alongado de dimensões de 0,6 mm por 1 mm A borda é composta por material fino porfírico com microfenocristais de plagioclásio e, subordinadamente, minerais opacos, orientados de maneira concêntrica. Segundo

Junqueira-Brod (2003) fragmentos esferoidais juvenis são produtos da fragmentação do magma dentro do conduto vulcânico, em um sistema fluidizado. As *spinning droplets* são as estruturas que representam os ambientes mais fluidizados. Os *wrapped fragments* são similares, porém representam um grau de fluidização intermediário.


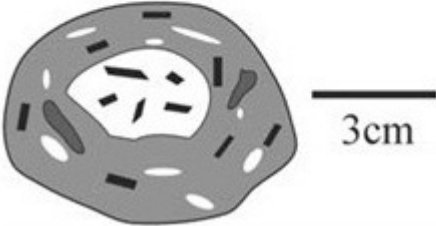
Estrutura	Tamanho	Modelo
spinning droplets	lápili	
wrapped fragments	variável	

Figura 15 - Representação esquemática dos dois tipos de fragmentos esferoidais juvenis que ocorrem na brecha-tufisítica lamprófica. (Modificado de Junqueira-Brod, 2003).

## 5.2 LAMPRÓFIRO ESPESSARTÍTICO

A rocha espessartítica possui textura panidiomórfica, representada pela dominância de fenocristais euédricos de anfibólio, mostrando textura de fluxo, numa matriz composta basicamente por micrólitos de plagioclásio. (Figura 16). Subordinadamente ocorrem fenocristais de clinopiroxênio, além de pequenas quantidades de minerais opacos dispersos na matriz.

Segundo Lima *et al.* (1991), a euedria dos fenocristais de anfibólio dos lamprófiros espessartíticos, associada à restrição de plagioclásio apenas a matriz, indica uma elevada concentração de voláteis, além de sugerir a cristalização à baixa pressão.



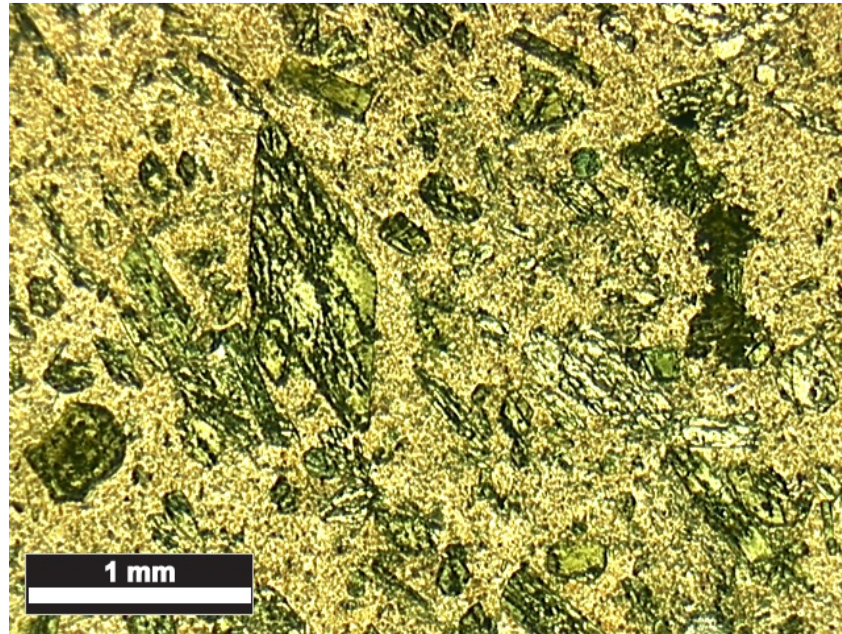


Figura 16 - Fotomicrografia em LN mostrando os principais aspectos microscópicos do lamprófiro espessartítico.

Os fenocristais de anfibólio possuem dimensões variando de 0,5 mm a 1 mm, localizadamente aglutinados, mostrando uma textura glomeroporfírica. Os fenocristais de clinopiroxênio ocorrem tanto dispersos como associados aos fenocristais de anfibólio, porém possuem dimensões menores.

O plagioclásio é o constituinte principal da matriz, mostrando uma leve alteração constituída por uma fina película de minerais argilosos. (Figura 17).



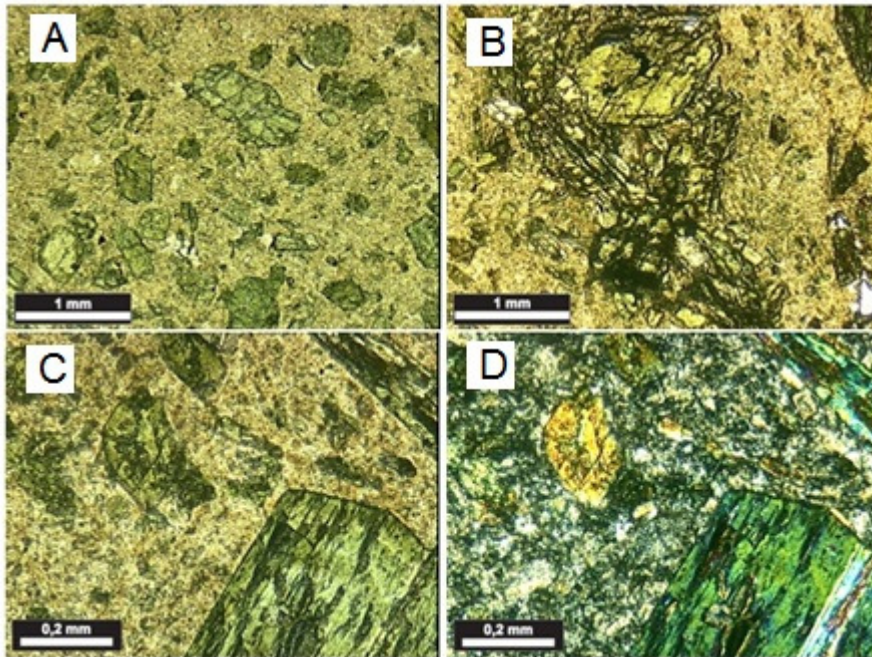


Figura 17 - (A) textura geral da lâmina; (B) textura glomeroporfirítica dos fenocristais de anfibólio; (C) e (D) detalhe da matriz composta por micrólitos de plagioclásio em LN e LP, respectivamente.

### 5.1.2 Mineralizações Associadas

A brecha lamprofírica tufisítica foi analisada através do Microscópio Eletrônico de Varredura, a fim de caracterizar os principais opacos presentes na rocha. Entre as principais fases analisadas, destacam-se sulfetos de cobre, provavelmente piritas e sulfetos de ferro e cobre (calcopirita) (Figura 18), com dimensões em torno de 100 micra e normalmente disseminados nos interstícios da matriz.

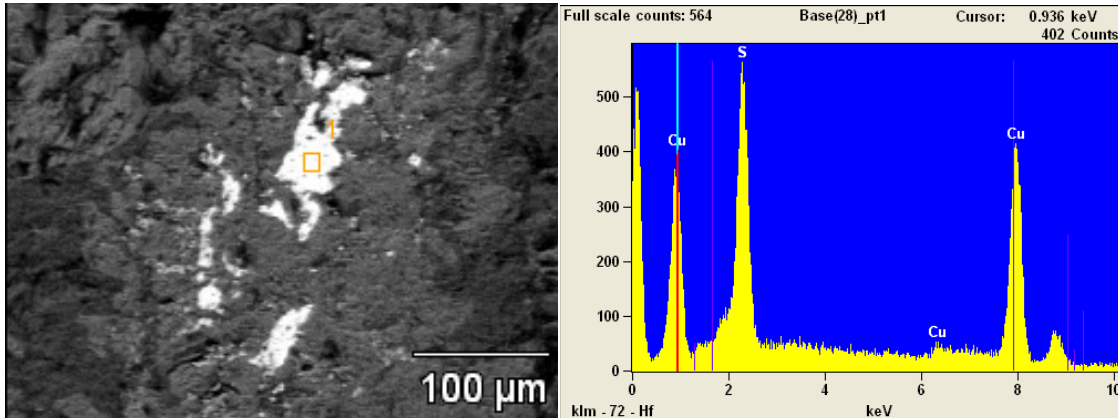


Figura 18 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura de um agregado de sulfeto de cobre disseminado na matriz.

Destaca-se nestas rochas a presença de ouro e platina, na forma de grãos subédricos, com dimensões variando entre 5 e 50 micra. (Figuras 19, 20 e 21). É comum o preenchimento de interstícios, normalmente disseminados com um material holohialino, onde observa-se a presença de Si, K, Al, Ca, Zn, S e Cl, que pode estar sugerindo um transporte destes metais por complexos predominantemente clorados.

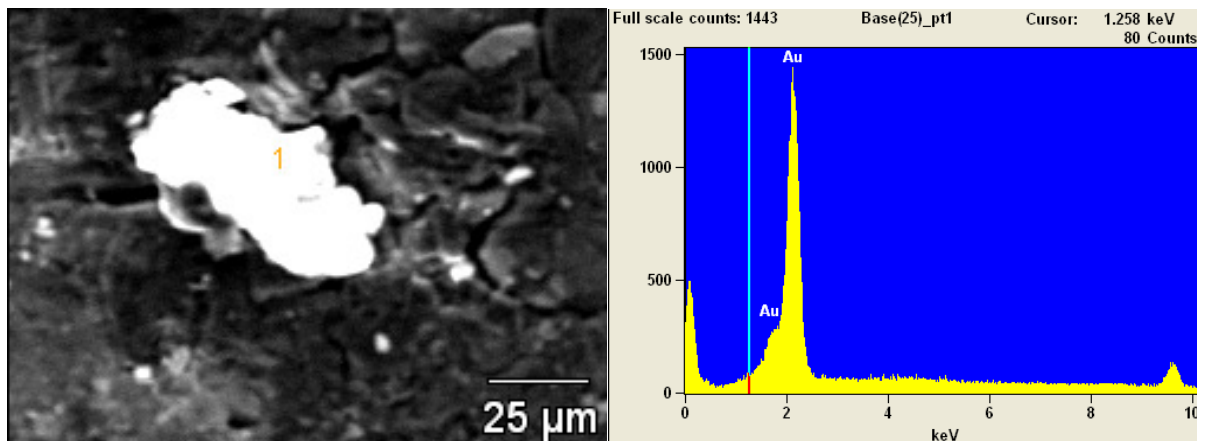


Figura 19 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando um grão de ouro disperso na matriz.

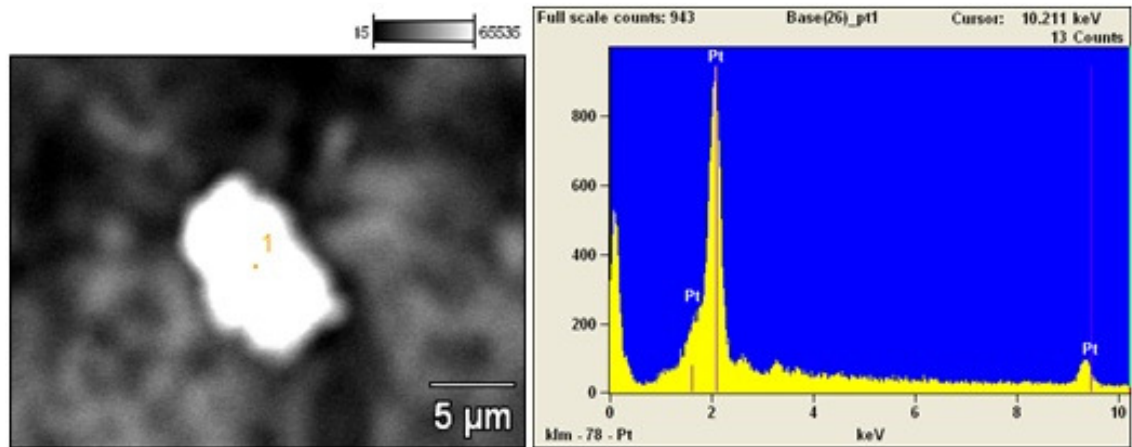


Figura 20 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando um grão de platina disperso na matriz.

