UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CELÍ ZANON

PETROGRAFIA, QUIMICA MINERAL E GEOQUÍMICA DOS ENXAMES DE DIQUES E SUAS ENCAIXANTES NAS REGIÕES DE PIRATINI E PINHEIRO MACHADO, RS.

Orientador: Professor Doutor Rômulo Machado

Tese de Doutoramento

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

São Paulo 2005.

Ernesto, Gema, Lorena, Georgina, Domeclito,
Magda, Jorge, Camille Yule e Glaucos

Que são as luzes no cenário da minha vida

AGRADECIMENTOS

Esta tese foi realizada com a colaboração de várias pessoas e instituições, as quais gostaria de agradecer, embora todo agradecimento seja incompleto.

A CAPES, pela bolsa de doutorado concedida e à FAPESP, pelo apoio financeiro e viabilização das várias etapas desta tese.

Ao Instituto de Geociências da USP e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) gostaria de registrar meu reconhecimento.

Ao orientador, Prof. Dr. Rômulo Machado, pela sua paciência, seu trabalho sério e experiente, sua disposição em trabalho de campo, mostrando todo momento sua atenção e disposição em me apoiar. Também sua exigência e caráter científico que foram de extremo valor para a realização deste trabalho. Devo também estender meu agradecimento para toda a sua família pela amizade e apoio dispensado aqui em São Paulo.

Ao amigo, professor e Dr. Ruy Paulo Philipp da UFRGS, por ter me apoiado e me encaminhado para a realização deste doutorado, pelo acompanhamento nas duas etapas de campo, que com sua experiência e conhecimento da área, foram de imensa valia e não há palavras para agradecer.

Ao professor Dr. Luis Antônio Rosa Seixas (UFOP) pela sua atenção dispensada quando estive em Belo Horizonte em me auxiliar na interpretação de dados de química mineral. Meu agradecimento pela sua imensa contribuição neste trabalho.

Professora Drª Delia Pilar Montecinos de Almeida pela atenção dispensada em Porto Alegre.

Aos meus colegas da graduação, pós-graduação e professores da UNISINOS e da UFRGS, pelo apoio e estímulo, mesmo distantes.

A todos os professores do Instituto de Geociências e aqueles em especial que dispensaram atenção com importantes sugestões entre eles os professores Dr. José Moacyr Vianna Coutinho, Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha, Dr. Francisco Rubens Alves, Dr. Gergely Andrés Szabó, Dr. Excelso Ruberti, Dr. Renato de Moraes, Dr. Antônio Romalino Fragoso César, Dr. Ian McReath, Dr. Valdecir de Assis Janasi, Drª Mabel Norma Costas Ulbrich, Dr. Jorge Silva Bettencourt, Dr. Johann H. Daniel Schorscher, Dr. Caetano Juliani, Drª Maria da Glória Motta Garcia, Drª Maria Irene B. Raposo, Dr. Ivo Karmann e Dr. Paulo César Correa (Mato Grosso).

A todos os funcionários do Instituto de Geociências, em particular Sandra, Marcos, Marco Antônio, Angélica, Celina e Henrique.

A todos os colegas que de uma forma ou de outra se mostraram solidários e colaboraram com sugestões e estímulos entre eles, Agustin, Neivaldo, Ossama, Hélcio, Leonardo, Valéria, Alejandro, Ivanety, Márcia, Sérgio Wilians, Adriana, Roseane, Lucieth, Simone e Kleber.

A todos os amigos, entre eles, Célia e Carlos, Valdinho, Virgínia, Simone e Silvio.

Ao meu "pessoal " que se espalham desde os pampas gaúchos, Goiás, Mato Grosso e por este Brasil afora..... para vocês que sempre se fizeram presentes obrigada...

RESUMO

Esta tese apresenta os resultados dos estudos petrográficos, geoquímicos e de química mineral dos enxames de diques ácidos e básicos e suas encaixantes graníticas associadas ao Batólito Pelotas nas regiões de Piratini e Pinheiro Machado, RS.

Os dados obtidos apontam para a existência de dois tipos de diques contemporâneos, ácidos e básicos, gerados aparentemente por processos e fontes magmáticas distintas, com os primeiros sendo associados ao magmatismo da fase final (Granitos da Suíte Dom Feliciano) do Batólito Pelotas, desenvolvido já em regime tectônico extensional.

Os diques básicos, apesar da composição distinta, mostram evidências de campo e petrográficas da existência de mistura de magmas, sugerindo contemporaneidade com os diques ácidos. A biotita é o principal mineral máfico dos diques ácidos, enquanto o piroxênio ao lado do plagioclásio mais cálcico (conteúdos mais elevados em moléculas de anortita) aparece associado aos diques básicos, sugerindo que o magmatismo de cada dique foi gerado em condições termodinâmicas e níveis crustais bastante diferentes.

Os aspectos de campo e as texturas observadas nos granitos encaixantes mostram a existência da superposição de deformação no estado sólido, tanto em condições dúcteis quanto em condições rúpteis, deformações estas que não foram observadas nos diques. Contudo, as texturas observadas nos diques (micrográfica, mirmequítica, dentre outras) sugerem a presença de líquido residuais ricos em sílica interagindo com minerais de mais alta temperatura já cristalizados.

Os dados geoquímicos caracterizam para a região de Piratini diques de composição riolito, traquito e basalto, enquanto para a região de Pinheiro Machado caracterizam diques de composição riolito, traquidacito, dacito, latito e basalto. O mg# revela que os diques ácidos da região de Piratini são mais evoluídos do que as demais rochas estudadas. Os riolitos e traquitos de Piratini têm características de um magmatismo alcalino, e os basaltos, de magmatismo transicional com afinidade alcalina. Os riolitos, dacitos, latitos e traquidacitos de Pinheiro Machado caracterizam-se como magmatismo cálcio alcalino alto-K e, moderadamente alcalino, com o basalto mostrando-se cálcio alcalino.

Os diques ácidos de ambas as regiões estudadas representam um conjunto relativamente homogêneo com relação aos conteúdos dos elementos terras raras, e mostram conteúdos mais acentuados em ETR leves, anomalias fortemente negativas de Eu e valores baixos de ETR pesados, sugerindo fracionamento pelo feldspato alcalino.

Os diagramas multi-elementares mostram padrão similar entre os diques ácidos e os granitos, com anomalias negativas em Ba, Sr, Eu, Ti, Sc e Ni, enriquecimento em relação ao condrito em K, Rb, Zr, Y e Tb, enquanto o padrão dos diques básicos apresenta anomalias positivas em Ba, Ti, Sr, Eu e La, sendo levemente enriquecidos em relação ao condrito em K, Nd e Zr. A anomalia positiva em Eu pode ser explicada pela presença de anfibólio.

A provável correlação dos diques ácidos com as suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas sugere tratar-se de um magmatismo com características tectônicas tardi-a pós-colisionais ao ciclo brasiliano.

ABSTRACT

New petrographic, geochemistry and mineral chemistry data from acid and basic dyke swarms, associated to the Pelotas Batholith in the Piratini, Pinheiro Machado regions, within the Rio Grande do Sul state are presented in this work. The obtained data suggest that the two types of dykes were generated by different magmatic sources and processes, within an extensional setting that was linked to the Pelotas Batholith.

These data suggest also an affinity between the acid dykes and granites from the Dom Feliciano Suite. The basic dykes show different compositions. Field and petrographic evidences shown the existence of magma mixing, suggesting contemporaneity with the acid magmatism.

Biotite is the mafic mineral of the acid rocks, whereas pyroxene and calcic plagioclase are the minerals of the basic rocks and together suggest that the magmatism was formed within different thermodynamic and crustal level situations. Field and structural characteristic of the host granitoids show solid-state superimposed deformations within ductile and ruptil regimes, a situation that was not seen in the dykes. Some dykes shown textures mirmekite and graphic suggesting the presence of residual liquid in contact with already crystallized higher temperature minerals.

Geochemical data shown that the Piratini dikes are ryholites, trachites, and basalts, whereas of the Pinheiro Machado are ryholites, trachyandesites, dacites, lathites and basalts. Mg# suggest that Piratini acid dikes are more evolved than the other rocks. Ryholites and trachites from Piratini have alkaline to transitional characteristics. Ryholites, dacites, lathites and trachyandesites from Pinheiro Machado are high-k calc-alkaline to moderately alkaline, with the basaltic types showing calc-alkaline nature.

The acid dykes of both regions up present one group of rocks relatively homogeneous with relation the rare earth element (REE) values, showing values more pronounced in light RRE, largely negative Eu anomalies and values low in heavy REE, suggesting fractionation of alkaline feldspar.

Multielementary diagrams of the studied rocks shown similar pattern between the acid dykes and granites, with negative anomalies in Ba, Sr, Eu, Ti, Sc and Ni, and enrichement in relation to the chondrite in K, Rb, Zr, Y and Tb, whereas the basic dykes pattern shown positive anomalies in Ba, Ti, Sr, Eu and La, being lightly enriched in K, Nd and Zr. Positive Eu anomalies may be interpreted by presence of amphibole.

The probable correlation of acid dykes with newer granitic suites of the Pelotas Batholith suggests magmatism with tectonic characteristics late and post-collisionals the Brasiliano Cycle.

Índice.....i
Índice de Figuras.....iv
Índice de fotografias e fotomicrografias.....viii
Índice de Tabelas.....viii
Agradecimento.....xii
Resumo.....xiii
Abstract.....xvi

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

I.1. *Introdução e Objetivos*.....2
I.2. *Localização e Acesso*.....2
I.3. *Metodologia Aplicada*.....4
I.3.1. *Programa de Campo*.....4
I.3.2. *Estudo Petrográfico*.....4
I.3.3. *Análises de Química Mineral*.....8
I.3.4. *Análises Geoquímicas*.....10
I.3.5. *Geotermometria*.....12

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO DO BATÓLITO PELOTAS

II.1. *Contexto Geológico Regional*.....14
II.2. *Aspectos Estruturais e Tectônicos do Batólito Pelotas* 17

CAPÍTULO III

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

III.1. *Geologia da Região de Piratini, RS*.....20
III.2. *Petrografia*.....30
III.2.1. *Introdução*.....30
III.2.2. *Rochas Graníticas Encaixantes*.....30
III.2.3. *Relações de Campo e Características Petrográficas*.....30
III.2.4. *Descrições Microscópicas*.....31
III.3. *Enclaves*.....34
III.4. *Enxames de Diques*.....42
III.4.1. *Relações de Campo e Características Petrográficas*.....42
III.4.2. *Diques Ácidos*.....42
III.4.2.1. *Descrição Macroscópica* 42
III.4.2.2. *Descrição Microscópica*.....42
III.4.5. *Diques Básicos*.....50
III.4.5.1. *Descrição Macroscópica*.....50
III.4.5.2. *Descrição Microscópica*.....50

CAPÍTULO IV
QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

IV.1. ***Química mineral*****.....59**
IV.1.2. ***Introdução*****.....59**
IV.1.3. ***Granitos Encaixantes*****.....59**
IV.1.3.1. ***Feldspato Alcalino*****.....59**
IV.1.3.2. ***Plagioclásio*****.....61**
IV.1.3.3. ***Biotita*****.....68**
IV.1.3.4. ***Zircão*** **.....73**
IV.1.3.5. ***Apatita*****.....75**
IV.2. ***Enclaves*****.....79**
IV.2.1. ***Plagioclásio*****.....81**
IV.2.2. ***Biotita*****.....82**
IV.2.3. ***Apatita*****.....86**
IV.3. ***Diques Ácidos*****.....89**
IV.3.1. ***Feldspato Alcalino*****.....89**
IV.3.2. ***Plagioclásio*****.....92**
IV.3.3. ***Zircão*****.....94**
IV.3.4. ***Biotita*****.....96**
IV.4. ***Diques Básicos*****.....101**
IV.4.1. ***Feldspato Alcalino*****.....101**
IV.4.2. ***Plagioclásio*****.....103**
IV.4.3. ***Piroxênio*****.....108**
IV.4.4. ***Epídoto*****.....115**
IV.4.5. ***Apatita*****.....117**
IV.4.6. ***Anfibólio*****.....121**
IV.5. *Geotermometria dos Diques Ácidos e Básicos da Região de Piratini, RS.....124*

CAPÍTULO V
(artigo submetido à RBG)

Petrografia e Geoquímica dos Diques Ácidos e Básicos Associados ao Batólito Pelotas, Região de Piratini, RS.

Abstract**.....126**
Resumo**.....126**
Introdução**.....127**
ArcabouçoTectonico Regional**.....127**
Geologia da Região de Piratini, RS**.....128**
Enxames de Diques**.....130**
Petrografia dos Diques Ácidos e Básicos**.....131**
Geoquímica**.....131**
Discussão e Conclusões**.....140**
Agradecimentos**.....141**
Referências**.....144**

CAPÍTULO VI

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA REGIÃO DE PINHEIRO MACHADO, RS.

VI.1. ***Geologia da Região de Pinheiro Machado, RS.....148***
VI.2. ***Petrografia.....156***
VI.2.1. ***Introdução.....156***
VI.2.2. ***Relações de Campo e Características Petrográficas.....156***
VI.2.3. ***Descrição Microscópicas.....156***
VI.3. ***Enxames de Diques.....165***
VI.3.1. ***Relações de Campo e Características Petrográficas.....165***
VI.4. ***Diques Ácidos.....165***
VI.4.1. ***Descrição Macroscópica.....165***
VI.4.2. ***Descrição Microscópica.....165***
VI.5. ***Diques Intermediário e Básico.....175***
VI.5.1. ***Descrição Macroscópica.....175***
VI.5.2. ***Descrição Microscópica.....175***

CAPÍTULO VII

QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE PINHEIRO MACHADO, RS.

VII.1.2. ***Introdução.....184***
VII.1.3. ***Granitos Encaixantes.....184***
VII.1.3.1. ***Feldspato Alcalino e Plagioclásio.....184***
VII.1.3.3. ***Biotita.....191***
VII.2. ***Diques ácidos.....196***
VII.2.1. ***Feldspato e Plagioclásio.....196***
VII.3. ***Diques intermediário e Básico.....204***
VII.3.1. ***Feldspato Alcalinos e Plagioclásio.....204***
VII.3.2. ***Biotita.....209***
VII.3.3. *Anfibólio.....214*
VII.4.*Geotermometria dos Diques Ácidos e Básicos da Região de Pinheiro Machado.....219*

CAPÍTULO VIII
(capítulo em forma de artigo)

Petrografia e Geoquímica dos Diques Ácidos, Intermediário e Básico Associados ao Batólito Pelotas, Região de Pinheiro Machado RS.

Abstract.....220
Resumo.....220
Introdução.....221
Geologia e Petrografia.....223
Geoquímica.....227
Discussão.....238
Conclusões.....240
Agradecimentos.....241
Referências.....245

CAPÍTULO IX

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

IX. ***Discussão*****.....249**
IX.1. ***Dados petrográficos dos diques, granitos encaixantes e enclaves e dos diques*****.....249**
IX.1.2. ***Química Mineral*****.....251**
IX.1.2.3. ***Granitos Encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado*****..... 251**
IX.1.2.4. ***Diques Ácidos da Região de Piratini e Pinheiro Machado*****.....252**
IX.1.2.5. *Diques Básicos e Intermediário da Região de Piratini e Pinheiro Machado.....254*

IX.1.3. ***Geoquímica das Rochas Estudadas*****.....256**
IX.1.3.4. *Diques Ácidos e Granitos encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado, RS.....256*

IX.1.3.5. *Diques Básicos e Intermediário da Região de Piratini e Pinheiro Machado.....257*

IX.2. *Conclusões.....258*

–BIBLIOGRAFIA-

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ***Mapa de acesso e localização das áreas estudadas*****.....3**
Figura 2. ***Mapa geológico do Batólito Pelotas com as áreas estudadas*****.....18**
Figura 3. ***Mapa geológico da área estudada na região de Piratini, RS*****.....23**
Figura 4. ***Perfis representativos da linha a-b (A) e da linha c-d (B)*****.....24**
Figura 5. ***Mapa de amostragem da região de Piratini, RS*****.....25**
Figura 6. ***Diagramas QAP e QAM. Classificação das rochas graníticas encaixantes e dos enclaves da região de Piratini, RS.*****.....36**
Figura 7. ***Diagrama de classificação SiO_2 versus $Na_2O + K_2O$ (%) (Le Maitre 2002) dos diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.*****.....53**
Figura 8. ***Diagrama de caracterização do feldspato alcalino segundo as componentes moleculares Ab-An-Or dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS*****.....60**
Figura 9. ***Diagrama de troca catiônica entre Na versus K (a.f.u.) de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS*****.....60**
Figura 10. ***Diagrama de caracterização de plagioclásio segundo as componentes moleculares Or-Ab-An dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS*****.....63**
Figura 11. ***Diagrama Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS*****.....64**
Figura 12A. *Zonamento do tipo oscilatório normal.....64*

Figura 12B. *Zonamento do tipo oscilatório inverso.....64*

Figura 13. *Perfil em dois fenocristais de plagioclásio inclusos em microclínio mostrando zonamento.....65*

Figura 14. ***Diagrama de variação catiônica entre o Ca versus Al (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS*****.....65**

Figura 15. ***Diagrama de classificação de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....69***
Figura 16. *Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....69*

Figura 17. ***Diagrama Mg versus Al^{total} (a.f.u.) com os campos das séries magmáticas para granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....70***
Figura 18. ***Diagrama triangular 10*TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....70***
Figura 19. ***Diagrama Ti versus Al^{VI} (a.f.u.) de biotita dos granitos encaixante dos diques na região de Piratini, RS.....71***
Figura 20. ***Diagrama mg# (a.f.u.) versus TiO_2 (%) de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....71***
Figura 21. ***Diagrama da ∑TR versus Zr (a.f.u.) para os granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....73***
Figura 22. ***Diagrama F versus Cl (%) de apatita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....76***
Figura 23. ***Diagrama Ca versus ∑TR (a.f.u.) das rochas graníticas encaixantes dos diques da região de Piratini, RS.....76***
Figura 24. **Diagrama Or-Ab-An de classificação de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....79**

Figura 25. **Diagrama Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....80**

Figura 26. **Perfil em fenocristal de plagioclásio com zonamento normal.....80**

Figura 27. ***Perfil em fenocristal de plagioclásio com zonamento oscilatório normal.....80***
Figura 28. ***Diagrama de classificação de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....82***
Figura 29. *Diagrama Mg versus Fe^{total} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. 83*

Figura 30. *Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....83*

Figura 31. ***Diagrama Mn versus Fe^{total} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS... .....83***
Figura 32. ***Diagrama Mg versus Al^{total} (a.f.u.) com limites discriminantes das séries magmáticas para os enclaves dos granitos encaixantes da região de Piratini, RS.....84***
Figura 33. ***Diagrama triangular 10*TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....84***
Figura 34. ***Diagrama de substituição Mn versus Ca (a.f.u.) de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região Piratini, RS.....86***
Figura 35. ***Diagrama de substituição ∑TR versus Ca (a.f.u.) de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.....87***
Figura 36. ***Classificação do feldspato alcalino dos diques ácidos projetados no diagrama ternário Or-Ab-An.....89***
Figura 37. ***Diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 (%) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....90***

Figura 38. ***Diagrama K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....90***
Figura 39. ***Classificação do plagioclásio dos diques ácidos projetados no diagrama ternário Or-Ab-An.....92***
Figura 40. ***Diagrama de troca catiônica Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....92***
Figura 41. ***Diagrama de troca catiônica entre ∑TR versus Zr (a.f.u.) de zircão de diques ácido da região Piratini, RS. 94***
Figura 42. ***Diagrama de troca catiônica entre Hf versus Zr (a.f.u.) de zircão dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....94***
Figura 43. ***Diagrama Fe/(Fe+Mg) versus Al^{IV} de caracterização de biotitas dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....97***
Figura 44. ***Diagrama de troca catiônica fe# versus mg# (a.f.u.) de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....97***
Figura 45. ***Diagrama de troca catiônica entre Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....98***
Figura 46. *Diagrama FeO total versus Al_2O_3 (%) (Abdel-Rahman 1994) discriminante de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS.....98*

Figura 47. ***Diagrama triangular 10* TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al. 1986) para as biotitas dos diques da região de Piratini, RS. 99***
Figura 48. ***Classificação do feldspato alcalino dos diques básicos projetados no diagrama Or-Ab-Na.....101***
Figura 49. ***Diagrama SiO_2 versus Al_20_3 (%) de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS.....101***
Figura 50. ***Diagrama K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS.....102***
Figura 51. ***Diagrama ternário Or-Ab-An de classificação de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....104***
Figura 52. ***Diagrama Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....104***
Figura 53. ***Perfil em dois fenocristais de plagioclásio de diques básicos da região de Piratini, RS.....105***
Figura 54. ***Perfil em três fenocristais de plagioclásio de diques básicos da região de Piratini, RS.....105***
Figura 55. ***Classificação de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS, com base no diagrama Wo-Es-Fs 109***
Figura 56. ***Diagrama de substituição Si versus Al^{total} (a.f.u.) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....109***
Figura 57. **Diagrama mg# (a.f.u.) versus TiO_2 (%) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....110**

Figura 58. **Diagrama Ca versus Mg (a.f.u.) (Sítio M_2) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....110**

Figura 59. ***Diagrama Ca versus Fe^{+2} (a.f.u.) (Sítio M_2) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....110***
Figura 60. ***Diagrama Fe^{+3} (a.f.u) versus Pistacita % de epídoto dos diques básicos da região de Piratini, RS.....115***

Figura 61. ***Diagrama Al^{+3} versus Fe^{+3} (a.f.u.) de epídoto dos diques básicos da região de Piratini, RS.....115***
Figura 62. ***Diagrama F versus Cl (%) de apatitas dos diques básicos da região de Piratini, RS.....117***
Figura 63. ***Diagrama CaO versus ∑TR (%) de apatitas dos diques básicos da região de Piratini, RS.....119***
Figura 64. ***Diagrama de classificação de anfibólio cálcico (Leake 1997) dos diques básicos da região de Piratini, RS.....122***
Figura 65. ***Diagrama Si versus Na+K+Ca (a.f.u.) de distinção de anfibólio magmático e não magmático (Leake 1971).....122***
Figura 66. ***Mapa geológico da Área de Pinheiro Machado, RS.....151***
Figura 67. ***Mapa de amostragem da Folha Pinheiro Machado, região de Pinheiro Machado, RS.....152***
Figura 68. ***Mapa de amostragem da Folha Passo do Coutinho, região de Pinheiro Machado, RS.....153***
Figura 69. ***Diagramas QAP de classificação das rochas graníticas encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....160***
Figura 70. ***Diagrama de classificação SiO_2 versus Na_2O+K_2O (%) para os diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....178***
Figura 71. ***Diagrama de caracterização dos feldspatos alcalinos e plagioclásios da região de Pinheiro Machado, RS.....185***
Figura 72. *Diagrama da variação do SiO_2 versus Al_2O_3 (%) para cristais de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....185*

Figura 73. *Diagrama de troca catiônica Na versus K (a.f.u.) de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....186*

Figura 74. *Diagrama de variação catiônica Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....186*

Figura 75. ***Diagrama Al^{IV} versus Fe/(Fe+Mg) (a.f.u.) de caracterização da biotita dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....192***
Figura 76. ***Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotitas dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....192***
Figura 77. ***Diagrama Ti versus Al^{VI} (a.f.u.) de biotitas dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....193***
Figura 78. ***Diagramas FeO versus Al_2O_3 e MgO versus Al_2O_3 (%) (Abdel-Rahman 1994) discriminantes de biotita de suítes alcalinas, cálcio alcalinas e peraluminosas.....193***
Figura 79. ***Diagrama triangular $10*TiO_2$ – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al 1986) para as biotitas dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....193***
Figura 80. **Diagrama ternário Or-Ab-An de classificação de feldspato alcalino e plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....196**

Figura 81. ***Diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 (%) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....197***
Figura 82. ***Diagrama de troca catiônica K versus Na (a.f.u.) de feldspatos alcalinos dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....197***
Figura 83. ***Diagrama de troca catiônica Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....198***

Figura 84. *Diagrama ternário Or-Ab-An de caracterização de feldspato alcalino do dique intermediário e plagioclásio do dique básico da região de Pinheiro Machado, RS.....205*

Figura 85. ***Diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 (%) de feldspato alcalino do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....205***
Figura 86. ***Diagrama de troca catiônica K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino do dique intermediário de região de Pinheiro Machado, RS.....206***
Figura 87. ***Diagrama de troca catiônica Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio do dique básico da região de Pinheiro Machado, RS.....206***
Figura 88. ***Diagrama Fe/(Fe+Mg) versus Al^{IV} (a.f.u) (Deer et al. 1978) de caracterização das biotitas do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....210***
Figura 89. ***Diagrama discriminante FeO^{total} versus Al_2O_3 (%) de biotita de suítes alcalinas, cálcio alcalina e peraluminosas para o latito da região de Pinheiro Machado, RS.....210***
Figura 90. ***Diagrama Mg versus FeO^{total} (a.f.u.) de biotita do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....211***
Figura 91. ***Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....211***
Figura 92. ***Diagrama triangular $10*TiO_2$ – FeO+MnO – MgO (%) das biotitas do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....212***
Figura 93. ***Diagrama $Mg/(Mg+Fe_2)$ versus Tsi (a.f.u.) de classificação dos anfibólios cálcicos dos diques intermediários da região de Pinheiro Machado, RS.....215***
Figura 94. ***Diagrama $Si_T + Na_C + Na_A + K_A$ versus $Al^{IV}{}_T + Ca_C$ (a.f.u.) mostrando evolução composicional dos anfibólios dos diques intermediários da região de Pinheiro Machado, RS.....215***
***Figura 95*. Diagramas Mg versus Fe^{+2} (sítio C) (a.f.u.) de anfibólio do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....216**

Figura 96. *Diagrama de discriminação de anfibólios magmáticos e não magmáticos (Leake 1971).....216*

Figura 97. *Diagrama de % de Or no plagioclásio versus % An para a cristalização do plagioclásio dos diques básicos (A) e K_2O da rocha total versus % de Or no plagioclásio dos diques básicos (B) da região de Piratini, RS.....255*

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS E FOTOMICROGRAFIAS

Prancha 1. Fotografias de Amostras de Mão dos Granitos Encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado, RS.....26

Prancha 2. Fotografias de Amostras de Mão de Diques Ácidos e Básicos da Região de Piratini, RS.....28

***Prancha 3*. Fotomicrografias dos Minerais das Rochas Graníticas Encaixantes da Região de Piratini, RS.....38**

***Prancha 4.* Fotomicrografias dos Minerais das Rochas Graníticas Encaixantes da Região de Piratini, RS.....40**

Prancha 5. ***Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Ácidos da Região de Piratini, RS...46***
Prancha 6. ***Fotomicrografias de Minerais dos Diques Ácidos da Região de Piratini, RS....48***
Prancha 7.**Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Básicos da Região de Piratini, RS..54**

Prancha 8.***Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Básicos da Região de Piratini, RS..56***
Prancha 9. ***Fotografias dos Diques Ácidos, Básicos e Intermediário da Região de Pinheiro Machado, RS.....154***

Prancha 10. *Fotomicrografias dos Minerais dos Granitos Encaixantes dos Diques na Região de Pinheiro Machado, RS.....162*

Prancha 11. ***Fotomicrografias de Minerais dos Diques Ácidos de Região de Pinheiro Machado, RS.....169***
Prancha 12. ***Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Ácidos da Região de Pinheiro Machado, RS.....171***
Prancha 13. ***Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Ácidos da Região de Pinheiro Machado, RS.....173***
Prancha 14. ***Fotomicrografias de Minerais de Diques Intermediário e Básico da Região de Pinheiro Machado, RS.....179***
Prancha 15. ***Fotomicrografias de Minerais de Diques, Intermediário e Básico da Região de Pinheiro Machado, RS.....181***

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. ***Classificação com base no tamanho dos grãos (Mackenzie et al. 1984).....5***
Tabela 2**. Nomenclatura para as rochas ígneas com base na relação de tamanho entre os grãos da matriz e os megacristais (Mackenzie et al. 1984).....5**

Tabela 3. ***Termos utilizados para descrever a forma dos cristais (Mackenzie et al. 1982).....6***
Tabela 4. ***Termos utilizados para descrever a proporção de cristais na matriz de uma rocha de acordo com Mackenzie et al. (1982).....6***
Tabela 5. ***Termos utilizados para descrever o tipo de matriz de uma rocha.....6***
Tabela 6. ***Conceitos de texturas com base em Mackenzie et al. (1982).....……..7***
Tabela 7. **Condições operacionais da microssonda eletrônica utilizada para realização da química mineral (Instituto de Geociências da USP).....8**

Tabela 8**. Padrões utilizados para determinar o conteúdo químico dos minerais analisados na microssonda eletrônica (Instituto de Geociências da USP).....8**

Tabela 9. ***Tempo de leitura na microssonda eletrônica para análise química mineralógica em segundos.....9***
Tabela 10**. Limites de detecção obtidos no Laboratório ACTLABS - Ontario – Canadá.....11**

Tabela 11. **Valores de perda ao fogo (%) das diferentes faciologias analisadas no Laboratório ACTLABS – Ontário – Canadá.....11**

Tabela 12. **Resumo das principais características dos granitos e diques da região de Piratini (RS)**.....22

Tabela 13. ***Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas dos enclaves e dos granitos encaixantes dos diques estudados, região de Piratini, RS***.....34

Tabela 14. ***Composição modal das rochas graníticas estudadas dos enclaves da região de Piratini, RS***.....35

Tabela 15. ***Porcentagem de minerais máficos dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS***.....35

Tabela 16. ***Síntese das informações petrográficas das rochas graníticas encaixantes e dos enclaves da região de Piratini, RS***.....37

Tabela 17. ***Síntese das informações texturais e modal visual dos diques ácidos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS***.....44

Tabela 18. *Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas dos diques ácidos da região de Piratini, RS*.....45

Tabela 19. ***Composição modal e texturas dos diques básicos da região de Piratini, RS***.....52

Tabela 20. ***Provável ordem de cristalização dos minerais dos diques básicos da região de Piratini, RS***.....53

Tabela 21. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....61

Tabela 22. ***Análises selecionadas de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....66

Tabela 23. ***Análises selecionadas de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....67

Tabela 24. ***Análises selecionadas de biotita dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....72

Tabela 25. ***Análises selecionadas de zircão de granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS***.....74

Tabela 26. ***Análises selecionadas de apatita dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....77

Tabela 27. ***Análises selecionadas de apatita dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....78

Tabela 28. ***Análises selecionadas de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....81

Tabela 29. ***Análises de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques da região de Piratini, RS***.....85

Tabela 30. ***Análises selecionadas de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS***.....88

Tabela 31. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino de diques ácidos da região de Piratini, RS***.....91

Tabela 32. ***Análises selecionadas de plagioclásio de diques ácidos da região de Piratini, RS***.....93

Tabela 33. ***Análises selecionadas de zircão de diques ácidos da região de Piratini, RS***.....95

Tabela 34. ***Análises selecionadas de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS***.....100

Tabela 35. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS.....102***
Tabela 36. ***Análises selecionadas de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....106***
Tabela 37. ***Análises selecionadas de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....107***
Tabela 38. ***Análises selecionadas de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....111***
Tabela 39. ***Análises selecionadas de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....112***
Tabela 40. ***Análises selecionadas de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS.....114***
Tabela 41.**Análises selecionadas de epídoto dos diques básicos da região de Piratini.....116**

Tabela 42. ***Análises selecionadas de apatita dos diques básicos da região de Piratini.....118***
Tabela 43. ***Análises selecionadas de apatita dos diques básicos da região de Piratini.....120***
Tabela 44. ***Análises selecionadas de anfibólio dos diques básicos da região de Piratini...123***
Tabela 45. *Temperaturas dos plagioclásios e o seu valor médio para os diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.....124*

Tabela 46. ***Resumo das principais características e texturas dos granitos encaixantes e dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....150***
Tabela 47. ***Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas nos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....159***
Tabela 48. ***Composição modal (%) das rochas graníticas encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....159***
Tabela 49. ***Síntese das informações petrográficas das rochas graníticas encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.....161***
Tabela 50. *Provável ordem de cristalização das fases minerais dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....167*

Tabela 51. *Síntese das informações petrográficas da análise modal visual dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....168*

Tabela 52. ***Síntese das informações petrográficas da análise modal visual dos diques intermediário e básico da região de Pinheiro Machado, RS.....177***
Tabela 53. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado, RS.....187***
Tabela 54. *Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado, RS.....188*

Tabela 55. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado, RS.....189***
Tabela 56. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio dos granitos encaixantes da região de Pinheiro Machado, RS.....190***
Tabela 57. Análises selecionadas de biotita dos granitos encaixantes da região de Pinheiro Machado, RS.....194
Tabela 58. ***Análises selecionadas de biotita dos granitos encaixantes da região de Pinheiro Machado, RS.....195***
Tabela 59. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....198***

Tabela 60. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS*****.....*****199***
Tabela 61**. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....200**

Tabela 62. **Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....201**

Tabela 63. **Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.....202**

Tabela 64**. Análises selecionadas de plagioclásio de dique ácido da região de Pinheiro Machado, RS.....203**

Tabela 65. **Análises selecionadas de feldspato alcalino de dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....207**

Tabela 66**. Análises selecionadas de plagioclásio de dique básico da região de Pinheiro Machado, RS.....208**

Tabela 67. *Análises selecionadas de biotita de dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....213*

Tabela 68. *Análises selecionadas de anfibólio de dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.....217*

Tabela 69. *Temperaturas médias dos plagioclásios dos diques ácidos e básicos da região de Pinheiro Machado, RS.....218*

Tabela 70. Minerais das rochas analisados quimicamente.....

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

I.1. *Introdução e Objetivos*

O objetivo desta tese é caracterizar, com base na petrografia, química mineral e geoquímica o magmatismo dos enxames de diques ácidos e básicos associados ao Batólito Pelotas nas regiões de Piratini e Pinheiro Machado (RS). A escolha deste tema para pesquisa foi motivada pela importância deste tipo de estudo para compreensão da evolução da fase final do magmtismo associado ao Batólito Pelotas, bem como pela inexistência de trabalhos de pesquisa abordando o assunto nestas duas regiões.

O Batólito Pelotas é caracterizado pela presença de seis suítes graníticas de natureza cálcio-alcalina entre médio a alto-K e uma sienítica alcalina (Philipp *et al.* 2002) a saber: Suíte Pinheiro Machado (SPM), Suíte Erval (SE), Suíte Viamão (SV), Suíte Encruzilhada do Sul (SES), Suíte Cordilheira (SC), Suíte Dom Feliciano (SDF) e Suíte Piquiri (SP) com esta última sendo de natureza alcalina. Os enxames de diques estudados encontram-se encaixados em rochas graníticas destas suítes, principalmente da SPM, SDF e SV.

Em trabalhos anteriores, o enfoque maior dos estudos tem sido dado para as rochas graníticas do batólito, enquanto para os diques não têm sido dado a mesma atenção. Os diques aqui estudados têm sido referidos na literatura como Riolitos Asperezas (Fragoso Cesar, 1986), cuja denominação foi introduzida por Figueiredo Filho & Salgado (1964) para o enxame de diques localizado na região da Serra homônima, que se situa imediatamente a nordeste da cidade de Pinheiro Machado. Os autores identificaram uma estreita relação entre os diques ácidos e as rochas graníticas do bátolito. Outros trabalhos caracterizam também estes diques como sendo de composição básica a intermediária, e levantam a possibilidade de que os primeiros possam representar o registro de uma contribuição mantélica associada com a evolução do Bátolito Pelotas. Os modelos tectônicos disponíveis sobre o Batólito Pelotas consideram os diques como relacionados com a fase final do magmatismo que gerou o Batólito (Tessari & Giffoni 1970, Picada 1971, Fragoso Cesar *et al.* 1986).

Recentemente, Philipp & Machado (2001) e Philipp *et al*. (2002) apresentaram dados sobre a petrografia, estratigrafia, tectônica e geologia isotópica (Sr, Nd e Pb) dos granitos e dos septos metamórficos do batólito e discutem a natureza do magmatismo que deu origem às suas diferentes suítes.