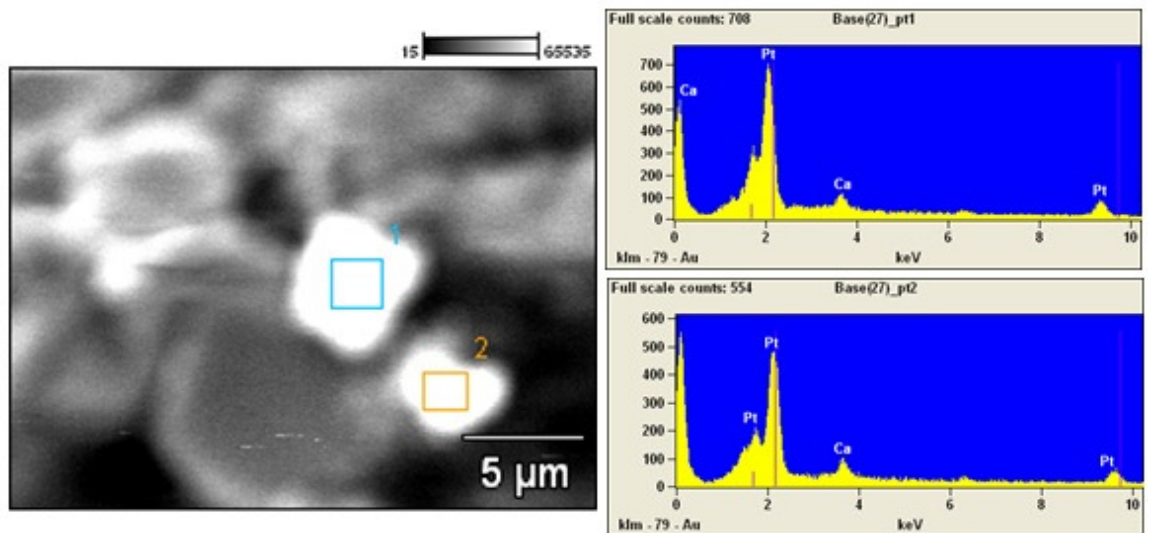


Figura 21 - Fotografia obtida no microscópio eletrônico de varredura mostrando grãos de platina dispersos na matriz.

É comum que magmas alcalinos potássicos sejam, caracteristicamente, enriquecidos em elementos halogênicos, especialmente cloro, e em metais complexados por este elemento (Foley, 1992; Zhang *et al.* 1995). Segundo Müller e Groves (1997) este enriquecimento em cloro, juntamente com o  $K_2O$ , pode ser resultante da diferenciação de magmas pobres em voláteis. Nestes casos, observa-se a concentração do cloro preferencialmente na fase fluida em relação ao magma e as fases silicatadas. Como consequência poderia se ter a geração de um fluido consideravelmente enriquecido neste elemento, provavelmente durante a fase de cristalização final, quando o sistema atinge condições de supersaturação em água (Kullerud 1995). Nestes casos, sob tais condições, seria comum o transporte de ouro e/ou metais básicos (Kilinc & Burnham 1972).

Na figura 22 podemos observar uma figura de MEV de ótima resolução, pois o Au se encontra envolto por uma mistura de outros elementos como Cl, S, Zn, além do Si, Al, K, Ca que devem estar relacionados com o plagioclásio.

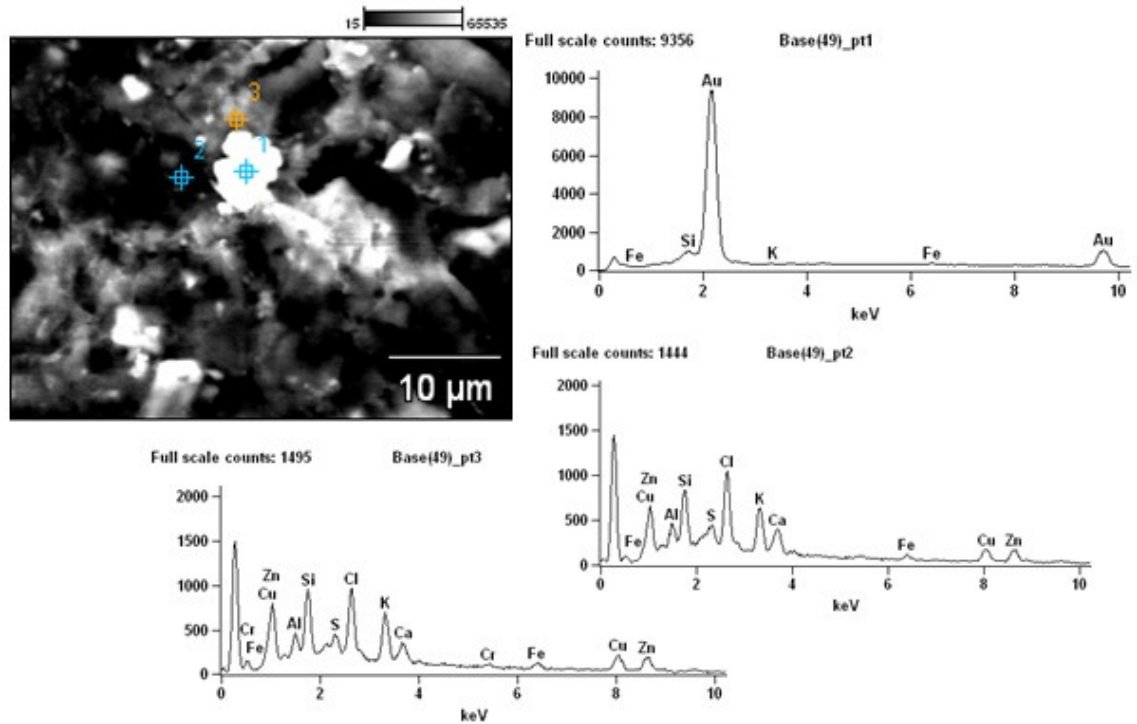


Figura 22 - Fotografia extraída do MEV de um grão de ouro envolto por uma mistura de outros elementos (Cl, S, Zn, Si, Al, K, Ca).

É comum o preenchimento de interstícios, normalmente disseminados com um material holohialino, onde observa-se a presença de Si, K, Al, Ca, Zn, S e Cl, que pode estar sugerindo um transporte destes metais por complexos predominantemente clorados.

## 6 LITOGEOQUÍMICA

As interpretações geoquímicas apresentadas abaixo são baseadas no processamento dados químicos de rocha total, envolvendo a análise de elementos maiores, traços e terras-raras, obtidos através da metodologia descrita no capítulo 3. Os resultados das amostras da área de estudo estão dispostos nas tabelas 1 e 2 e a caracterização geoquímica das rochas foi baseada na utilização de diversos diagramas. No tratamento dos dados e para efeito comparativo as amostras foram divididas de acordo com o tipo de ocorrência (brecha-tufisítica x espessartito porfírico) e sua posição geográfica (região de Tupanci x região de Lavras do Sul).

Amostras das porções texturalmente mais finas da brecha lamprofírica foram analisadas, tendo-se o cuidado de evitar aquelas mais contaminadas por fragmentos líticos, xenólitos mantélicos, xenocristais ou que pudessem ter evidências de processos cumuláticos. No entanto, face a natureza da rocha e as características texturais e composicionais da mesma, as interpretações devem ser assumidas com cautela.

Quando plotados no digrama TAS (Figura 23) (Le Bas *et al.* 1986), as brechas-tufisíticas lamprofíricas da região do Tupanci ocupam o campo dos basaltos e andesitos basálticos, ao passo que as rochas espessartíticas podem ser classificadas como andesitos. Se compararmos com os espessartitos de Lavras do Sul, pode-se observar que essas rochas ocupam os campos dos traquiandesitos e traquitos/dacitos. Composicionalmente, os litotipos da região do Tupanci constituem um *trend* de composição subalcalina-toleítica e os lamprófiros de Lavras do Sul ocupam o campo das séries alcalinas potássicas (shoshoníticas). Esta característica potássica também pode ser observada nas rochas lamprofíricas da região de Tupanci, pelos valores de  $K_2O$  maiores que  $(Na_2O-2)$ , e pelo diagrama de Peccerillo e Taylor (1976) (Figura 24).

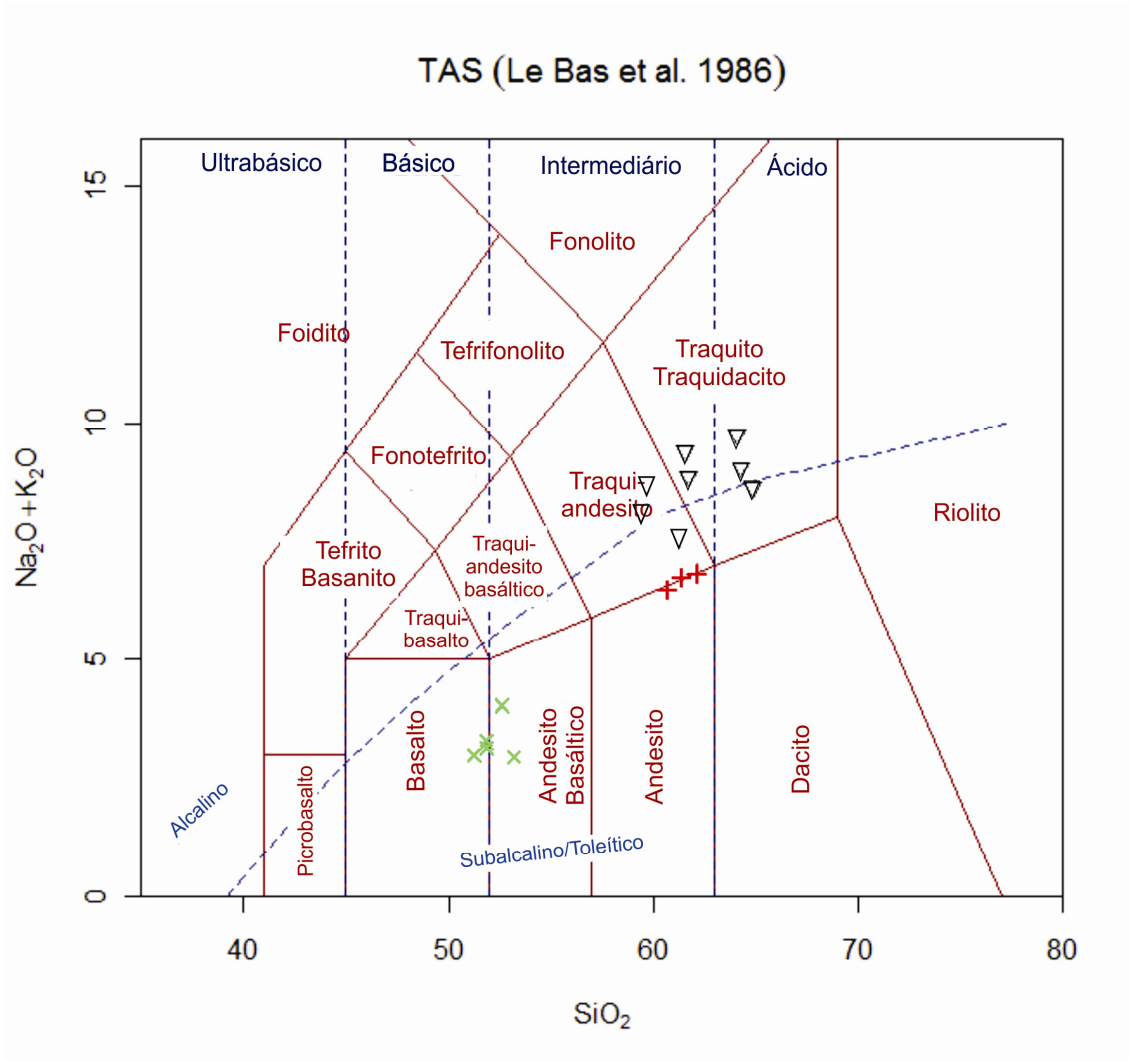


Figura 23 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessaritos de Lavras do Sul (preto) plotadas em diagrama TAS (Le Bas *et al.* 1986) de classificação de rochas vulcânicas.