Esta tese apresenta dados de campo, petrográficos, química mineral e geoquímica sobre os diques localizados na região de Piratini e Pinheiro Machado (RS). Com base nestes dados, será feita uma discussão sobre a natureza do magmatismo gerador dos diques e sua possível relação com a fase final do magmatismo granítico relacionado com o Batólito Pelotas.

I.2. *Localização e Acesso*

As áreas estudadas situam-se no estado do Rio Grande do Sul à oeste da cidade de Pelotas, e abrangem os municípios de Piratini e Pinheiro Machado. As áreas estão inseridas nas Folhas Piratini (SH 22-Y-C-II-4), Pinheiro Machado (SH 22-Y-CV-1) e Passo do Coutinho (SH 22-Y-V-2) - S.UTM 22/ DATUM Horizontal - Córrego Alegre (Minas Gerais), em escala 1:50.000. O acesso à região pode ser feito a partir de Porto Alegre pela BR-116 até a cidade de Pelotas, seguindo-se pela rodovia RS-265, a partir da qual se atinge as cidades de Piratini e Pinheiro Machado. A figura 1 mostra a localização das duas áreas estudadas e seu acesso a partir de Porto Alegre.

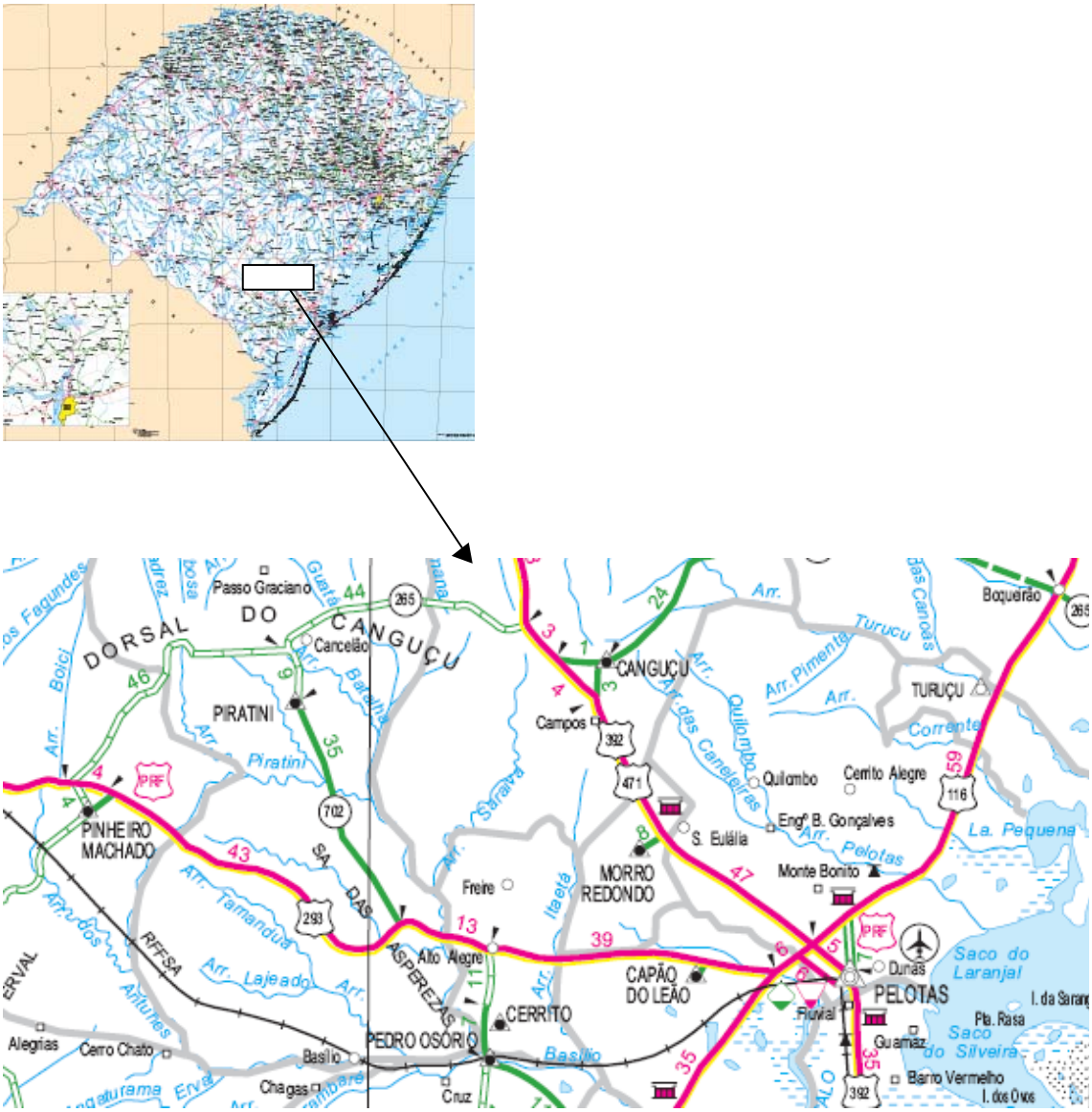


Figura 1. *Mapa de acesso e localização das áreas estudadas.*

I.3. *Metodologia Aplicada*

Neste item será mostrado como foi desenvolvida esta tese, as etapas percorridas durante as investigações científicas em busca dos resultados almejados das respectivas áreas estudadas. Aqui é apresentado também, métodos e processos utilizados para obtenção de dados químicos e os processos desenvolvidos em seus respectivos laboratórios.

I.3.1. *Programa de Campo*

Foram realizadas duas etapas de campo, desenvolvidas da seguinte forma:

a) Primeira etapa – Foi desenvolvida com a participação do Professor Ruy Paulo Philipp, docente da UFRGS. A pesquisa foi realizada na região de Piratini (Folha Piratini – escala - 1:50.000), montando-se base no município de Piratini, com a coleta de amostras sistemáticas dos diques e das encaixantes. Foram elaboradas seções de detalhe dos afloramentos, coletando-se amostras para análises petrográficas, química mineral e geoquímica.

b) Segunda etapa – Foi desenvolvida com a participação dos Professores Rômulo Machado (Orientador) e Ruy Paulo Philipp. A pesquisa foi concentrada na região de Pinheiro Machado e englobou as Folhas Pinheiro Machado e Passo do Coutinho (ambas 1:50.000). Da mesma forma, coletaram-se amostras de diques e encaixantes seguindo-se a mesma sistemática adotada na Folha Piratini. Os mapas de amostragens das respectivas áreas estudadas estão representados nas figuras 5, 67 e 68.

Com a amostragem coletada em campo, deu-se o processo de preparação do material geológico para o estudo petrográfico, química mineral e geoquímica, sendo os mesmos realizados em laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP).

I.3.2. *Estudo Petrográfico*

Foram confeccionadas 77 lâminas delgadas (Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da USP) de amostras dos diques e rochas encaixantes, de ambas as áreas.

As lâminas das rochas foram descritas no Laboratório de Petrografia da USP, com a utilização de microscópio óptico marca Zeiss, modelo Axioplan. As fotomicografias foram obtidas no microscópio eletrônico Olympus, modelo Bx50. Para a nomenclatura dos granitos e enclaves, utilizou-se o contador de pontos com a contagem em torno de 1000 pontos por amostra, realizando-se a modal e lançando-se os dados no diagrama de Streckeisen (1976).

A caracterização dos diques, a princípio foi adquirida través da modal visual, e posteriormente utilizou-se dados de geoquímica projetados no diagrama de classificação SiO_2 *versus* K_2O+Na_2O (%) (Le Maitre 2002). Esta classificação considera também a subdivisão dos campos de acordo com os critérios mostrados no esquema abaixo:

critérios			
$Na_2O - 2.0 \geq K_2O$	traquibasaltos hawaiito	basalto traquiandesito mugearito	traquiandesito benmoreito
$Na_2O - 2.0 \leq K_2O$	traquiandesito-K	shoshonito	latito

Foi realizada também a classificação com base nas porcentagens de SiO_2 em rocha total. De acordo com esta classificação é considerada rocha ácida, quando a mesma apresenta mais do que 63 %, intermediária entre 52 e 63 % e básica entre 45 e 52 % em SiO_2 (Le Maitre 2002). Adotou-se também a classificação baseada no índice da cor da rocha, que por sua vez é observada em relação a porcentagem de minerais félsicos (Índice de Simpson 1954) e máficos (Índice de Wager & Deer - in Fujimori 1990) que a mesma apresenta.

Os critérios para definição das diferentes faciologias estudadas foram os seguintes:

- coloração: descrição macroscópica da cor dos fenocristais e matriz;
- granulação: classificação em função do tamanho dos grãos da matriz e dos fenocristais. A terminologia utilizada para a definição de granulação é de acordo com Mackenzie *et al*. (1984), conforme tabela abaixo.

Granulação	Tamanho dos cristais
Muito fina	<0,05 mm
Fina	< 1 mm
Média	Entre 1 a 5 mm
Grossa	Entre 5 e 30 mm
Muito grossa	> 30 mm

Tabela 1. *Classificação com base no tamanho dos grãos (Mackenzie et al. 1982).*

A relação entre o tamanho dos cristais da matriz e os fenocristais foi baseada nos seguintes termos:

Equigranular	Inequigranular	
Todos os cristais que fazem parte do arcabouço da rocha têm aproximadamente o mesmo tamanho	Os cristais da matriz e os fenocristais têm tamanhos diferentes, sendo distinguidos dois tipos texturais dominantes:	
	Porfiróides	**Porfirítica**
	Megacristais com tamanho no mínimo 10 vezes maior do que o tamanho médio da matriz de granulação média a grossa, ou megacristais com porcentagem inferior a 50%.	Fenocristais ou megacristais com tamanho no mínimo 10 vezes maior do que a matriz de granulação fina, ou com uma porcentagem de megacristais superior a 50%.

Tabela 2. Nomenclatura para as rochas ígneas com base na relação de tamanho entre os grãos da matriz e os megacristais (Mackenzie et al. 1982).

Em geral os diques apresentam diâmetro dos cristais < 1 mm (fino) e muito fino (<0,05 mm). Os caracteres texturais foram registrados em microfotografias.

- Composição mineralógica: conteúdo e natureza dos fenocristais, minerais félsicos, máficos e acessórios, incluindo cor, forma, hábito, dimensões médias, orientações, porcentagens, etc.
- Estrutura: utilizada para descrições na escala macroscópica, principalmente no campo, com a finalidade de descrever e caracterizar o tipo de foliação (fluxo magmático e estado sólido).

Nomenclatura utilizada para descrição morfológica dos cristais. Sinônimos e significados.			
Termos utilizados	Sinônimo		Significado
Euedral	Idiomórfico	Automórfico	Cristal com todas as faces cristalinas bem formadas
Subedral	Hipidiomórfico	Hipautomórfico	Cristal com algumas faces cristalinas bem formadas
Anedral	Alotriomórfico	Xenomórfico	Cristal que não contém faces cristalinas bem formadas

Tabela 3. *Termos utilizados para descrever a forma dos cristais (Mackenzie et al. 1982).*

As rochas ígneas podem ser formadas inteiramente por cristais, inteiramente por vidro ou por vidro e cristal. De acordo com a porcentagem de cristais ou vidro, elas podem ser:

100% cristais	**50% cristais e 50% vidro**	**100% vidro**
Holocristalina	Hipocristalina ou hipoialina	Holoialina

Tabela 4. *Termos utilizados para descrever a proporção de cristais na matriz de uma rocha de acordo com Mackenzie et al. 1982.*

A matriz das rochas sub-vulcânicas estudadas ocorre sob as seguintes formas:

Fanerocristalina	
Fanerítica	Afanítica
Todos os cristais podem ser distinguidos	Todos os cristais não podem ser distinguidos. Ocorrem dois sub-tipos: a)microcristalina: os cristais podem ser identificados com microscópio eletrônico (os cristais são largos e são chamados de micrólitos). b)criptocristalina: Os cristais também podem ser vistos ao microscópio (os cristais são radiados e alongados e são chamados de *cristalites*).

Tabela 5. *Termos utilizados para descrever o tipo de matriz de uma rocha (Mackenzie et al. 1982).*

Os diques sub-vulcânicos (ácidos, intermediário e básicos) apresentam vários tipos de texturas. Na tabela abaixo são apresentadas texturas observadas nos diques e nos granitos estudados, bem como o seu conceito.

Texturas	**Conceito**
Esferulítica	São compostos por agregados fibrosos de cristais de um ou mais minerais ao redor de um núcleo, geralmente este núcleo é de quartzo.
Radiada	Cristais alongados divergem de um núcleo comum, que pode ser de plagioclásio, augita ou olivina.
Ocellar	Caracterizado pelo arranjo radial de cristais prismáticos ao redor de grandes cristais euédricos de mineral diferente.
Traquítica	Arranjo sub-paralelo de microcristais de feldspato alcalino em forma de ripas distribuídos na matriz holocristalina ou hipocristalina, ou ainda cristais de feldspato alcalino exibindo alinhamento sub-paralelo ou ao redor de fenocristais.
Concertal	As bordas entre dois cristais envolvem interdigitações que por vezes mostram-se serrilhadas (Niggli 1954).
Intersertal	Vidro ou material hipocristalino ocupam interstícios entre ripas de plagioclásio.
Seriada	Cristais de plagioclásio, augita e magnetita em basaltos, mostram-se com forma e arranjo proporcional (<0,01 - 0,5 mm).
Intergranular	Espaços entre ripas de plagioclásio são ocupados por um ou mais grãos de piroxênio, olivina e minerais opacos.
Simplectito	Intercrescimento de dois minerais e um deles apresenta forma vermicular.
Glomeroporfirítica felsofírica	Fenocristais e/ou cristais de diferentes (feldspato e quartzo) tamanhos estão aglomerados em uma matriz composta por cristais de granulação fina.
Poiquilítica	Cristais idiomórficos a hipidiomórficos inclusos em fenocristais.
Micrográfica	Intercrescimento de filetes ou rabiscos de quartzo dentro de cristais de feldspato alcalino. Geralmente apresentam a mesma orientação ótica.
Mirmequítica	Intercrescimento de quartzo em cristais de plagioclásio (principalmente nas bordas de plagioclásio)
Pertitas	Vênulas ou filmes de composição potássica ou sódica dentro de cristais de feldspato alcalino.
Hialopilítica	Caracterizada pela presença de micrólitos de feldspato alcalino em matriz microcristalina.
Embaiamento (em alguns cristais de quartzo)	Cristais de quartzo são bordejados por um fino filme de vidro.
Lamelar	Ripas paralelas de um mineral, com mesma orientação ótica bordejando outros minerais.
Ofítica	É uma variedade de textura poiquilítica. É o arranjo de cristais alongados (geralmente plagioclásio) totalmente inclusos (geralmente em augita).
Sub-ofitíca	Cristais alongados de plagioclásio apresentam-se parcialmente inclusos em cristais de augita.
Panidiomórfica	Fenocristais de minerais prismáticos (geralmente piroxênio, anfibólio e plagioclásio) dispersos em matriz afanítica.

Tabela 6. Conceito de texturas com base *Mackenzie et al. (1982).*

I.3.3. *Análises de Química Mineral*

As análises de química mineralforam obtidas por intermédio de microssonda eletrônica marca Jeol, modelo JXA8600 Superprobe equipado com cinco espectrômetros com os cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF e LIF/PET do Instituto de Geociências da USP. Este equipamento está automatizado com um sistema *Voyager* 3.6.1 da NORAN *Instruments.*

As analises foram realizadas em seções delgadas polidas, metalizadas com película de carbono ≈ 25 nm em evaporador AUTO 206 da EDWARDS. O quadro abaixo apresenta as condições operacionais do aparelho utilizadas para os diferentes minerais analisados.

Mineral	Voltagem	Corrente	Diâmetro do Feixe
Feldspatos	15Kv	20,10 ± 0,10nA	5µm
Micas	15Kv	20,10 ± 0,10nA	5µm
Piroxênio	15Kv	20,10± 0,10nA	5µm
Epídoto	15Kv	20,10± 0,10nA	5µm
Anfibólio	15Kv	20,10 ± 0,10nA	5µm
Zircão	15Kv	20,10± 0,10nA	5µm
Apatita	25Kv	50,10 ± 0,10nA	5µm

Kv = quilovats; nA = nano âmper; µm = micras

Tabela 7. Condições operacionais da microssonda eletrônica utilizada para realização da química mineral (Instituto de Geociências da USP).

Os dados analíticos foram tratados com o auxílio do programa Excel do Microsoft Word e os mesmos estão expostos nas tabelas do capítulo da química mineral das respectivas áreas estudadas. Análises quantitativas foram realizadas pelo método WDS (*wavelingth-dispersive spectroscopy*) em feldspatos, piroxênio, biotita, epídoto, zircão e apatita. Identificou-se também a presença de sulfetos pelo método EDS (*energy dispersive spectrometry*).

Os padrões utilizados na determinação do conteúdo químico dos minerais analisados estão na tabela abaixo:

Elemento	Padrão	Elemento	Padrão
Si	Wollastonita	Yb	Tee1
Al	Anortita	Gd	Tee1
Ca	Wollastonita	P	Clap (sintético)
Ti	TiO_2	La	Tee3
Mn	Olivina	Zr	Zircão
Mg	Diopsídio	Pr	Monazita
Na	Jadeíta	Cl	Clap(sintético)
K	Ortoclásio	Hf	HfSi
Ni	NiO	Nd	Tee2
Cr	CrO	Nb	Tee2
Ba	BaSc	U	UO2
F	Fluorita	Pb	Pb
Y	Ya6(sintético)	Th	ThO2
Sr	SrAn(sintético)	Ce	Tee3
Sm	Tee2		

Tabela 8. Padrões utilizados para determinar o conteúdo químico dos minerais analisados na microssonda eletrônica (Instituto de Geociências da USP).

A tabela abaixo apresenta o tempo de leitura na microssonda eletrônica para análise química de cada mineral em segundos:

Elemento	Plagioclásio	Feldspato	Piroxênio	Apatita	Epídoto	Zircão	Biotita	Anfibólio
Si	10	10	10		10	10	10	10
Ti	20	20	20		20	20	20	10
Al	20	20	20		20	20	20	10
Fe	20	20	20	20	20	20	20	10
Mn	20	20	20	20	20		20	10
Mg	20		20	20	20		20	10
Ca	20	20	20	10	20	20	20	10
K	20	20	20				20	
Ba	40	40				40	40	
Na	10	10	20	20			10	20
Cr			20					20
Ni								
Ce				30	30			
Pr								
La				30	30			
Y				30	30	30		
Zr					30	30		
P				10				
F				10			10	
Sr				30				
Hf						30		
Th						30		
U						30		
Sm						40		
Pb						40		
Yb						40		
Gd						40		
Nd						40		
Nb								
Cl				10			10	

Tabela 9. *Tempo de leitura na microssonda eletrônica para análise química mineral em segundos.*

Para o tratamento e obtenção das fórmulas estruturais dos minerais analisados, seguiu-se o modelo de Deer *et al.* (1978) conforme esquema abaixo.

1	2	3	4	5	6	7
Óxidos	Peso (%)	Proporção molecular	Proporções catiônicas	Proporções de Oxigênio	Proporções catiônicas para um número de Oxigênio	Cátions recalculados

1) Óxido analisado na microssonda eletrônica
2) % em peso da análise dos minerais obtida em microssonda eletrônica
3) Divisão das porcentagens em peso dos óxidos pelo respectivo peso molecular
4) Número de cátions presentes em cada uma das moléculas
5) Proporção dos átomos de oxigênio em cada molécula
6) Cálculo das proporções catiônicas para um número selecionado de oxigênio

7) Número de cátions na fórmula estrutural expresso para um número de oxigênio desejado

A caracterização e visualização das trocas catiônicas entre os elementos dos minerais analisados foram obtidas com base na confecção de diagramas ilustrativos com o auxílio do programa *Excel* e *Corew Draw.*

A elaboração das fórmulas estruturais de alguns minerais, como por exemplo, biotita, apatita, piroxênio tornou-se necessário à realização de alguns recálculos, a partir das análises químicas obtidas. No caso da biotita e apatita, o Flúor e Cloro tiveram de ser recalculados a partir dos dados obtidos em microssonda, pois os mesmos não correspondem à percentagem ideal destes elementos, pois são analisados como óxidos. Os cálculos foram obtidos de acordo com Deer *et al* (1978), cuja fórmula é a seguinte:

-O = F, Cl = Flúor + Cloro**

Flúor = Flúor da análise x 0,4211*

*Cloro * = Cloro da análise x 0,2256*

∑Total Final = ∑Total- Flúor - Cloro**

** = Flúor e Cloro recalculados*

A nomenclatura do piroxênio esta de acordo com Morimoto *et al.* (1988) e do anfibólio conforme IMA – *International Mineralogical Association* (1978) e Leake *et al.* (1997). No caso dos cristais de piroxênio, necessita-se estimar Fe^{+2} e Fe^{+3}. Neste caso utilizou-se a proposta de Droop (1987) para o cálculo da relação Fe^{+2} /Fe^{+3}, a partir da fórmula F = 2X(1-T/S). Foi então recalculado o ferro para ser distribuído na fórmula estrutural de cada cristal analisado. De acordo com o autor, F corresponde ao número de íons de Fe^{+3} presentes pelo número (X) de átomos de oxigênio na fórmula do mineral; T corresponde ao número ideal de cátions por unidade de fórmula e S representa o total de cátions analisados pelo número (X) de oxigênios calculados, assumindo que todo o Fe está presente como Fe^{+2}.

No caso dos anfibólios, em razão das análises realizadas sem a estimativa do conteúdo de H_2O, a fórmula estrutural foi calculada na base de 23 átomos de oxigênio, conforme Leake *et al.* (1997) não sendo utilizado os conteúdos de F e Cl obtidos em microssonda eletrônica. E, em relação ao ferro, tornou-se necessário estimar o Fe^{+3}/Fe^{+2} baseada nas propostas de Schumacher (1997) e adotou-se o método em que os cátions estão ajustados em um total de 13 excluindo CNK (Fe^{+3} máximo).

I.3.4. *Análises de Geoquímica*

Para a obtenção de dados geoquímicos foram separadas 46 amostras de rocha total de ambas as áreas. Da região de Piratini foram separadas 9 amostras de diques ácidos, 14 de diques básicos e três de granitos. Da região de Pinheiro Machado, separaram-se 16 amostras de diques ácidos, uma de dique intermediário, uma de dique básico e duas de granitos. As amostras analisadas foram coletadas nos arredores da cidade de Piratini e Pinheiro Machado (RS).

As amostras selecionadas foram preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Primeiramente as rochas foram lavadas e secadas, e em seguida, trituradas no Britador de Mandíbulas. Depois de quarteadas as mesmas foram pulverizadas no Moinho de Anéis e colocadas em cilindro de ágata durante 15 minutos. Posteriormente, as amostras pulverizadas foram homogenizadas e embaladas em recipiente de plástico, uma para arquivamento e outra encaminhada para obter-se análise química.

Os dados analíticos foram obtidos no Laboratório ACTLABS - Ontario - Canadá. Os elementos maiores foram analisados por intermédio de Fusão-ICP (*Inductively Coupled Plasma*) *e* elementos traços e terras raras foram analisados por *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). Os limites de detecção das análises podem ser observados na tabela 10 e os valores de perda ao fogo, na tabela 11. Para a confecção dos vários diagramas que auxiliaram na identificação e caracterização da evolução magmática das rochas das referidas áreas, foram utilizados os programas *Excel, New Pet* e *Corew Draw* no *Microsoft Word.*

Óxido	**%**	**Óxidos**	**%**	**Óxidos**	**%**	**Óxido**	**%**	**Óxido**	**%**
SiO_2	0,01	Al_2O_3	0,01	Fe_2O3	0,01	MnO	0,01	MgO	0,01
CaO	0,01	Na_2O	0,01	K_2O	0,01	TiO_2	0,01	P_2O_5	0,01
Elemento	ppm	Elemento	ppm	Elemento	ppm	Elemento	ppm	Elemento	ppm
Li	0,5	Rb	0,1	Cs	0,1	Be	0,1	Sr	0,5
Ba	0,5	Sc	-	Y	1	Zr	5	Hf	0,2
V	5	Nb	0,80	Ta	0,1	Cr	20	Mo	0,01
W	0,2	Re	0,001	Co	1	Ni	20	Cu	0,1
Ag	0,05	Au	0,2	Zn	0,1	Cd	0,1	Ga	1
In	0,02	Tl	0,02	Gs	1	Sn	0,05	Pb	0,01
Sb	0,02	Bi	0,02	B	1	As	0,1	C	0,01
S	0,01	Se	0,1	Te	0,02	Th	0,1	U	0,1
La	0,1	Ce	0,1	Pr	0,05	Nd	0,1	Sm	0,1
Eu	0,05	Gd	0,1	Tb	0,1	Dy	0,1	Ho	0,1
Er	0,1	Tm	0,05	Yb	0,1	Lu	0,04		

Tabela 10. Limites de detecção utilizados no Laboratório ACTLABS - Ontario – Canadá.

Amostras da Região de Piratini	**Perda ao Fogo (%)**	**Amostras da Região de Pinheiro Machado**	***Perda ao Fogo (%)***
Ácidos		*Ácidos*	
RC-16	2,45	RC-91A	0,90
RC-20A	1,58	RC-91B	0,40
RC-18B	2,01	RC-92	0,59
RC-18E	0,94	RC-94A	0,62
	0,75	RC-95A	0,62
RC-18F			
RC-52	0,88	RC-100	0,78
RC-53	1,39	RC-102	0,94
RC-55	1,09	RC-112	0,44
RC-71	0,94	RC-94B	0,97
		RC-95B	0,55
Básicos			
RC-8	4,85	RC-97A	0,64
RC-9	2,13	RC-98	0,61
RC-17	2,23	RC-104	0,42
RC-18A	2,17	RC-110A	1,01
RC-24	1,36	RC-110B	0,65
RC-51	2,19	RC-111	0,61
RC-50	3,55		
		*Inter.**	
RC-59	2,17	RC-118A	3,21

Amostras da Região de Piratini	Perda ao Fogo (%)	Amostras da Região de Pinheiro Machado	*Perda ao Fogo (%)*
RC-61	2,43		
		Básico	
RC-67A	2,61	RC-118B	3,68
RC-69	1,57		
		Granitos	
RC-84	1,67	RC-90	0,67
RC-87	4,04	RC-117	0,61
RC-83	3,04		
Granitos			
RC-30	0,41		
RC-42	0,54		
RC-35	0,51		

Tabela 11. Valores de perda ao fogo (%) das diferentes faciologias analisados no Laboratório ACTLABS - Ontario – Canadá.

I.3.5. *Geotermometria*

Para a determinação das temperaturas dos estágios de cristalização dos plagioclásios utilizaram-se os geotermômetros de Kudo & Weill (1970) e Mathez (1973), assumindo condições anidras. Os valores das temperaturas foram obtidos em graus centígrados.

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO DO BATÓLITO PELOTAS

II.1. *Contexto Geológico Regional*

O Batólito Pelotas (Fragoso Cesar *et al.* 1986), conforme concebido por Philipp *et al.* (2002) é constituído pelas Suítes Pinheiro Machado, Dom Feliciano, Viamão, Erval, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Piqueri. Esta subdivisão se acha fundamentada em aspectos estruturais, relações de campo e num razoável acervo de dados geocronológicos, incluindo também dados U/Pb. Estas suítes foram posicionadas temporalmente no intervalo de 620 a 550 Ma (Philipp *et al.* 2002).

Situado na região leste do Escudo Sul-rio-grandense, o Batólito Pelotas encontra-se limitado a W por rochas metamórficas (gnaisses e rochas metassedimentares) e a NE por sedimentos Quaternários. O batólito é composto por injeções magmáticas múltiplas com evolução e alojamento ocorridos durante o Ciclo Brasiliano (Philipp 1998). Os septos do embasamento são representados por gnaisses de derivação orto e paraderivada. Os corpos graníticos são controlados por extensas zonas de cisalhamento de direção NE – SW, que controlam em geral o posicionamento das sete suítes graníticas (Philipp *et al.* 2001). As rochas graníticas descritas nas duas áreas estudadas, são representativas das Suítes Pinheiro Machado, Viamão e Dom Feliciano.

a) *Suíte Pinheiro Machado (SPM)*

A SPM é constituída por biotita-granitóides, de composição monzogranítica a granodiorítica, localmente quartzo-monzonítica a sienogranítica e tonalítica, é caracterizada como uma suíte cálcio-alcalina, pré a sin-colisional, ligada a uma margem continental ativa, que teria sofrido subducção (Fragoso Cesar *et al.* 1986). Esta suíte foi dividida por Philipp (1991) em duas unidades: uma de granodiorito e outra de granito porfirítico. Ambas as unidades apresentam enclaves, xenólitos e diques, com estes últimos associados preferencialmente aos granitos porfiríticos. Recentemente, Philipp *et al.* (2002) considerou a SPM como relacionada a subducção de uma crosta oceânica sobre uma margem continental espessa, com geração de um arco pré-colisional do tipo cordilherano, de idade ao redor de 620 Ma. Estas conclusões foram baseadas em razões isotópicas de Sr^{87}/Sr^{86} (0,706) relativamente baixas e razões de $^{143}Nd/^{144}Nd$ ao redor de 0,512.

As idades Rb-Sr disponíveis para os granitóides desta suíte indicam valores de 750 Ma (Teixeira 1982), 775 ± 36 Ma (Soliani Jr. 1986) e 572 ± 54 Ma (May 1990). Soliani Jr. (1986) obteve, ainda, idades de 830 a 800 Ma para xenólitos de rochas gnáissicas e migmatíticas encontrados no interior desta suíte. Estes valores representam apenas idades de referência, uma vez que as isócronas obtidas incluem granitóides da SPM e xenólitos de gnaisses do embasamento (Philipp 1998). Idades U-Pb (em zircões) de 610 ± 5 Ma e 612 ± 2 Ma foram obtidas nestes granitóides (Babinski *et. al.* 1997). Amostras representativas de granitóides da suíte apresentam razões iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ entre 0,706 a 0,707. Estudos isotópicos Sm-Nd desenvolvidos em rochas da suíte apresentam idades modelo (T_{DM}) entre 1636 e 2010 Ma, com valores de ε_{Nd} entre –5,6 a –10 (May 1990, Babinski 1997).

A SPM ocorre como xenólitos nos granitos da Suíte Erval e nos granitóides porfiríticos da Suíte Viamão. Os granitos das Suítes Cordilheira (SGC) e Dom Feliciano (SDF) são discordantes da SPM, e ocorrem como corpos circunscritos alongados segundo a direção NE. As idades U/Pb (SHRIMP, em zircão) e Pb/Pb (em zircão, por evaporação) existentes para a SPM apresentam idades de 622 e 633 Ma, sendo estas idades as mais antigas encontradas entre as suítes do batólito (Philipp *et al.* 2000). As idades modelo Sm/Nd disponíveis para estas rochas mostram valores situados entre 985 a 2919 Ma, com valores de ε_{Nd} entre –0,3 a –9,5 (May 1990 & Babinski *et al.* 1997).

b) ***Suíte Erval (SE)***

A Suíte Erval (SE) (Philipp 1998) apresenta forma alongada na direção NE-SW e ocorre no extremo sul do Batólito Pelotas constituindo cerca de 20% de sua área. Esta suíte reúne corpos graníticos dispostos a sul do alinhamento estrutural que passa entre as localidades de Capão do Leão, Pedro Osório, Basílio e Pedras Altas, e estende-se para sul além dos limites do Rio Grande do Sul e Uruguai. Em relação à SPM, mostra-se como uma suíte mais potássica, havendo o predomínio de monzogranitos.

Os granitos desta suíte apresentam pouca variação composicional e exibem o predomínio de monzogranitos com sienogranitos subordinados. Em regiões pouco afetadas pela deformação, apresentam o predomínio de estruturas primárias, tais como alinhamento de cristais de feldspatos euédricos e textura equigranular hipidiomórfica. São rochas de cor cinza-clara, constituídas essencialmente por plagioclásio tabular, feldspato potássico subédrico, esbranquiçado a rosado, com quartzo amebóide e biotita lamelar intersticial.

c) ***Suíte Viamão (SV)***

Na Suíte Viamão (SV), definida pelas excelentes exposições nos arredores da cidade homônima, predominam granitos de composição monzogranítica com textura porfirítica a inequigranular (Phillip 1998). Esta denominação engloba grande parte dos granitos da antiga Suíte Granítica Dom Feliciano de Figueiredo *et al.* (1990), ficando ela restrita aos granitos equigranulares rosados, de composição sienogranítica a álcali-felspato-granítica, conforme proposição original de Tessari & Picada (1996)**.** Cabe aqui salientar que a SDF apresenta relações intrusivas com a SIV.

Os corpos graníticos desta suíte, com extensão de 25 a 40 km e largura 5 a 15 km, ocorrem em toda a extensão do Batólito Pelotas e perfazem cerca de 15% de sua área. Mostram forma alongada na direção NE-SW e apresentam-se concordantes com as zonas de cisalhamento transcorrentes de alto ângulo relacionadas ao evento D_2. São incluídos nela suíte os Granitos Viamão (Philipp 1998), Quitéria (UFRGS 1989), Arroio Carajá, Barão do Triunfo, cerro grande (Ramgrab *et al*. 1996), Coxilha do Fogo (UFRGS 1995), Arroio Moinho (Gomes 1990), Monte Bonito (Philipp 1990a), Chasqueiro e Quilombo (Trainini 1987). Os granitos Independência (Schneider *et al.* 1974) e Arroio dos Kaster (Philipp 1998) são também incluídos nesta suíte, com base nas relações de contemporaneidade entre os seus magmas e dos Granitos Viamão e Monte Bonito.

Esta suíte apresenta variação composicional relativamente restrita, com predomínio de monzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados. São caracterizadas por apresentarem texturas porfiríticas, raramente inequigranular, com estrutura primária definida pelo alinhamento de megacristais de feldspato potássico e lamelas de biotita. A presença das faixas miloníticas de estruturas primárias preservadas ao lado de estruturas tectônicas sugere posicionamento sin a tardi-cinemáico do evento D_2.

d) ***Suíte Encruzilhada do Sul (SES)***

A Suíte Encruzilhada do Sul (SES) ocorre na porção noroeste do batólito e perfaz cerca de 10% de sua área (Vasquez 1997). Caracteriza-se por uma associação de inúmeros corpos plutônicos como os Granitos Campinas, Pitangueiras, Encruzilhada, Pinheiros, e os quartzo-sienitos e quartzo-monzonitos Arroio dos Silva e Sienito Piquiri.

Os granitos desta suíte mostram uma ampla ocorrência de enclaves microgranulares básicos e zonas híbridizadas, compostas por dioritos e quartzo-dioritos. As estruturas primárias indicam um intenso processo de mistura entre magmas ácidos, intermediários e

básicos, responsável pela formação de estruturas de mistura heterogênea de magmas e zonas de hibridização (Bitencourt *et al.*1993b).

Os granitos desta suíte foram originalmente definidos por Leinz *et al.* (1945), sendo depois redefinido como Complexo Granítico Encruzilhada por Tessari & Picada (1966). Trabalhos mais recentes de mapeamento geológico foram efetuados por Frantz *et al*. (1984) e Bitencourt *et al*. (1993b).

Petrograficamente variam de monzogranitos a álcali-feldspato granitos, sendo compostos por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita, com anfibólio, zircão, apatita e minerais opacos como acessórios. Foram também observados evidências de mistura *commingling* com magmas básicos (Vasquez 1995).

Os corpos graníticos da suíte dispõem-se ao longo de uma faixa alongada de direção NE-SW, sendo limitados a leste pela Zona de Cisalhamento Rúptil Dorsal do Canguçu e Passo do Marinheiro, esta última de direção próxima de N-S, e que promove o deslocamento dos corpos graníticos e alteram a sua forma original.

e) *Suíte Cordilheira (SC)*

A Suíte Cordilheira (SC), formada por corpos estratóides, ocorre na borda oeste do batólito em contato com os metassedimentos do Grupo Porongos, sendo representada por leucogranitos cinza, médios a grossos, equigranulares e inequigranulares, constituídos por muscovita granitos com biotita e turmalina, interpretados como originados por fusão crustal – granitos tipo-S, ligados ao período colisional (Fragoso Cesar *et al.* 1986). A ocorrência de xenólitos desta suíte na Suíte Encruzilhada do Sul levou Philipp (1998) a interpretá-la como ligada ao período tardi-colisional. Trabalhos recentes, baseados em informações estruturais, geoquímicos e geocronológicos, sugerem posicionamento sintectônico para os granitos desta suíte e relacionam o magmatismo à Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu, com sua origem sendo atribuída à fusão parcial de rochas ortognáissicas (Fernandes *et al.* 1990, Koster *et al.* 1994, Nardi & Frantz 1995).

Estas rochas, descritas originalmente por Picada (1965), variam de sienogranitos a granodioritos com muscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e minerais opacos. Elas ocorrem desde a região de São Jerônimo-Quitéria até Pinheiro Machado. Apresentam forma tabular alongada segundo a direção nordeste e foram posicionadas durante o desenvolvimento das zonas de cisalhamento dúcteis subverticais relacionadas ao evento D_2. A vinculação dos granitóides desta suíte com "zonas de fraturas profundas" e seu caráter sincinemático foram propostos por Picada (1969 e 1971).

Os dados Rb-Sr disponíveis para a suíte apresentam idades de 617 ± 48 Ma a 630 ± 22 Ma foram obtido em granitos na região de Quitéria (Granitos Cordilheira e Arroio Francisquinho, Koster 1995). A falta de dispersão dos dados analíticos nos diagramas isocrônicos e os valores elevados de MSWD (>5), juntamente com evidências de alteração promovida por processos hidrotermal durante a fase tardi-magmática, dificultam a obtenção de idades mais precisas por este método. As amostras representativas dos granitóides da suíte exibem razão inicial de $^{87}Sr/^{86}Sr$ entre 0,732 a 0,741.

f) *Suíte Dom Feliciano (SDF)*

A Suíte Dom Feliciano (SDF), com forma alongada na direção NE-SW, ocorre na porção central do batólito e perfaz cerca de 30% de sua área.

A suíte é formada por diversos corpos graníticos, e incluí os que ocorrem na Serra das Asperezas (Fragoso Cesar 1986). Petrograficamente, a suíte é constituída por sienogranitos e álcali-feldspato granitos, seguido de monzogranitos, e contém ainda associados enclaves, xenólitos e diques ácidos e básicos.

Vários trabalhos têm relatado a existência de diques ácidos, situados preferencialmente na região da Serra das Asperezas (Figueiredo Filho & Salgado 1964, Picada 1971, Ribeiro 1977, Fragoso Cesar *et al*. 1986) onde foram então denominados "Riolitos Asperezas" (Figueiredo Filho & Salgado 1964). Petrograficamente são rochas leucocráticas, com fenocristais de quartzo e feldspato potássico e estão associados com diques básicos e intermediários (Fragoso Cesar *et al*. 1986).

Philipp (1991) descreve a presença de diques básicos, compostos por plagioclásio e piroxênio (titano-augita), bem como diques de textura porfirítica com fenocristais de feldspato potássico e matriz constituída de anfibólio sódico e clinopiroxênio (aegirina).

Idades isocrônicas Rb/Sr de 560 ± 12 Ma, com razão inicial de 0,714 foram obtidas para amostras dos diques ácidos dos Riolitos Asperezas (Fragoso Cesar *et al.* 1986).

A SDF caracteriza-se por uma grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica, sendo rara a presença de enclaves básicos e xenólitos das rochas encaixantes. A principal ocorrência de granitos desta suíte está localizada no extremo norte do batólito. Trata-se de um corpo lenticular alongado (180 km X 15 a 45 km) segundo a direção N50-60°E. Os granitos são rosados a esbranquiçados, com predomínio de composição sienogranítica. São caracterizados pela presença de cristais subédricos de microclínio e amebóides de quartzo.

São disponíveis para a suíte idades Rb/Sr de 572 ± 10 Ma (Cordani 1974), 550 Ma (Teixeira 1982), 547 ± 17 Ma e 544 ± 12 Ma (Soliani Jr. 1986) estas últimas obtidas em granitos tabulares e pegmatitos da região de Cristal e no Granito Arroio dos Ladrões. Uma idade de 560 ± 12 Ma foi obtida nos riolitos da Serra das Asperezas (Soliani Jr. 1986). Idade de 550 ± 6 Ma, com razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0,708 a 0,714 foi obtida em granitos equigranulares das regiões de Cristal e Dom Feliciano (Fragoso Cesar 1991).

II.2. *Aspectos Estruturais e Tectônicos do Batólito*

Trabalhos de mapeamento geológico em escala de semi-detalhe, realizados por pesquisadores da UNISINOS e da UFRGS, nas regiões de Canguçu e Piratini, têm possibilitado o reconhecimento de um número maior de faciologias do que aquelas descritas regionalmente para o batólito, assim como permitiram a caracterização de dois eventos de deformação, denominados respectivamente, de D_1 e D_2. Estes eventos foram responsáveis pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamento dúcteis regionais que desempenharam um importante papel no posicionamento e deformação das suítes graníticas do Batólito Pelotas. Estes eventos deformacionais são os mesmos identificados na região de Quitéria-Capivarita e estendidos depois para todo o batólito (Fernandes *et al.* 1990).

O evento de deformação, D_1, foi responsável pela geração de zonas de cisalhamento dúcteis de baixo ângulo que deformam os granitóides da Suíte Pinheiro Machado (Fragoso Cesar *et al*. 1986) ou, ainda, granitos da Fase 1 (Frantz & Remus 1986), que são referidos para a região de Pelotas-Piratini (Philipp *et al*. 1993) como sendo constituídos dominantemente por metagranodioritos, que apresentam variações composicionais entre monzogranitos e dioritos.

O evento deformacional D_2 foi responsável pelo estabelecimento no final do Ciclo Brasiliano da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, a qual teria condicionado o posicionamento de grande parte dos granitóides do batólito. Esta zona de cisalhamento caracteriza-se por uma direção preferencial NNE-SSW e, movimentação transcorrente sinistral (Mesquita 1991).

Os corpos graníticos das regiões de Pelotas e Piratini foram relacionados à fase de deformação D_2 e divididos em quatro grupos: pré, sin, tardi e pós-D_2 (Philipp *et al*. 1993). A figura 2 é representativa da geologia que abrange parte do Batólito Pelotas e as duas áreas estudadas.

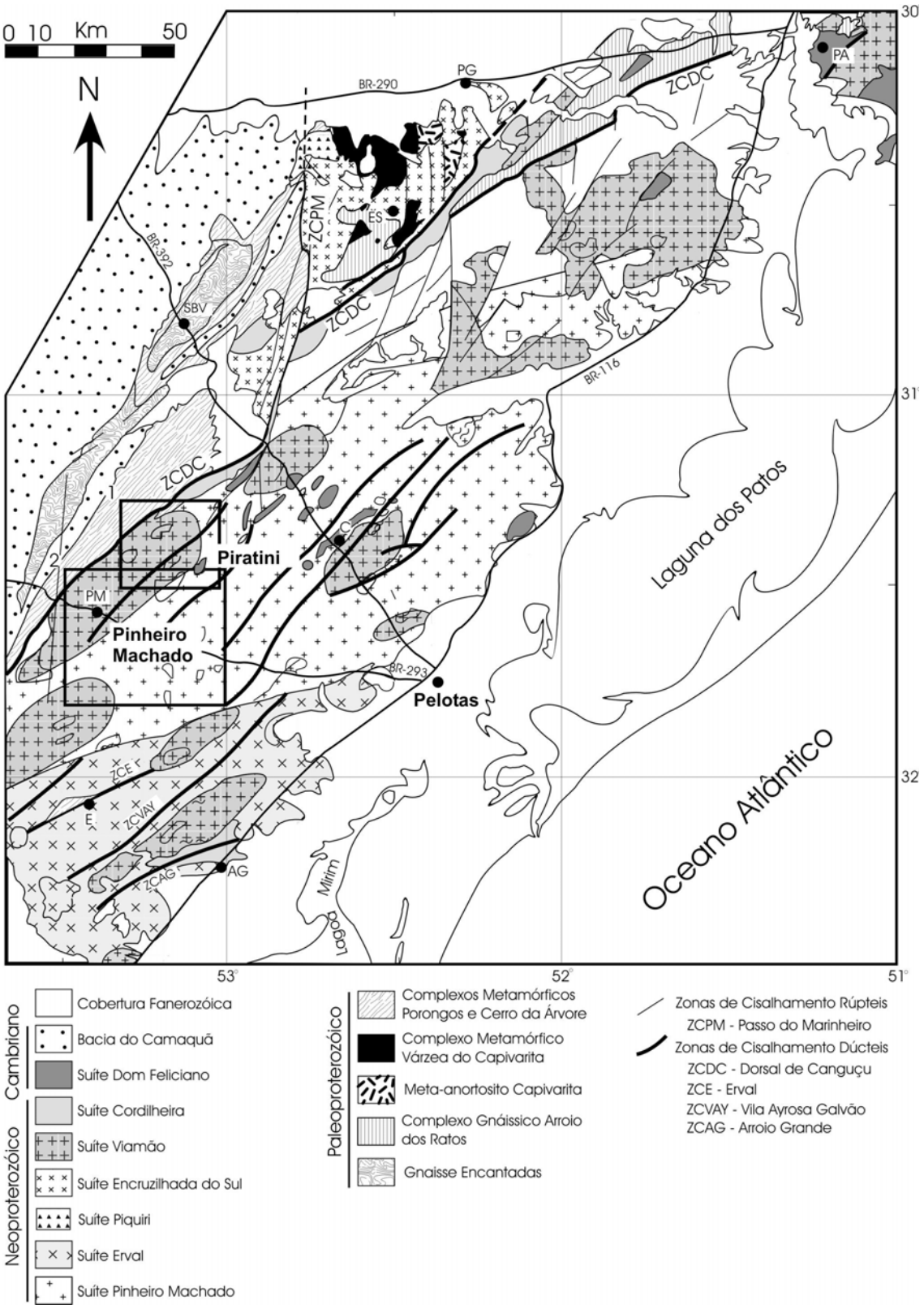


Figura 2. *Mapa geológico do Batólito Pelotas apresentando as áreas regiões estudadas.*

CAPÍTULO III

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

III.1. *Geologia da Região de Piratini*

A área estudada abrange em termos geográficos a região do município de Piratini (RS) e situa-se geologicamente no domínio do Batólito Pelotas, porção leste do Escudo Sul-Riograndense.

Apresenta uma variedade de rochas ígneas de natureza plutônica (granitos encaixantes) e enxames de diques sub-vulcânicos ácidos e básicos, inseridos no Batólito Pelotas. Estruturalmente, encontra-se recortada por zonas de cisalhamento dúcteis/rúpteis de alto ângulo de direção geral NNE-SSW, com registros de movimentação dominante direcional de caráter sinistral (Mesquita 1991, Fernandes *et al*. 1992).

A figura 3 é representativa do mapa geológico da região de Piratini com a distribuição do enxame de diques estudados neste trabalho. São distinguidos na área do mapa três domínios geológicos maiores, distribuídos de NW para SE da seguinte maneira: Bacia do Camaquã, Complexo Metamórfico Porongos e Batólito Pelotas, este último contendo as unidades graníticas e enxames de diques (ácidos e básicos) associados. A seguir serão descritos os domínios geológicos da área estudada.

Estruturalmente nota-se, no domínio do batólito, a presença de zonas de cisalhamento rúpteis/dúcteis de alto ângulo NE-SW, paralelas à zona de cisalhamento principal da região (Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu - ZCDC), que limita as rochas graníticas do Batólito Pelotas das rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos. A movimentação principal da ZCDC tem sido caracterizada como sinistral (Fernandes *et al*. 1992).

Associadas à ZCDC são descritas espessas faixas de cataclasitos e milonitos (6 a 7 km) que se estendem do Rio Grande do Sul até o Uruguai. Esta zona de cisalhamento afeta tanto as unidades graníticas do batólito, quanto às rochas mais antigas. Esta estrutura teria sido considerada por alguns autores como responsável pela formação de bacias tectônicas onde se depositaram sedimentos do Grupo Camaquã. Além disso, a sua reativação durante o Cenozóico teria condicionado a deposição de sedimentos na região de Gravataí e Porto Alegre (Picada 1970).

No domínio do batólito observam-se dois grupos de diques com orientações principais diferentes: um grupo de direção NW-SE e outro de direção próxima de N-S. O grupo de direção NW-SE é dominante e ocorre principalmente na porção central do mapa e mostra estruturas de arrasto indicativas de movimentação sinistral. Por outro lado, o grupo de direção N-S que ocorre principalmente na porção leste do mapa, apresenta estruturas de arrasto indicativas de movimentação destral, configurando assim um quadro cinemático oposto aos diques do primeiro grupo e também da ZCDC (Fig. 3).

Salienta-se que durante as atividades de campo não foram observadas relações de contato entre os dois grupos de diques, razão pela qual fica difícil saber se existe ou não diferenças temporais entre os mesmos ou se eles são de fato contemporâneos. Observa-se, por exemplo, na porção meridional do mapa, a existência de diques com direção próxima de N-S, que se mostram também deformados pela movimentação sinistral das zonas de cisalhamento. Deste modo, a relação temporal definida entre os dois grupos de diques fica na dependência da realização de datações isotópicas por meio de métodos radiométricos de alta potencialidade analítica (U/Pb, Pb/Pb, Ar/Ar).

Ainda no domínio do batólito ocorrem corpos graníticos subcirculares a ligeiramente alongados nas direções das zonas de cisalhamento (Granitos Cerro do Sandi, Passo do Coutinho e Bela Vista), cortados ou não pelos diques, sugerindo de forma análoga o mesmo tipo de controle estrutural durante sua colocação.

Nota-se, no mapa, a existência de uma geometria curva do granito Bela Vista junto à zona de falha a leste de forma análoga à curvatura definida pelos diques, sugerindo colocação simultânea com a movimentação da falha.

a) Rochas Encaixantes dos Diques

Estas rochas apresentam boas exposições em toda a área de estudo e afloram principalmente na forma de lajedos ao longo das drenagens ou encostas e em cortes de estradas existentes na região. As exposições de rochas são comumente não alteradas e a região é caracterizada pelo desenvolvimento de um suave manto de alteração. As formas de relevo encontram-se bastante dissecadas e a sua evolução aparenta estar relacionada com atividade tectônica recente, de idade provavelmente Terciária, que promoveu uma aceleração dos processos de denudação.

As rochas encaixantes caracterizam-se por composições granodioríticas, monzograníticas a sienograníticas, e representam respectivamente a seguinte distribuição em área: 20%, 40% e 20%. As primeiras são correlacionadas com às rochas da Suíte Pinheiro Machado (SPM), a segunda com as rochas da Suíte Viamão (SV) e a última, com as rochas da Suíte Dom Feliciano (SDF).

Os granodioritos da SPM apresentam coloração cinza, granulação média a grossa, com textura inequigranular. Possuem bandamento magmático caracterizado pela presença irregular de *schlierens* de biotita descontínuos, de espessura milimétrica a centimétrica. Em amostra de mão é possível identificar cristais de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo (subédricos a anédricos) juntamente com minerais máficos com disposição intersticial.

Na região de Piratini, as rochas de composição monzogranítica (SV) são caracterizadas por granitos porfiríticos a heterogranulares, contendo megacristais tabulares de feldspato alcalino orientados e imersos em uma matriz inequigranular muito grossa a média (8-4 mm), composta por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e biotita. São rochas rosadas com pontuações escuras que exibem uma foliação de fluxo magmático definida pela orientação dimensional de megacristais tabulares de feldspato alcalino, euédricos a subédricos, com limites retilíneos a lobados e zonamento marcado por trilhas concêntricas de inclusões de biotita, plagioclásio e minerais opacos. A biotita ocorre em forma de placas subédricas a anédricas, dispostas intersticialmente e associada aos minerais opacos. São encontrados enclaves centimétricos (15 a 40 cm) de composição granítica, subarredondados a arredondados. Exibem muitas vezes uma foliação magmática que transiciona para uma foliação no estado sólido em direção ao interior às zonas de cisalhamento, aparecendo aí rochas miloníticas com espessura métrica. Tais relações estruturais permitem caracterizar esses corpos como sin- a tardi-cinemáticos.

Os granitos da Suíte Dom Feliciano (SDF) caracterizam-se por corpos circundados por grande concentração de diques ácidos e básicos. Dentre eles, destacam-se os granitos Cerro do Sandi, Passo do Coutinho e Bela Vista (Gomes *et al.* 1991, Philipp *et al.* 1991, 2002). Estes corpos possuem contatos discordantes com as rochas das SPM e SV, indicando assim seu caráter intrusivo. Ocorrem ainda no contato zonas com grande densidade de fraturas e falhas. O posicionamento desses corpos graníticos foi controlado por zonas de cisalhamento rúpteis/dúcteis de orientação geral NE, que são responsáveis também pela sua forma elíptica e alongada. A composição dominante é sienogranítica, com monzogranítica subordinada. São leucogranitos rosados, de granulação média a grossa (3-5 mm) e textura equigranular. A mineralogia essencial é composta por feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo amebóide e biotita intersticial. Nestes corpos ocorrem enclaves de composição granítica semelhante àqueles encontrados nas rochas da SV. A prancha 1 apresenta fotografias de amostra de mão das faciologias graníticas estudadas na área.

b) Enxames de Diques

Conforme referido anteriormente, são encontradas na região de Piratini duas direções principais de diques, tanto para os básicos quanto para os ácidos, sendo uma de direção NW-SE e outra de direção próxima de N-S. Conforme salientado, não foram observadas relações estratigráficas em campo entre as duas direções de diques, tendo sido observado apenas relações de mistura de magmas entre os materiais básico e ácido, sugerindo assim contemporaneidade entre os mesmos.

Os diques da região de Piratini são corpos tabulares de espessura centimétrica a métrica (0,3 cm até 3 m), exibindo contatos retos com os granitos encaixantes, sendo comum a ocorrência de pares de diques ácidos e básicos, com estes últimos sendo mais freqüentes na região nordeste da área estudada que podem ser observados nos perfis da figuras 4 que são representativos da linha a-b e c-d conforme está representada no mapa geológico da figura 3.

Os diques ácidos e básicos apresentam o mesmo aspecto textural: matriz afanítica a muito fina, por vezes porfiríticos, contendo no primeiro caso fenocristais esparsos de feldspato alcalino e quartzo. Os fenocristais são euédricos, com o quartzo mostrando-se freqüentemente bipiramidal. Os diques ácidos, quando não alterados, exibem cor rósea-avermelhada. Ao microscópio, apresentam dominantemente composição riolítica e subordinada composição traquítica. Os diques básicos, apesar de sua semelhança textural com os diques ácidos, são mesocráticos, cinza-esverdeada a preta, sendo comum a presença de veios milimétricos contendo sulfetos. Ao microscópio, são caracterizados pela presença de piroxênio, plagioclásio, minerais opacos e sulfetos. A tabela 12 sintetiza as principais características dos diques e dos granitos encaixantes da região de Piratini. A figura 3 representa o mapa geológico da área estuda. A prancha 2 expõe fotografias de amostra de mão de ambos os diques. O mapa de amostragem está representado na figura 5.

	Sienogranito	**Monzogranito**	**Granodiorito**	**Enclaves**	**Riolitos**	**Basaltos**
Cor	Rosada	Rosada com pontuações escuras	Cinza	Rosada com pontuações escuras	Róseo-avermelhada e marron	Cinza-esverdeada a preta
Textura/ Granulação	Equigranular média	Inequigranular grossa a média	Inequigranular média a grossa	Equigranular fina	Afanítica (matriz) e porfirítica	Afanítica (matriz) e porfirítica
Hábito e formas de ocorrência dos minerais félsicos	Subédricos, megacristais tabulares (Fk)	Tabulares (Fk) e subédricos	Inequigranular subédricos	Subédricos a euédricos	Subédricos a euédricos	Subédricos a euédricos
Hábito e formas de ocorrência dos minerais máficos	Agregados e intersticiais	Cristais subédricos e intersticiais	Agregados, intersticiais e subédricos	Intersticiais	Subédricos a euédricos	Subédricos a euédricos.

Tabela 12. *Resumo das principais características dos granitos e diques da região de Piratini, RS.*

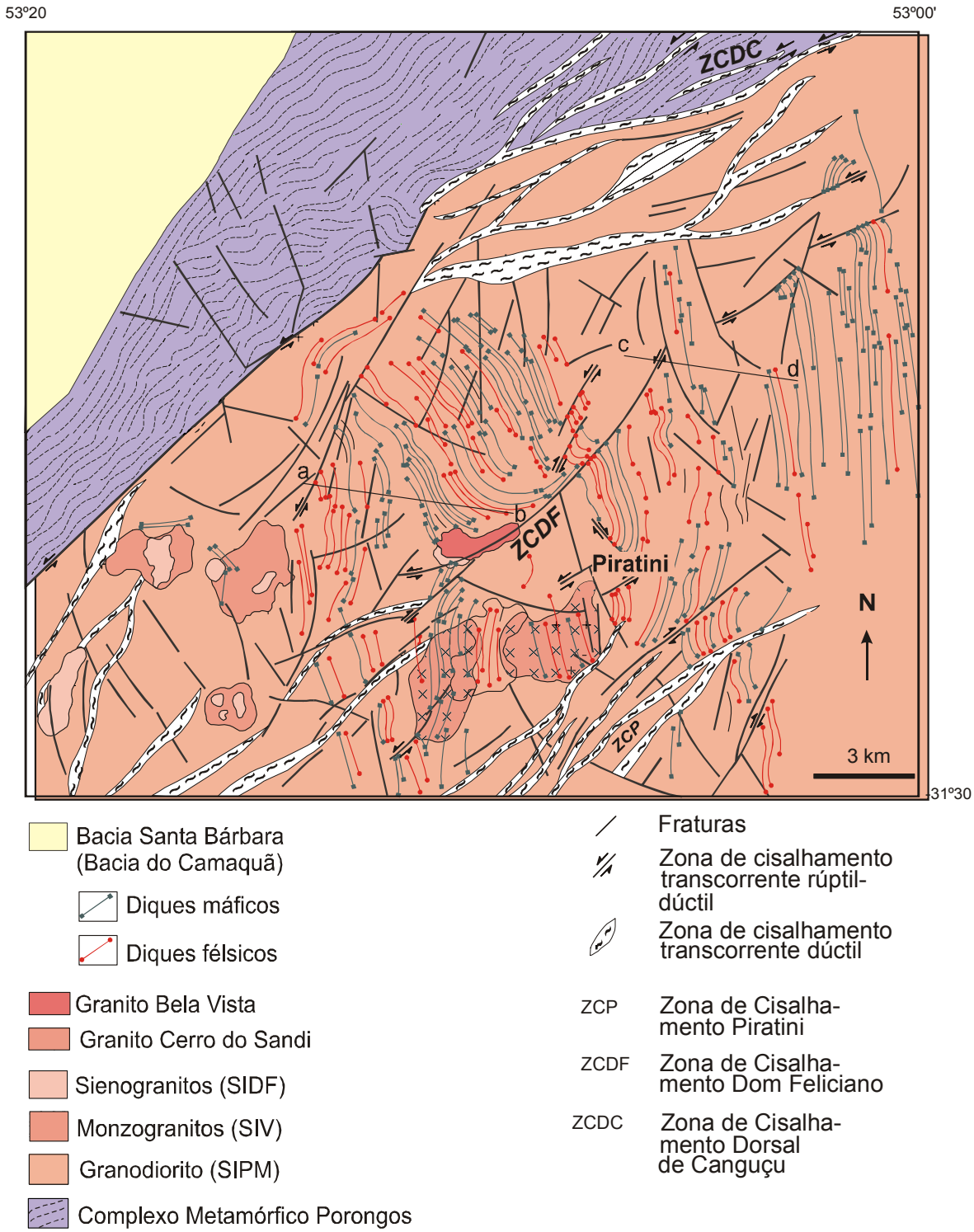


Figura 3. *Mapa geológico da área estudada na região de Piratini, RS.*

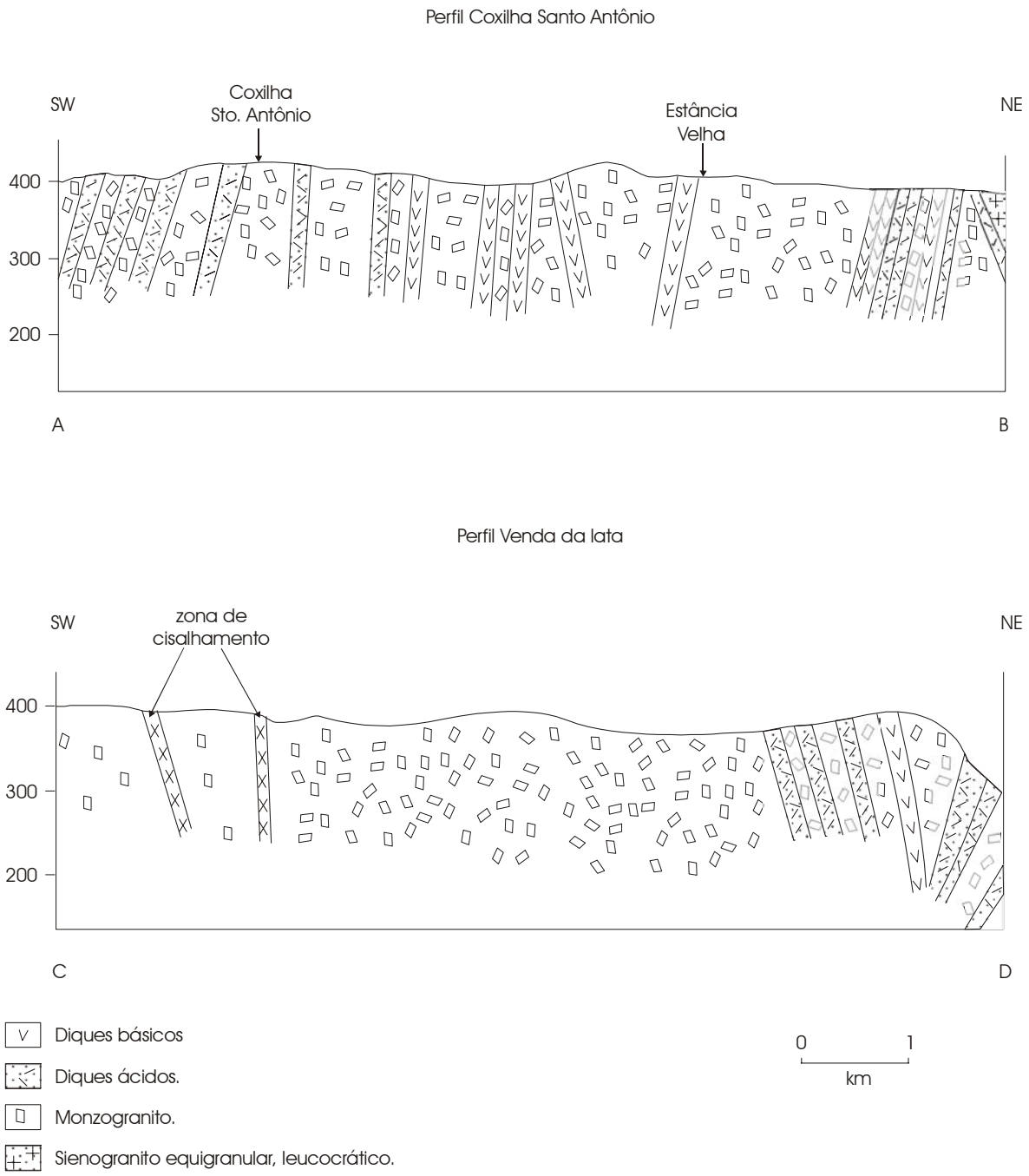


Figura 4. *Perfis representativos da linha a-b (A) e da linha c-d (B) conforme está no mapa da figura 3.*

FOLHA PIRATINI

(SH 22-Y-C-II-4)

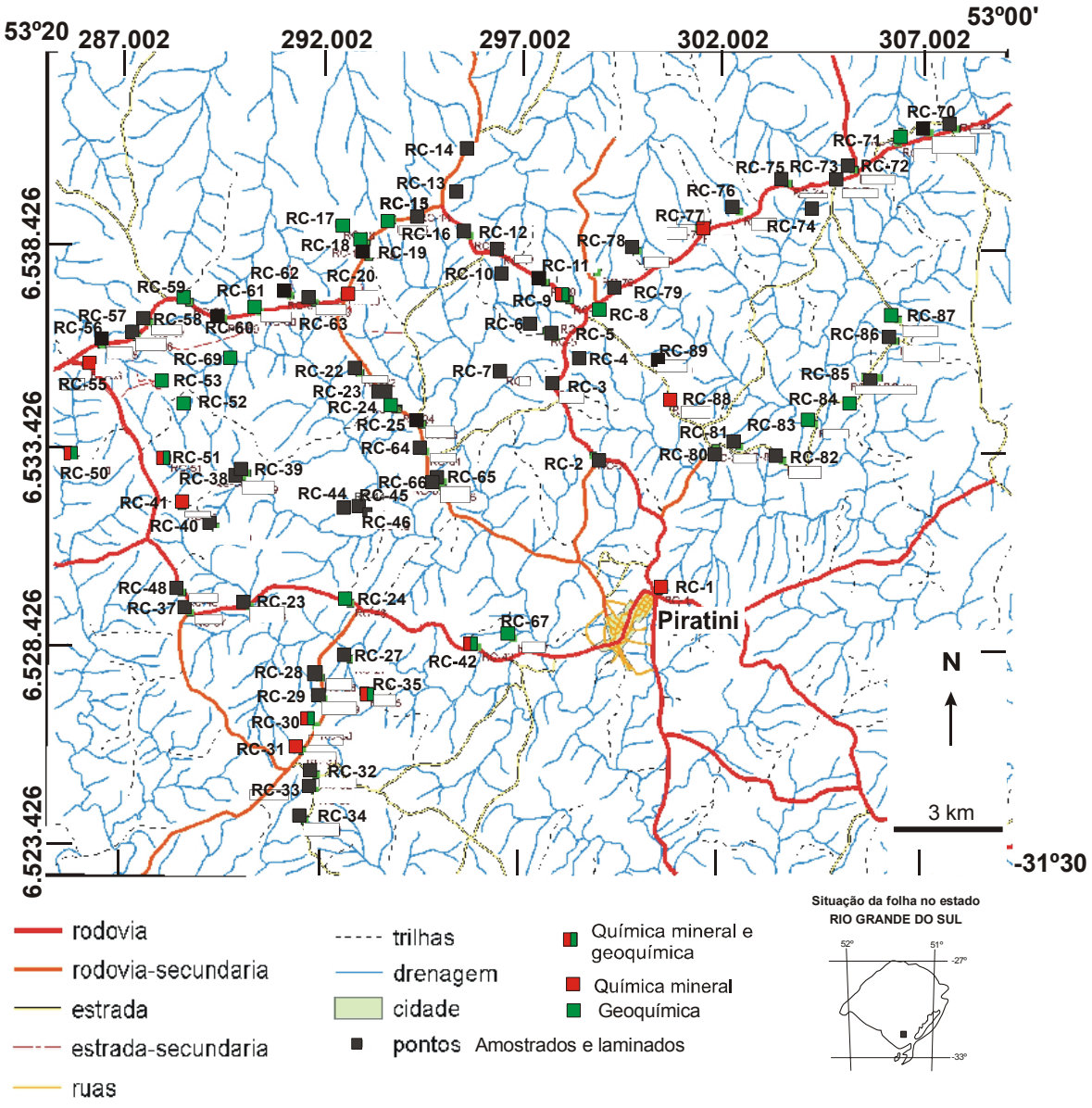


Figura 5. *Mapa de amostragem da região de Piratini, RS.*

Prancha 1 - Fotografias de Amostras de Mão dos Granitos Encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado, RS.

A - *Granodiorito com textura inequigranular média a grossa (Suíte Pinheiro Machado) (RC-42-Piratini).*

B - *Monzogranito porfirítico. Destaque para cristais subédricos de feldspato alcalino (Suíte Viamão) (RC-1-Piratini).*

C - *Sienogranito equigranular médio (Suíte Dom Feliciano) (RC-117-Pinheiro Machado).*

D - *Monzogranito porfirítico (Suíte Viamão) (RC-31-Piratini).*

E - *Sienogranito equigranular (Suíte Dom Feliciano) (RC-30-Piratini).*

2cm
A

2cm
B

C
2cm

2cm
D

E
2cm

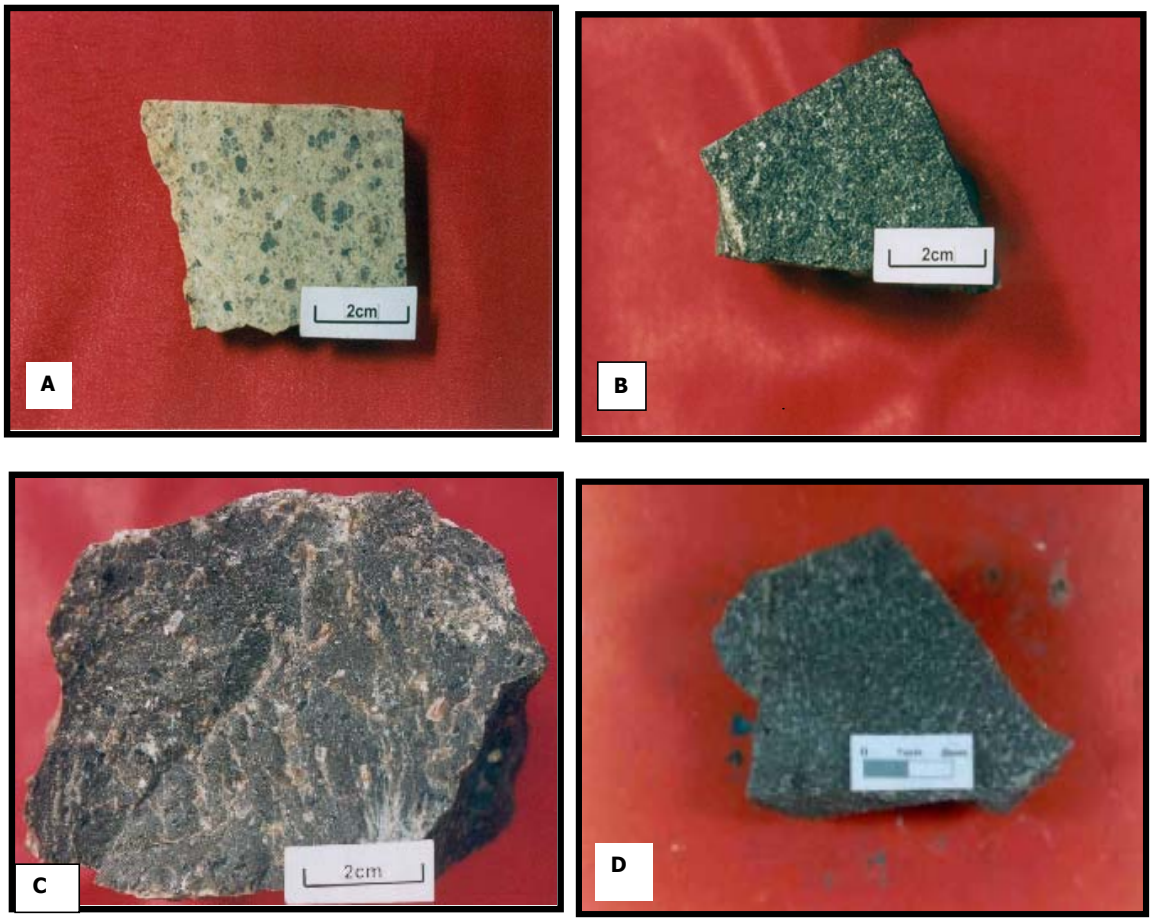
Prancha 2 - Fotografias de Amostras de Mão de Diques Ácidos e Básicos da Região de Piratini, RS.