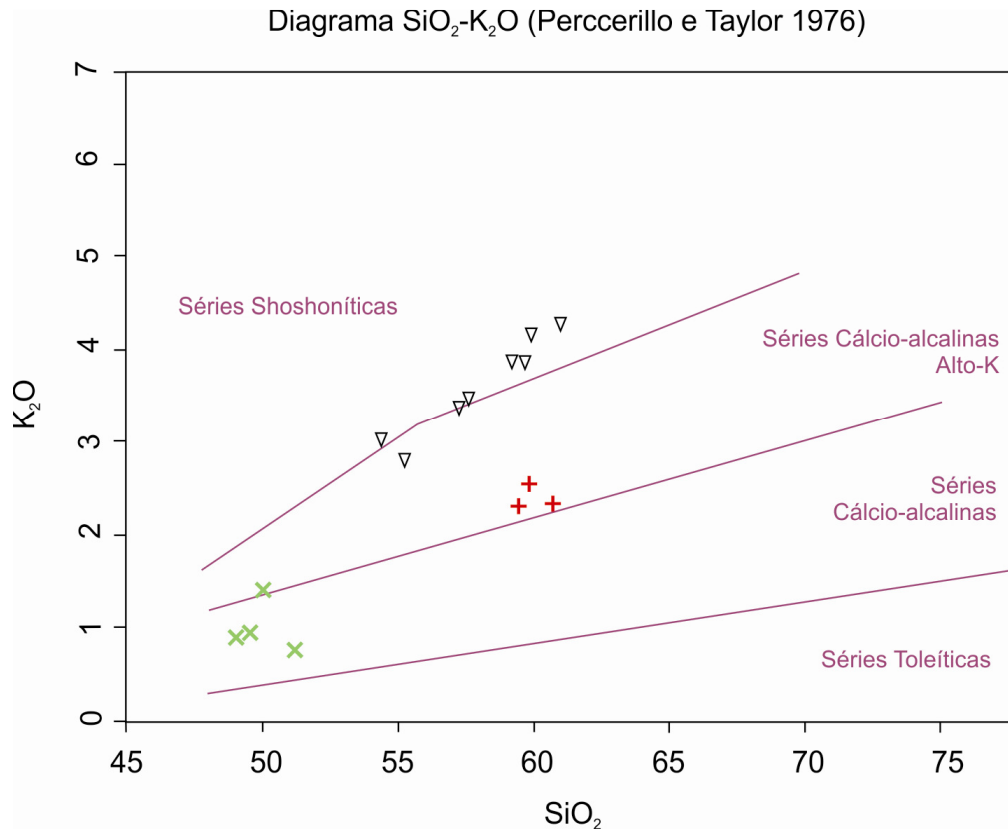


Figura 24 - Amostras de lavrões espessartíticos (vermelho) e brechas-tufísticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Perccerillo e Taylor (1976).

Estas características podem ser confirmadas pela utilização de diagramas baseados em elementos traços e imóveis, onde as rochas da região do Tupanci mantêm este *trend* subalcalino, ocupando o campo próximo ao limite entre basaltos e andesitos basálticos e os espessartitos de Lavras do Sul apresentam composições traquiandesíticas (Figura 25). Segundo a proposição de Hastie *et al.* (2007), no diagrama Co X Th, ambas as ocorrências situam-se próximo ao limite das séries cálcio-alcálinas alto-K e shoshoníticas (Figura 26).

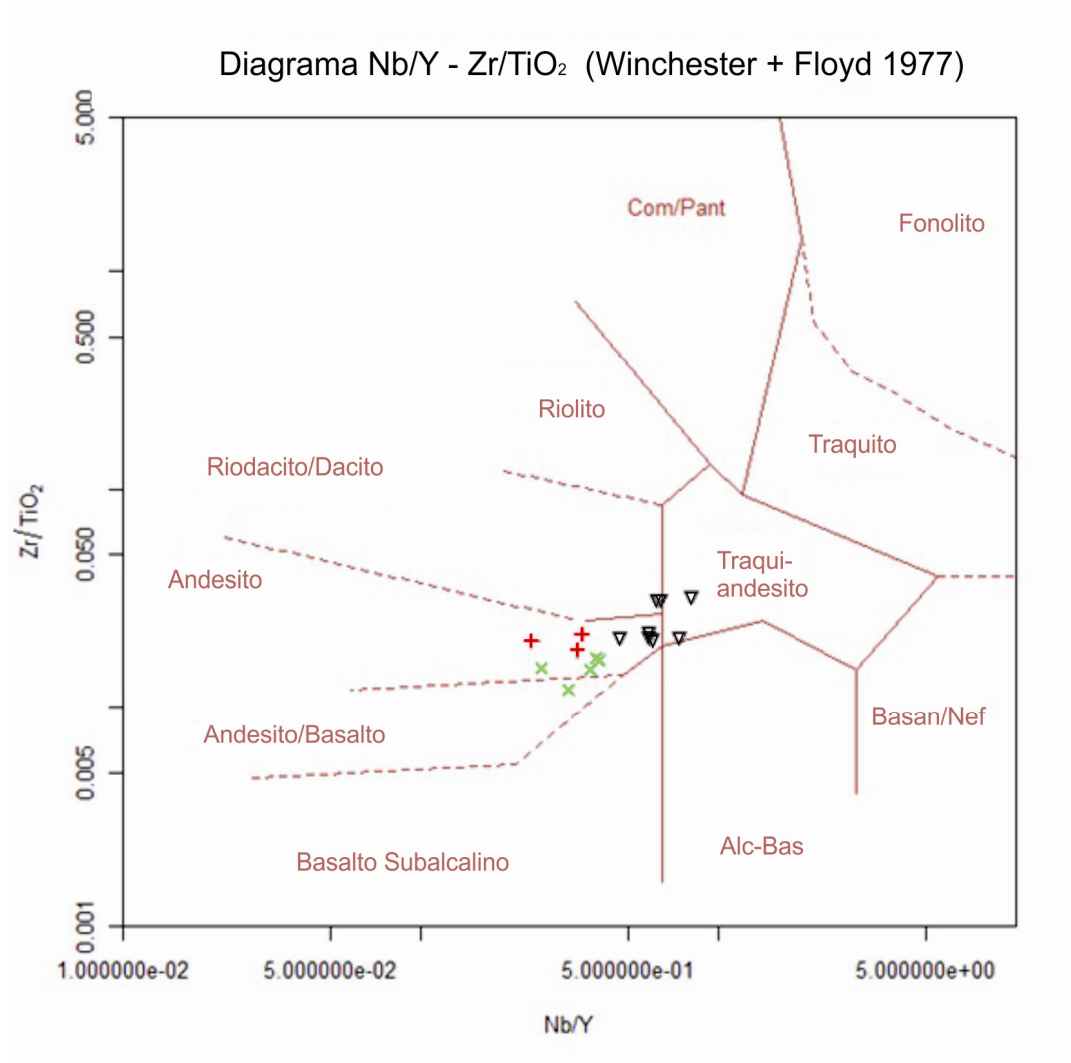


Figura 25 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Winchester e Floyd (1977).



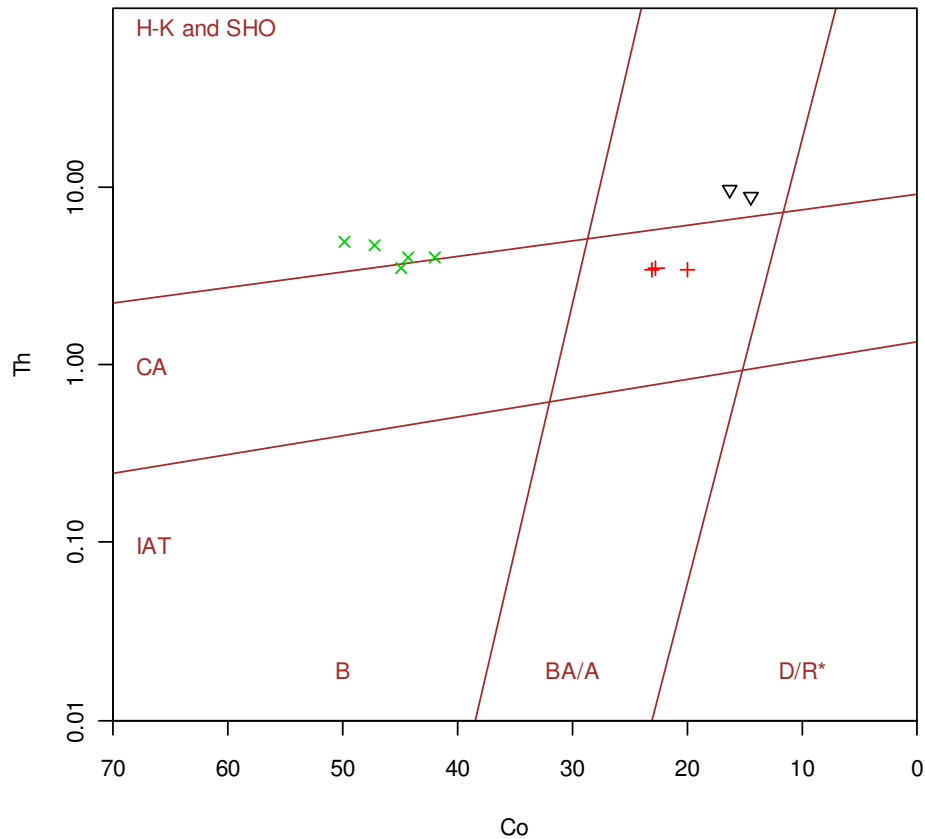
Diagrama Co-Th (Hastie *et al.* 2007)

Figura 26 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Hastie *et al.* (2007).

Plotando as amostras no diagrama sugerido por Rock (1987), comparando os valores Sm versus La/Yb, a maior parte das amostras de Lavras do Sul se encontram dentro do campo dos espessartitos cálcico-alcálicos, enquanto que as amostras de Vila Nova do Sul apresentam valores inferiores, sendo plotados um pouco abaixo do campo dos espessartitos (Figura 27).