A - *Riolito leucocrático, rosado, com matriz afanítica. Observar fenocristais de quartzo e feldspato alcalino (RC-55).*

B - *Basalto, cinza-esverdeado com matriz afanítica. Observar cristais tabulares de plagioclásio dispersos nesta matriz (RC-50).*

C - *Traquito avermelhado, matriz afanítica composta por fenocristais de quartzo bipiramidal euédricos dispersos na matriz (RC-16).*

D - *Basalto cinza escuro com matriz afanítica (RC–9).*


2cm
A
2cm
B
2cm
C
D

III.2. *Petrografia*

III.2.1. *Introdução*

O Batólito Pelotas, com extensão de cerca de 370 km e largura entre 70 e 110 km, é constituído integrado por várias suítes graníticas e representa a maior manifestação de magmatismo plutônico do Sul do Brasil. Este batólito engloba, também, magmatismo hipabissal, de natureza básica, intermediária a ácida, que ao se colocarem na crosta passaram a constituir enxames de diques, principal objeto de estudo deste trabalho.

A investigação petrográfica macro e microscópica das amostras serviu para identificar as principais fases minerais presentes nas rochas e as relações texturais entre elas serviram como base para entender a evolução magmática e a ordem da cristalização das diferentes fases minerais presentes nos diques.

A classificação e nomenclatura adotadas para as rochas graníticas foram estabelecidas a partir da análise modal das amostras e uso do diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976) (Fig. 6). Para os enxames de diques ácidos e básicos partiu-se de análise modal visual dos minerais em relação a matriz, e posteriormente com base nos dados de geoquímica confeccionou-se diagramas de classificação para as rochas vulcânicas.

Primeiramente são apresentados os aspectos petrográficos das rochas graníticas encaixantes, e a seguir dos diques.

III.2.2. *Rochas Graníticas Encaixantes*

Na região de Piratini são reconhecidas as seguintes suítes graníticas do Batólito Pelotas: Pinheiro Machado (SPM), Viamão (SV) e Dom Feliciano (SDF). Foram descritos e classificados os seguintes tipos composicionais: granodiorito, sienogranito, monzogranito e, enclaves de micro-monzogranito, micro-sienogranito e álcali-feldspato granito.

Para a classificação e nomenclatura dos granitos seguiram-se as recomendações da IUGS (*International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*), que se encontram sistematizadas no diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976).

As diferenças observadas entre estes diferentes tipos de rochas graníticas relacionam-se às feições texturais, estruturais, mineralógicas e a geometria e tamanhos de grãos. A seguir são apresentadas as principais características macro e microscópicas destas rochas.

III.2.3. *Relações de Campo e Características Petrográficas*

Os *granodioritos* (SPM) são acinzentados a rosados, subédricos, textura inequigranular média e preservam textura magmática levemente foliada.

Estas rochas apresentam orientação geral NE-SW e caracterizam-se por uma estrutura de baixo ângulo, que tem sido atribuída ao evento D_1 (Philipp *et al*. 2002). Sua colocação é considerada anterior às zonas de cisalhamento de alto ângulo e posterior ao metamorfismo regional que afetou as unidades metassedimentares do Grupo Porongos ou equivalentes, conforme indica a presença de enclaves e septos metamórficos. As rochas graníticas são constituídas por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e biotita como minerais essenciais e,

titanita, minerais opacos, epídoto, apatita e zircão como minerais acessórios. Os minerais de alteração freqüêntes são sericita, saussurita, caulinita, clorita e epídoto.

Os *Monzogranitos* (SV) são rosados, porfiríticos e inequigranulares, de granulação média a grossa, com megacristais de feldspato alcalino, por vezes alinhados, que definem uma foliação de fluxo magmático. Os minerais essenciais observados foram: feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo e biotita, e como acessórios minerais opacos, titanita, apatita e zircão. Como produto de alteração destacam-se minerais formados a partir de processos de saussuritização. A colocação sin- a tardi-cinemática é indicada pela concordância estrutural entre a foliação magmática e às zonas de cisalhamento de alto ângulo. Apresentam xenólitos centimétricos irregulares de septos metamórficos e bandas de *schlieren* de biotitas, além de enclaves de composição sienogranítica e monzogranítica de granulação fina.

Os *Sienogranitos* (SDF) são rosados, leucocráticos, e isótropos, com textura equigranular e granulação média. Localmente, ocorrem enclaves centimétricos arredondados a elipsoidais. A presença de estrutura isótropa e ausência de foliação no estado sólido sugere um posicionamento posterior ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento de alto ângulo. Nesta faciologia destaca-se a ocorrência de fluorita e sulfetos como molibdenita e galena (Philipp 2001). Os principais minerais essenciais são feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, e os acessórios são representados por biotita, titanita e minerais opacos.

Os enclaves encontrados nos *monzogranitos* e *sienogranitos* (amostras RC-77, RC-88 e RC-78) apresentam dimensões centimétricos (20 a 40 cm). São maciços, homogêneos, com textura equigranular fina, onde se destaca o elevado conteúdo de biotita, que contrasta com o granito hospedeiro. Tais rochas são classificadas como micro-sienogranito, micro-monzogranito e quartzo-feldspato granito.

O contato entre os diques e os granitos encaixantes é sempre brusco, com geometria retilínea, sendo comum as seguintes orientações: N20-30E e N20-50W. Estas direções são paralelas às zonas de cisalhamento regionais. Os diques possuem espessura em geral métrica.

III.2.4. *Descrições Microscópicas*

A descrição microscópica permitiu identificar com maior precisão às assembléias mineralógicas dos granitos encaixantes. Os minerais essenciais dos granitos estudados são feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo. Os minerais máficos são biotita e minerais opacos, ocorrendo ainda titanita, apatita, zircão, epídoto e fluorita como acessórios. Os minerais de alteração são caulinita, clorita, sericita, saussurita, mica branca e carbonatos, e geralmente são produtos de alteração de feldspato alcalino, plagioclásio e biotita. Ocorrem também preenchendo clivagens e microfraturas.

a) *Granodioritos*

O *feldspato alcalino* ocorre em geral como cristais com tamanho de 1-2,5 mm. São cristais hipidiomórficos a xenomórficos e ocorrem também na forma intersticial. Apresentam intercrescimentos do tipo microclínio, pertítico e mesopertítico. São comuns inclusões

hipidiomórficas de plagioclásio e idiomórficas a hipidiomórficas de minerais opacos, titanita, apatita e zircão, mostrando textura poiquilítica. A presença expressiva de intercrescimento pertítico na forma de lamelas irregulares deve estar relacionada com a deformação no estado sólido. Caulinita e sericita são as fases minerais de alteração mais expressivas, e ocorrem sobre os cristais de feldspato e preenchendo planos de clivagens e microfraturas.

O *plagioclásio* (entre 0,2 a 5 mm) é hipidiomórfico quando fenocristal e xenomórfico quando cristais irregulares e alterandos para saussurita e sericita. O teor em anortita, com base na extinção das lamelas polissintéticas da albita, situa-se entre $An_{0,5-10}$ e An_{10-20} e caracterizam-se como albita e oligoclásio, respectivamente. Observa-se em alguns cristais tênue zonamento exibido por núcleos mais escuros, alterados e de relevo mais alto, em contraste com a borda mais clara. Alguns cristais apresentam o núcleo sericitizado e mostram o desenvolvimento de mirmequita no contato com feldspato alcalino e quartzo. Nota-se também cristais deformados com lamelas curvas e extinção ondulante, bem como cristais fraturados e preenchidos por quartzo e epídoto secundário.

O *quartzo,* quando ocorre como fenocristal (entre 3,5 a 4 mm), apresenta-se límpido e xenomórfico. Os cristais menores (entre 0,2 a 0,8 mm), que fazem parte da matriz ou ocorrem como cristais intersticiais, são xenomórficos e formam agregados com forte extinção ondulante (estrutura em forma de tabuleiro-de-xadrez). Os cristais menores ocorrem como agregados dispostos em forma de finos leitos.

A *biotita* (entre 1 e 3 mm) é xenomórfica, com pleocroísmo castanho-escuro a castanho-esverdeado, neste caso já transformada parcialmente em clorita. Contém inclusões de minerais opacos, epídoto e titanita. Estas inclusões são freqüentes nos cristais de biotita, evidenciando assim textura poiquilítica. Em geral, os minerais opacos (como inclusão) e o epídoto são hipidiomórficos; o zircão e titanita apresentam-se idiomórficos. A deformação de alguns cristais de biotita caracteriza-se pela fragmentação iniciada principalmente nas bordas provocando a formação de faixas microgranulares associada a mica branca.

Os minerais acessórios são *titanita, apatita, epídoto, minerais opacos e zircão*. A *titanita,* seguida dos minerais opacos, é a mais abundante. Possui tamanho de 0,1 a 0,5 mm. Os cristais são idiomórficos e mostram seção losangular. Alguns possuem textura poiquilítica com inclusões de minerais opacos. *Apatita, com* tamanho entre 0,03 e 0,05 mm, é idiomórfica e ocorre em forma de bastonete, geralmente inclusa em plagioclásio. O *zircão* é também idiomórfico com tamanho inferior a 0,5 mm e ocorre incluso no feldspato alcalino, plagioclásio e biotita. O *epídoto*, com tamanho entre 0,1 a 0,3 mm, hipidiomórfico e associa-se aos minerais opacos, biotita e plagioclásio. Os *minerais opacos*, com dimensões entre 0,05 e 0,6 mm, são hipidiomórficos a xenomórficos. Os cristais superiores a 0,05 mm ocorrem em geral associados aos minerais máficos, enquanto os de tamanho inferior a 0,05 mm ocorrem inclusos em feldspato alcalino, plagioclásio e titanita além de ocorrerem como cristais intersticiais e na matriz.

b) *Monzogranitos*

O *feldspato alcalino* apresenta geminações do tipo mocroclínio pertítico e ocorre como fenocristais idiomórficos de até 8 mm. Cristais menores (entre 0,5 e 1 mm) são em geral hipidiomórficos. Mostram-se interpenetrados por cristais de plagioclásio e quartzo e exibem

geminação segundo as leis de Carlsbad e Albita–Periclíneo, caracterizando-se pela presença de pertitas, em forma de filetes e vênulas. Alguns cristais são levemente zonados e caracterizam-se por extinção diferenciada entre o centro e a borda. Apresentam em geral maior quantidade de inclusões ou de material alterado no seu interior. São comuns inclusões de plagioclásio, quartzo, zircão e minerais opacos, assim como fraturas preenchidas por minerais de alteração como carbonato, caulinita e sericita.

O *plagioclásio* (entre 0,5 e 4 mm) ocorre como fenocristais hipidiomórficos a xenomórficos. Os últimos formam em geral, agregados (3 mm) associados com pequenos cristais de quartzo. Predomina geminação polissintética da albita, com teores de $An_{0,8-10}$ e An_{10-25} (albita e oligoclásio, respectivamente). Os cristais exibem um aspecto mosqueado na superfície e são comuns minerais de alteração como sericita e saussurita. Alguns cristais apresentam zonamento normal e são manteados por finas bordas albíticas ao redor de um núcleo mais cálcico. Também ocorrem localmente nas bordas de alguns cristais, minúsculas gotículas de quartzo que caracterizam textura do tipo mirmequítica.

O *quartzo* (entre 0,8 e 4 mm) é xenomórfico, apresenta contatos irregulares e também serrilhados. Caracteriza-se pela extinção ondulante e do tipo tabuleiro-de-xadrez. Apresenta-se muitas vezes fraturados e de ocorrência intersticial.

A *biotita* (1 até 2 mm) ocorre como lamelas hipidiomórficas associada ao feldspato alcalino e plagioclásio. As lamelas de biotita com tamanho de até 1 mm, mostram-se irregulares e ocorrem como agregados intersticiais com bordas alteradas. O pleocroísmo é castanho-escuro, e passam para castanho avermelhado, esverdeado e azulado nos cristais alterados. Observam-se resquícios de *anfibólio* associado a biotita. A presença de inclusões de minerais acessórios confere textura poiquilítica. Os minerais acessórios associados com a biotita estão representados por titanita, apatita, epídoto, minerais opacos e zircão. Estes possuem tamanho de 0,01 a 0,03 mm e são idiomórficos a hipidiomórficos.

Os minerais de alteração acham-se representados por *carbonatos*, *sericita, clorita, mica branca, saussurita* e *óxido de ferro*. Possuem aspecto mosqueado e associam-se ao plagioclásio, feldspato alcalino e biotita, com exceção do óxido de ferro que mostra tons avermelhados e encontra-se associado com os máficos. O carbonato associa-se ao feldspato alcalino e dispõe-se ao longo dos planos de clivagens e fraturas.

c) *Sienogranitos*

Os *sienogranitos,* em relação aos demais tipos composicionais, apresentam maior conteúdo em *quartzo* e *feldspato alcalino* e com menores quantidades de minerais máficos como a biotita e minerais opacos. O feldspato alcalino ocorre sob duas formas: como fenocristal (1 a 2,5 mm) hipidiomórfico, e como integrante da matriz (0,5 e 0,8 mm) xenomórfico. Os primeiros dispõem-se de forma aleatória e são mais ricos em inclusões (quartzo, apatita e minerais opacos), enquanto os últimos são intersticiais e possuem menor quantidade de inclusões. Apresentam geminações do tipo Carlsbad e em grade (do microclínio), pertitas, com estas últimas sendo mais freqüentes e formando textura do tipo poligonal. O feldspato alcalino apresenta contato retilíneo e irregular.

O *plagioclásio* apresenta dimensão entre 0,5 e 1 mm, hipidiomórfico a xenomórfico. Encontra-se geralmente associado com quartzo, feldspato alcalino e biotita. Exibe aspecto mosqueado na superfície dos cristais devido à atividade dos processos de alteração atuante (saussuritização). A geminação é polissintética da albita. Possuem limites retilíneos e irregulares, e são observadas inclusões de quartzo globular.

O *quartzo* ocorre como cristais maiores (entre 3 e 4 mm) e menores (entre 0,2 e 0,5 mm). Os primeiros são límpidos e apresentam limites curvos e irregulares, associados com feldspato alcalino e plagioclásio. Os últimos apresentam limites serrilhados e irregulares e ocorrem agrupados e intersticiais. Apresentam extinção ondulante e do tipo tabuleiro-de-xadrez.

A *biotita* ocorre como cristais isolados (0,3 a 0,6 mm) entre cristais de quartzo e feldspato e na forma intersticial (2 a 5 mm). São lamelas irregulares e apresenta pleocroísmo castanho-escuro a castanho-claro. São comuns inclusões idiomórficas de minerais opacos e epídoto.

Entre os minerais acessórios (*titanita, epídoto, apatita, fluorita, zircão* e *minerais opacos*) os *minerais opacos* são os mais abundantes. São hipidiomórficos a xenomórficos e, subordinadamente, idiomórficos. Possuem dimensões entre 0,2 a 1 mm. Ocorrem como cristais isolados ou agrupados com titanita, biotita e acessórios.

A *titanita* destaca-se pela forma idiomórfica e por cristais com dimensões em torno de 0,6 mm. Alguns deles apresentam inclusões de minerais opacos e encontram-se associados com epídoto, biotita e zircão.

O *zircão* caracteriza-se por cristais idiomórficos. Ocorre associado com biotita, feldspato alcalino e plagioclásio, tanto na forma de inclusões como cristais intersticiais.

Os sie*nogranitos* distinguem-se dos demais tipos graníticos pela presença de *fluorita* na sua paragênese mineral. Aparecem como cristais bem desenvolvidos, com pleocroísmo lilás, formando bolsões entre a titanita, biotita e feldspatos. Ocorrem também raras cavidades miarolíticas associadas com carbonato.

III.3. *Enclaves*

Macroscopicamente, os enclaves são corpos rosados, com pontuações escuras, equigranulares e de granulação fina. São constituídos por *quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, biotita e minerais opacos.* De acordo com a composição mineralógica foram classificados como micro-sienogranitos, micro-monzogranitos e álcali-feldspato granitos.

As descrições microscópicas possibilitaram a identificação de minerais acessórios como titanita, apatita, zircão, minerais opacos e minerais de alteração como sericita, mica branca, clorita e caulinita.

O plagioclásio é de composição oligoclásio e andesina, hipidiomórfico (até 0,5 mm) e apresenta por vezes inclusões de biotita, minerais opacos, titanita e apatita. Encontra-se sericitizado. Ocorrem também cristais xenomórficos formando mirmequita.

Cristais de feldspato alcalino (até 1 mm) hipidiomórficos a xenomórficos, apresentam-se poiquilíticos com inclusão de minerais opacos, epídoto, zircão e apresentam alteração localizada de sericita e caulinita. A matriz (< 1 mm) é hipidiomórfica.

Dos minerais máficos, a biotita é mais expressiva, ocorre como cristais lamelares isolados ou como agregados intersticiais.

Os enclaves são raros e difícil de serem amostrados, razão pela qual foram coletadas apenas quatro amostras.

As relações texturais observadas nos minerais das amostras estudadas sugerem a seguinte ordem de cristalização (Tab. 13):

Fase magmática	**Fase tardi-magmática**	**Fase pós-magmática**
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais Opacos		
Epídoto		
Anfibólio		
Biotita		Clorita
Plagioclásio		Saussurita, mica branca, epídoto
Feldspato Alcalino	Microclínio+pertitas	Epídoto+clorita+sericita+carbonato
Quartzo	Fluorita	Caulinita+mica-branca

Tabela 13. *Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas dos enclaves e dos granitos encaixantes dos diques estudados, região de Piratini, RS.*

Nas pranchas 3 e 4 são mostradas fotomicrografias das rochas graníticas encaixantes. A tabela 14 mostra a composição modal das rochas graníticas e dos enclaves e a tabela 15 mostra o conteúdo (%) de minerais máficos das rochas estudadas. A tabela 16 apresenta uma síntese dos aspectos petrográficos (texturais e mineralógicos) bem como a localização das amostras descritas.

Amostras→ Minerais↓	**RC30**	**RC35**	**RC42**	**RC1**	**RC31**	**RC67**	**RC77**	**RC88**	**RC78**	**RC71G**
Quartzo	29,77	26,14	20,25	27,61	30,54	28,00	22,20	24,00	25,80	47,00
Feldspato Alcalino	45,85	57,10	22,43	42,25	43,63	47,50	26,50	35,40	31,80	41,00
Plagioclásio	13,36	8,80	37,50	15,32	16,82	12,80	32,50	25,00	26,70	1,50
Anfibólio	----	TR	TR	-----	0,10	0,10	-----	-----	-----	------
Biotita	3,22	3,13	12,45	6,14	2,50	3,00	15,30	12,50	13,00	3,50
Titanita	0,50	0,3	0,02	0,15	0,30	TR	0,15	0,20	0,50	----
Minerias Opacos	2,30	0,25	1,50	2,00	2,80	2,00	0,12	1,20	1,50	3,50
Fluorita	TR	TR	----	0,02	----	-----	----	-----	-----	-----
Apatita	0,13	0,5	0,20	0,30	0,25	-----	------	0,10	-----	------
Zircão	0,20	0,15	0,03	0,2	0,12	0,15	0,80	0,40	0,10	TR
Epídoto	0,10	0,4	TR	0,15	0,14	0,30	TR	-----	TR	TR
Min. Alt.*	4,57	3,23	5,62	5,86	2,80	6,15	2,41	1,20	0,60	3,50
∑ Total	100,00	100,00	100,00	100.00	100.00	100.00	99,98	100,00	100,00	100,00

Tabela 14. *Composição modal das rochas graníticas estudadas e dos enclaves da região de Piratini, RS.*

Q	33,42	28,40	25,00	32,42	33,56	31,71	27,33	28,43	30,60	52,51
A	51,56	62,04	27,97	49,60	47,96	53,79	32,63	41,95	37,72	45,81
P	15,02	9,56	46,76	17,98	18,48	14,50	40,02	29,62	31,67	1,67
Máficos	6,45	4,73	14,20	8,96	6,21	5,55	16,37	14,40	15,10	7,00

Tabela 15. *Porcentagem de minerais máficos das rochas estudadas.*

Min. Alt. - sericita, clorita, caulinita, carbonato, mica branca e epídoto*
Máficos = biotita, titanita, minerais opacos, fluorita, apatita, zircão e epídoto
TR – traços; ---= não ocorre
***Q** = quartzo; **A** = feldspato alcalino; **P** = plagioclásio*
Para esta classificação foi utilizado também o índice de minerais máficos
Nomenclatura das rochas graníticas e dos enclaves com base na análise modal.
RC30 – Sienogranito
RC35 – Sienogranito
RC42 – Granodiorito
RC1 – Monzogranito
RC31 – Monzogranito
RC67 – Sienogranito
RC77 – Micro-monzogranito (enclave)
RC88 – Micro-sienogranito (enclave)
RC78 – Micro-sienogranito (enclave
RC71G – Álcali-feldspato granito

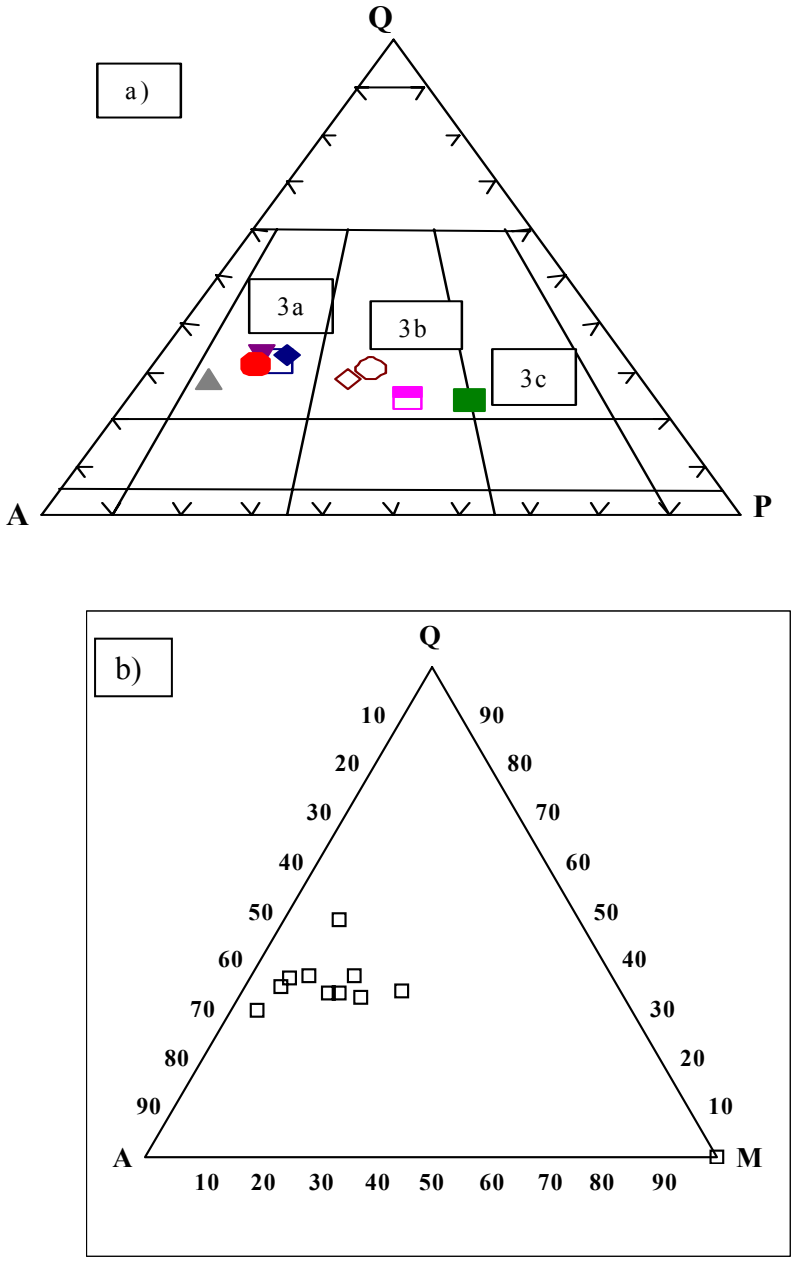


Figura 6. *Diagramas QAP e QAM. Em (a) - classificação das rochas graníticas encaixantes e dos enclaves (Streckeisen 1976) da região de Piratini, RS. Legenda: 3a: sienogranito, 3b: monzogranito, 3c: granodiorito. Simbologia: representam as amostras determinadas modalmente. Em (b) – diagrama com a % de minerais máficos. A simbologia representam as amostras determinadas modalmente.*

Amostras↓	Cor	Estrutura	Textura	Minerais Essenciais	Minerais Acessórios	Classificação	Localização (Dados UTM)
RC-30	Rosada	Maciça	Hipidiomórfica Equigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Fluorita, Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Sienogranito	0292721/ 6516598
RC-35	Rosada	Maciça	Hipidiomórfica Equigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Fluorita, Epídoto, Minerais Opacos, Titanita, apatita, Zircão	Sienogranito	0293928 / 6517433
RC-42	Cinza-esbranquiçada	Maciça à levemente foliada	Inequigranular Hipidomórfica Bandamento de Fluxo Magmático	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Fluorita, Epídoto, Apatita, Zircão, Titanita, Minerais Opacos	Granodiorito	0296691/65 18613
RC-1	Rósea-esbranquiçada	Maciça	Porfirítica Inequigranular Hipidiomórfica	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Monzogranito	0398478/ 6525130
RC-31	Rósea-esbranquiçada	Maciça	Porfirítica Inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Monzogranito	0292382 / 6515383
RC-67	Rósea-esbranquiçada	Maciça	Porfirítica Inequigranular Hipidiomórfica	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Monzogranito	029756 / 6518842
RC-77	Rosada com pontuações escuras	Maciça	Hipidiomórfica Equigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão Minerais opacos, titanita	Monzogranito	030200/ 6529060
RC-88	Rosada com pontuações escuras	Maciça	Hipidiomórfica Equigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita,	Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Sienogranito	0301000 / 6525800
RC-78	Rosada com pontuações escuras	Maciça	Hipidiomórfica Equigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita,	Epídoto, Apatita, Zircão, Minerais Opacos, Titanita	Sienogranito	0300500/ 6529060
RC71G	Rósea-esbranquiçada	Maciça	Hipidiomórfica Inequigranular	Feldspato Alcalino, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão	Álcali-feldspato granito	0306900/ 65 31277

Tabela 16. *Síntese das informações petrográficas das rochas graníticas encaixantes e dos enclaves da região de Piratini, RS.*

Prancha 3 - Fotomicrografias dos Minerais das Rochas Graníticas Encaixantes da Região de Piratini, RS.

A - *Fenocristal de microclínio (Fk) em contato com plagioclásio (Plg). Observar cristais de minerais opacos (Op), epídoto (Ep), quartzo (Qz) e clorita (Clo), esta última com borda esverdeada. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X* (*Granodiorito - RC-42).*

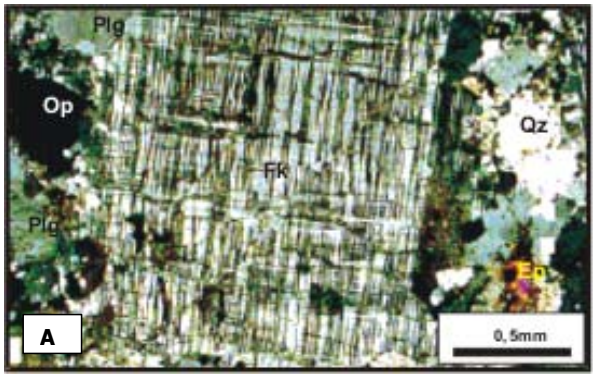
B- *Fenocristal de plagioclásio (Plg) com macla polissintética da albita e inclusão de quartzo (Qz), Biotita (Bio), clorita (Clo) e cristais menores de quartzo (Qz) nas bordas. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (Granodiorito - RC-42).*

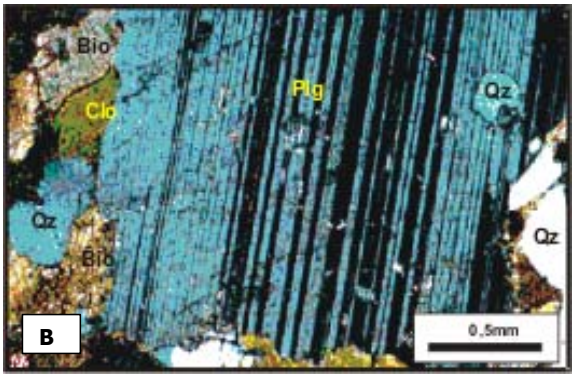
C -*Fenocristal de microclínio-pertita (Fk) com macla de Carlsbad e circundado por cristais de quartzo (Qz) e de microclínio (Mic). Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (Monzagranito - RC-1).*

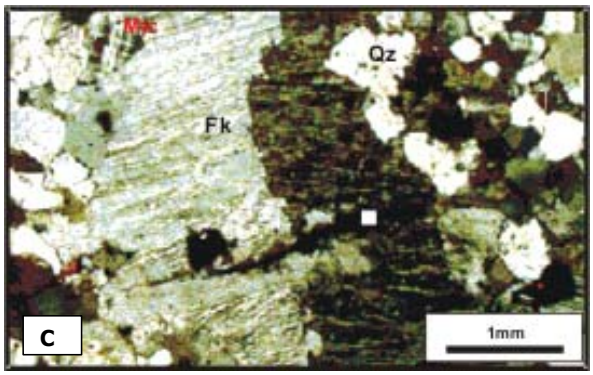
D - *Fenocristal de plagioclásio (Plg) com zonamento normal e alteração (saussurita) mais acentuada na parte central. Presença de quartzo (Qz) xenomórfico. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (Monzogranito - RC-31).*

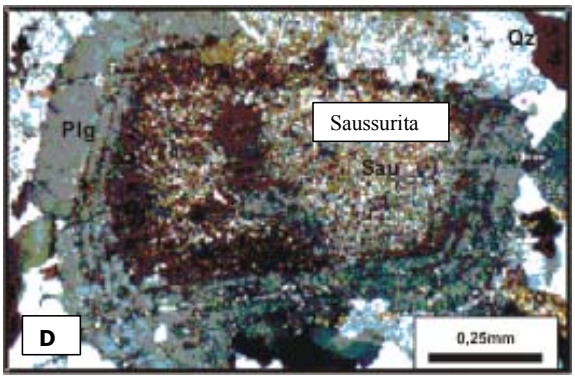
E - *Fenocristal de feldspato alcalino pertitizado (Fk) com inclusão de cristal de plagioclásio (Plg). Observar a sericita e carbonatos na parte central do plagioclásio (Plg). Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (Monzogranito - RC-01).*

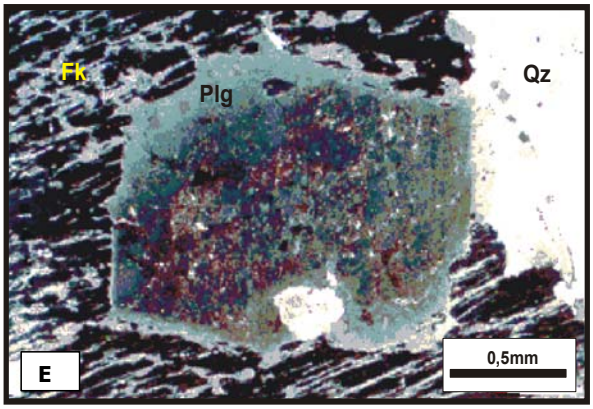
F - *Fenocristal de feldspato alcalino (Fk) e mirmequita no contato. Observar cristais de quartzo (Qz) e feldspato (Fk) xenomórfico. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (Granodiorito - RC-42).*

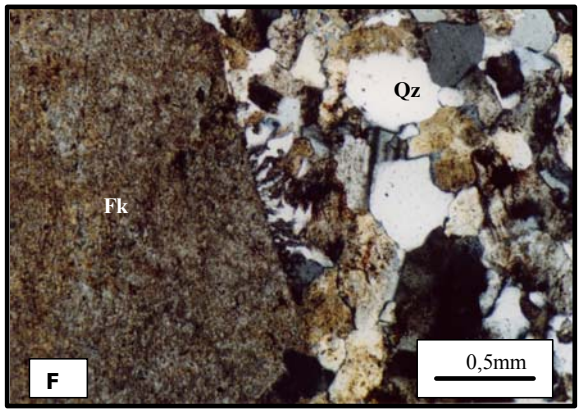

Plg
Op
Qz
Fk
Plg
Ep
A
0,5mm


Bio
Clo
Plg
Qz
Qz
Bio
Qz
B
0,5mm


Qz
Fk
C
1mm


Qz
Plg
Saussurita
Sau
D
0,25mm


Fk
Plg
Qz
E
0,5mm


Qz
Fk
F
0,5mm

Prancha 4 – Fotomicrografias dos Minerais das Rochas Graníticas Encaixantes da Região de Piratini, RS.