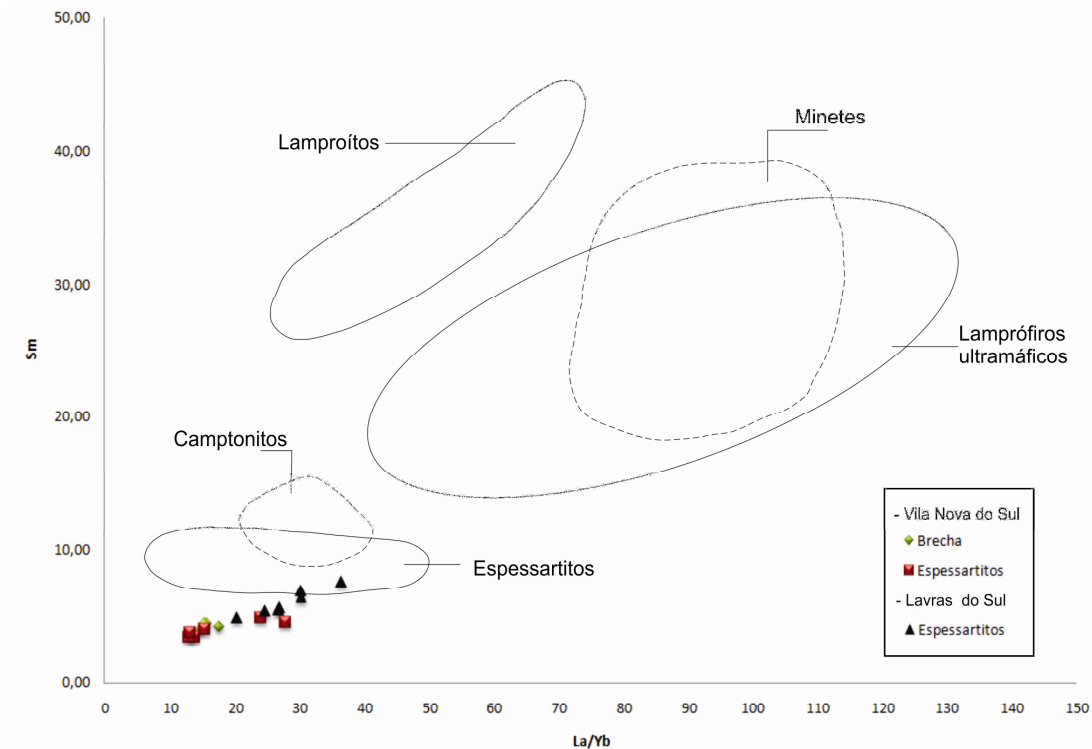


Figura 27 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama sugerido por Rock (1987) para classificação das rochas lampróficas.

As Figuras 28 e 29 mostram a relação entre os elementos maiores, menores e traços com o índice de diferenciação. Ênfase será dada a descrição dos dados dos lamprófiros da região de Tupanci. Os dados dos espessartitos da região de Lavras do Sul serão usados como comparação.

Os lamprófiros da região do Tupanci são saturadas em  $\text{SiO}_2$  e apresentam teores variando entre 48,97 a 60,72% sendo que os termos mais básicos são relacionados brecha-tufisítica.

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variam de 12,34 a 14,99 e, embora o *gap* composicional entre os valores constatados para as brechas e para os espessartitos dificulte a observação de *trends*, constata-se o crescimento dos conteúdos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com o aumento do índice de diferenciação, sugerindo o fracionamento predominante de fases pouco aluminosas com pequena participação de feldspatos.

Os valores de  $\text{FeO}_t$  variam aproximadamente entre 6 e 8,5%, mostrando uma maior concentração nas rochas menos diferenciadas.

Os teores de  $\text{MgO}$  variam de 4,37% a 11,31%, e decrescem fortemente com o aumento de  $\text{SiO}_2$ . A relação antipatética entre  $\text{MgO}$  e  $\text{SiO}_2$  pode ser atribuída à separação de fases ricas em magnésio, como clinopiroxênio e anfibólio. No

entanto, os valores elevados na brecha-tufisítica devem ser assumidos com cautela, face as características da rocha. A presença de uma maior quantidade de clinopiroxênio pode estar associada à processos cumuláticos, e a identificação de xenólitos mantélicos devem estar influenciando diretamente nos resultados.

Os teores de MnO variam de 0,11% a 0,20% e mostram, em relação ao SiO<sub>2</sub>, um comportamento semelhante ao do MgO.

O CaO varia entre 3,98% e 9,26%, e decresce de forma, aproximadamente, regular com o aumento de SiO<sub>2</sub>. Este fato, aliado ao comportamento do MgO e FeO<sub>t</sub> com o aumento da diferenciação, não levando-se em conta os efeitos de alteração (hidrotermalismo), pode indicar o fracionamento de fases cálcio-ferromagnesianas na evolução dos lamprófiros.

A relação entre Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O e SiO<sub>2</sub> é de caráter simpatético e os teores de Na<sub>2</sub>O (1,93% até 4,36%) e K<sub>2</sub>O (0,76% até 2,55%) crescem com a diferenciação. A razão K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O varia de 0,35 até 0,62 mostra-se dispersa, mas tem uma tendência de crescimento com a diferenciação. Este dado é coerente com a sugestão de fracionamento de anfibólio durante a diferenciação dos magmas lamprófiros, uma vez que nesta fase mineral esta razão é próxima a 0,5.

Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> variam de 0,15% a 0,25% e são inferiores aos valores mais freqüentes em rochas espessartíticas (0,75% - 1,00%) (Rock 1984).

De um modo geral o comportamento observado para os lamprófiros da região do Tupanci é semelhante ao dos espessartitos da região de Lavras do Sul, embora os *trends* formados sejam distintos, pois mostram-se paralelos e não coincidentes, comparado-se as rochas com o mesmo índice de diferenciação (espessartitos). Os espessartitos de Lavras apresentam valores mais elevados de TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e álcalis, e mais baixos de FeO<sub>t</sub>, MgO, MnO, e CaO. As razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O também são mais elevadas, sendo próximas da unidade, característica típica de rochas shoshoníticas.

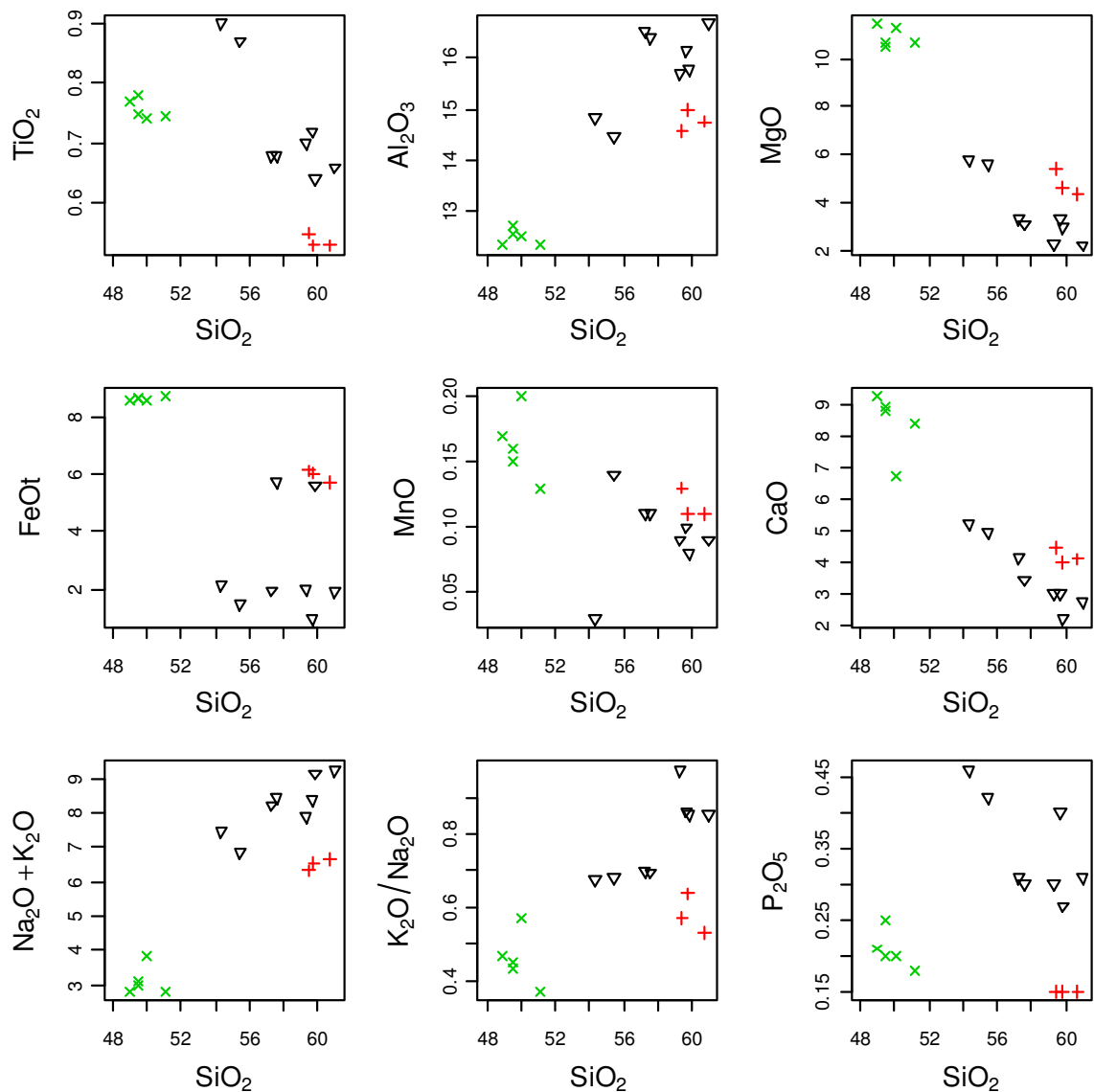


Figura 28 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufísticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas nos diagramas discriminantes de Harcker para elementos maiores.

Em termos de elementos traços (Figura 29) constata-se que o Sr mostra variação de 422 ppm até 490 ppm, os conteúdos de Rb variam de 17 ppm até 52,8 ppm os de Ba entre 399 ppm e 1091 ppm. Estes elementos mostram caráter incompatível em relação ao índice de diferenciação, o que é coerente com o fracionamento de anfibólios e piroxênios.

Os teores de Zr variam de 88,9 ppm até 126,4 ppm, do Nb entre 4,3 ppm e 5,9 ppm e do Y entre 15 ppm e 20,7 ppm. O comportamento destes elementos mostra-se disperso e levemente compatível ao longo da diferenciação, o que pode sugerir o fracionamento de pequenas quantidades de zircão. Os valores obtidos para

estes dois últimos elementos enquadram-se nos teores médios de Nb e Y apontados por Rock (1991) para lamprófiros cálcico-alcálicos ou shoshoníticos e suas baixas concentrações são indicativas de fontes afetadas por subducção litosférica.

Os teores de Cr (510-444 ppm), Ni (245-200 ppm) e Co (49-43 ppm) são elevados nas brechas-tufisíticas e mostram um caráter fortemente compatível com a diferenciação, o que sugere o fracionamento de olivina e clinopiroxênio. Segundo Wilson (1989) valores de Cr > 500 ppm e Ni > 250 ppm podem indicar a derivação de magmas parentais a partir de fontes mantélicas peridotíticas.

Assim como observado nos diagramas para elementos maiores, constatam-se diferenças nos teores de elementos traços entre os lamprófiros da região de Tupanci e os espessartitos da região de Lavras do Sul. Embora o comportamento em relação ao índice de diferenciação seja semelhante, os valores para as rochas de Lavras do Sul são invariavelmente mais elevados e mais coerentes com a afinidade shoshonítica proposta para o seu magmatismo.