A - *Fenocristal xenomórfico de biotita (bio) circundado por cristais de quartzo (Qz). Polarizador descruzada, filtro azul, objetiva 2,5X (Monzogranito - RC-67).*

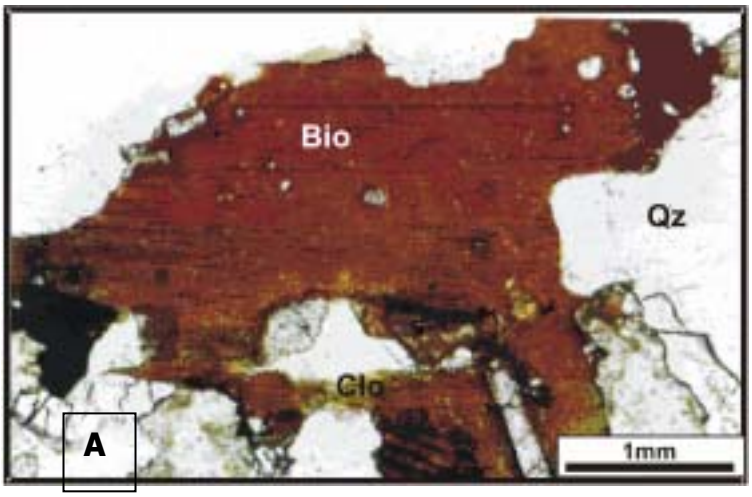
B - *Cristal hipidiomórfico de zircão (Zr) associado com clorita (Clo) e minerais opacos (Op). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X (Sienogranito - RC-30).*

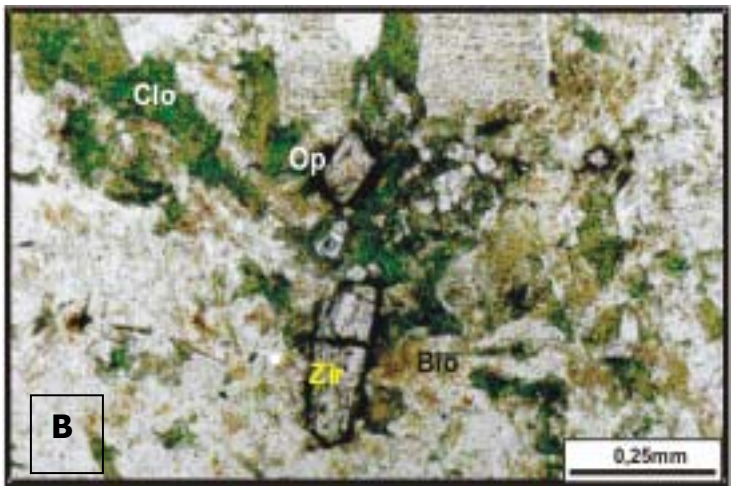
C - *Feldspato alcalino microclínio (Mic) e pertitais (Per) em contato; cristais de quartzo (Qz) xenomórfico. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5,0X (Sienogranito - RC-35).*

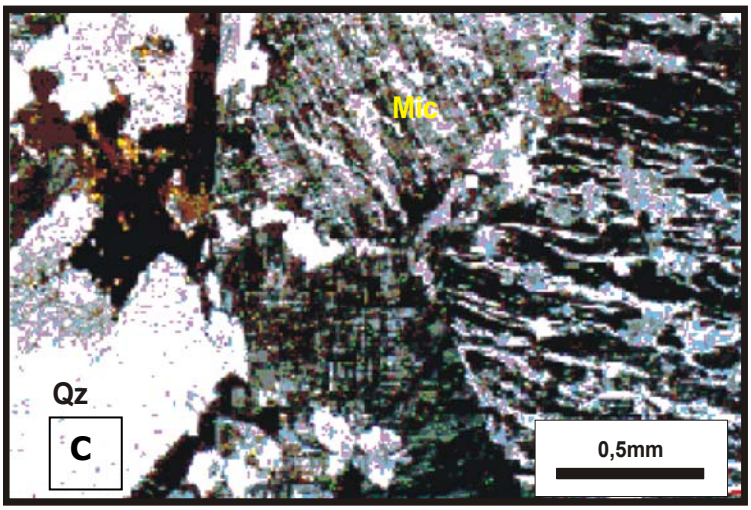
D - *Cristal idiomórfico de titanita (Ti) apresentando inclusão de mineral opaco (Op). A titanita faz contato com minerais alterção como mica branca (Mb) e clorita (Clo). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 5X (Sienogranito - RC-35).*

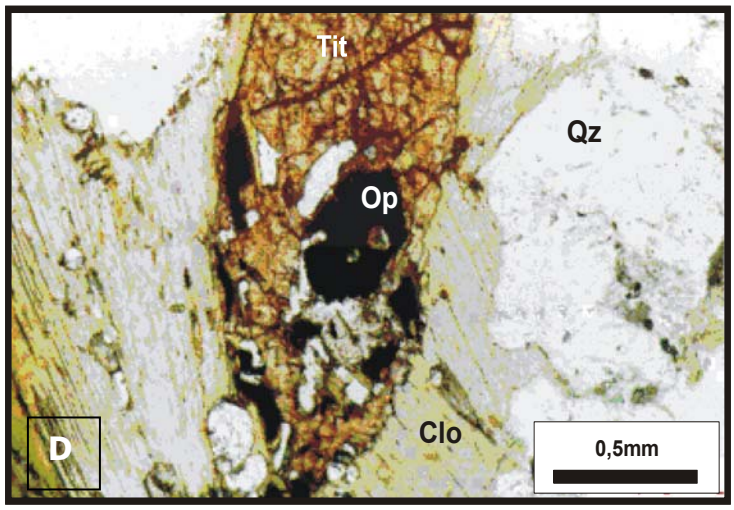
E - *Minerais opacos (Op) hipidiomórficos. Observar presença de exsolução de ilmenita (Il). Polarizador descruzado, sem filtro, objetiva 5X (Enclave - RC-77).*

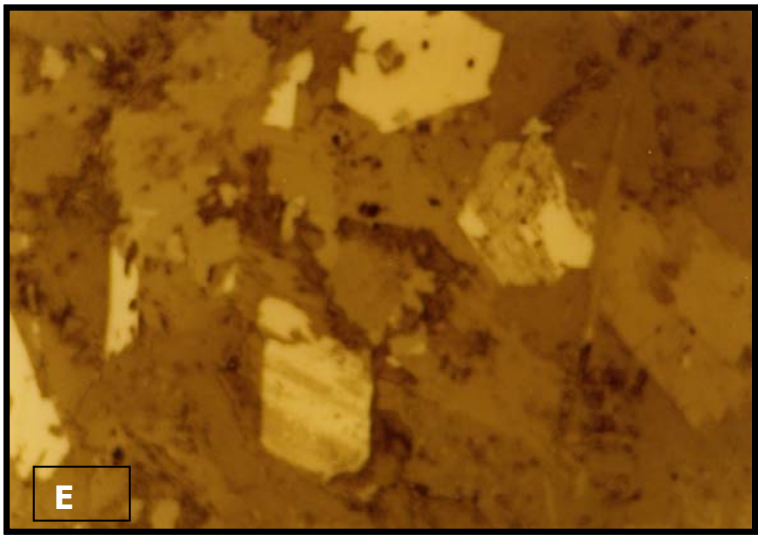
F – *Presença de cristal de mica branca (Mb). Cristal de Fk pertitizado (Per) com inclusão de biotita (Bio) e este último mineral apresentando inclusão de minerais opacos (Op). Observar minerais opacos idiomórficos (Op) inclusos na mica branca (Mo).Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (Sienogranito - RC- 30)*

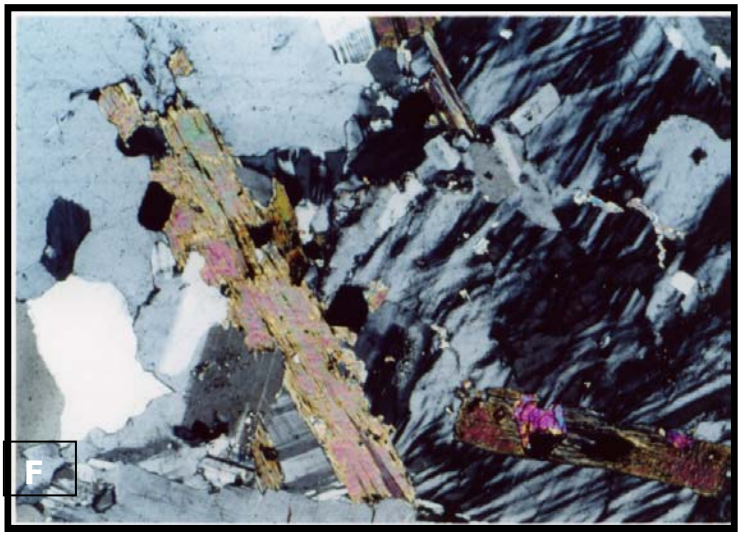

Bio
Qz
Clo
A
1mm


Clo
Op
Zir
Bio
B
0,25mm


Mic
Qz
C
0,5mm


Tit
Qz
Op
Clo
D
0,5mm


E


F

III.4. *Enxames de Diques*

III.4.1. *Relações de Campo e Características Petrográficas*

Na região de Piratini são encontrados enxames de diques ácidos e básicos, de grande expressão geográfica, intrusivos no Batólito Pelotas. Os diques ácidos são mais expressivos do que os básicos. Observam-se em afloramentos e em lâminas delgadas feições de mistura física de magmas (*mingling*) (Prancha 5-A, B e C) entre as fases félsica e máfica, indicando presença de diques compostos. As características petrográficas destes diques justificam a sua separação em dois conjuntos distintos: um ácido e outro básico.

Os diques possuem contatos abruptos e retilíneos, indicando que sua colocação se deu após a cristalização dos granitos encaixantes. Possuem espessura em geral centimétrica, mais raramente métrica (entre 0,30 e 3,0m). A direção principal é N10-40°W e N-S.

A princípio a classificação dos diques ácidos foi realizada a partir da análise modal e visual (Tab. 17) e, posteriormente, através da utilização de dados geoquímicos, lançou-se no diagrama TAS (Le Maitre 2002). Neste diagrama também estão plotados as amostras dos diques básicos (Fig. 7).

III.4.2. *Diques Ácidos*

III.4.2.1. *Descrição Macroscópica*

Estes diques apresentam em geral cor avermelhada a cinza-avermelhada, estrutura maciça e matriz afanítica, com fenocristais de quartzo e feldspato alcalino mostrando textura porfirítica. Observa-se também alguns cristais esverdeados. Possuem granulação fina a muito fina. Os fenocristais perfazem de 5 a 10% em volume da rocha. Os fenocristais de feldspato alcalino são euédricos (até 1,0 cm), com seções quadráticas e subarredondadas, enquanto os fenocristais de quartzo são bipiramidais. Os minerais essenciais são *feldspato alcalino, plagioclásio* e *quartzo.* O principal máfico é *biotita e minerais opacos.* Observa-se em algumas amostras minerais de alteração como *sericita e óxidos de ferro.*

III.4.2.2. *Descrição Microscópica*

As descrições microscópicas objetivaram a caracterização mineralógica e descrição pormenorizada das texturas, assim como da definição da ordem de cristalização dos minerais. A composição de alguns minerais foi obtida a partir da análise em microssonda eletrônica (ver capítulo da química mineral).

A composição mineralógica e dados de geoquímica dos diques ácidos caracterizam um conjunto dominante riolítico e um subordinado de composição traquítica (Tab. 17 e Fig. 7).

Os minerais essenciais são *feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo.* Os acessórios são *minerais opacos, biotita, zircão, apatita, traços de titanita* e por vezes raros *cristais de anfibólio,* totalmente alterados. Os minerais de alteração são *óxido de ferro, clorita, mica branca, carbonato, caulinita e sericita,* aparecendo ainda *epídoto e fluorita* como minerais de alteração do tipo hidrotermal.

O *feldspato alcalino* ocorre tanto como fenocristal como integrante da matriz. Os primeiros são mais comuns e ocorrem com intercrescimento de microclínio e pertita. Ocorrem também fenocristais de ortoclásio, exibindo geralmente bordas de reação Os fenocristais varia de

1,5 até 4 mm. Ocorrem ainda raros cristais de sanidina. São em geral cristais hipidiomórficos a xenomórficos, mostrando limites retos e bordas de reação. Observa-se que a alteração dos fenocristais inicia-se nas bordas e progride em direção ao centro, com formação de caulinita e sericita, conferindo à rocha aspecto mosqueado. A textura poiquilítica é representada por inclusões de zircão, minerais opacos, titanita e plagioclásio. O feldspato alcalino integrante da matriz ocorre imerso na matriz fina, geralmente composta por cristais de quartzo, que desenvolvem por vezes bordas de reação como "*franjas*" intercrescidas entre o quartzo e o feldspato alcalino, evidenciando textura granofírica (Prancha 6 - A). Localmente, ocorre textura micrográfica. Alguns cristais de feldspato, mesmo caulinizados, exibem maclas segundo Carlbad. Os cristais da matriz são hipidiomórficos a xenomórficos e apresentam contatos retos. Ocorrem também como cristais menores (<0,5 mm) intersticiais. Observa-se ainda textura glomeroporfirítica felsofírica.

Algumas amostras apresentam textura esferulítica (Prancha 5 - F), caracterizada pela presença de cristais de quartzo e feldspato alcalino dispostos ao redor de um núcleo constituído de agregados cristalinos destes mesmos minerais.

O *plagioclásio* (entre 0,5 a 1 mm) é um mineral raro nas lâminas estudadas. Ocorre na matriz ao lado do quartzo como cristais ripiformes, idiomórficos, num arranjo textural radial. Alguns cristais apresentam intercrescimento mirmequítico em contato com quartzo ou feldspato alcalino. São encontradas franjas albíticas recristalizadas. Os minerais de alteração são saussurita e mica branca, os quais ocorrem ao longo de planos de fratura e clivagem do plagioclásio, ou ainda, substituindo totalmente cristais de plagioclásio e feldspato alcalino (Prancha 6 - C). Em termos de composição, predominam plagioclásio do tipo albita (An_{5-10}) e oligoclásio (An_{10-14}). Os cristais apresentam um leve zonamento normal, com o núcleo sendo mais cálcico. Localmente, observa-se zonamento do tipo inverso em alguns cristais.

O *quartzo* ocorre como fenocristal (2 a 4 mm) e como integrante da matriz ou intersticial. Os primeiros são límpidos, idiomórficos (bipiramidal) com limites retos, e ocorrem dispersos numa matriz fina (0,01 a 0,03 mm) (Prancha 5 - D). Os cristais da matriz formam agregados intercrescidos com feldspato alcalino e plagioclásio, resultando muitas vezes textura esferulítica. Os cristais da matriz são subarredondados, com limites lobados a serrilhados e extinção ondulante. A textura radial é salientada pela presença de agregados de quartzo dispostos numa matriz microcristalina xenomórfica. Os fenocristais (quartzo e feldspato alcalino) encontram-se associados numa matriz fina, formando textura glomeroporfirítica felsofírica (Prancha 6 - B). Algumas lâminas mostram textura hialopilítica, caracterizada por micrólitos de feldspato alcalino em matriz microcristalina.

A *titanita* e *minerais opacos* ocorrem como cristais inclusos e intersticiais (0,01 a 0,5 mm) ou formando muitas vezes agregados com outros minerais. A biotita ocorre como cristais xenomórficos, lamelares, com pleocroísmo entre castanho-claro a avermelhado (Prancha 5 - E). Altera-se para *clorita* e associa-se com *titanita.* Os minerais opacos são *ilmenita e magnetita* que representam uma fase de cristalização magmática precoce. São hipidiomórficos e ocorrem inclusos na titanita e biotita ou aparecem como cristais intersticiais. O *epídoto* é xenomórfico e ocorre associado com cristais de biotita; a apatita ocorre associada com titanita, biotita e minerais opacos. O *Zircão* caracteriza-se por cristais idiomórficos (0,25 a 0,5 mm), por vezes zonados e metamictizados, inclusos em feldspato alcalino, plagioclásio e biotita. A *fluorita* ocorre como pequenos bolsões de tons lilás na matriz.

As pranchas 5 e 6 apresentam fotomicrografias representativas dos minerais e texturas dos diques ácidos da região de Piratini, RS.

Na tabela 18 observa-se a ordem de cristalização dos minerais dos diques ácidos.

Minerais →	FK	Pl	Qz	Bi	Ti	Op	Zr	Ep	Fl	Ap	Af	Ma	∑Total	Mz	Texturas	Classificação	Localização (Dados UTM)
mostras↓																	
RC- 55	35	5,0	50	2,5	Tr	2,0	0,1	0,4	Tr.	0,5	---	5,4	100	90%	Granofírica, Microcristalina, Porfirítica	Riolito	0287263/ 6525960
RC- 18E	40	4,0	45	3,4	Tr	2,5	Tr	0,1	---	0,5	Tr	4,5	100	95%	Hipidiomórfica, Microcristalina, Porfirítica	Riolito	0293092 / 6524244
RC- 3	37	2,2	50	2,5	Tr	2,0	Tr	0,3	---	0,8	---	4,7	100	95%	Microcristalina, Afanítica	Riolito	0298478/ 652513
RC- 7A	40	1,0	50	1,0	---	3,5	Tr	---	---	0,5	Tr	4,0	100	85%	Hipidiomórfica, Porfirítica,	Riolito	0297168/ 6525465
RC- 17A	45	2,5	47	1,0	Tr	2,0	Tr	Tr	---	Tr	Tr	2,5	100	85%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Porfirítica, Microcristalina	Riolito	0293776/ 6528564
RC- 36	30	5,0	55	1,5	Tr	3,0	Tr	Tr	---	Tr	---	5,5	100	90%	Radial, Microcristalina, Afanítica, Esferulítica	Riolito	0291018/ 6519520
RC- 15A	40	0,5	50	1,0	Tr	2,0	Tr	Tr	---	Tr	---	6,5	100	90%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Porfirítica	Riolito	0294412/ 6529170
RC- 52	35	2,0	55	1,0	---	2,5	Tr	Tr	---	Tr	---	4,5	100	88%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Poiquilítica, Porfirítica	Riolito	0277400/6524244
RC- 18B	50	3,0	40	2,5	Tr	1,5	Tr	---	---	Tr	Tr	3,0	100	80%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Poiquilítica, Porfirítica	Traquito	0293092/6524244
RC- 34	43	0,3	47	1,3	---	2,0	Tr	Tr	---	Tr	---	6,5	100	80%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Poiquilítica, Porfirítica	Riolito	0292477/ 6514241
RC- 18F	40	---	50	0,5	---	3,0	Tr	Tr	---	Tr	Tr	6,5	100	80%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Porfirítica, Poiquilítica	Riolito	0301300/ 6524800
RC- 20A	50	---	40	1,0	---	2,5	Tr	Tr	---	0,5	---	3,0	100	90%	Felsofírica, Porfirítica	Traquito	0293238/6527286
RC- 53	50	---	35	2,0	Tr	2,0	Tr	---	---	--	Tr	5,8	100	85%	Glomeroporfirítica Felsofírica	Traquito	0286882/6525443
RC- 71	49	1,0	41	0,5	Tr	1,5	Tr	Tr	---	0,5	Tr	4,5	100	90%	Glomeroporfirítica Felsofírica, Porfirítica	Traquito	0307020/6531277
RC- 16	50	1,0	40	1,0	Tr	3,0	---	Tr	---	Tr	---	5,0	100	95%	Poiquilítica, Afanítica Microcristalina	Traquito	0293836/ 6528825
RC- 20	40	---	50	0,5	Tr	0,1	---	Tr	---	Tr	0,5	4,0	100	90%	Poiquílitica, Microcristalina	Riolito	0293238/6527286

Tabela 17. *Síntese das informações texturais e modal visual dos diques ácidos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS.*

FK = feldspato alcalino; Pl = plagioclásio; Qz = quartzo; B i= biotita; Ti = titanita; Ap = apatita; Zr = zircão; Op = minerais opacos; Ep = epídoto; Fl = fluorita; A f= anfibólio; Ma = minerais de alteração; --- = traços de minerais; ∑Total = somatório total dos minerais da rocha.

Mz = Matriz (corresponde a soma de Feldspato alcalino + Plagioclásio + Quartzo + minerais acessórios e traços que compõem a matriz da rocha)

Tabela 18. Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas.

Fase magmática	Fase tardi-magmática	Fase pós-magmática
Quartzo bipiramidal (idiomórfico)		
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais Opacos		
Anfibólio		
Biotita		
Plagioclásio	Biotita	Epídoto
Feldspato Alcalino	Fluorita	Clorita, sericita, saussurita, óxido de ferro
	←Quartzo da matriz→	Caulinita, mica branca, microclínio

Prancha 5 - Fotomicrografias dos Diques Ácidos da Região de Piratini, RS.

A - Mistura de magma ácido e básico. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-20).

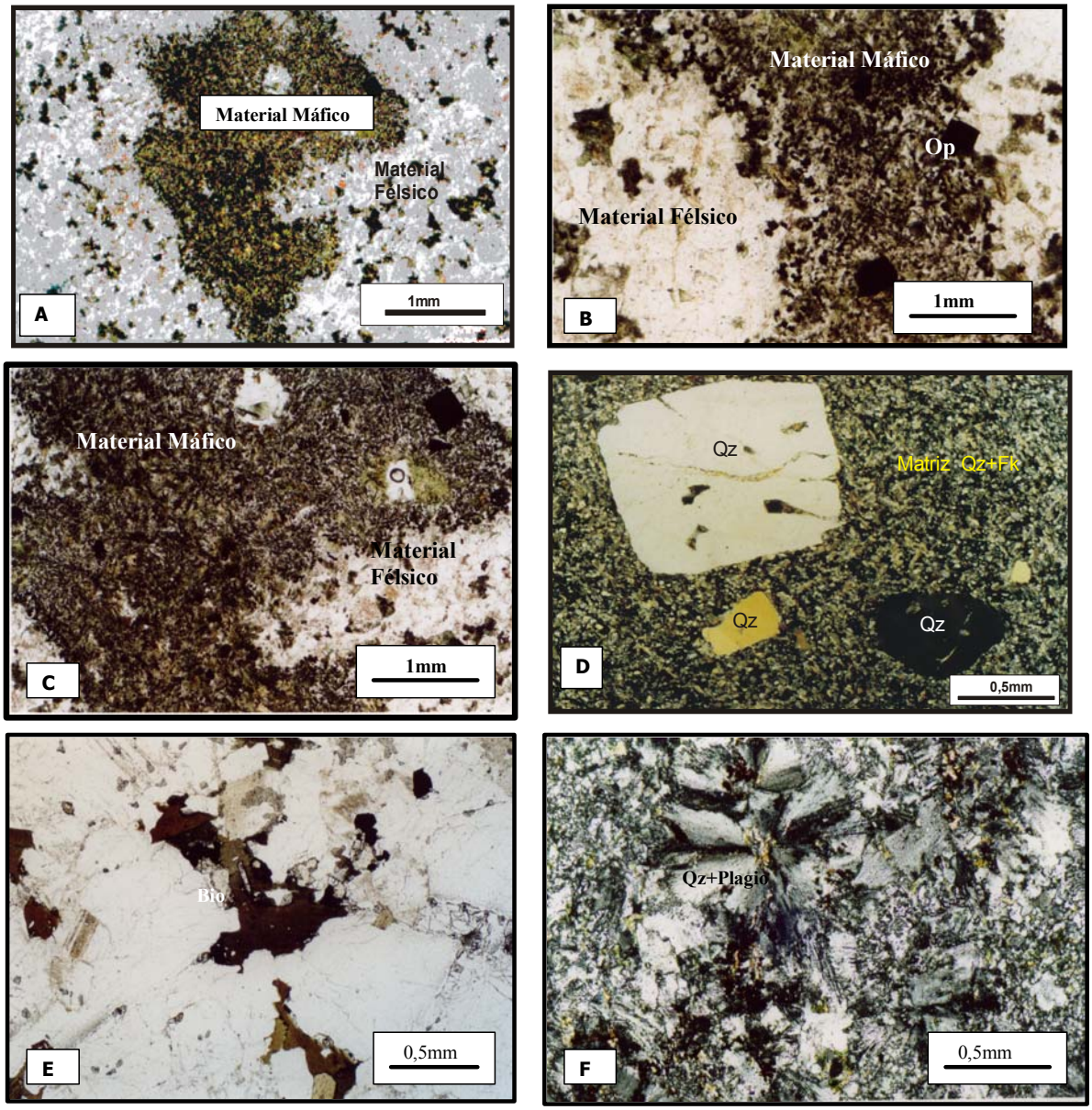
B -Mistura de magma ácido e básico. Observar cristais idiomórficos de minerais opacos (Op) no material básico. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-22).

C - Mistura de magma ácido e básico. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-22).

D - Matriz composta por feldspato alcalino e quartzo. Fenocristal de quartzo (Qz) idiomórfico em matriz muito fina (<1mm) xenomórfica composta por Qz+Fk+caulinita. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-16).

E - Biotita castanho-escura intersticial (Bio) com bordas cloritizadas (Clo) e minerais opacos (Op) hipidiomórficos. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-18E).

F - Textura esferulítica constituída por plagioclásio + quartzo. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-36).

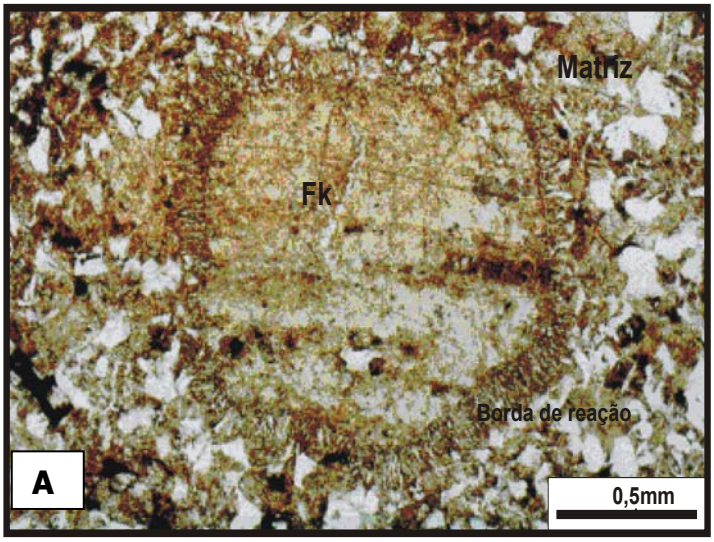

Material Máfico
Material Félsico
1mm
A
Material Máfico
Op
Material Félsico
1mm
B
Material Máfico
Material Félsico
1mm
C
Qz
Matriz Qz+Fk
Qz
Qz
0,5mm
D
Bio
0,5mm
E
Qz+Plagio
0,5mm
F

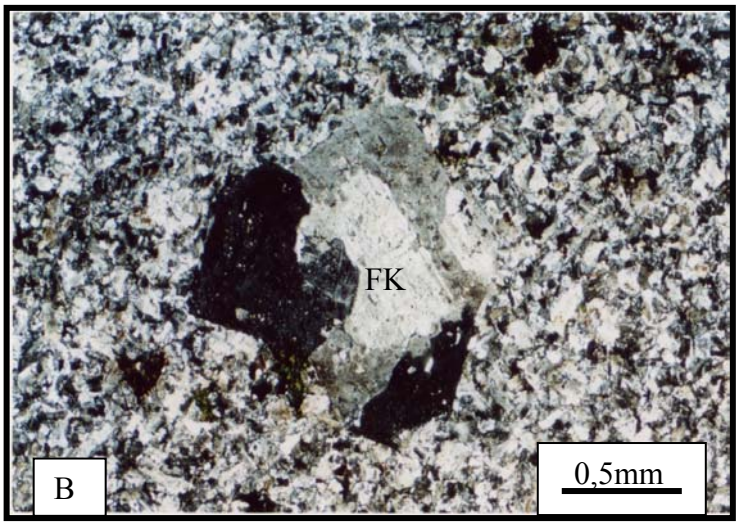
Prancha 6 - Fotomicrografias de Minerais dos Diques Ácidos da Região de Piratini, RS.

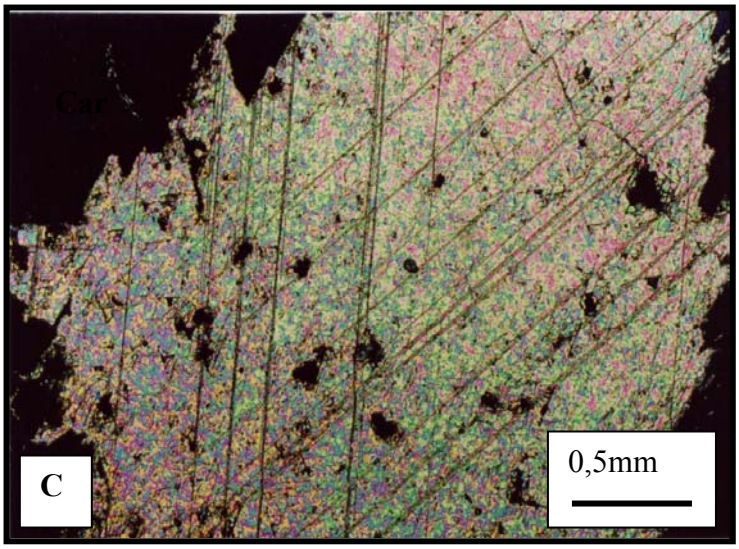
A - *Fenocristal hipidiomórfico de ortoclásio (Fk) com textura gronofírica, imerso em uma matriz xenomórfica composta por quartzo e feldspato alcalino. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5,0X (RC-55).*

B - *Textura glomeroporfirítica felsofírica em matriz xenomórfica composta por quartzo + feldspato alcalino + plagioclásio. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-17A).*

C - *Carbonatos (Car).Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-7A).*


Matriz
Fk
Borda de reação
A
0,5mm


FK
B
0,5mm


Car
C
0,5mm

III.4.5. *Diques Básicos*

III.4.5.1. *Descrição Macroscópica*

Os diques básicos são rochas de estrutura maciça e textura porfirítica inequigranular com matriz afanítica. São mesocráticos, de cor cinza-escura a esverdeada e avermelhada. Os fenocristais perfazem entre 5 a 20% em volume da rocha. Destaca-se na matriz, pontuações escuras representadas por sulfetos e minerais opacos. Observa-se ainda material muito fino constituído de carbonato, clorita e óxido de ferro preenchendo fraturas, além da presença de micro-vesículas (< 3,0 mm de diâmetro) como reflexo de alteração ocorrida durante o estágio pós-magmático. A classificação dos diques básicos foi realizada através da descrição modal visual (Tab.19) e posteriormente com base nos dados geoquímicos utilizou-se o diagrama TAS (Le Maitre 2002) (Fig. 7).

III.4.5.2. *Descrição Microscópica*

Em termos petrográficos, ao contrário das demais rochas estudadas, os diques básicos mostram composição mineralógica distinta. Os minerais essenciais são *plagioclásio, piroxênio, quartzo* e, como acessório, *feldspato alcalino*, *apatita, titanita* e *epídoto*. A fase máfica é composta por *piroxênio, biotita, sulfetos e magnetita*; os minerais de alteração são *carbonato, clorita, óxido de ferro, sericita, saussurita e epídoto*.

Os cristais de *plagioclásio* exibem ampla gama de variação de tamanho (de 0,3 a 3,5 mm). Apresentam formas hipidiomórfica a xenomórficos e encontram-se em geral saussuritizados. Ocorrem tanto na matriz como fenocristal. Com base nos teores de anortita, são classificados como albita ($An_{3,6-3.2}$), andesina ($An_{50,8-42,9}$) e labradorita ($An_{59,6-51,0}$). Ocorrem associados com o quartzo e piroxênio. Ocorrem também na forma de agregados (entre 1,0 a 2,0 mm) xenomórficos com mirmequita. Exibem muitas vezes geminação polissintética da albita (Prancha 7-B). Os fenocristais apresentam zonamento normal, inverso e oscilatório (Prancha 7-C). Observa-se textura poiquilítica, caracterizada por inclusões de magnetita e apatita e textura sub-ofítica caracterizada pela presença de cristais tabulares de plagioclásio envolvidos parcialmente por cristais de piroxênio.

O *quartzo* ocorre como agregados microcristalinos xenomórficos em uma matriz fina (entre 0,2 a 0,5 mm) ou como fenocristais (1,5 a 3,5 mm) também xenomórficos. Possui limites interdigitados e dispõe-se num arranjo textural do tipo consertal. Ocorre também como cristais intersticiais e na matriz, exibindo formas subarredondados e lenticularizadas, sendo circundados por biotita e minerais opacos. Observa-se ainda textura intersertal, caracterizada pela presença de minúsculos cristais de quartzo entre as ripas de plagioclásio.

O *feldspato alcalino* é hipidiomórfico a idiomórfico (entre 0,5 a 1 mm) e exibe intercrescimentos do tipo microclínio e pertitas além de maclas segundo Carlsbad (Prancha 7-F-A) dispostos numa matriz fina alterado para sericita e caulinita. Ocorre também como cristais ripiformes distribuídos numa matriz hipocristalina.

O *piroxênio* (0,5 a 1,5 mm) ocorre como cristais xenomórficos e também de forma esqueletal. Apresenta textura ofítica e sub-ofítica. No primeiro caso, as ripas de plagioclásio não excedem os diâmetros dos grânulos do piroxênio, parecem estar incluídas em sua totalidade nos piroxênios. Na sub-ofítica, o comprimento médio das ripas de plagioclásio excede o dos grânulos do piroxênio (Prancha 7-D-E). O pleocroísmo é esverdeado e os

cristais são levemente zonados. De acordo com dados de química mineral, o piroxênio apresenta composição mineralógica que o classifica como augita.

A *biotita* ocorre como lamelas (0,5 a 1,0 mm) isoladas ou em agregados associada com magnetita, sulfetos, titanita, restos de anfibólio, epídoto e raros cristais de zircão. Ocorre ainda interdigitada com piroxênio, numa clara relação de transformação tardia. Os cristais são xenomórficos e exibem alteração nas bordas para clorita e mica branca. O pleocroísmo é castanho-claro a castanho-escuro. Na prancha 8-A, observa-se cristal de biotita com inclusão de titanita e minerais opacos.

Raros resquícios de *anfibólio* ocorrem associados com clorita e piroxênio totalmente xenomórficos.

A *titanita* (entre 0,3 a 0,7 mm) ocorre como cristais idiomórficos inclusos e também apresenta inclusões de minerais opacos. Cristais de *zircão* ocorrem geralmente associados com titanita, minerais opacos e biotita.

A *apatita,* com tamanhos que variam de 0,04 a 0,5 mm, é o mineral acessório mais abundante. Ocorre como cristais xenomórficos e em forma de agulhas, cortando cristais de piroxênio e plagioclásio. Também são encontradas idiomórficas inclusas em piroxênios, plagioclásio e na biotita, sugerindo deste modo duas gerações de apatita: uma mais precoce (primária) representada pelas inclusões e outra tardia (secundária), representada pelos cristais discordantes (Prancha 7-F).

O *epídoto,* com tamanho entre 0,01 a 0,02 mm, ocorrem como cristais xenomórficos associados com plagioclásio, feldspato alcalino e biotita. Ocorre também sob a forma de inclusões em fenocristal de plagioclásio.

São comuns minerais de alteração como *carbonato, clorita, óxido de ferro e sericita.* A *clorita* e *óxido de ferro* ocorrem como produtos de alteração do piroxênio, biotita e minerais opacos. Os cristais de plagioclásio e feldspato alcalino mostram-se intensamente alterados para caulinita, saussurita e sericita. A tabela 19 apresenta uma síntese das principais características dos diques básicos, e a figura 7 mostra a classificação dos diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.

Nas pranchas 7 e 8 encontram-se fotomicrografias representativas dos minerais e aspectos texturais dos diques básicos da região de Piratini, RS.

De acordo com as relações texturais observadas nos minerais dos diques básicos, sugere-se a provável ordem de cristalização, exposta na tabela 20.

Minerais→ Amostras↓	Pl	Px	Bi	Fk	Qz	Op	Ti	Ap	Zr	Ep	Ma	Af	∑T	Mz	Texturas	Classificação	Localização (Dados UTM)
RC-22	45	42	0,5	Tr	2,5	4,2	Tr	0,3	---	Tr	5,5	Tr	100	90%	Ofítica, Afanítica fina	Basalto	0293866/6525372
RC-25	45	45	0,8	Tr	1,5	5,5	Tr	0,2	---	Tr	2,0	Tr	100	90%	Ofítica, Afanítica fina	Basalto	0295122/6524108
RC-12	47	43	---	---	2,4	5,0	0.1	tr	---	Tr	2,5	---	100	95%	Sub-ofítica/radial, Afanítica fina	Basalto	0296330/6528801
RC-24	44	45	---	---	1,8	6,5	Tr	0,5	---	Tr	2,2	---	100	90%	Sub-ofÍtIca/radial, Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0294623/6524482
RC-13	48	44	Tr	---	3,5	3,5	Tr	Tr	---	Tr	1,0	---	100	90%	Sub-ofitica/radial, Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0294958/6529250
RC-69	45	43	1,5	--	1,5	4,5	Tr	1,5	---	Tr	3,0	Tr	100	95%	Afanítica fina	Basalto	0307969/6531532
RC-59	43	46	---	---	0,6	6,5	---	0,2	---	Tr	3,7	Tr	100	95%	Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0290251/6526657
RC-11B	42	44	---	---	2,0	6,0	Tr	0,5	---	0,2	5,5	---	100	95%	Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0297052/6528430
RC-83	40	43	1,5	Tr	1,5	6,5	Tr	1,0	Tr	0,2	6,5	Tr	100	90%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0304931/6524273
RC-17B	42	46	---	---	2,0	5,5	Tr	Tr	---	Tr	4,5	Tr	100	90%	Sub-ofítica/ofítica, Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0293776/6528564
RC-84	38	45	2,5	0,8	0,5	2,0	---	Tr	0,1	Tr	1,5	Tr	100	90%	Ofítica, Afanítica fina	Basalto	0306173/6525446
RC-61	38	43	1,5	1,8	0,5	2,5	---	0,2	Tr	Tr	1,0	Tr	100	90%	Sub-ofítica/ofítica, Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0291912/6527'25
RC-67D	35	46	2,5	---	0,5	7,5	Tr	Tr	---	Tr	8,5	---	100	90%	Sub-ofítica/ocelar/radial, Afanítica fina	Basalto	0297560/6518842
RC-87	44	47	---	---	0,8	3,9	Tr	0,8	Tr	0,1	3,5	---	100	95%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0306978/6526885
RC-9	45	48	0,2	---	1,2	1,5	Tr	1,2	Tr	Tr	2,0	---	100	90%	Sub-ofítica, Afanítica fina/Porfirítica	Basalto	0298229/6527682
RC-7B	47	42	0,5	0,2	1,0	2,5	Tr	1,0	Tr	Tr	5,0	Tr	100	95%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0297168/6525465
RC-4	45	44	2,0	0,4	2,0	3,5	Tr	0,5	Tr	Tr	3,5	Tr	100	95%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0298490/6526320
RC-8	45	45	0,5	0,2	2,0	2,5	Tr	1,0	Tr	Tr	3,0	Tr	100	95%	Su-ofitíca, Afanítica fina	Basalto	0298829/652725
RC-50	42	47	0,6	---	0,5	2,5	---	3,0	---	Tr	3,8	---	100	95%	Sub-ofítica, Afanítica fina/porfirítica	Basalto	0288630/6523091
RC-20B	40	45	1,2	---	2,4	4,0	Tr	0,3	Tr	Tr	5,5	Tr	100	95%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0293238/6527286
RC-41	44	45	2,0	0,2	1,0	5,5	Tr	0,1	Tr	Tr	3,5	Tr	100	90%	Sub-ofítica, Afanítica fina	Basalto	0289431/6521997
RC18A	46	40	1,5	0,3	3,5	6,0	Tr	0,2	Tr	Tr	3,0	Tr	100	90%	Sub-ofitíca, Afanítica fina	Basalto	0293092/6529022
RC-51	43	48	Tr	---	2,5	2,0	---	2,5	---	Tr	2,0	---	100	90%	Sub-ofítica, Afanítica fina, porfirítica	Basalto	0288903/6523177

Tabela 19**.** *Composição modal e texturas dos diques básicos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS.*

Pl=plagioclásio; Px=piroxênio; Qz=quartzo; Bi=biotita; FK=feldspato alcalino; Ti=titanita; Ap=apatita; Zr=zircão; Ep=epídoto; Op=minerais opacos;Af = anfibólio Ma=minerais de alteração (clorita, sericita, saussurita, carbonato, mica branca); ∑T = somatório de todos os minerais da rocha; Mz =matriz (plagioclásios + piroxênios + feldspato alcalino + quartzo + acessórios e traços que compõe a matriz).

Fase magmática	Fase tardi-magmática	Fase pós-magmática
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais Opacos		
Epídoto		
Piroxênio	Apatita	
Plagioclásio		
Feldspato alcalino		
Anfibólio Biotita		Epídoto, clorita, carbonato, sericita, saussurita, mica branca
←Quartzo de matriz→	Quartzo de matriz	Sulfetos + óxidos de ferro
		Micro-visículas (quartzo)

Tabela 20. *Provável ordem de cristalização dos minerais dos diques básicos.*

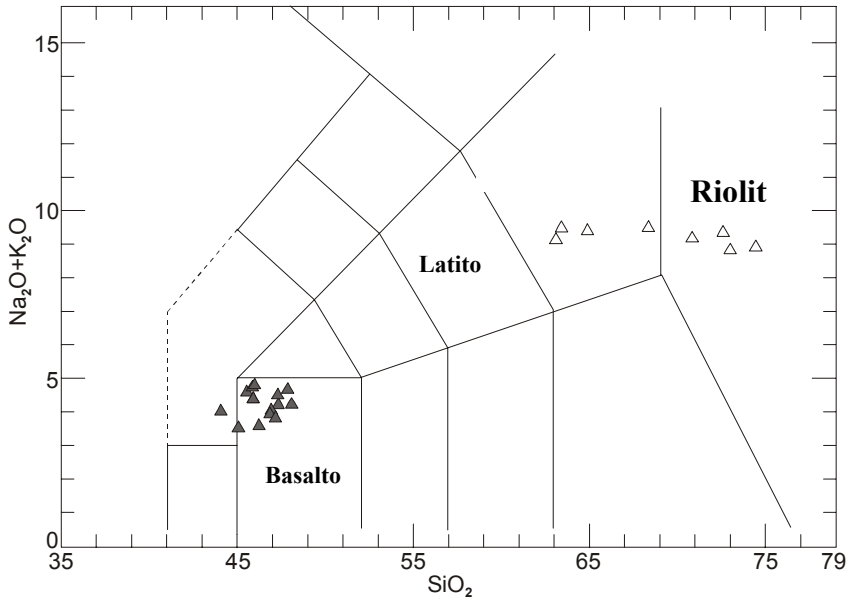


Figura 7. *Diagrama de classificação SiO_2 versus $Na_2O + K_2O$ (%) (Le Maitre 2002) dos diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Δ= diques ácidos; ▲= diques básicos*

Prancha 7 - Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Básicos da Região de Piratini, RS.

A - *Fenocristal de feldspato (Fk) com geminação Carlsbad imerso em matriz fina, composta por cristais xenomórficos de quartzo (Qz), minerais de alteração e epídoto. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (RC-51).*

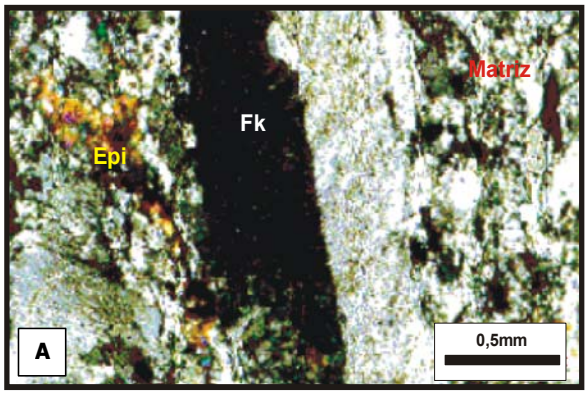
B - *Fenocristal de plagioclásio (Plg) sericitizado com maclas polissintéticas da albita, imerso em uma matriz microcristalina composta por microcristais de quartzo (Qz), minerais opacos (Op), sulfetos (Sul) e carbonatos (Car). Textura porfirítica. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-84).*

C - *Fenocristal de plagioclásio (Plg) exibindo zonamento. Apresenta-se intensamente saussuritizado (Sau). A matriz é composta por microcristais de quartzo (Qz) e minerais opacos (Op). Ocorrem ainda cristais xenomórficos de epídoto (Epi).Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (RC-61).*

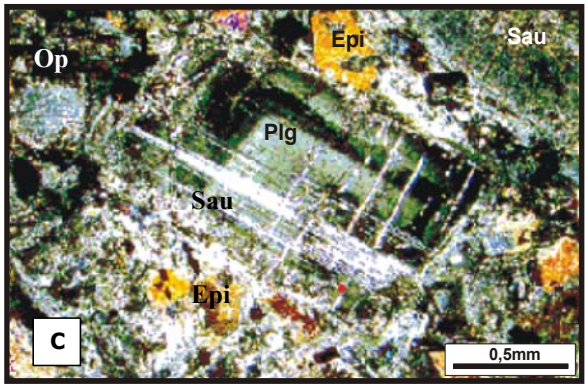
D – *Textura ofítica em cristal xenomórfico de piroxênio (Px). Presença de inclusões de minerais opacos (Op) e sulfetos (Sul). Apresenta bordas de alteração e microfraturas preenchidas por material esverdeado (provável clorita) (Clo). Ocorrem restos de biotita (Bio) associada aos piroxênios. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-9).*

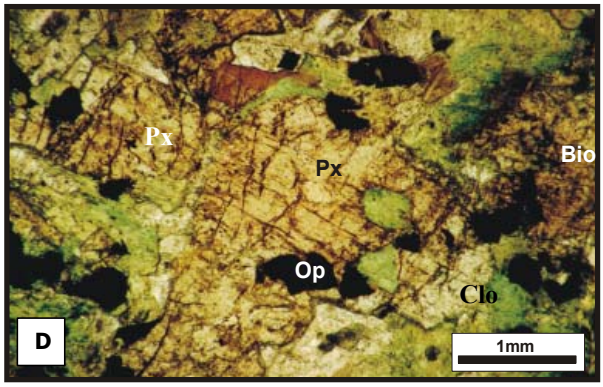
E - *Cristal de piroxênio (Px) xenomórfico apresentando textura ofítica. Ripas de cristais de plagioclásio invadem parcialmente os cristais de piroxênios. Observar cristais de minerais opacos (Op) e saussurita (Sau) nos plagioclásio. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-50).*

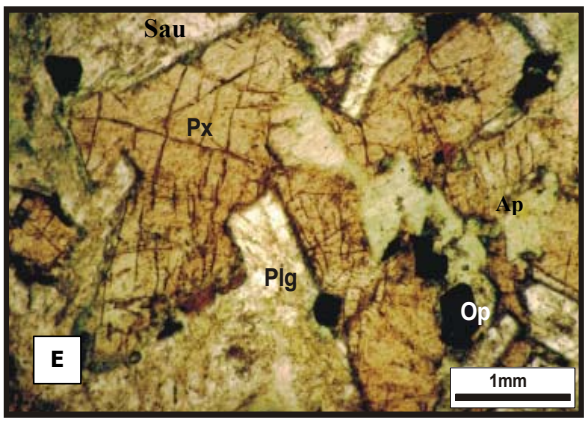
F - *Cristais de apatita (Ap) idiomórficos associados com cristais xenomórficos de piroxênio (Px). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-51).*

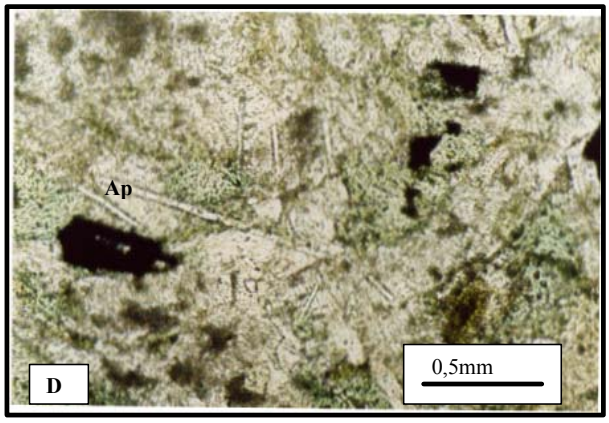

Matriz
Fk
Epi
A
0,5mm

Sul
Op
Plg
Matriz
Car
B
0,25mm


Op
Epi
Sau
Plg
Sau
Epi
C
0,5mm


Px
Px
Bio
Op
Clo
D
1mm


Sau
Px
Ap
Plg
Op
E
1mm

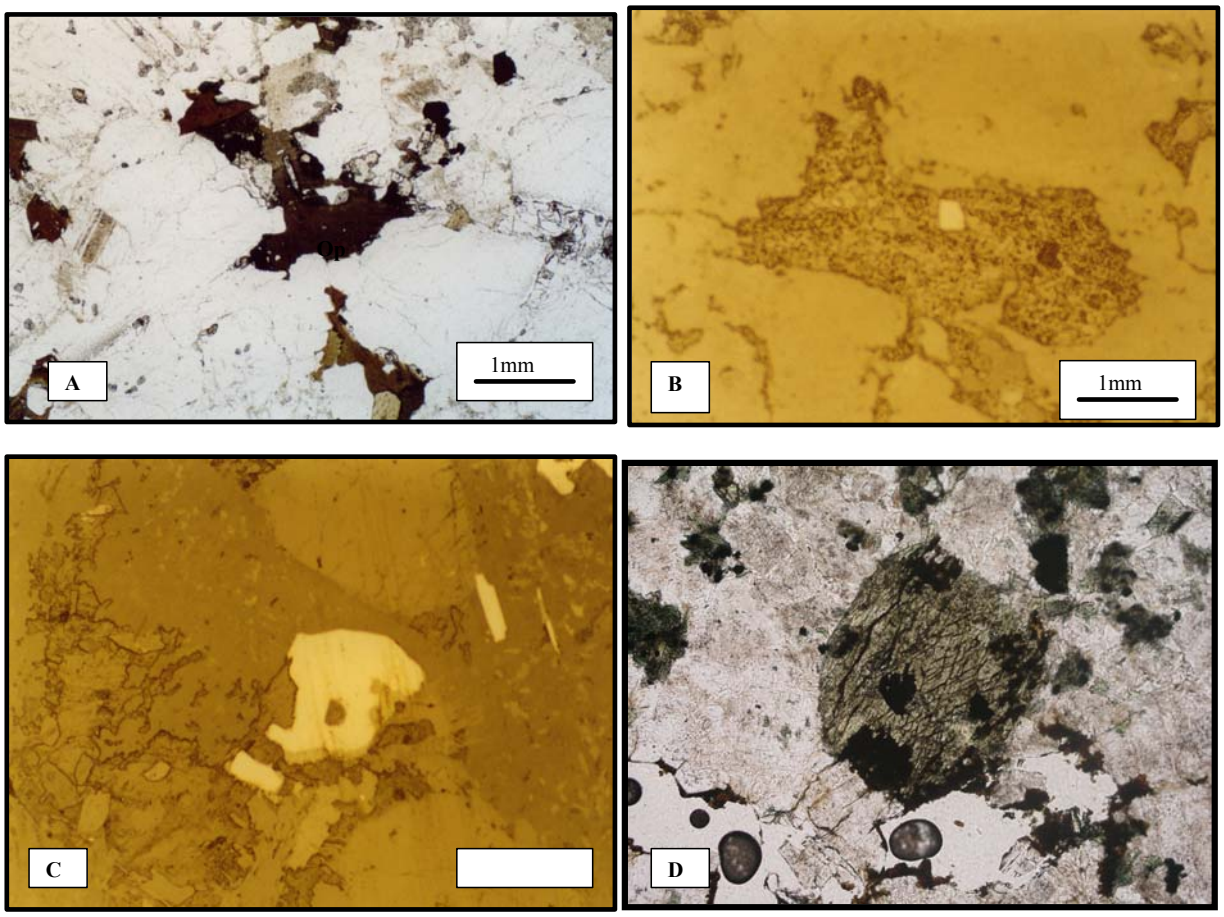

Ap
D
0,5mm

Prancha 8-Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Básicos da Região de Piratini, RS.

A - *Cristais xenomórficos de biotita (Bio). Observar inclusão de titanita (Ti) e sulfetos (Sul) em cristal de biotita (Bio). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-84).*

B, C - *Cristais de minerais opacos (Op) idiomórficos e xenomórficos. Polarizador descruzado, sem filtro, objetiva 2,5X (RC-50, RC-9 e RC-51).*

D – *Anfibólio com inclusões de minerais opacos. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-20).*


Op
1mm
A
1mm
B
C
D

CAPÍTULO IV

QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

IV.1. *Química Mineral*

IV.1.2. *Introdução*

Neste presente trabalho selecionou-se lâminas de rochas graníticas, enclaves e diques das áreas estudadas visando realizar análises de química mineral pontuais, com o objetivo de caracterizar as composições químicas dos diferentes minerais, conteúdos das variações químicas dos zonamentos e geotermometria. Análises realizadas em alguns cristais (centro e borda) foram utilizados para sugerir a provável evolução magmática ocorrida durante a cristalização.

Os resultados do estudo da química mineral das diferentes fases minerais, das rochas estudadas, foram divididos em dois capítulos distintos. Este capítulo apresenta a química mineral de Piratini, e o Capítulo VIII, da região de Pinheiro Machado.

IV.1.3. *Granitos Encaixantes*

IV.1.3.1. *Feldspato Alcalino*

O feldspato alcalino dos granitos encaixantes ocorre como fenocristal e cristais da matriz. Nos fenocristais realizaram-se perfis com pontos marcados no núcleo, borda e porção intermediária. Nos cristais de matriz foram analisados pontos no núcleo e borda. O cálculo da fórmula estrutural foi realizado com base em 32 átomos de oxigênios, segundo a proposta de Deer *et al.* (1978) e classificados no sistema ternário Or-Ab-An.

A composição geral dos feldspatos pode ser expressa pela fórmula mínima MT_4O_8 em que os sítios são preenchidos pelos seguintes elementos:

T = Si, Al, Fe^{+3}, Ti, P, B^{+3}, Ga^{+3}

M = Ca, Ba, Na, K, Rb^{+1}, NH_4, Sr, Eu e Pb

Os dados analíticos (Tab. 21) permitiram confeccionar diagramas de caracterização do feldspato e diagramas de troca catiônica entre os elementos.

A composição predominante dos fenocristais e dos cristais de matriz não apresenta variação muito significativa de uma amostra para outra. Os teores em porcentagens das moléculas do Ortoclásio-Albita-Anortita são bastante homogêneos e apresentam os seguintes valores: para o sienogranito (RC-30 e RC-35) o feldspato alcalino mostra composição Or_{91-97} $Ab_{2-8}An_{0.}$ O teor de ortoclásio medido na amostra de granodiorito (RC-42) é $Or_{91-94}Ab_{5-8}An_0$ e é semelhante à composição do feldspato do sienogranito. Entretanto observamos que o BaO_2 apresenta teores mais elevados na amostra do granodiorito (0,40 a 0,55 %) quando comparado com a amostra do sienogranito (0,30 a 0,38%). E, quando analisamos os teores dos óxidos SiO_2 contra Al_2O_3 (%), observa-se que o sienogranito mostra-se mais evoluído se comparado com o granodiorito.

No diagrama de caracterização Or-Ab-An, as análises obtidas situam-se próximas do pólo do Ortoclásio (Fig. 8). O diagrama da figura 9 mostra a principal substituição catiônica entre K e Na, sugerindo ser do tipo ortoclásio-albita. Este é um tipo de substituição simples –K-Na_1 (Spear 1993).

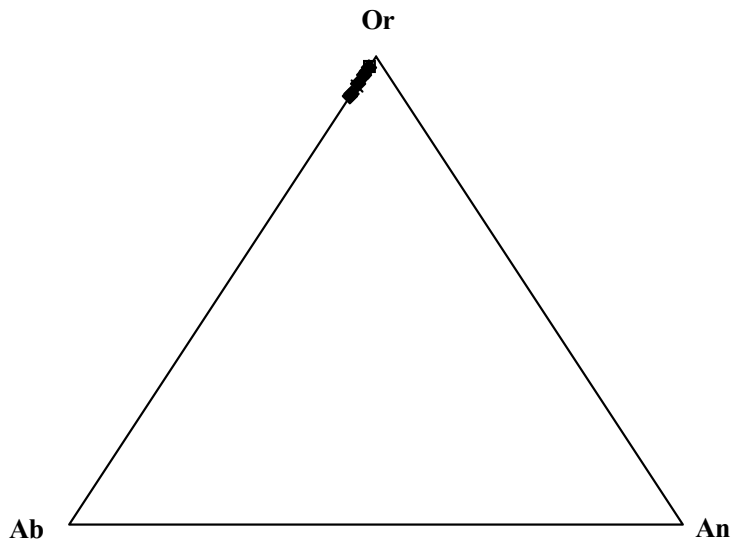


Figura 8. *Diagrama de caracterização do feldspato alcalino segundo os componentes moleculares Ab-An-Or dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: ● = sienogranito*; ■ *= granodiorito*.

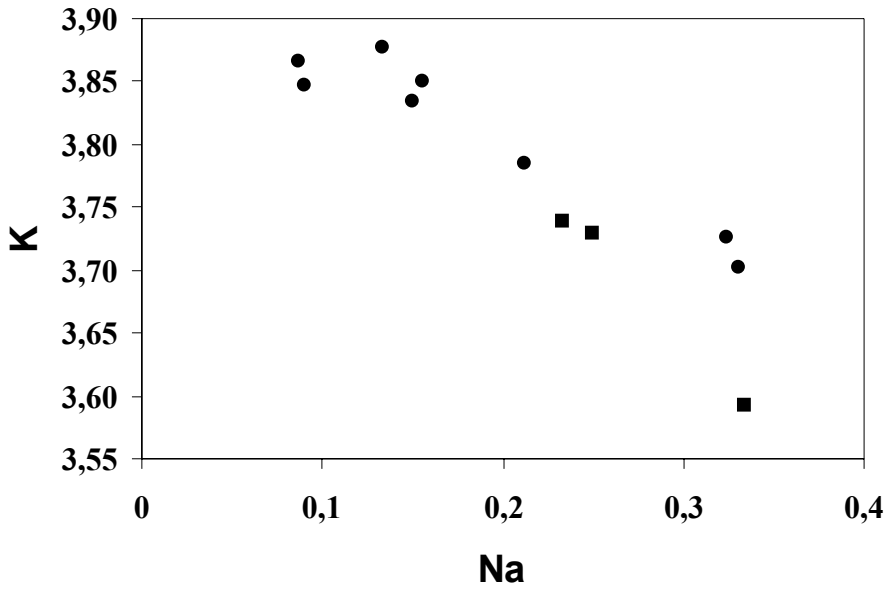


Figura 9. *Diagrama de troca catiônica entre Na versus K (a.f.u.) de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: ● = sienogranito*; ■ *= granodiorito*.

GRANITOS											
Feldspato Alcalino											
Fenocristais							**Cristal da Matriz**		**Fenocristais**		
RC-35 (Sienogranito)							**RC30 (sienogranito)**		**RC-42 (Granodiorito)**		
Analise	**C-1**	**B-1**	**C-2**	**Int.2**	**B-2**	**C-3**	**C-1**	**B-1**	**C-1**	**Int.1**	C-2
SiO_2	65,17	64,94	64,80	63,87	65,08	65,49	64,60	64,38	65,42	65,16	64,84
TiO_2	0,01	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00
Al_2O_3	18,33	18,15	18,43	18,17	17,96	18,24	18,14	18,40	18,27	18,33	18,35
Fe_2O_3	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,06	0,06	0,06	0,08	0,04	0,08
MnO	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
BaO	0,06	0,00	0,19	0,02	0,00	0,06	0,38	0,30	0,55	0,40	0,41
Na_2O	0,42	0,59	0,92	0,89	0,37	0,24	0,43	0,25	0,70	0,93	0,65
K_2O	16,31	16,04	15,71	15,59	16,42	16,49	16,24	16,21	15,91	15,26	15,84
Cl	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
∑Total	100,39	99,87	100,15	98,63	99,90	100,59	99,86	99,62	101,00	100,12	100,18

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions											
Si	12,009	12,016	11,972	11,967	12,044	12,039	12,008	11,980	12,021	12,024	11,996
Ti	0,001	0,006	0,000	0,001	0,004	0,000	0,003	0,000	0,007	0,000	0,000
Al	3,982	3,959	4,014	4,013	3,919	3,953	3,975	4,036	3,958	3,988	4,002
Fe^{+3}	0,007	0,008	0,010	0,013	0,014	0,008	0,008	0,008	0,011	0,006	0,011
∑T	15,999	15,989	15,996	15,994	15,981	16,001	15,994	16,025	15,997	16,017	16,010
Mn	0,005	0,006	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Na	0,150	0,212	0,330	0,323	0,133	0,086	0,155	0,090	0,249	0,333	0,233
K	3,834	3,786	3,703	3,726	3,877	3,867	3,851	3,848	3,730	3,593	3,739
∑M	3,989	4,004	4,036	4,050	4,010	3,956	4,006	3,942	3,981	3,925	3,974
∑Total	19,988	19,994	20,032	20,044	19,990	19,957	20,001	19,967	19,977	19,942	19,983

An	0,00	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0
Ab	3,77	5,29	8,17	7,98	3,31	2,16	3,87	2,29	6,27	8,48	5,87
Or	96,23	94,71	91,83	92,02	96,69	97,84	96,13	97,66	93,73	91,52	94,13

Tabela 21. Análises selecionadas de feldspato alcalino dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.

C = centro do cristal; B =borda do cristal; Int. = intermediário

IV.1.3.2. *Plagioclásio*

Nos termos graníticos foram analisados fenocristais, cristais inclusos em microclínio e cristais da matriz de amostras de: sienogranito (RC-35 e RC-30), monzogranito (RC-1) e granodiorito (RC-42). A composição na molécula do Or-Ab-An apresenta diferenças significativas, caracterizando albita, oligoclásio e andesina. O plagioclásio do sienogranito apresenta os seguintes teores: $Or_{0,46-0,77}Ab_{95-98}An_{0,38-3,9}$ (cristal incluso); $Or_{0,45-0,63}Ab_{92-94}An_{5-7}$ e $Or_{0,4-0,8}Ab_{82-83}An_{16,5-16,9}$ (fenocristal). Os fenocristais de plagioclásio do monzogranito

apresentam teores de: $Or_{0,9-1,4}Ab_{69-74}An_{25-29}$. No granodiorito o plagioclásio dos fenocristais e de matriz apresentam composições de andesina, exibindo respectivamente teores $Or_{0,4-0,45}Ab_{63-69}$ An_{30-36} e $Or_{0.5-1,3}Ab_{62-65}An_{34-35}$.

De acordo com os teores de anortita, os sienogranitos apresentam composições químicas que os classificam como plagioclásio do tipo albita e oligoclásio. O monzogranito apresenta plagioclásio de composição oligoclásio, entretanto ocorrem teores mais elevados na molécula da anortita, comparado com o oligoclásio do sienogranito. O granodiorito apresenta plagioclásio de composição andesina.

Na figura 10, o plagioclásio dos sienogranitos ocupa o campo do pólo da albita e do oligoclásio, enquanto o plagioclásio dos monzogranitos e granodioritos situa-se respectivamente no campo do oligoclásio e andesina.

Na figura 11, Na *versus* Ca (*a.f.u.)* ocorre substituição entre estes elementos nos três tipos graníticos, observando-se, entretanto, maior enriquecimento na molécula de cálcio nas amostras dos granodioritos. Esta correlação indica que a principal substituição é do tipo albita-anortita – $NaSiCa_{-1}Mg_{-1}$ (Spear 1993).

Nos diagramas de ilustrações de perfis de cristais de plagioclásio (Fig.12) destaca-se uma variedade de tipos de zonamento nos diversos cristais analisados. De acordo com o tamanho do cristal e a disposição das lamelas, os perfis foram realizados da seguinte maneira: núcleo, porções intermediárias e borda. O objetivo da realização química destes perfis (Tab. 22 e 23) foi à determinação da variação da composição química e caracterização do zonamento.

Os cristais apresentam aspecto textural comum, exibindo, porém zonamento do tipo oscilatório, normal, inverso e, complexos, este último como resultado da combinação entre oscilatório e inverso. Nos sienogranitos, o zonamento mais comum é oscilatório normal, enquanto no granodiorito e monzogranito é oscilatório inverso.

Ao descrever os cristais de plagioclásio no microscópio petrográfico, constata-se que os mesmos apresentam alternância entre lamelas claras e escuras mais delgadas, iniciando-se no núcleo até as bordas. Estas lamelas são concêntricas e dispõem-se paralelas ao contorno do cristal. A separação entre uma lamela e outra é dada por linhas nítidas mais escuras situadas em intervalos mais ou menos constantes. Observa-se que nos dois fenocristais de sienogranito (Fig. 12A) o zonamento é do tipo normal oscilatório. A composição do núcleo apresenta teor mais elevado de anortita; a lamela intermediária apresenta uma leve queda no teor de anortita, enquanto nas bordas de ambos cristais, o teor de anortita volta a crescer ligeiramente.

No diagrama da figura 12B, os fenocristais do monzogranito apresentam zonamento oscilatório inverso. Os núcleos de ambos os cristais apresentam teores em anortita ligeiramente inferiores às bordas e equivalentes a porção intermediária. Na figura 13, os perfis representam cristais de granodiorito e mostram dois tipos de zonamento. Um do tipo normal oscilatório quando o núcleo do cristal apresenta teores mais elevados de anortita do que da lamela intermediária e a lamela da borda volta a subir o teor de anortita. O zonamento complexo é marcado pela presença de teores de anortita mais elevados na porção intermediária do cristal, enquanto a borda apresenta teores levemente inferiores ao do núcleo. Dos tipos graníticos, o granodiorito é o que apresenta maior enriquecimento em anortita no centro do cristal.

Segundo Bard (1980) e Barker (1983), o zonamento oscilatório é o resultado de variações das taxas de crescimento e da velocidade de difusão dos elementos constituintes do mineral, desenvolvendo assim repetidos eventos de supersaturação e esgotamento do componente anortítico. À medida que o cristal cresce, os componentes que não são incorporados na estrutura cristalina ficam no líquido remanescente, que se enriquece nestes componentes.

O diagrama Al *versus* Ca (Fig. 14), de troca catiônica, mostra correlação positiva entre estes elementos para os diferentes granitos analisados, com o plagioclásio do granodiorito apresentando maior teores em cálcio. De acordo com Bard (1980) e Barker (1983), quando o plagioclásio rico em anortita começa a ser precipitado, o alumínio é extraído do líquido para o

cristal. Com isso, a taxa de crescimento do plagioclásio cálcico poderá decrescer com o esgotamento do alumínio.
Como o plagioclásio rico em albita necessita de quantidades menores de alumínio, ele começa a crescer aceleradamente. Nesse sentido, em conseqüência da menor quantidade de alumínio que está sendo utilizado, a concentração desse elemento aumenta no líquido próximo ao cristal. Á medida em que o líquido que circunda o cristal se enriquece em alumínio pelo contínuo crescimento de plagioclásio mais rico em sílica, o plagioclásio rico em anortita começará a se precipitar novamente e, dessa forma, o ciclo se repete.

De acordo com Didier (1987), Hibbard (1981), Wall *et al.* (1987) e Vance (1962) os zonamentos inverso e normal encontram-se geneticamente ligado à separação da fase volátil do líquido e marca uma mudança súbita das condições de cristalização. Os voláteis tenderiam a agitar o líquido, tornando-o dessa forma mais homogêneo e compensando assim a supersaturação do mesmo próximo aos cristais de plagioclásio e favorecendo a cristalização do tipo contínua. Isto explica o maior volume do núcleo em relação às bordas. De acordo com os autores, este tipo de zonamento pode ser também explicado pela mistura de magmas. A mistura entre magmas básicos e magmas ácidos conduzem ao desenvolvimento de bordas sódicas nos plagioclásios cálcicos ou ao contrário. Alguns cristais de plagioclásio de monzoganito e sienogranito mostram que as bordas tornam-se mais enriquecidas em sódio e, enquanto nos granodioritos ocorre o contrário.

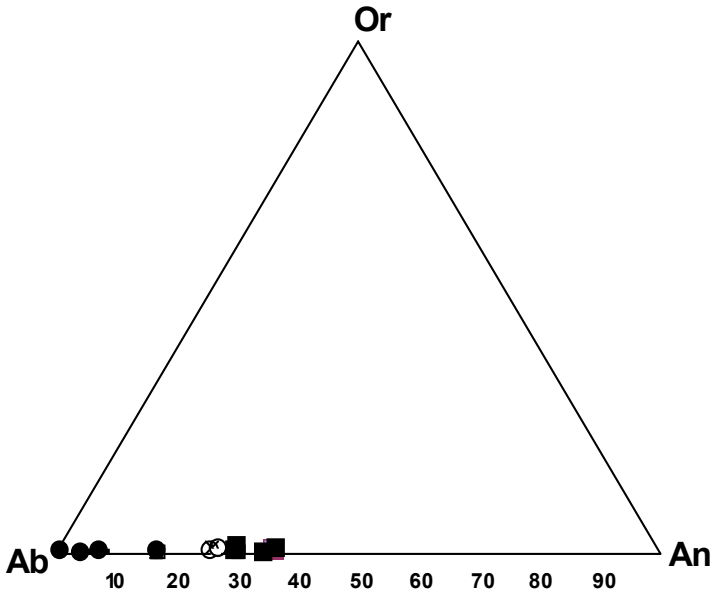


Figura 10. *Diagrama de caracterização de plagioclásio segundo as componentes moleculares Or-Ab-An dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*

Simbologia: ■ = *granodiorito;* ○ = *monzogranito;* ● = *sienogranito*

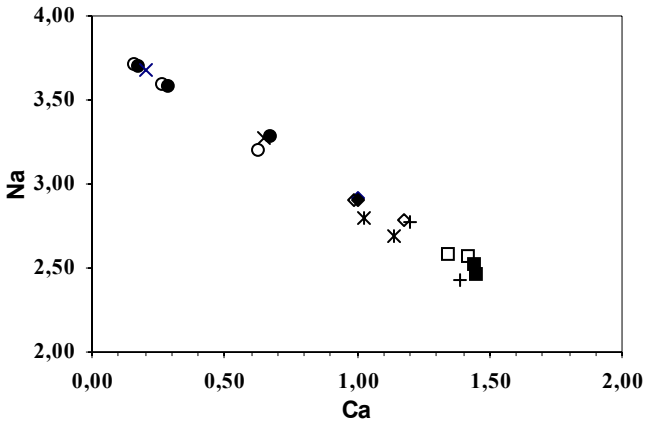
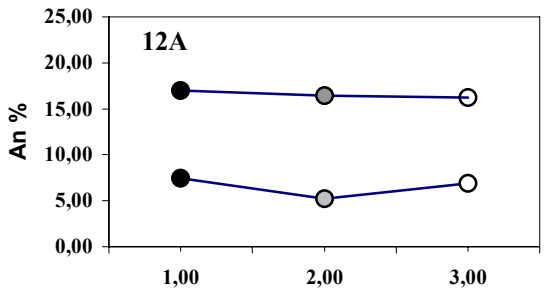


Figura 11. *Diagrama Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: ■ = núcleo; + = intermediário; □ = borda (granodiorito)*

◊ = borda; ♦ = núcleo; *ж* = intermediário (monzogranitos) ● = núcleo *x* = intermediário ○ = borda (sienogranito).

Perfis em Cristais de Plagioclásio dos Granitos Encaixantes dos Diques na Região de Piratini, RS.



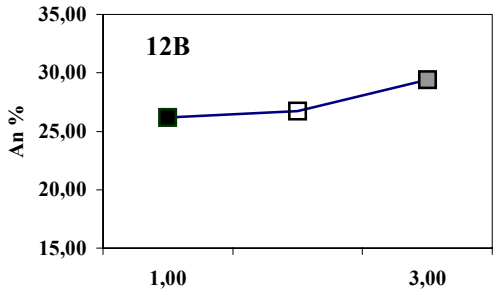


Figura 12A. Zonamento do tipo oscilatório normal

Figura 12B. Zonamento do tipo oscilatório inverso

Simbologia: ■ = monzogranito (RC-1) ● = sienogranito (RC-30)

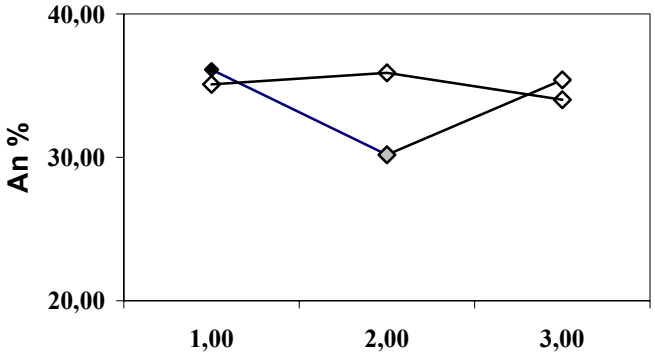


Figura 13. Perfil em dois fenocristal de plagioclásio incluso em microclínio, mostrando zonamento oscilatório normal e oscilatório inverso - Granodiorito (RC-42).

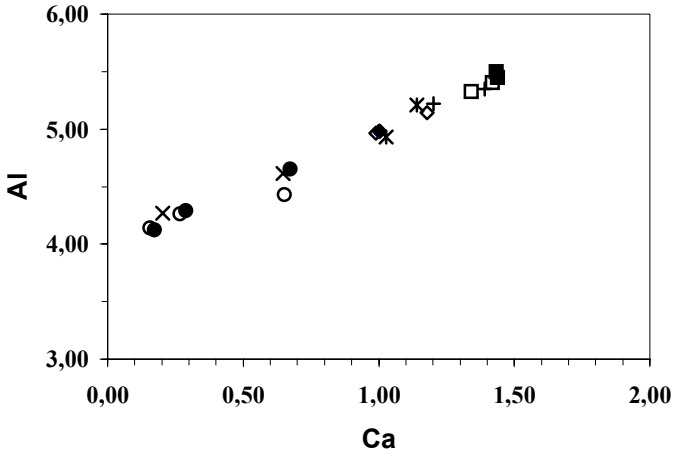


Figura 14. *Diagrama de variação catiônica entre o Ca versus Al (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig.*11.