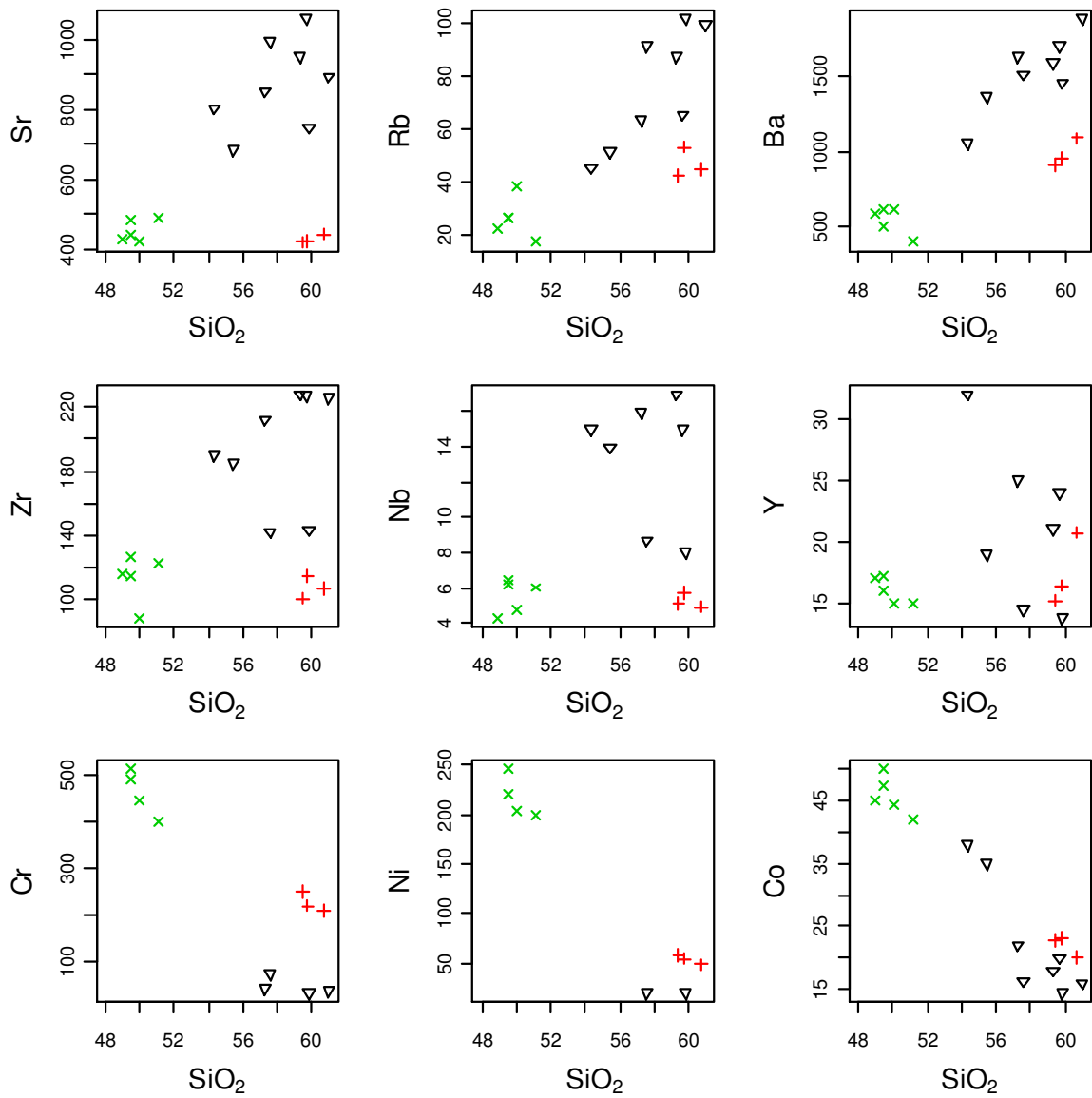


Figura 29 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul, plotadas nos diagramas discriminantes de Harcker para elementos menores e traços.

Em diagramas multielementares, o padrão de distribuição dos elementos-traço e elementos terras raras, quando normalizados para o padrão OIB de Sun e McDonough (1989) (Figura 30), é muito similar para as duas áreas, com os valores próximos a unidade. Observa-se um leve enriquecimento em LILEs, principalmente para os espessartitos de Lavras do Sul e uma leve depleção em HFSE, além de fortes anomalias negativas de Nb e positivas de Pb. O empobrecimento de Nb em relação aos elementos terras raras leves (ETRL), bem como o enriquecimento em ETRL e LILE (Ba, Sr, Rb, K) é típico de magmas relacionados a fontes metassomatizadas durante subducção prévia (Kelemen *et al.*, 1993) e as baixas razões Nb/La e La/Ba são comparáveis a aquelas reportadas para andesitos orogênicos. Os conteúdos de elementos litófilos de alto potencial iônico (HFSE) são mais elevados que os observados em shoshonitos oceânicos e similares as rochas shoshoníticas de margem continental (Pearce, 1983) ou intraplaca pós-colisionais.

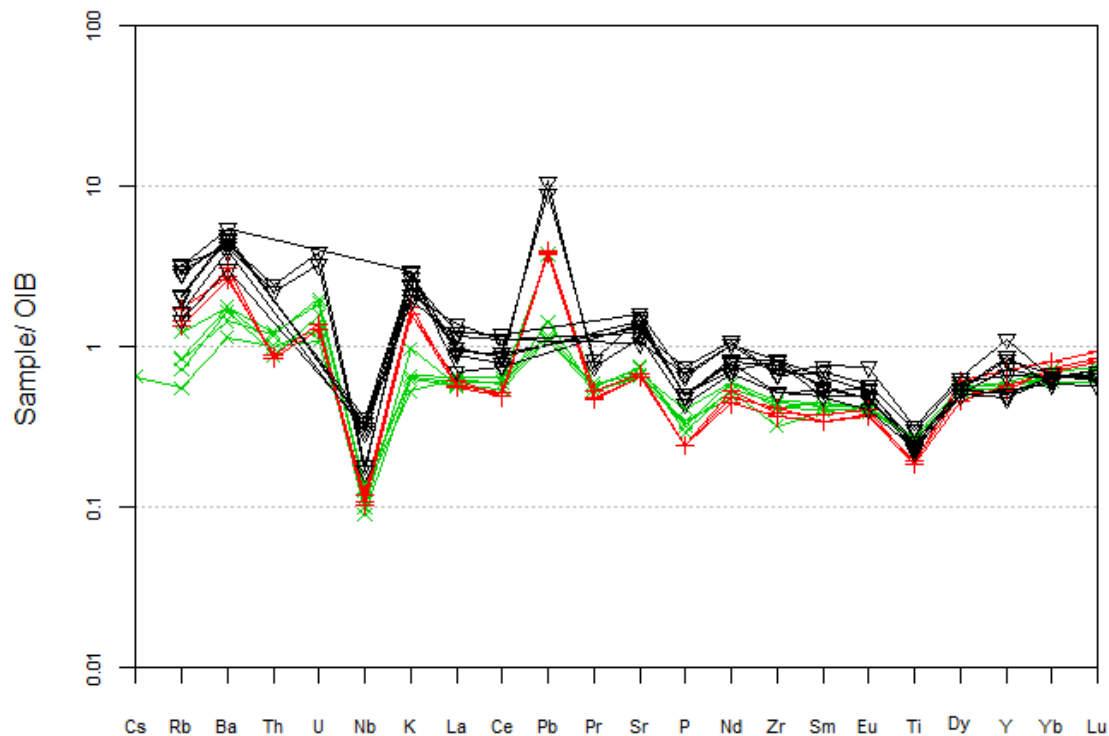


Figura 30 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) plotadas no diagrama de Sun e McDonough (1989) normalizado para o padrão OIB.

Os padrões dos elementos terras raras (ETR) dos lamprófiros da região do Tupanci, quando normalizados com o padrão condritico, (Nakamura 1974), mostram valores moderados destes elementos ( $\Sigma_{ETR} = 95 - 120$ ) e são caracterizados por um moderado enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP ( $La_N/Yb_N = 8,7 - 11,8$ ), além da ausência de anomalia de Eu (Figura 31), feições estas indicativas de magmas shoshoníticos ou cálcio-alcálico alto-K. Apresentam um moderado fracionamento em ETR leves ( $La_N/Sm_N = 3 - 3,7$ ) e em ETR pesados ( $Eu_N/Yb_N = 2 - 2,8$ ). Os padrões de ETR não mostram grandes variações entre as rochas mais ou menos diferenciadas. Os espessartitos da região de Lavras do Sul apresentam padrões semelhantes, mas com um aumento em ETRL e uma diminuição em ETRP, como demonstrado pelas razões  $La_N/Yb_N$ , variando entre 13,7 e 24,4. O moderado enriquecimento em ETRP em relação ao condrito (cerca de 10x) sugere uma ausência de granada na fonte mantélica (Wilson 1989).

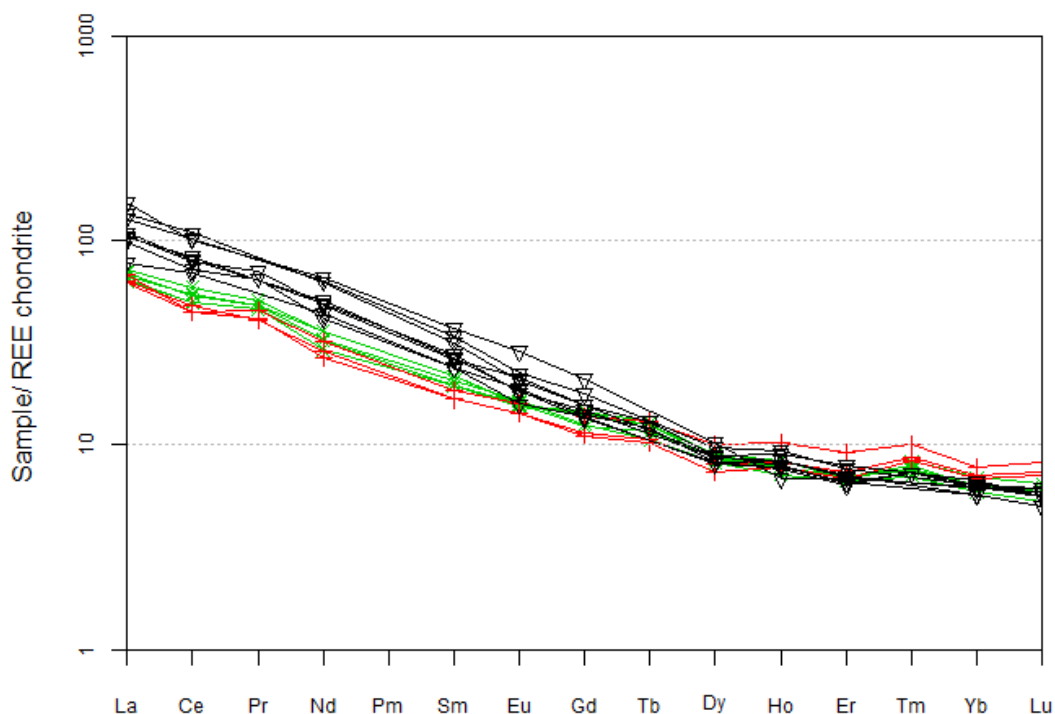


Figura 31 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Nakamura (1974) normalizadas para o padrão condritico.

Em termos de ambientes tectônicos, observam-se através de diagramas que usam elementos traços imóveis como balizadores (e.g. Nb x Zr x Y - Meschede 1986) que os lamprófiros da região de Tupanci ocupam o campo das rochas



vulcânicas básicas relacionadas a ambientes do tipo arco ou toleíticas intra-placas, ao passo que os espessartitos da região de Lavras do Sul situam-se no campo das rochas alcalinas intra-placas (Figura 32).

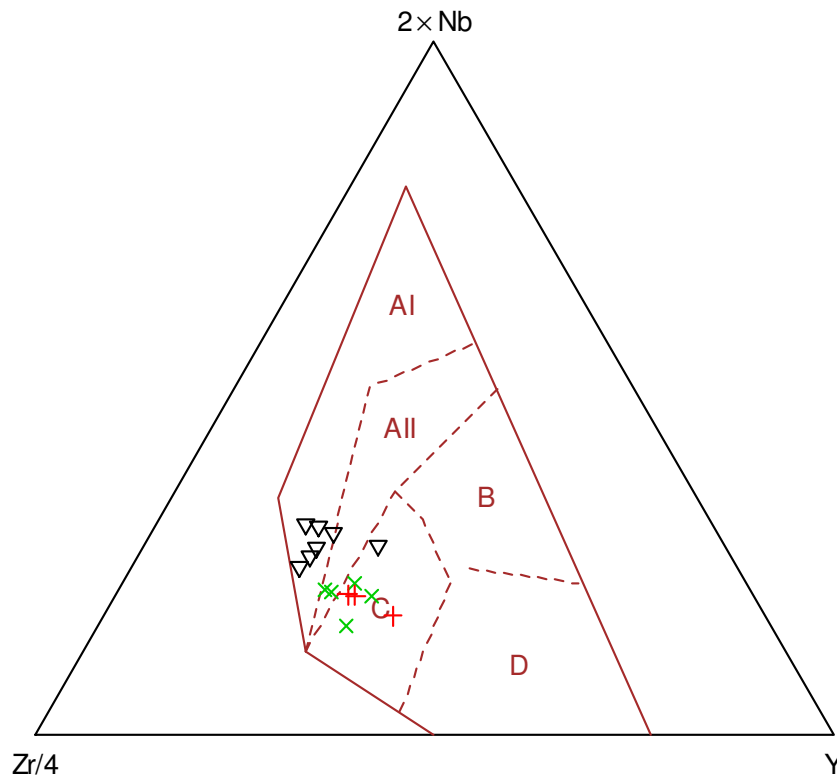


Figura 32 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Meschede (1986). AI, AII = campos dos álcali-basaltos intraplaca; AIII, C = campos dos toleítos intraplaca; B = campo do MORB tipo P; D = campo do MORB tipo N; D = campo do basalto de arco.

Esta tendência de magmatismo intraplaca é confirmada com o uso do diagrama Zr versus Zr/Y (Figura 33), de Pearce e Cann (1973), onde os lamprófiros de ambas as áreas ocupam o campo dos basaltos intraplacas. Este comportamento também é característico de magmatismo associado a ambientes pós-colisionais (*sensu* Liégeois, 1998).

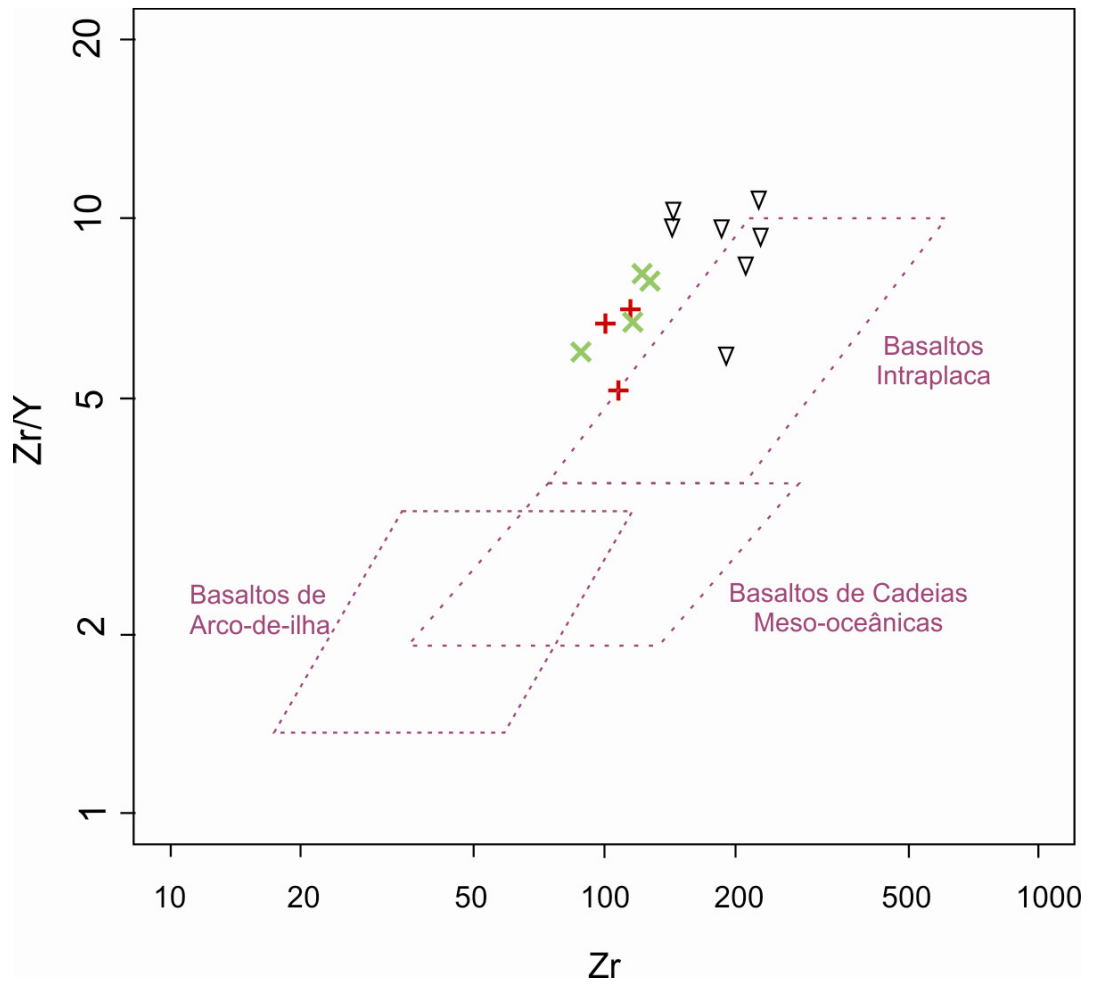


Figura 33 - Amostras de lamprófiros espessartíticos (vermelho) e brechas-tufisíticas (verde) de Vila Nova do Sul, e espessartitos de Lavras do Sul (preto) no diagrama de Pearce e Cann (1973).

Vila Nova do Sul									Lavras do Sul							
Brecha-tufística lamprofírica					Espessartito				Espessartito							
Amostra	CT-15A	CT 15F	CT 15	CT-15E	CT 76	LAMP-6B	LAMP 6D	LAMP 6F	CT 79D	LP-01*	LP 21*	LP 01P*	LP 225*	LP 231*	LP 400*	LP 401*
(%)																
SiO <sub>2</sub>	49.49	48.97	51.13	49.47	50.03	59.77	59.43	60.72	59.85	57.57	54.35	59.3	61	57.27	59.67	55.43
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.771	0.744	0.78	0.74	0.53	0.55	0.53	0.64	0.68	0.9	0.7	0.66	0.68	0.72	0.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.54	12.34	12.36	12.72	12.53	14.99	14.58	14.75	15.78	16.38	14.83	15.7	16.67	16.5	16.14	14.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.67	9.52	9.71	9.64	9.57	6.72	6.82	6.38	6.27	6.41	2.4	2.2	2.16	2.18	1.08	1.66
MnO	0.15	0.17	0.13	0.16	0.20	0.11	0.13	0.11	0.08	0.11	0.03	0.09	0.09	0.11	0.1	0.14
MgO	10.66	11.47	10.63	10.53	11.31	4.62	5.39	4.37	3.00	3.10	5.81	2.3	2.23	3.36	3.31	5.6
CaO	8.95	9.26	8.39	8.78	6.73	3.98	4.48	4.10	2.22	3.44	5.2	3	2.76	4.13	3	4.95
Na <sub>2</sub> O	2.06	1.93	2.05	2.16	2.43	4.00	4.03	4.36	4.94	4.99	4.45	4	5	4.85	4.51	4.09
K <sub>2</sub> O	0.93	0.9	0.76	0.94	1.39	2.55	2.30	2.31	4.21	3.47	3.01	3.9	4.27	3.38	3.89	2.79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.21	0.18	0.25	0.20	0.15	0.15	0.15	0.27	0.30	0.46	0.3	0.31	0.31	0.4	0.42
P.F.**	4.1	4.83	3.7	4.1	4.4	2.2	1.8	1.9	2.4	3.2	2.17	3	1.57	3	2.45	3.56
TOTAL	99.59	100.4	99.77	99.60	99.64	99.68	99.73	99.73	99.66	99.63	98.47	98.99	100.44	99.27	99.67	99.3
(ppm)																
Ba	617	582	399	505	613	951	913	1091	1463	1517	1055	1594	1890	1641	1712	1368
Rb	26.0	22	17	25.7	38.0	52.8	41.9	44.5	101.4	91.0	45	87	99	63	65	51
Sr	482.6	432	490	443.3	426.5	423.5	422.1	444.3	749.0	992.6	803	950	895	852	1060	687
Nb	6.2	4.3	6	6.4	4.7	5.7	5.1	4.9	8.0	8.7	15	17	-	16	15	14
Y	16.0	17	15	17.2	15.0	16.4	15.2	20.7	13.8	14.5	32	21	-	25	24	19
Zr	126.4	116	123	115.2	88.9	114.7	100.9	106.8	143.7	142.4	190	228	226	212	227	185
Ta	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-
Co	49.9	45	42	47.2	44.3	23.1	22.7	20.0	14.4	16.3	38	18	16	22	20	35
V	213	198	185	203	175	123	112	103	89	87	-	-	-	-	-	-
Cr	510.0	-	400.0	490.0	444.0	220.0	250	210.0	34.0	75.0	-	-	38.0	43.0	-	-
Ni	245	-	200	220	204	55	58	49	20	20	-	-	-	-	-	-
Sc	29	220	27	29	26	18	18	17	12	13	40	22	17	30	20	40
Cu	48.3	60	60	50.9	45.4	24.1	33.7	30.9	12.0	28.7	-	-	-	-	-	-
Pb	3.5	3.52	12	3.7	4.6	12.4	11.9	12.5	34.1	28.8	-	-	-	-	-	-
Zn	56	90	90	59	52	43	37	39	57	68	-	-	-	-	-	-

\*\*Perda ao fogo

Tabela 1 - Composição química das rochas lamprofíricas das regiões de Vila Nova do Sul e Lavras do Sul. (\*) Os dados de Lavras do Sul foram compilados de Lima *et al.* 2007.

Vila Nova do Sul									Lavras do Sul							
Brecha-tufisítica lamprofírica					Espessartito				Espessartito							
Amostra	CT-15A	CT 15F	CT 15	CT-15E	CT 76	LAMP-6B	LAMP 6D	LAMP 6F	CT 79D	LP-01*	LP 21*	LP 01P*	LP 225*	LP 231*	LP 400*	LP 401*
(ppm)																
La	22.0	20.9	23	23.7	21.2	20.9	20.4	22.7	32.8	34.8	50.59	36.12	25.75	34.17	44.82	42.48
Ce	47.6	43.2	46.9	51.0	43.6	41.6	38.7	38.7	62.3	68.4	87.31	69.63	59.87	72.33	94.8	88.97
Pr	5.44	5.17	5.39	5.70	5.17	4.57	4.63	5.09	7.26	7.93	-	-	-	-	-	-
Nd	22.8	18.5	20.6	22.8	20.4	18.3	16.9	20.1	26.0	30.4	41.66	31.97	27.56	30.92	39.5	39.66
Sm	4.41	3.99	4.2	4.42	3.97	3.40	3.42	3.77	4.85	5.33	7.56	5.44	4.83	5.63	6.42	6.88
Eu	1.23	1.18	1.27	1.20	1.23	1.10	1.11	1.22	1.46	1.64	2.22	1.43	1.22	1.39	1.59	1.73
Gd	3.89	3.98	3.5	4.02	3.38	3.03	3.17	3.82	3.86	4.36	5.8	3.73	3.78	4.13	4.33	4.93
Tb	0.59	0.59	0.5	0.61	0.55	0.48	0.50	0.61	0.57	0.61	-	-	-	-	-	-
Dy	2.92	3.07	2.8	3.07	2.96	2.54	2.79	3.45	2.80	3.06	3.55	2.8	2.77	2.99	3.06	3.32
Ho	0.55	0.55	0.5	0.59	0.55	0.55	0.58	0.72	0.54	0.56	0.48	0.59	0.55	0.59	0.63	0.66
Er	1.58	1.57	1.5	1.55	1.56	1.54	1.66	2.07	1.43	1.47	1.55	1.56	1.48	1.59	1.79	1.73
Tm	0.23	0.226	0.21	0.25	0.24	0.25	0.26	0.30	0.22	0.22	-	-	-	-	-	-
Yb	1.39	1.4	1.3	1.53	1.37	1.50	1.56	1.71	1.36	1.40	1.38	1.34	1.25	1.26	1.47	1.4
Lu	0.21	0.202	0.18	0.22	0.21	0.24	0.25	0.28	0.20	0.21	0.19	0.21	0.17	0.17	0.19	0.19
Th	4.9	3.52	4	4.7	4.0	3.4	3.5	3.4	8.7	9.7	-	-	-	-	-	-
U	1.9	1.59	1.1	2.0	1.3	1.3	1.4	1.3	3.3	3.9	-	-	-	-	-	-
Hf	3.1	2.7	3.1	3.0	2.5	3.5	3.2	3.6	4.5	4.7	-	-	-	-	-	-

Tabela 2 - Composição química das rochas lamprofíricas das regiões de Vila Nova do Sul e Lavras do Sul. (\*) Os dados de Lavras do Sul foram compilados de Lima *et al.* 2007.