GRANITOS														
Plagioclásio														
	Cristais inclusos		Fenocristais						Fenocristais					
	RC-35 (Sienogranito)		RC-30 (Sienogranito)						RC-1 (Monzogranito)					
Análise	C-1	B-1	C-1	Int.1	B-1	C-2	Int.2	B-2	C-1	Int.1	B-1	C-2	Int.2	B-2
SiO_2	67,93	68,30	67,32	67,58	67,62	64,27	64,65	64,47	62,28	59,89	62,57	62,70	62,58	60,34
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,05	0,021	0,06	0,03	0,00	0,03	0,07	0,02	0,02	0,00	0,04
Al_2O_3	19,99	20,21	20,88	20,80	20,80	22,40	22,25	22,11	23,92	24,48	23,89	24,03	23,85	24,27
Fe_2O_3	0,05	0,15	0,08	0,06	0,03	0,11	0,16	0,18	0,18	0,13	0,06	0,08	0,14	0,05
MnO	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00
CaO	0,92	0,83	1,55	1,09	1,43	3,57	3,43	3,44	5,29	5,90	5,24	5,33	5,44	6,12
BaO	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,06	0,01	0,01	0,03	0,08	0,06	0,00	0,00
Na_2O	10,90	11,01	10,61	10,92	10,66	9,60	9,58	9,53	8,53	7,70	8,48	8,51	8,19	8,00
K_2O	0,12	0,08	0,09	0,08	0,11	0,08	0,08	0,14	0,25	0,25	0,17	0,09	0,21	0,12
∑Total	99,95	100,63	100,92	100,66	100,66	100,13	100,26	99,90	100,51	99,50	100,55	100,82	100,42	98,95

Fórmula Estrutural Calculada com base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions														
Si	11,884	11,868	11,730	11,758	11,758	11,327	11,372	11,381	10,997	10,809	11,032	11,021	11,040	10,841
Ti	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,008	0,004	0,000	0,004	0,010	0,003	0,003	0,000	0,005
Al	4,123	4,140	4,289	4,267	4,264	4,654	4,614	4,602	4,979	5,209	4,966	4,979	4,960	5,141
Fe^{+3}	0,007	0,020	0,010	0,008	0,004	0,015	0,021	0,024	0,024	0,018	0,008	0,011	0,019	0,007
∑T	16,014	16,028	16,029	16,039	16,029	16,004	16,011	16,007	16,004	16,045	16,009	16,013	16,018	15,994
Mn	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000
Ca	0,172	0,155	0,289	0,203	0,266	0,674	0,646	0,651	1,001	1,141	0,990	1,004	1,028	1,178
Ba	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,004	0,001	0,001	0,002	0,006	0,004	0,000	0,000
Na	3,698	3,710	3,585	3,684	3,594	3,281	3,268	3,262	2,921	2,695	2,899	2,900	2,801	2,787
K	0,027	0,018	0,020	0,018	0,024	0,018	0,018	0,032	0,056	0,058	0,038	0,020	0,047	0,028
∑M	3,899	3,888	3,894	3,910	3,885	3,976	3,938	3,947	3,981	3,899	3,937	3,929	3,877	3,993
∑ Total	19,913	19,916	19,923	19,949	19,914	19,980	19,949	19,953	19,986	19,944	19,947	19,942	19,895	19,987

An	4,43	3,98	7,43	5,20	6,86	16,97	16,44	16,50	25,16	29,31	25,21	25,58	26,52	29,51
Ab	94,84	95,56	92,05	94,34	92,51	82,58	83,10	82,70	73,42	69,21	73,82	73,91	72,26	69,80
Or	0,69	0,46	0,51	0,45	0,63	0,45	0,46	0,80	1,42	1,48	0,97	0,51	1,22	0,69

Tabela 22. *Análises selecionadas de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*
C = centro; B = borda; Int.= porção intermediária

GRANITOS						
Plagioclásio						
RC-42 (Granodiorito)						
Fenocristais				Cristal de Matriz		
Análise	C-1	Int.1	B-1	C-2	Int.2	B-2
SiO_2	58,66	60,67	59,32	57,65	60,37	60,46
TiO_2	0,00	0,01	0,05	0,08	0,01	0,00
Al_2O_3	25,70	24,94	25,73	25,42	25,71	25,66
Fe_2O_3	0,14	0,08	0,19	0,17	0,20	0,30
MnO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
CaO	7,47	6,32	7,44	7,35	7,35	7,11
BaO	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,05
Na_2O	7,24	8,04	7,45	7,36	7,10	7,55
K_2O	0,08	0,07	0,08	0,24	0,23	0,10
∑Total	99,30	100,19	100,33	98,30	100,90	101,00

Fórmula Estrutural Calculada com base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions						
Si	10,546	10,774	10,564	10,498	10,652	10,650
Ti	0,000	0,001	0,007	0,011	0,001	0,000
Al	5,447	5,222	5,402	5,457	5,348	5,329
Fe	0,019	0,011	0,025	0,023	0,027	0,040
∑T	16,011	16,008	15,998	15,989	16,028	16,019
Mn	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	1,439	1,203	1,420	1,434	1,390	1,342
Ba	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,003
Na	2,524	2,769	2,573	2,599	2,429	2,579
K	0,018	0,016	0,018	0,056	0,052	0,022
∑M	3,981	3,992	4,013	4,089	3,872	3,947
∑Total	19,993	20,000	20,011	20,078	19,900	19,966

An	36,14	30,16	35,40	35,08	35,90	34,03
Ab	63,39	69,44	64,15	63,56	62,76	65,40
Or	0,46	0,40	0,45	1,36	1,34	0,57

Tabela 23. Análises selecionadas de plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. *C = centro; B = borda; Int. = porção intermediária.*

IV.1.3.3. *Biotita*

A biotita ocorre, em geral, com um núcleo preservado, exibindo borda cloritizada, e associada com minerais opacos. Foram analisados núcleos de cristais de sienogranito e monzogranito (Tab. 24).

Os resultados analíticos obtidos na microssonda eletrônica das análises pontuais em cristais de biotita não apresentam porcentagens de H_2O. Dessa forma, calculou-se a fórmula estrutural da biotita, numa base anidra de 22 átomos de cargas positivas (equivalente a 11 oxigênios) de acordo com IMA - *International Mineralogical Association* (Rieder 1999).

Utilizou-se para o cálculo, a seguinte fórmula geral:

$IM_{2-3}\ \square_{1-0}\ T_4\ O_{10}\ A_2$

I = K, Na, Ca, Ba, Rb, Cs e NH_4

M = Li, Fe e Mn (di ou trivalente), Mg, Al, Ti, Zn, Al^{VI}, Cr, V

$\square$ = é vago

T = Si, Al^{IV}, Be, B, Fe (di ou trivalente)

A = Cl, F, OH, O, S.

A biotita analisada apresenta composição correspondente as micas trioctaédricas, com o somatório de cátions octaédricos (Sítio M) superior a 2,5 por fórmula unitária.

No diagrama Al^{IV} *versus* Fe/(Fe+Mg) *(a.f.u)* (Fig. 15) de classificação de micas, a biotita apresenta composição intermediária, entre annita e siderofilita, para ambos os granitos, e ocupa o centro do campo destinado as biotitas verdadeiras de acordo com Deer *et al.* (1978), com média de fe# = 0,56 e mg# = 0,44. Observa-se, entretanto, que os teores do mg# da biotita dos sienogranitos, são inferiores quando comparados com a biotita dos monzogranitos, mostrando a evolução nos termos mais diferenciados.

A fórmula estrutural mostra que o sítio tetraédrico é totalmente completado pelo Si e grande parte do Al, com o restante deste último preenchendo o sítio octaédrico. O sítio intercamadas é ocupado por Na, K e Ca e recebe contribuições de até 0,015 *(a.f.u.)* de Ba.

No diagrama Al^{IV} *versus* Si *(a.f.u.)* nota-se correlação inversa linear entre os elementos, indicando a substituição da Si por Al^{IV} no sítio tetraédrico (Fig. 16). A substituição é do tipo $M^{2+VI}\ Al^{IV}{}_2\square^{VI}Si_{-2}$ ($MgAl^{IV}{}_2\square^{VI}Si_{-2}$) entre Annita-flogopita (Stussi & Cuney 1996). Para os autores, este tipo de substituição é característica de biotita de rochas da associação cálcio-alcalina. O diagrama Al^{total} *versus* Mg (*a.f.u*) (Fig. 17) apresenta os limites propostos por Naschit *et. al*. (1985) para caracterizar séries magmáticas. Neste diagrama a biotita dos granitos ocupa o campo cálcio-alcalino. Segundo os autores, quando a correlação é negativa entre Al e Mg, ocorrem substituições entre os membros Mg↔Fe. Utilizou-se o diagrama triangular FeO+MnO - 10*TiO_2 - MgO (%) (Naschit *et. al.* 1986) como discriminante de biotita primária de biotita secundária. No diagrama da figura 18 a biotita analisada dos granitos (sienogranitos e monzogranitos) da região de Piratini, ocupa o campo da biotita primária.

O diagrama Al^{VI} *versus* Ti *(a.f.u.)* exibe forte correlação linear negativa, sugerindo a existência de contribuições do Al^{VI} na posição octaédrica.(Fig. 19).

No diagrama mg# *(a.f.u.) versus* TiO_2 (%) nota-se uma correlação positiva, refletindo uma evolução magmática entre os tipos graníticos (Fig. 20).

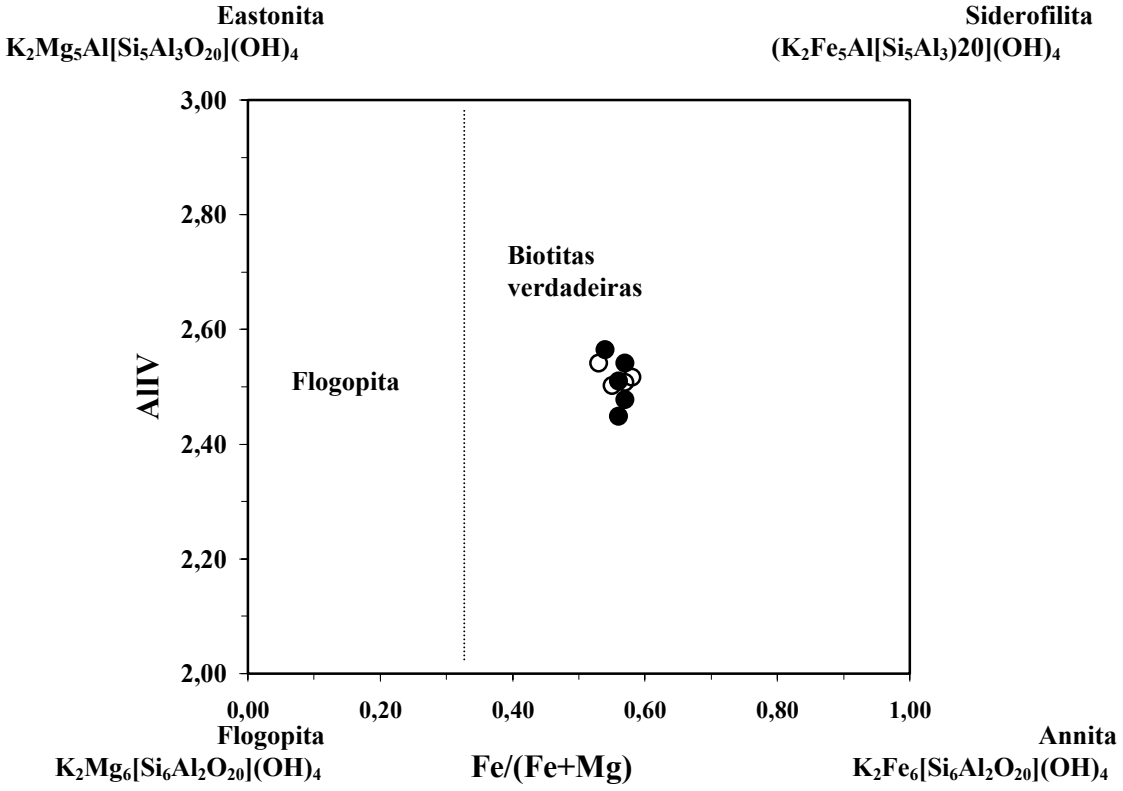


Figura 15. *Diagrama de classificação de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. (Deer et al. 1978). Simbologia:* ○ = *monzogranito*; ● = *sienogranito*

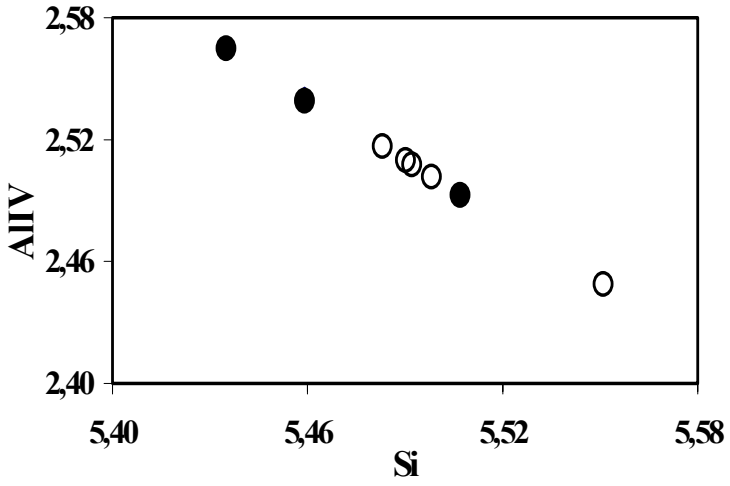


Figura 16. Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.

Simbologia: ○ = *monzogranito*; ● = *sienogranito*

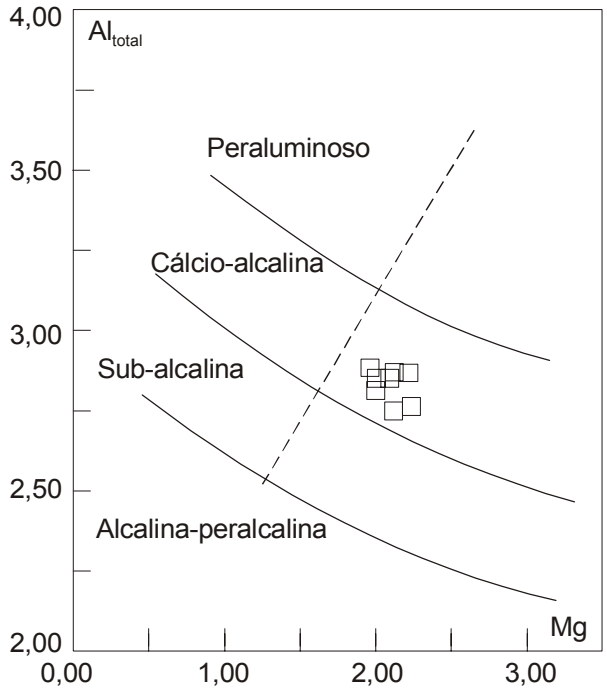


Figura 17. *Diagrama Mg versus Al^{total} (a.f.u.) com os campos das séries magmáticas (Naschit et al. 1985). A biotita ocupa o campo cálcio-alcalino. Os símbolos representam a biotita analisada dos granitos encaixantes dos diques, na região de Piratini, RS.*

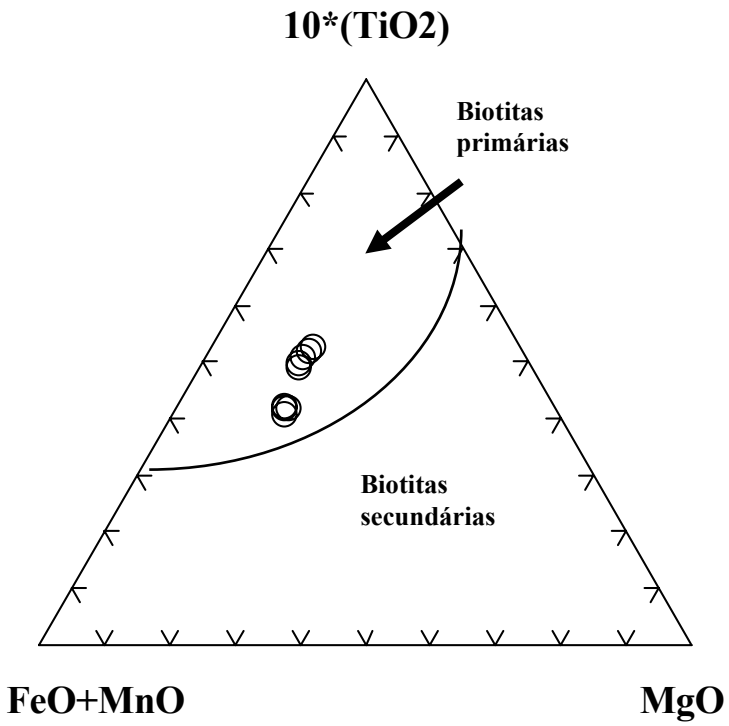


Figura 18. *Diagrama triangular entre $10*TiO_2$ – FeO+MnO – MgO (%.) (Naschit et al. 1986) de biotita dos granitos encaixantes dos dique na região de Piratini, RS. Simbologia: ○ = monzogranito e sienogranito.*

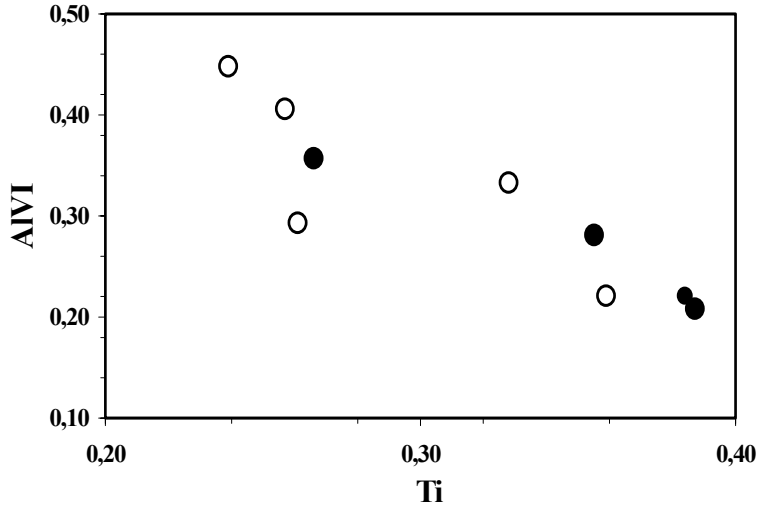


Figura 19. *Diagrama Ti versus* Al^{VI} *(a.f.u.) de biotita dos granitos encaixante dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia:* ○ *= monzogranito*; ● *= sienogranito*

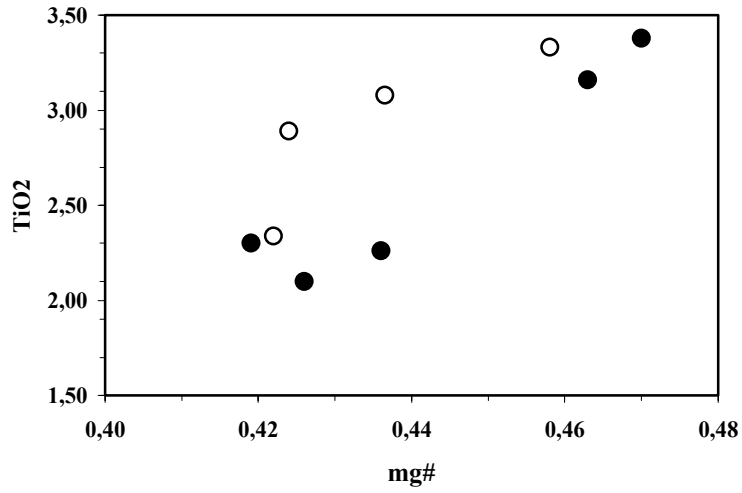


Figura 20. *Diagrama mg# (a.f.u.) versus* TiO_2 *(%) de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia:* ○ *= monzogranito*; ● *= sienogranito*

GRANITOS									
Biotita									
Cristais Intersticiais									
	RC-1 (Monzogranito)					**RC-30 (sienogranito)**			
Análise	**C -1**	**C -2**	**C-2**	**C-3**	**C-3**	**C-1**	**C-1**	***C-2***	***C-3***
SiO_2	36,34	36,73	36,28	36,38	36,12	36,44	36,12	35,21	35,86
TiO_2	2,10	2,26	2,30	3,16	3,38	2,34	2,89	3,33	3,08
Al_2O_3	16,59	16,02	15,77	15,28	15,50	15,99	16,13	15,24	15,46
FeO	21,09	21,49	21,99	20,96	20,03	21,69	21,06	20,68	21,96
MnO	0,43	0,41	0,50	0,32	0,39	0,43	0,41	0,38	0,28
MgO	8,81	9,35	8,90	9,39	9,98	8,92	8,70	9,83	9,58
CaO	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,19	0,12
Na_2O	0,05	0,07	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	0,05	0,01
K_2O	9,24	9,28	9,17	9,32	9,39	9,21	9,26	9,45	9,36
BaO	0,13	0,19	0,10	0,26	0,21	0,04	0,14	0,09	0,09
Cl	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,12	0,13	0,09	0,11
F	0,96	1,34	1,30	1,34	1,36	1,30	1,11	0,47	0,26
∑Total	95,89	97,32	96,50	96,64	96,62	96,54	96,05	95,01	96,19
Flúor *	0,404	0,564	0,547	0,564	0,573	0,547	0,467	0,198	0,109
Cloro *	0,027	0,027	0,032	0,032	0,036	0,027	0,029	0,020	0,025
-O=F, Cl	0,431	0,591	0,579	0,596	0,609	0,575	0,497	0,218	0,134
∑Total Final	95,459	96,729	95,921	96,044	96,011	95,965	95,553	94,792	96,056

Fórmula Estrutural Calculada com base em 22 Átomos de Oxigênio.

Cátions									
Si	5,492	5,551	5,483	5,498	5,459	5,507	5,459	5,322	5,420
Al^{IV}	2,508	2,449	2,517	2,502	2,541	2,493	2,541	2,678	2,580
∑Tetraédrica	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,448	0,406	0,293	0,221	0,221	0,357	0,333	0,196	0,294
Ti	0,239	0,257	0,261	0,359	0,384	0,266	0,328	0,379	0,350
Fe^{total}	2,666	2,716	2,780	2,649	2,532	2,742	2,662	2,614	2,776
Mn	0,055	0,052	0,064	0,041	0,050	0,055	0,052	0,049	0,036
Mg	1,984	2,106	2,005	2,115	2,248	2,009	1,960	2,214	2,158
∑ Octaédrica	*5,392*	*5,537*	*5,403*	*5,386*	*5,435*	*5,428*	*5,336*	5,451	5,613
Ba	0,008	0,011	0,006	0,015	0,012	0,002	0,008	0,011	0,007
Ca	0,003	0,005	0,000	0,000	0,003	0,002	0,005	0,008	0,002
Na	0,015	0,021	0,015	0,023	0,026	0,023	0,023	0,026	0,026
K	1,782	1,789	1,768	1,797	1,811	1,776	1,786	1,822	1,805
∑Intercamada	*1,807*	*1,826*	*1,789*	*1,836*	*1,853*	*1,803*	*1,822*	1,868	1,840
∑cátions	15,20	15,363	15,192	15,221	15,288	15,232	15,158	15,319	15,453
Cl	0,031	0,031	0,036	0,036	0,041	0,031	0,033	0,023	0,028
F	0,459	0,641	0,621	0,641	0,650	0,621	0,531	0,225	0,124
fe #	0,573	0,563	0,581	0,556	0,530	0,577	0,576	0,541	0,563
mg#	0,426	0,436	0,419	0,463	0,470	0,422	0,424	0,458	0,437
Al^{total}	2,956	2,854	2,810	2,723	2,762	2,849	2,874	2,874	2,874

Tabela 24. *Análises selecionadas de biotita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*
fe# = Fe/(Fe+Mg)
mg# = Mg/(Mg+Fe)
-O=F, Cl= Flúor * + Cloro *; Flúor * = Flúor da análise x 0,4211
*Cloro * = Cloro da análise x 0,2256*
*∑Total Final = ∑Total - Flúor * - Cloro*

IV. 1.3.4. *Zircão*

O zircão, juntamente com apatita + minerais opacos + titanita representa o acessório mais comum das faciologias graníticas estudadas. Efetuou-se a determinação da composição química em análises pontuais de cristais de zircão de sienogranito (RC-30), monzogranito (RC-1) e granodiorito (RC-42). Os dados analíticos estão expostos na tabela 25.

A fórmula estrutural foi calculada com base em 16 átomos de oxigênio, conforme Deer *et. al.* (1978).

O conjunto de amostras estudadas, com exceção da amostra RC-30, apresenta composição muito semelhante para a maioria dos elementos analisados, havendo pouca variação composicional entre o centro e a borda dos cristais, sendo perceptível apenas para o Y_2O_3, o qual decresce do centro para a borda. O sienogranito, quando comparado com o monzogranito e o granodiorito, apresenta teores mais elevados em Ti, Al, Ca, Yb e Y_2O_3. As demais amostras analisadas sugerem cristalização a partir do mesmo líquido, pois apresentam pouca ou quase nenhuma variação de composição.

O diagrama da figura 20 mostra a troca catiônica entre a soma dos elementos terras raras (∑TR) *versus* Zr *(a.f.u.)*. Nota-se uma ligeira correlação negativa entre estes elementos, sugerindo um vetor de substituição no sentido dos primeiros. O valor elevado de Y_2O_3 (0,64 %) da amostra do sienogranito, provavelmente é responsável pelo aumento significativo dos elementos terras raras desta amostra, fazendo com que ela apareça deslocada no diagrama, em relação às demais.

Os elementos terras raras pesados são utilizados para distinguir zircões de origens diferentes. A média dos teores da razão HfO_2/ZrO_2 apresentada pelos cristais de zircão dos granitos é de 0,011 (%), e está de acordo com o intervalo de 0,01 até 0,04 (%), proposto para rochas graníticas (Deer *et al*. 1978).

A amostra do sienogranito apresenta conteúdo elevado de Y_2O_3, sugerindo uma provável variação de zircão na forma estrutural da xenotine (YPO_4) (Deer *et al.* 1978).

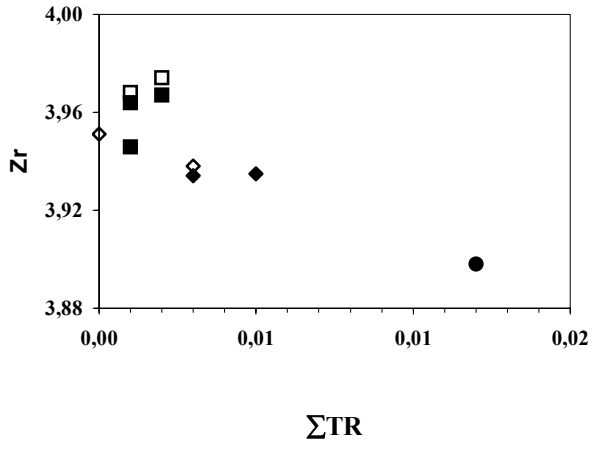


Figura 21. *Diagrama da ∑TR versus Zr (a.f.u.) para os granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 11.*

GRANITOS										
Zircão										
	RC-30*	RC-1 (Monzogranito)				RC-42 (Granodiorito)				
Análise	**C**	**C**	**B**	**C**	**B**	**C**	**B**	**C**	**B**	**C**
SiO_2	31,87	32,81	32,44	32,75	33,01	32,84	32,61	32,95	32,95	32,88
TiO_2	0,16	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,09	0,03	0,03	0,03
Al_2O_3	0,19	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Fe_2O_3	0,24	0,34	0,42	0,03	0,04	0,40	0,41	0,00	0,00	0,00
CaO	0,26	0,01	0,16	0,07	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
ZrO_2	64,69	66,57	66,56	66,25	66,54	67,61	67,28	67,24	67,46	66,58
HfO_2	1,41	1,30	1,33	1,17	1,15	1,30	1,23	1,31	1,42	1,43
ThO_2	0,07	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00
UO_2	0,06	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04
PbO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00
Yb_2O_3	0,15	0,08	0,00	0,06	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
Gd_2O_3	0,09	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2O_5	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd_2O_3	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03
Y_2O_3	0,64	0,23	0,10	0,43	0,17	0,09	0,08	0,02	0,01	0,01
Sm_2O_3	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
∑Total	99,91	101,48	101,09	100,90	101,02	102,34	101,88	101,62	102,00	101,05
∑TR	0,3	0,09	0	0,12	0,07	0,04	0,04	0,01	0,04	0,03

Fórmula Estrutural Calculado com Base em 16 Átomos de Oxigênio.

Cátions										
Si	3,938	3,976	3,949	3,989	4,006	3,951	3,944	3,983	3,975	3,996
Ti	0,015	0,004	0,002	0,001	0,000	0,001	0,008	0,003	0,003	0,003
Al	0,028	0,001	0,004	0,000	0,004	0,003	0,001	0,003	0,001	0,001
Fe^{+3}	0,022	0,031	0,038	0,003	0,004	0,036	0,037	0,000	0,000	0,000
Ca	0,034	0,001	0,021	0,009	0,001	0,003	0,004	0,001	0,003	0,003
Zr	3,898	3,934	3,951	3,935	3,938	3,967	3,968	3,964	3,968	3,946
Hf	0,050	0,045	0,046	0,041	0,040	0,045	0,042	0,045	0,049	0,050
Th	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
U	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Pb	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Yb	0,006	0,003	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Gd	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Y	0,042	0,015	0,006	0,028	0,011	0,006	0,005	0,001	0,001	0,001
Sm	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	8,044	8,013	8,022	8,013	8,006	8,013	8,014	8,002	8,002	8,002
∑TR	0,012	0,003	0,000	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001

Tabela 25. *Análises selecionadas de zircão de granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*
∑TR: Soma dos Elementos Terras Raras: Sm, Nd, Gd eYb
* = *Sienogranito*

IV. 1.3.5. *Apatita*

Foram analisados cristais de apatita de granodiorito, sienogranito e monzogranito. Nestas rochas a apatita ocorre associada com biotita, titanita e também inclusa no feldspato alcalino e plagioclásio.

Os resultados analíticos estão contidos nas tabelas 26 e 27. A partir desses dados, realizou-se o cálculo da fórmula estrutural com base em 26 átomos de oxigênio e utilizou-se a fórmula geral $Ca_5 (PO_4)_3 (OH,F,Cl)$ (Deer *et al.* 1978). O F e Cl, não foram utilizados para o cálculo da fórmula estrutural.

A fluorapatita é um acessório comum em rochas ígneas, cuja fórmula estrutural é expressa por: $Ca_{10} (PO_4)_6 F_2$ (*in* Toledo *et al*. 2001). As substituições mais importantes ocorrem entre o F^- pelo OH^- e com teores variados de CO^{-2}_3 (que substitui o PO^{-3}_4 e não ao F^-) (Fischer & Mcconnell 1969). As substituições catiônicas possíveis de ocorrer na apatita são as seguintes:

→ Sítio A: (Ca) ↔Na^+, K^+, Mg^{+2}, Sr^{+2}, Ba^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mn^{+2}, Ag^+, U^{+4}, U^{+6}, Cd^{+2}, TR^{+2},TR^{+3}, Y^{+3}, Zn^{+2}, Pb^{+2}, Be^{+2}, Al^{+3}, Sn^{+2}, Sc^{+3}, Bi^{+3}.

→ Sítio X: (PO^{-3}_4) ↔ CO^{-2}_3, SO^{-2}_4, VO^{-3}_4, As^{-3}_4, CrO^{-2}_4, Al_3O_2 e, podendo ocorrer também Nb, Ge, Se e Zr.

→ Canais (F) ↔OH^-, Cl^-, CO^{-2}_3, SO^{-2}_4, Br^- e I^-.

O Al^{+3} pode substituir tanto o Ca^{+2} como P^{+5}

Considerando dados em porcentagem em peso, a fluorapatita pura apresenta razões F/P_2O_5 = 0,089 e CaO/P_2O_5 = 1,318 (McClellan 1980).

Os resultados obtidos das razões entre as apatitas das rochas graníticas estudadas são os seguintes:

Faciologia	*F/P_2O_5 (em %)	CaO/P_2O_5 (em %)
Sienogranito	0,043	1,28
Monzogranito	0,058	1,45
Granodiorito	0,045	1,26

*F/P_2O_5 = Para esta relação utilizou-se o valor do flúor recalculado a partir do flúor obtido na microssonda eletrônica.

Observa-se no esquema acima que as razões obtidas são inferiores aos valores apresentados por McClellan (1980), com exceção da razão CaO/P_2O_5 da amostra de monzogranito que é relativamente superior. Com base nas relações texturais, considera-se que as apatitas aqui estudadas como sendo de origem primária.

Foram testados vários diagramas de troca catiônica entre os elementos. Entretanto, observou-se que não ocorrem as substituições propostas entre os elementos de cada sítio. Considera-se então, que as apatitas formadas nas rochas graníticas cristalizaram num primeiro estágio magmático em um mesmo líquido atuante sem interferência de processos termodinâmicos. O diagrama da figura 22, Cl *versus* F (*%.*), apesar da grande dispersão dos elementos, apresenta uma relativa correlação negativa. Por outro lado, no diagrama da figura 23, ocorre também dispersão dos elementos, entretanto nota-se uma tendência de correlação positiva, mostrando a evolução entre os elementos terras raras e o Ca.

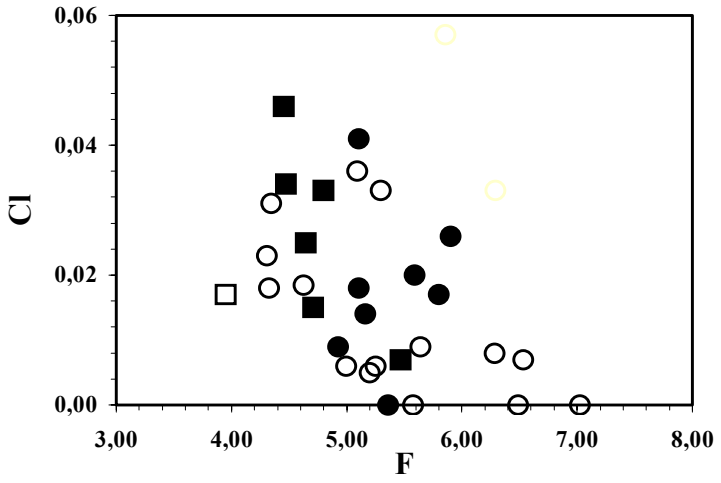


Figura 22. *Diagrama F versus Cl (%) (recalculado) de apatita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*

Simbologia: ■ = ***granodiorito;*** ○ = *monzogranito;* ● = *sienogranito*

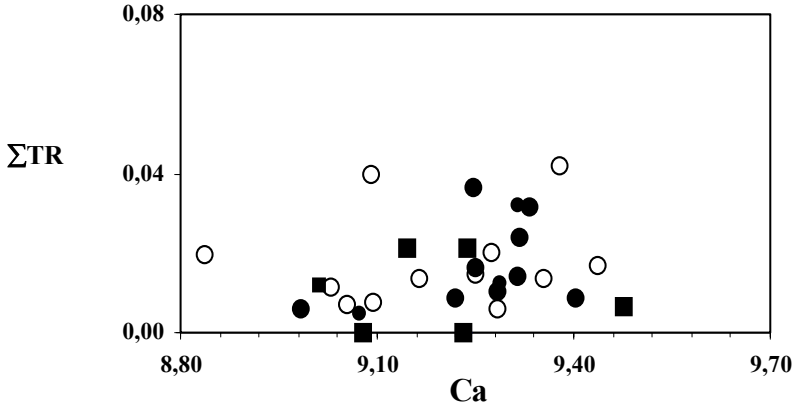


Figura 23. Diagrama Ca versus ∑TR (a.f.u.) das rochas graníticas encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.
Simbologia: ■ = granodiorito; ○ = monzogranito; ● = sienogranito

Dados recalculados a partir das análises químicas das tabelas 24 e 25.Flúor * = valor da análise em peso x 0,4211; *Cloro * = valor da análise em peso x 0,2256*

∑Total Final = ∑Total – Flúor - Cloro**

∑TR = Soma dos Elementos Terras Raras = Ce e La.