## 7 CONCLUSÕES

As unidades neoproterozóicas da região do Cerro Tupanci, Vila Nova do Sul, RS, representam uma “janela” do Escudo Sul-Rio-Grandense, pois nessa região afloram o embasamento granítico-gnáissico do Supercomplexo Cambaí e unidades vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã, (Paim *et al.*, 2000), sendo envolvidas por coberturas sedimentares gonduânicas.

A Bacia do Camaquã é uma bacia do tipo *strike-slip*, formada nos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-africano. Segundo Brito Neves e Cordani (1991) o ambiente geotectônico, durante esse período, pode ser considerado resultado de um sistema colisional representado pelo amalgamento, que resultou na formação do Supercontinente Gondwana, dos crátons Rio de La Plata, São Francisco, Congo, Kalahari e Paraná. (Lima *et al.*, 2007a). O autor sugere que a tectônica transcorrente, com a formação das bacias do tipo *strike-slip*, associado ao magmatismo resultam na consolidação do Gondwana. Isso pode explicar o longo período de magmatismo pós-colisional Brasileiro-Ordoviciano no sul do Brasil. Lima *et al.* (2007a) ainda concluem que os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã representam parte de uma sequência evolutiva típica de um magmatismo que marca os estágios finais de um período pós-colisional com a exaustão de reservatórios mantélicos hidratados metassomatizados por processos relacionados à subducção prévia.

Na região do Cerro Tupanci, as unidades vulcânicas associadas à Bacia do Camaquã correspondem às rochas de afinidade shoshonítica da Formação Hilário, e aos riolitos hipabissais vinculados a Formação Acampamento Velho. Os lamprófios nessa região ocorrem na forma de dois diques com características texturais e composicionais distintas. O corpo principal tem espessuras métricas e direção N-NE, sendo classificado como brecha-tufisítica lamprófica. A brecha é intrusiva nas rochas andesíticas da Formação Hilário, enquanto que o outro dique de lamprófiro espessartítico, de menores dimensões, é intrusivo nos granitóides do Supercomplexo Cambaí.

Petrograficamente, a brecha-tufisítica é composta por fragmentos líticos de espessartitos alongados com bordas irregulares, andesitos com bordas arredondadas, sendo considerada como a rocha encaixante, além de possuir fragmentos de rochas de origem mantélica. Texturalmente é importante destacar a

presença de fragmentos esferoidais juvenis, na qual pode ser interpretada como a exsolução de fase volátil. A rocha espessartítica possui textura panidiomórfica com fenocristais euédricos de anfibólio, mostrando textura de fluxo, numa matriz composta basicamente por micrólitos de plagioclásio. A euedria dos fenocristais associada a presença de plagioclásio restrita à matriz, indica uma elevada concentração de voláteis, além de sugerir a cristalização à baixa pressão. Alguns fenocristais também apresentam textura glomeroporfírica.

Segundo Lima *et al.* (2007) estas características texturais e composicionais dos lamprófiros devem estar relacionados a elevada atividade de voláteis na gênese destas rochas. Esta característica seria responsável pela cristalização precoce de anfibólio, pela instabilidade do clinopiroxênio no avanço da diferenciação e pela inibição da cristalização de feldspatos. No caso da brecha-tufisítica, constata-se uma quantidade maior de piroxênio, se comparado com os espessartitos típicos. Esta característica pode sugerir um menor conteúdo de voláteis nesta ocorrência, inibindo uma maior cristalização precoce de anfibólio. Por outro lado, a característica textural observada indica que a brechação pode ter sido gerada pela liberação rápida de voláteis geradas, provavelmente, por processos de *degassing*, originadas pela saturação de H<sub>2</sub>O no sistema.

Devido a natureza brechada do corpo lamprofírico principal, as análises geoquímicas foram feitas de maneira que as porções mais contaminadas por fragmentos líticos fossem evitadas, porém, ainda assim os dados deve ser assumidos com cautela. Geoquimicamente os lamprófiros da região do Cerro Tupanci apresentam um *trend* de composição subalcalina, com características de séries cálcio-alcálicas alto K. Esta característica pode ser observada pelos valores K<sub>2</sub>O maiores que (Na<sub>2</sub>O-2) e se manteve na análise dos elementos traços e imóveis.

Os lamprófiros da região do Tupanci são saturadas em SiO<sub>2</sub>, apresentando teores variando de 48,97% a 60,72%, sendo que os termos mais básicos são relacionados a brecha-tufisítica. De uma maneira geral, o comportamento dos elementos maiores é muito semelhante nas duas ocorrências, mostrando variações nos teores que são coerentes com os processos de fracionamento e diferenciação dos magmas lamprofíricos.

Em termos de elementos traços, o Sr, Rb e Ba mostram caráter incompatível em relação ao índice de diferenciação, o que é coerente com o fracionamento de anfibólios e piroxênios. Já os comportamentos dos elementos Zr, Nb e Y mostram-se

dispersos e levemente compatíveis ao longo da diferenciação, o que pode sugerir o fracionamento de pequenas quantidades de zircão. As baixas concentrações de Nb e Y são indicativas de fontes afetadas por subducção litosférica.

Os teores de Cr, Ni e Co são elevados nas brechas-tufisíticas e mostram um caráter fortemente compatível com a diferenciação, o que sugere o fracionamento de olivina e clinopiroxênio.

Os padrões de distribuição dos elementos traços e terras raras, quando normalizados para o padrão OIB, observa-se um leve enriquecimento em LILEs e uma leve depleção em HFSE, além de fortes anomalias negativas de Nb e positivas de Pb. Quando normalizados para o padrão condrítico, observa-se um moderado enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP, além da ausência de anomalia de Eu, feições indicativas de magmas shoshoníticos ou cálcio-alcálicos alto-K.

Comparando com outras ocorrências de lamprófiros espessartíticos no estado, como os registrados em Lavras do Sul, pode-se observar que o comportamento observado para os lamprófiros da região do Tupanci é semelhante ao dos espessartitos dessa região, embora os *trends* formados sejam distintos, pois mostram-se paralelos e não coincidentes, comparado-se as rochas com o mesmo índice de diferenciação (espessartitos). Os espessartitos de Lavras apresentam valores mais elevados de  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  e álcalis, e mais baixos de  $FeO_t$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ , e  $CaO$ . As razões  $K_2O/Na_2O$  também são mais elevadas, sendo próximas da unidade, característica típica de rochas shoshoníticas. Esta constatação também é observada em relação aos elementos traços onde os teores para as rochas de Lavras do Sul mostram-se invariavelmente mais elevados e mais coerentes com a afinidade shoshonítica proposta para o seu magmatismo.

Em relação as rochas vulcânicas shoshoníticas caracterizadas na região de Lavras do Sul, observa-se que as diferenças observadas são semelhantes as descritas por Lima *et al.* (2007), destacando-se: baixos conteúdos de  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ ; teores de  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ , Sr, Zr e Nb mais baixos nas rochas espessartíticas que nas vulcânicas shoshoníticas típicas de composição intermediária; teores de Rb, Ba e Y similares para os shoshonitos e lamprófiros espessartíticos; teores de  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ni e Cr ligeiramente superiores nos espessartitos; padrões de ETR, normalizados por valores condríticos, mostram um menor conteúdo de ETRL nas rochas espessartíticas e uma superposição dos valores de ETRP com os das rochas shoshoníticas.

Estes aspectos petrográficos característicos de rochas lamprofíricas levam a discussão sobre a origem desses magmas. Segundo Allan e Carmichael (1984) que líquidos lamprofíricos podem ser representantes ou derivados de pequenas quantidades de fusão do manto superior ou de maiores proporções de fusão de uma fonte mantélica metassomatizada. Processos de contaminação crustal também tem sido utilizados por diversos autores para explicar a gênese lamprófiros cálcico-alcalinos ou shoshoníticos (Cogné, 1962; Rock, 1984, 1991). Segundo Wyman e Kerrich (1988, 1993), a origem de lamprófiros espessartitos pode estar relacionado a um metassomatismo mantélico aliado a contaminação crustal, sugerido pelo enriquecimento de Ba, Rb e K, e o conteúdo baixo de Sr, que determina as elevadas razões K/Sr e Ba/Sr. Segundo Lima *et al.* (2007) os espessartitos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul podem ter como origem a fusão de fontes similares às dos magmas shoshoníticos, normalmente relacionados a um manto litosférico do tipo EM1, porém mais enriquecidas em anfibólios, conforme o modelo de manto venulado proposto por Foley (1992).

A importância metalogenética destas rochas foi confirmada pela presença de sulfetos, ouro e platina disseminados na matriz. A potencialidade dos lamprófiros potássicos para mineralizações do tipo ouro-sulfetos tem sido demonstrada por vários autores (e.g. Ashley *et al.*, 1994; Lima *et al.*, 2007; Müller e Groves, 1997; Müller, 2011). A vinculação de rochas lamprofíricas com complexos vulcânicos shoshoníticos, a importância econômica destes terrenos e a sua relação com sistemas tipo pórfiro ou Au epitermal tem sido demonstrada por Heithersay e Walshe (1995). Fatores como a elevada temperatura destes magmas, a fonte predominantemente mantélica e a expressiva participação de voláteis, registrada especialmente nos lamprófiros e nos termos mais diferenciados podem ser as causas destas mineralizações.

As características geológicas, petrográficas e geoquímicas observadas nos lamprófiros da região de Vila Nova Sul, permitem sugerir a sua vinculação aos terrenos vulcânicos neoproterozóicos do Rio Grande do Sul. As variações composicionais constatadas fazem parte de uma seqüência evolutiva típica de um magmatismo cuja origem deve estar relacionado a exaustão de reservatórios mantélicos hidratados, metassomatizados por processos relacionados à subducção prévia, característicos dos estágios finais de um período pós-colisional a que estes sistemas vulcânicos estão classicamente vinculados.



## REFERÊNCIAS

- Allan, J. F.; Carmichael, I. S. E. (1984). Lamprophyric lavas in the Colima Graben, SW México. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 88: 203-216.
- Almeida, D. P. M.; Zeffass, H.; Basei, M. A.; Petry, K. & Gomes, C. H. (2002). The Acampamento Velho Formation, a Lower Cambrian Bimodal Volcanic Package: Geochemical and Stratigraphic Studies from Cerro do Bugio, Perau and Serra de Santa Bárbara (Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, RS – Brazil). *Gondwana Research*, 5 (3): 721 – 733.
- Ashley, P. M.; Cook, N. D. J.; Hill, R. L.; Kent, A. J. R. (1994). Shoshonitic lamprophyre dykes and their relation to mesothermal Au-Sb veins at Hillgrove, New South Wales, Australia. *Lithos*, 32, 249 - 272.
- Barreiro, B.A., & Cooper, A.D. (1987). A Sr, Nd and Pb isotope study of alkaline lamprophyres and related rocks from Westland and Otago, South Island, New Zeland. In.: Morris, E.M. & J.D. Pasteris (Editors), Mantle eastern New South Wales, *American Journal of Science*, 269: 132 - 168.
- Beard, B. L., Fraracci, K. N., Taylor, L. A., Snyder, G. A., Clayton, R. N., Mayeda, T. K., Sobolev, N. V.(1996). Petrography and geochemistry of eclogites from the Mir kimberlite, Yakutia, Russia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 125: 293-310.
- Boff, F. E. e Ferron, F. A. (1996). *Mapeamento Geológico 1:25.000 das folhas Lagoa da Meia Lua, Rufino Farias e Vila Nova - Geologia da Faixa VIII*. Porto Alegre, 116 p. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Caldasso, A. L. S.; Sander, A. (1994). O diatrema de canguçu e rochas alcalinas associadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994. Balneário de Camboriú. *Anais...*, I: 59-60.
- Cas, R. A. F; Hayman, P.; Pittari, A; Porritt, L. (2008). Some major problems with existing models and terminology associated with kimberlite pipes from a volcanological perspective, and some suggestions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 174: 209 – 225.
- Cas, R. A. F; Porritt, L.; Pittari, A; Hayman, P.(2008a). A new approach to kimberlite facies terminology using a revised general approach to the nomenclature of all volcanic rocks and deposits: Descriptive to genetic. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 174: 226 – 240.
- Cogné, J. (1962). La sizunite et la problème de l'origine des lamprophyres. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4:141-156.
- Fisher, R.V. (1966). Mechanism of deposition from pyroclastic flows. *Amer. J. Sci.* 264: 350-363.
- Foley, S.F. (1992). Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas. *Lithos*, 28:435-453.
- Fragoso-Cesar A.R.S., Paes-de-Almeida R., Fambrini G.L., Pelosi A.P.M.R., Janikian L. (2003). A Bacia Camaquã: um sistema de intracontinental anorogênico de rifts do

Neoproterozóico III Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RS: ESCUDO E BACIAS, 1, *Anais...*, pp:139-144.

Gümbel, C. W. Von (1874). *Die palaeolithischen eruptivgesteine des fichtelgebirges*. Franz, Munich, Germany.

Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A., Mitchell, S. F. (2007). Classificação das Rochas Alteradas de ilha vulcânica Arc usando Oligoelementos Immobile: Desenvolvimento do Diagrama de Discriminação Th-Co. *Jornal de Petrologia*, 48: 2341-2357.

Heithersay, P.S. & Walshe, J.L. (1995). Endeavor 26 North: a porphyry copper-gold deposit in the Late Ordovician shoshonitic Goonumbla volcanic complex, New South Wales, Australia. *Economic Geology*, 90: 1506-1532.

Issler, R. S.; Roisenberg, A. (1972). Lamprófito das proximidades do Cerro do Tupanci, Quadrícula de Arroio São Sepé, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, Porto Alegre, v.1, p. 43-50.

Joplin, G.A. (1966). On lamprophyres. *J. Proc. R.Soc. NSW*. 99: 37-44.

Junqueira-Brod, T. C. (2003). *Vulcanologia das rochas kamafugíticas da província alcalina de Goiás*. Brasília, 439f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Kilinc, I. A. & Burnham, C. W. (1972). Partitioning of chloride between a silicate melt and coexisting aqueous phase from 2 to 8 kilobars: *Econ. Geol.*, 67: 231 - 235.

Kullerud, K. (1995). Chlorine, titanium and barium-rich biotites: factors controlling biotite composition and implications for garnet-biotite geothermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 120: 42 - 59.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986). A classification of volcanic rocks based on the total álcalis-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.

Le Maitre, R. W. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the Internacional Union of Geological Sciences Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 193p.

Le Maitre, R. W. (editor), A. Streckeisen, B. Zanettin, M.J. Le Bas, B. Bonin, P. Bateman, G. Bellieni, A. Dudek, S. Efremova, J. Keller, J. Lamriere, P.A. Sabine, R. Schmid, H. Sørensen, A.R. Wooley. (2ª ed). (2002). *Igneous Rocks: IUGS Classification and glossary: recommendations of the Internacional Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge, Cambridge University Press, 236p.

Liégeois, J.P. (1998). Some words on the post-collisional magmatism. Preface to Special Edition on Post-Collisional Magmatism. *Lithos*, 45:xv-xvii..

Lima, E. F.; Nardi, L. V. S. (1991). Os lamprófitos espessartíticos da associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Geochemistry Brasil.*, v.5, n.1/2, p. 117-130.

Lima, E.F; Nardi, L. V. S. (1998). Química Mineral das Rochas Vulcânicas e Lamprófitos Espessartíticos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul-RS. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 113-124.

- Lima, E.F; Nardi, L. V. S.; Sommer, C. A.. (2007). Lamprófiros Espessartíticos Da Associação Shoshonítica de Lavras Do Sul – RS: Litoquímica e Química Mineral. In: Roberto Iannuzzi; José Carlos Frantz. (Org.) *50 anos de Geologia: Instituto de Geociências*. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, v.1, p. 43-57.
- Lima, E. F., Sommer, C. A., Nardi, L. V. S. (2007a) O vulcanismo neoproterozóico-ordoviciano no Escudo Sul-Riograndense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã. In: *50 anos de Geologia: Instituto de Geociências*. Contribuições, p. 79-95.
- Menegotto, E.; Medeiros, E. R. 1976. Contribuição ao estudo das rochas ígneas ácidas da região da Serra do Tupanci, RS. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 29. Ouro Preto, MG. **Anais**. (2): 427 – 432.
- Meschede, M. (1986). A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Ydiagram. *Chemical Geology*, 56 (3/4): 207–218
- Middlemost, E. A. K. (1986). The nomenclature and origin of the noncumulate ultramafic rocks and the systematic position of kimberlites. In. Extended Abstract, Fourth Int. Kimberlite Conf. (Perth). *Geol. Soc. Aust.*, 16: 72-74.
- Mitchell, R.H. (1986). Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology. New York, NY, *Plenum Press*, 41 Op.
- Mitchell, R.H. (1989). Aspects of the petrology of kimberlites and lamproites: some definitions and distinctions. *Spec.Publ.Geol.Soc.Aust.* 14: 7- 45.
- Mitchell, R. H. (1994). The lamprophyre facies. *Mineralogy and Petrology*. 51: 137-146.
- Müller, D. & Groves, D.I. (1993). Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. *Ore Geology Reviews*, 8: 383-406.
- Müller, D. & Groves, D.I. (1997). *Potassic igneous rocks and associated Gold – Cooper mineralization*. New York, Springer-Verlang Berlin Heidelberg, 240 p.
- Müller, I. F. (2011). *Os diques latíticos portadores de ouro e sulfetos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul - RS: petrogênese e geoquímica*. Dissertação de Mestrado. 84f. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre.
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 757-773.
- Nardi, L. V. S. ; Lima, E. F. (1985) .A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul,RS.. *Revista Brasileira de Geociências*, 15: 139-146.
- Nardi, L. V. S. ; Lima, E. F. .(2000). *O magmatismo shoshonítico e alcalino da Bacia do Camaquã-RS*. In: Michael Holz; Luiz Fernando de Ros. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, v. 1, p. -.
- Paim, P. S. G., Chemale F. Jr., Lopes R.C., (2000). *A Bacia do Camaquã*. In: De Ros L.F.; Holz M. (ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, pp. 231-374.

- Pearce, J. A.; Cann, J. R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 290-300.
- Peccerillo, A. & Taylor, T. S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63 - 81.
- Pelosi, A.P.M.R; Fragoso-Cesar, A.R.S. (2003). Proposta Litoestratigráfica e Considerações Paleoambientais Sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 33 (2): 137 – 148.
- Remus M.V.D., Mcnaughton N.J., Hartmann L.A., Fletcher I.R. (1997). Zircon SHRIMP dating and Nd isotope date of granitoids of the São Gabriel Block, southern Brazil: evidence for an Archaean/Paleoproterozoic basement. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM OF GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATION, 2., Salvador, Extended Abstracts, p: 271-272.
- Rock, N.M.S. (1984). Nature and origin of calc-alkaline lamprophyres: minettes, vogesites, kersantites e spessartites. *Transactions of the Royal Society Edinburg*, 74:193-227.
- Rock, N. M. S. (1986). The nature and origin of ultramafic lamprophyres: ainöites and allied rocks. *Journal of Petrology*, 27: 155-196.
- Rock, N. M. S. (1987) The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: J.G. Fitton & B.G.J. Upton (eds.), *Alkaline Igneous Rocks. Geological Society Special publication*, 30: 191 – 226.
- Rock, N. M. S. (1991). *Lamprophyres*. Blackie, Glasgow, U. K.
- Roisenberg, A.; Loss, E. L.; Altamirano, J.A.F. & Ferreira, A.C.. (1983). Aspectos Petrológicos e Geoquímicos do Vulcanismo Pré-Cambriano/Eo-paleozóico do RS com base nos Elementos Maiores. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1, Porto Alegre. *Anais...*, Porto Alegre, SBG, 1: 237-285.
- Rosenbusch, H. (1897). *Mikroskopische Physiographie*. 3rd Edn. Schweizerbart, Stuttgart.
- Sommer, C. A.; Lima, E. F. & Nardi, L. V. S. (1999). Evolução do vulcanismo alcalino na porção sul do Platô do Taquarembó, Dom Pedrito – RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (2): 245 – 254.
- Sommer, C. A.; Lima, E. F.; Nardi, L.V.S.; Figueiredo, A.M.G. & Pierosan, R. (2005). Potassic and Low- and High-Ti Mildly Alkaline Volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, Southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18 (3): 237 – 254.
- Sommer, C. A; Lima, E.F; Nardi, L.V.S. & Liz, J.D. (2005a) The Neoproterozoic Mildly Alkaline Bimodal Volcanism in Southern Brazil: Geological and Geochemical Aspects. *International Geology Review*, 47(10): 1090 – 1110.
- Streckeisen, A. (1979). Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. *Geology*, 7: 331-335.
- Sun S.S. & McDonough W.F. (1989). Chemical and Isotopic Systematics of oceanic basalts: Implications for Mantle Composition and processes. In: Saunders A.D. & Norry

M.J. (eds.) Magmatism in Ocean Basins. London, *Geol. Soc. London Spec. Pub*, 42: 313-345.

UFRGS (2001). *Projeto Vila Nova-Rufino Farias – Mapeamento Geológico 1:25000 de Parte das Folhas Vila Nova (MI28982/3) e Rufino Farias (MI2981/4)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Zhang, M.; Suddaby, P.; Thompson, R. N.; Thirlwall, M. F., Menzies, M.A. (1995). Potassic volcanic rocks in NE China: geochemical constraints on mantle source and magma genesis, *J Petrol.*, 36: 1275 - 1303.

Wildner, W.; Nardi, L.V.S. & Lima, E.F. (1999). Post-collisional alkaline magmatism on the Taquarém Plateau: a well preserved Neoproterozoic-Cambrian plutonic-volcanic association in southern Brazil. *International Geology Review*, 41 (12): 1082 – 1098.

Wildner, W.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S. & Sommer, C.A. (2002). Volcanic cycles and settings in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118: 261 – 283.

Wilson, M. (1989). *Igneous Petrogenesis a global tectonic approach*. Berlin: Springer. 466p.

Winchester, J. A. & Floyd, P.A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.

Woolley, A. R., Bergman, S. C., Edgar, A. D., Le Bas, M. J., Mitchell, R. H., Rock, N. M. S. & Smith, B. H. S. (1996). Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 34: 175-186.

Wyman, D.A. & Kerrich, R. (1988). Alkaline magmatism, major structures and gold deposits: implications for greenstone belt gold metallogeny. *Economic Geology*, 83:451-461.

Wyman, D.A. & Kerrich, R. (1993). Archean Shoshonitic Lamprophyres of the Abitibi Subprovince, Canada: Petrogenesis, Age and Tectonic Setting. *Journal of Petrology*, 34(6):1067-1109.