*-O =F = Flúor **

*-O =Cl =Cloro **

*-O =F, Cl= Flúor * + Cloro **

GRANITOS														
	RC-42 (Granodiorito)							RC-31 (Monzogranito)						
Análise	**Apatita inclusa em plagioclásio**			**Apatita associada com titanita**				**Apatita inclusa em plagioclásio**				**Apatita inclusa em FK**		
FeO	0,11	0,14	0,23	0,16	0,14	1,03	0,03	0,07	0,23	0,22	0,08	0,06	0,23	0,18
MnO	0,08	0,07	0,11	0,80	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,08	0,07	0,09	0,08
MgO	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
CaO	53,85	54,76	54,31	54,11	54,80	53,52	54,79	52,78	54,63	55,19	54,68	54,09	54,48	54,22
SrO	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03	0,02	0,11	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04	0,06
Na_2O	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,04	0,03	0,04	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03
P_2O_5	43,34	43,06	43,28	43,74	43,22	41,61	42,33	40,88	41,96	43,60	42,24	42,35	41,68	43,62
F	4,47	4,45	5,47	4,80	4,71	4,64	3,95	5,29	5,09	4,35	4,63	4,31	6,29	6,29
Cl	0,03	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03
Y_2O_3	0,05	0,06	0,06	0,02	0,05	0,12	0,05	0,06	0,09	0,08	0,08	0,11	0,05	0,09
Ce_2O_3	0,22	0,10	0,20	0,00	0,00	0,29	0,09	0,17	0,12	0,14	0,28	0,31	0,06	0,21
La_2O_3	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,06	0,09	0,03	0,26	0,11	0,07	0,14
∑Total	102,32	102,77	103,70	103,02	103,03	101,45	101,47	99,691	102,41	103,72	102,45	101,50	103,01	104,96
Flúor *	1,883	1,874	2,302	2,021	1,983	1,955	1,663	2,22	2,145	1,831	1,948	1,815	2,647	2,648
Cloro *	0,008	0,010	0,002	0,007	0,003	0,006	0,004	0,007	0,008	0,007	0,006	0,005	0,002	0,007
∑Total final	100,442	100,913	101,395	101,003	101,052	99,503	99,816	99,698	100,275	101,893	100,513	99,692	100,370	102,321
∑TR	0,36	0,10	0,20	0,000	0,000	0,36	0,11	0,22	0,21	0,17	0,54	0,42	0,12	0,35

Fórmula Estrutural Calculada com base em 26 Átomos de Oxigênio.

Cátions														
Fe	0,015	0,019	0,029	0,021	0,018	0,138	0,004	0,010	0,030	0,029	0,011	0,009	0,030	0,024
Mn	0,011	0,010	0,014	0,011	0,009	0,009	0,008	0,009	0,008	0,005	0,011	0,010	0,012	0,010
Mg	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,000	0,001	0,000
Ca	9,145	9,284	9,029	9,078	9,234	9,237	9,476	9,165	9,278	9,283	9,332	9,317	9,094	8,837
Sr	0,000	0,004	0,002	0,005	0,003	0,002	0,011	0,003	0,004	0,002	0,004	0,002	0,003	0,005
Na	0,004	0,009	0,000	0,009	0,000	0,012	0,009	0,074	0,012	0,004	0,010	0,005	0,003	0,009
P	5,815	5,768	5,685	5,798	5,754	5,673	5,784	5,609	5,631	5,794	5,695	5,764	5,497	5,618
Y	0,004	0,005	0,005	0,001	0,004	0,010	0,004	0,005	0,008	0,007	0,007	0,010	0,004	0,008
Ce	0,013	0,006	0,012	0,000	0,000	0,017	0,005	0,010	0,007	0,008	0,016	0,019	0,004	0,012
La	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,003	0,006	0,002	0,015	0,007	0,004	0,008
∑Total	15,015	15,109	14,780	14,923	15,022	15,108	15,302	14,891	14,986	15,137	15,104	15,143	14,652	14,536
∑TR	0,021	0,006	0,012	0,000	0,000	0,021	0,007	0,013	0,013	0,010	0,032	0,025	0,007	0,020
F	2,241	2,227	2,683	2,377	2,341	2,365	2,015	2,713	2,553	2,158	2,330	2,191	3,097	3,025
Cl	0,009	0,012	0,002	0,009	0,004	0,007	0,005	0,009	0,010	0,008	0,007	0,006	0,002	0,009

Tabela 26. *Análises selecionadas de apatita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*

GRANITOS																	
	RC-31 (Monzogranito)							RC-1 (Monzogranito)									
Análise	**Apatita associada Opacos**			**Apatita inclusa em FK**				**Apatita inclusa em plagioclásio**					**Apatita associada com titanita**				
	0,16	0,34	0,59	0,26	0,42	0,42	0,21	0,15	0,02	0,03	0,03	0,18	0,07	0,18	0,23	0,17	0,02
FeO																	
MnO	0,09	0,05	0,08	0,07	0,08	0,07	0,10	0,05	0,11	0,07	0,03	0,07	0,07	0,09	0,13	0,12	0,07
MgO	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
CaO	55,01	55,47	54,42	55,00	53,99	55,20	55,41	53,41	55,60	55,47	54,64	55,01	55,02	55,21	54,46	54,84	54,18
SrO	0,05	0,03	0,05	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00
Na_2O	0,04	0,00	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,08
P_2O_5	41,98	43,10	42,15	42,80	43,10	42,93	42,86	39,98	42,17	42,69	41,46	41,82	41,20	41,71	40,46	41,57	41,01
F	5,10	5,16	5,90	4,93	5,60	5,10	4,33	5,84	5,20	6,53	6,49	7,03	5,00	5,64	5,36	5,25	5,58
Cl	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Y_2O_3	0,11	0,07	0,01	0,08	0,00	0,05	0,00	0,12	0,08	0,04	0,15	0,07	0,18	0,13	0,09	0,22	0,32
Ce_2O_3	0,18	0,00	0,05	0,09	0,11	0,08	0,15	0,27	0,12	0,10	0,55	0,17	0,21	0,31	0,56	0,40	0,52
La_2O_3	0,06	0,00	0,03	0,16	0,00	0,07	0,00	0,01	0,12	0,03	0,15	0,05	0,07	0,04	0,15	0,15	0,11
∑Total	102,83	104,24	103,48	103,47	103,36	104,05	103,13	99,90	103,43	104,97	103,57	104,41	101,87	103,33	101,49	102,77	101,87
F *	2,148	2,172	2,484	2,075	2,355	2,149	1,822	2,46	2,19	2,75	2,73	2,96	2,10	2,38	2,26	2,21	2,35
Cl *	0,009	0,003	0,006	0,002	0,005	0,004	0,004	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
∑T.Final	100,696	102,069	100,99	101,400	101,011	101,908	101,317	97,46	101,24	102,22	100,84	101,45	99,77	100,96	99,23	100,56	99,52
∑TR	0,24	0,000	0,08	0,25	0,11	0,15	0,15	0,28	0,23	0,13	0,70	0,22	0,29	0,35	0,71	0,55	0,63

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 26 Átomos de Oxigênio.

Fe	0,021	0,044	0,077	0,035	0,054	0,055	0,028	0,021	0,003	0,003	0,004	0,023	0,009	0,024	0,031	0,023	0,003
Mn	0,013	0,007	0,010	0,009	0,010	0,010	0,014	0,006	0,014	0,009	0,003	0,008	0,009	0,012	0,018	0,016	0,009
Mg	0,001	0,000	0,030	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Ca	9,315	9,230	9,072	9,250	8,989	9,219	9,402	9,251	9,354	9,055	9,091	9,011	9,437	9,274	9,379	9,309	9,247
Sr	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000
Na	0,012	0,000	0,016	0,010	0,014	0,014	0,008	0,003	0,001	0,003	0,007	0,006	0,007	0,003	0,002	0,009	0,024
P	5,617	5,668	5,552	5,687	5,670	5,665	5,746	5,471	5,605	5,507	5,451	5,413	5,584	5,537	5,506	5,575	5,530
Y	0,009	0,006	0,001	0,007	0,000	0,004	0,000	0,011	0,006	0,003	0,012	0,006	0,015	0,011	0,008	0,018	0,027
Ce	0,011	0,000	0,003	0,005	0,006	0,004	0,009	0,016	0,007	0,006	0,031	0,009	0,012	0,018	0,033	0,023	0,030
La	0,004	0,000	0,002	0,009	0,000	0,004	0,000	0,001	0,007	0,002	0,008	0,003	0,004	0,002	0,009	0,009	0,006
∑Total	15,005	14,958	14,767	15,015	14,739	14,981	15,210	14,781	14,998	14,588	14,612	14,789	15,079	14,881	14,993	14,992	14,876
∑TR	0,015	0,000	0,005	0,014	0,006	0,008	0,009	0,017	0,014	0,008	0,039	0,012	0,016	0,020	0,042	0,032	0,036
F	2,550	2,534	2,903	2,446	2,748	2,516	2,167	2,984	2,583	3,146	3,187	3,396	2,530	2,797	2,724	2,632	2,810
Cl	0,011	0,004	0,007	0,002	0,005	0,005	0,005	0,016	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000

Tabela 27. *Análises selecionadas de apatita dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*
∑TR = Soma dos Elementos Terras Raras Ce e La; F e C* = Flúor e Cloro recalculado*

IV.2. *Enclaves*

IV.2.1. *Plagioclásio*

Analisou-se a composição química do plagioclásio de duas amostras de enclaves (RC-77 e RC-88), cujos dados analíticos estão na tabela 28. No diagrama de caracterização (Or-Ab-An) o plagioclásio ocupa o campo do oligoclásio e andesina (Fig. 24). Os teores nas moléculas de Or-Ab-An apresentam a composição de oligoclásio e andesina, cujos teores são: $Or_{0,81-1,6}Ab_{69-74}An_{24-29}$ e $Or_{0,51-1,2}Ab_{64-70}An_{29-34}$. Os fenocristais e cristais inclusos em feldspato alcalino não apresentam diferenças significativas quanto aos teores de Anortita. Na figura 25, Na *versus* Ca *(a.f.u.)* nota-se a existência de troca catiônica entre o Ca e Na no sítio M.

Os perfis através dos cristais de plagioclásio mostram zonamento normal (Figs. 26 e 27) e sugerem a existência de equilíbrio durante a cristalização da solução sólida, com o abaixamento progressivo da temperatura (Deer *et al.* 1978, Bard 1980). A região central do cristal apresenta teor de anortita mais elevado do que a porção intermediária e borda. Nota-se aí uma queda acentuada do teor de anortita, do núcleo para a borda. Nos demais cristais, o comportamento do teor de anortita segue o mesmo padrão.

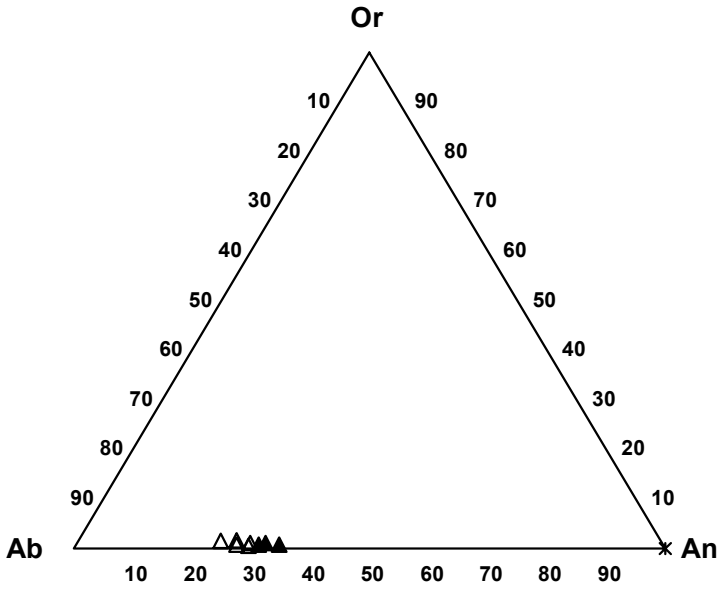


Figura 24. *Diagrama Or-Ab-An de classificação de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia:* ▲ *= micro-sienogranito* (*RC-88);* Δ *= micro-monzogranito* (*RC-77).*

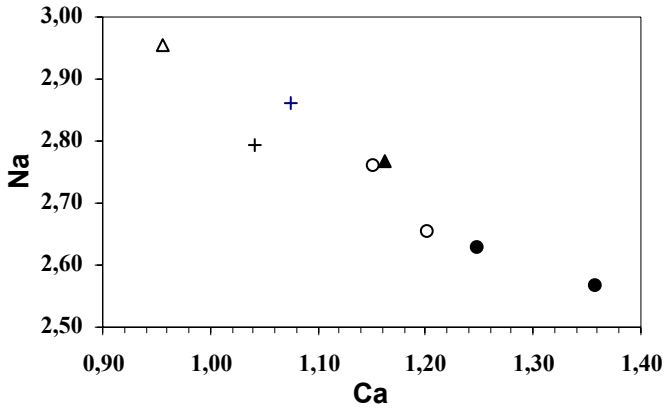
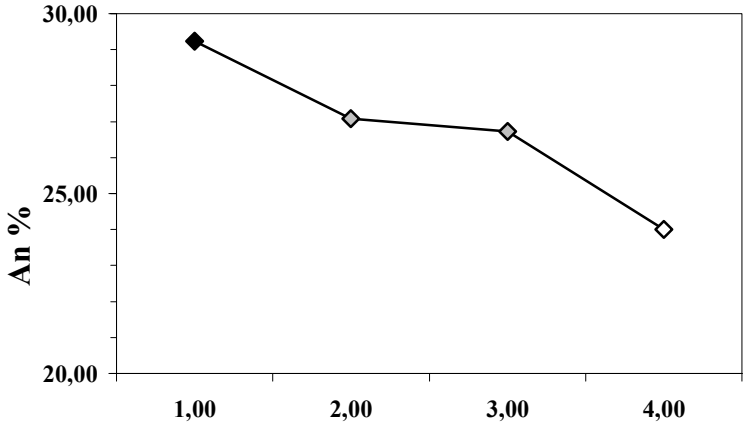


Figura 25. Diagrama Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: ▲= núcleo; + = intermediário; Δ = borda (RC-77); ● = núcleo; o = borda (RC-88).

Perfis em Cristais de Plagioclásio dos Enclaves dos Granitos Encaixantes dos Diques na Região de Piratini, RS.



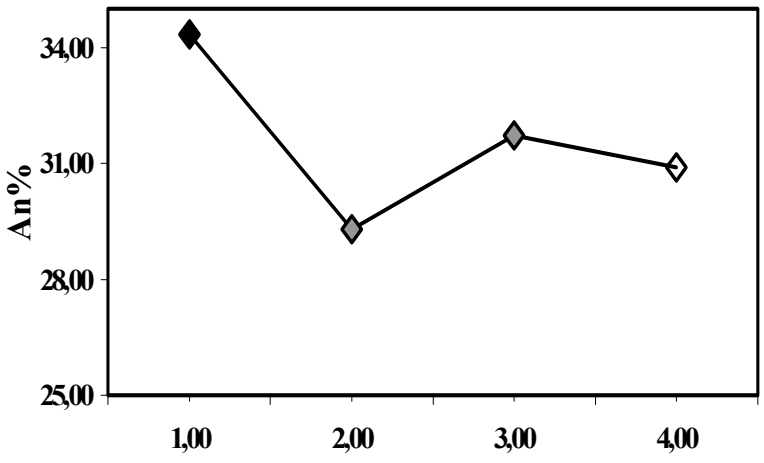


Figura 26. Perfil em fenocristal de plagioclásio com zonamento normal (RC-77).

Figura 27. *Perfil em fenocristal de plagioclásio com zonamento oscilatório normal (RC-88).*

ENCLAVES								
Plagioclásio								
Fenocristal					**Cristal incluso**		**Fenocristal**	
RC-77 (Micro-monzogranito)					**RC-88 (Micro-sienogranito)**			
		Inter.1	**Int.2**					B-2
Análise	***C-1***			***B-1***	***C-1***	***B-1***	***C-2***	
SiO_2	60,78	60,70	61,02	61,64	60,33	62,14	60,18	60,22
TiO_2	0,00	0,00	0,06	0,04	0,07	0,04	0,03	0,00
Al_2O_3	24,52	23,77	23,84	23,65	25,87	24,92	24,73	25,14
Fe_2O_3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,13	0,16	0,08
MnO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,03
CaO	6,08	5,56	5,41	4,99	7,20	6,15	6,50	6,28
BaO	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,02
Na_2O	8,00	8,18	8,01	8,52	7,52	8,15	7,57	7,67
K_2O	0,20	0,14	0,28	0,27	0,14	0,09	0,20	0,14
∑Total	99,64	98,37	98,62	99,14	101,32	101,74	99,36	99,60

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions								
Si	10,845	10,948	10,968	11,022	10,619	10,857	10,774	10,749
Ti	0,000	0,000	0,008	0,005	0,009	0,005	0,004	0,000
Al	5,158	5,054	5,052	4,986	5,368	5,133	5,219	5,290
Fe^{+3}	0,001	0,000	0,000	0,000	0,019	0,017	0,022	0,011
∑T	16,004	16,002	16,028	16,013	16,015	16,013	16,018	16,050
Mn	0,000	0,002	0,000	0,002	0,006	0,001	0,000	0,005
Ca	1,162	1,075	1,042	0,956	1,358	1,151	1,247	1,201
Ba	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000	0,001
Na	2,768	2,861	2,792	2,954	2,567	2,761	2,628	2,655
K	0,046	0,032	0,064	0,062	0,031	0,020	0,046	0,032
∑M	3,978	3,969	3,898	3,974	3,962	3,940	3,920	3,894
∑Total	19,982	19,971	19,926	19,987	19,977	19,953	19,939	19,944

An	29,24	27,08	26,73	24,07	34,33	29,28	31,81	30,90
Ab	69,62	72,10	71,62	74,38	64,88	70,21	67,03	68,28
Or	1,15	0,81	1,65	1,55	0,79	0,51	1,17	0,82

Tabela 28. *Análises selecionadas de plagioclásio dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*
C =centro; B=borda; Int.=porção intermediária.

IV.2.2. *Biotita*

Foram analisadas biotitas de micro-sienogranito (RC-88) e micro-monzograntio (RC-77), cujos dados analíticos estão na tabela 29. Para o cálculo da fórmula estrutural das mesmas, utilizou-se o mesmo procedimento adotado para as rochas graníticas.

As substituições da biotita analisada ocorrem entre os seguintes elementos:

$Mg \leftrightarrow Fe^{+3}$, Al

$Al \leftrightarrow Si$ (sítio tetraédrico)

$K \leftrightarrow Na$, Ca, Ba, Rb, Cs (intercamadas)

$Fe^{+2} \leftrightarrow Mg$ (sítio octaédrico)

$Al \leftrightarrow Li$ (sítio octaédrico)

No diagrama Al^{IV} *versus* Fe/(Fe+Mg) (*a.f.u.*) (Fig. 28) de classificação das micas, segundo Deer *et al.* (1978), a biotita situa-se no campo das biotitas verdadeiras. Comparando-se a média dos teores de Al_2O_3 e FeO (%), entre as amostras RC-88 e RC-77, observa-se valores de 15,33 e 19,19 (%) e de 15,58 e 21,13 (%) respectivamente. A relação Fe/(Fe+Mg) das referidas amostras apresenta uma média de 0,49 (RC-88) e 0,57 (RC-77) respectivamente. O mg# apresenta uma média de 0,50 (RC-88) e 0,43 (RC-77) mostrando caráter mais diferenciada para esta última.

Nos diagramas de substituição catiônica (Figs. 29 e 30) observa-se trocas significativas entre o Fe^{total} *versus* Mg *(a.f.u.)* (sítio octaédrico) e Al^{IV} *versus* Si *(a.f.u.)* (sítio tetraédrico). O diagrama da figura 31, Fe^{total} *versus* Mn *(a.f.u.),* mostra correlação positiva entre os elementos, e a incompatibilidade dos mesmos durante a evolução magmática.

As biotitas analisadas situam-se principalmente no campo das séries magmáticas cálcio-alcalinas, com algumas amostras dispondo-se no campo sub-alcalino (Naschit *et al.* 1985) (Fig. 32). O diagrama triangular $10*TiO_2$ - FeO+MnO - MgO (%) determinam biotitas primárias e secundárias (Naschit *et al.* 1986). No diagrama (Fig. 33) a biotita analisada ocupa o campo das biotitas primárias.

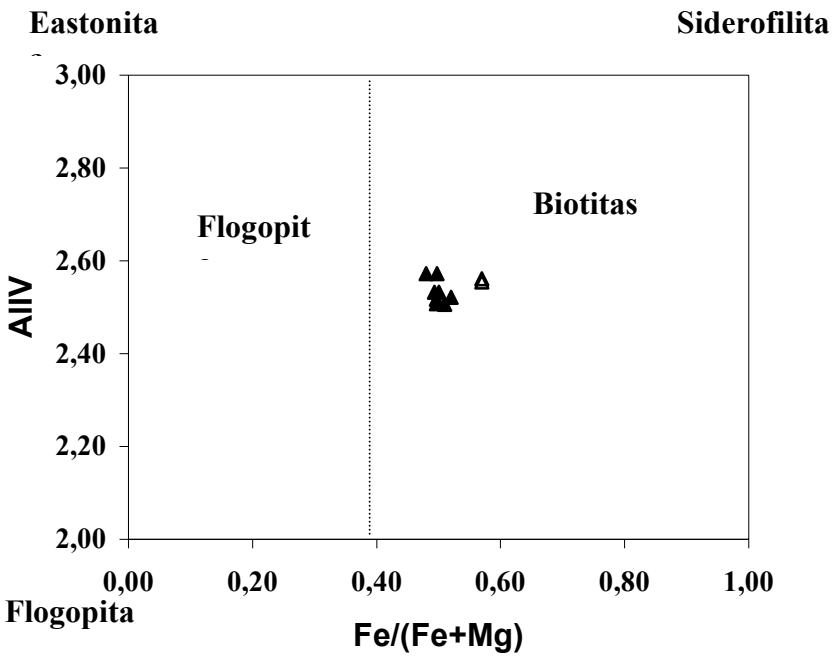


Figura 28. *Diagrama de classificação de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS, (Deer et al. 1978). Simbologia*: ▲ *= micro-sienogranito (RC-88)*; Δ *= micro-monzogranito (RC-77).*

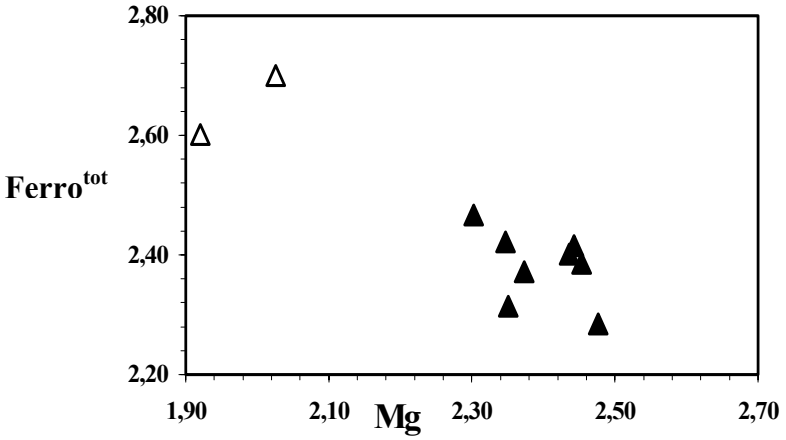


Figura 29. Diagrama Mg versus Ferro^{total} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. *Simbologia*: Idem fig. 28.

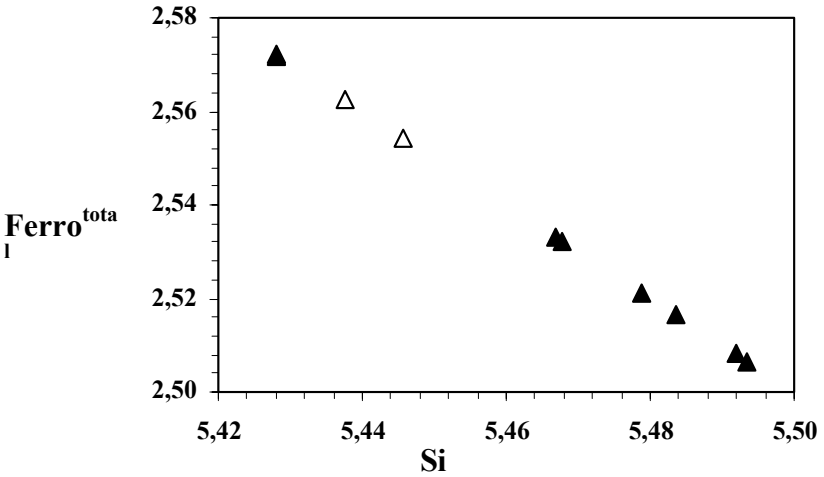


Figura 30. *Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granito encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia*: *Idem fig. 28.*

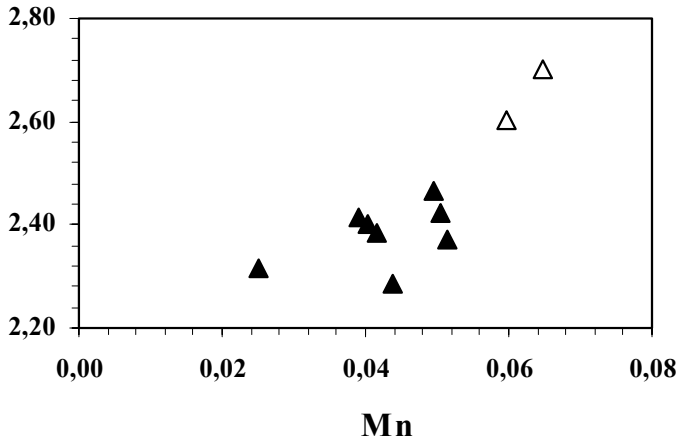


Figura 31. *Diagrama Mn versus Fe^{total} (a.f.u.) de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 28.*

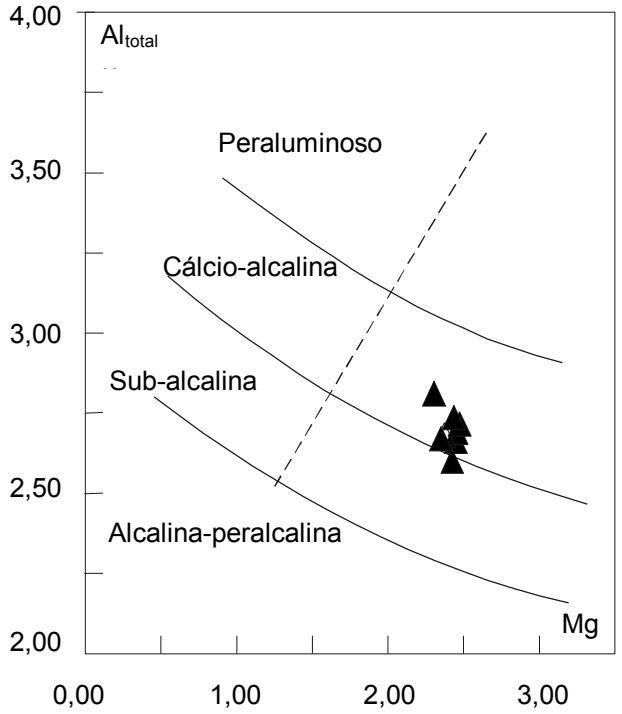


Figura 32. *Diagrama Mg versus Al^{total} (a.f.u.) com limites discriminantes das séries magmáticas (Naschit et al. 1985). As biotitas analisadas dos enclaves ocupam os campos sub-alcalino e cálcio-alcalino. Simbologia: Idem fig. 28.*

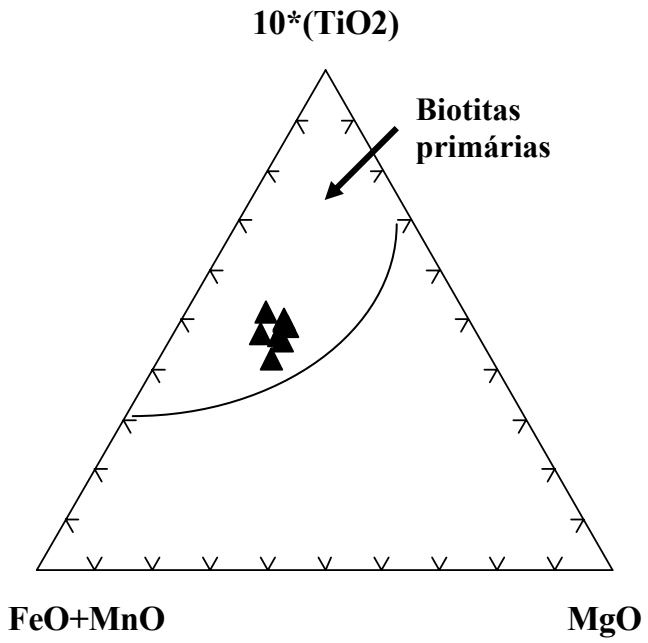


Figura 33. *Diagrama triangular10*TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%.) (Naschit et al. 1986) de biotitas dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*

ENCLAVES										
Biotita										
Cristais Intersticiais										
	RC- 88 (Micro-sienogranito)								**RC-77***	
Análise	**C-1**	**B-1**	**C-2**	**B-2**	**C-3**	**B-3**	**C-4**	**B-4**	**C-5**	**B5**
SiO_2	36,50	37,27	36,99	36,80	36,88	36,64	36,88	36,75	36,29	36,30
TiO_2	3,09	2,88	3,04	2,59	3,03	2,22	2,68	2,85	2,78	3,20
Al_2O_3	15,06	15,81	14,78	15,17	15,22	15,89	15,24	15,49	15,24	15,93
FeO	19,42	18,81	19,34	19,20	19,13	19,72	19,44	18,49	21,51	20,76
MnO	0,31	0,20	0,32	0,33	0,41	0,39	0,40	0,35	0,51	0,47
BaO	0,37	0,15	0,12	0,19	0,01	0,16	0,29	0,26	0,10	0,18
MgO	11,02	10,72	11,01	11,08	10,74	10,33	10,57	11,25	9,06	8,60
CaO	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03	0,04
Na_2O	0,08	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,08	0,04	0,05	0,07
K_2O	9,45	9,41	9,54	9,55	9,57	9,29	9,42	9,37	9,15	9,39
Cl	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,07	0,16	0,12
F	1,36	1,43	1,36	1,43	1,43	1,25	1,34	1,57	1,50	1,37
∑Total	96,79	96,85	96,64	96,48	96,56	96,07	96,44	96,53	96,36	96,42
Flúor *	0,573	0,602	0,573	0,602	0,602	0,526	0,564	0,661	0,632	0,577
Cloro *	0,020	0,018	0,020	0,020	0,020	0,023	0,020	0,016	0,036	0,027
-O=F, Cl	0,593	0,620	0,593	0,622	0,622	0,549	0,584	0,677	0,668	0,604
∑Total final	96,238	96,266	96,088	95,898	95,978	95,566	95,896	95,885	95,764	95,870

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 22 Átomos de Oxigênio.

Cátions										
Si	5,428	5,484	5,492	5,468	5,467	5,479	5,494	5,428	5,446	5,438
Al^{IV}	2,572	2,517	2,508	2,532	2,533	2,521	2,506	2,572	2,554	2,562
∑Tetraédrico	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,069	0,226	0,079	0,125	0,127	0,280	0,170	0,125	0,142	0,251
Ti	0,346	0,319	0,339	0,289	0,338	0,250	0,300	0,317	0,314	0,360
Fe^{total}	2,415	2,315	2,401	2,386	2,372	2,466	2,422	2,284	2,699	2,601
Mn	0,039	0,025	0,040	0,042	0,051	0,049	0,050	0,044	0,065	0,060
Mg	2,442	2,351	2,436	2,453	2,373	2,302	2,347	2,476	2,026	1,920
∑ Octaédrico	5,311	5,235	5,296	5,295	5,260	5,347	5,289	5,246	5,246	5,191
Ba	0,022	0,009	0,007	0,011	0,001	0,009	0,017	0,015	0,006	0,011
Ca	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,006	0,005	0,006
Na	0,023	0,017	0,014	0,017	0,014	0,020	0,023	0,011	0,015	0,020
K	1,793	1,766	1,807	1,810	1,810	1,772	1,790	1,766	1,752	1,794
∑Intercamadas	1,841	1,798	1,828	1,839	1,825	1,804	1,832	1,798	1,777	1,832
∑Cátions	15,150	15,033	15,125	15,134	15,085	15,151	15,121	15,044	15,023	15,023
Cl	0,023	0,020	0,023	0,023	0,023	0,025	0,023	0,018	0,041	0,030
F	0,640	0,665	0,639	0,672	0,670	0,591	0,631	0,733	0,712	0,649
fe#	0,497	0,496	0,496	0,493	0,500	0,520	0,510	0,480	0,570	0,570
mg#	0,503	0,504	0,504	0,507	0,500	0,483	0,492	0,520	0,429	0,425
Al^{total}	2,640	2,740	2,580	2,650	2,660	2,800	2,670	2,690	2,690	2,810

Tabela 29. Análises de biotita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.

fe# = Fe/(Fe+Mg)
mg# = Mg/(Mg+Fe)
*-O =F, Cl= Flúor * + Cloro **
*Flúor * = Flúor da análise x 0,4211*
*Cloro * = Cloro da análise x 0,2256*
*∑Total Final = ∑Total - Flúor * - Cloro **
*** = Micro-monzogranito*

IV.2.3. *Apatita*

Foram analisados cristais de apatita do micro-sienogranito (RC-88) e do micro-monzogranito (RC-77). Nestas amostras, a apatita ocorre em geral, sob a forma de agregados aciculares ou como bastonetes cortando os demais minerais. Os dados analíticos estão contidos na tabela 30. O cálculo da fórmula estrutural foi realizado com base em 26 átomos de oxigênio. A fórmula geral das apatitas é $Ca_5 (PO_4)_3 (OH,F,Cl)$ *(Deer* et al. *1978). O F e Cl não foram utilizados no cálculo da fórmula estrutural da apatita.*

Para avaliar as substituições catiônicas ocorridas na apatita, utilizou-se o mesmo procedimento adotado nos granitos encaixantes.

Considerando dados em porcentagem em peso, a fluorapatita pura apresenta relações F/P_2O_5 = 0,089 e CaO/P_2O_5 = 1,318 (McClellan 1980). Aplicando-se estas relações para a apatita dos enclaves, têm-se os seguintes resultados:

Amostras	*F/P_2O_5 (em %)	CaO/P_2O_5 (em %)
RC-77	0,136	1,309
RC-88	0,135	1,322

*F/P_2O_5 = Para esta relação utilizou-se o valor do Flúor recalculado a partir das análises obtidas em microssonda eletrônica. Comparando-se com as relações propostas por McClellan (1980), as fluorapatitas estudadas apresentam razões F/P_2O_5 superiores, porém razões semelhantes CaO/P_2O_5. Os aspectos texturais observados em lâmina delgada sugerem tratar-se de apatita de origem primária e secundária, cristalizada a partir de um líquido rico em flúor.

Foram testados vários diagramas de troca catiônica entre elementos. Observa-se algumas substituições entre elas como a troca catiônica entre Ca e Mn *(a.f.u.)* (Fig. 34) e entre os elementos terras raras e cálcio (Fig.35) sugerindo que as apatitas precoces cristalizaram num primeiro estágio magmático em um mesmo líquido atuante mais empobrecidas em elementos terras raras enquanto que as apatitas mais tardias cristalizaram num líquido mais enriquecido em terras raras é acompanhado com o decréscimo em Ca, como mostrado na figura 34.

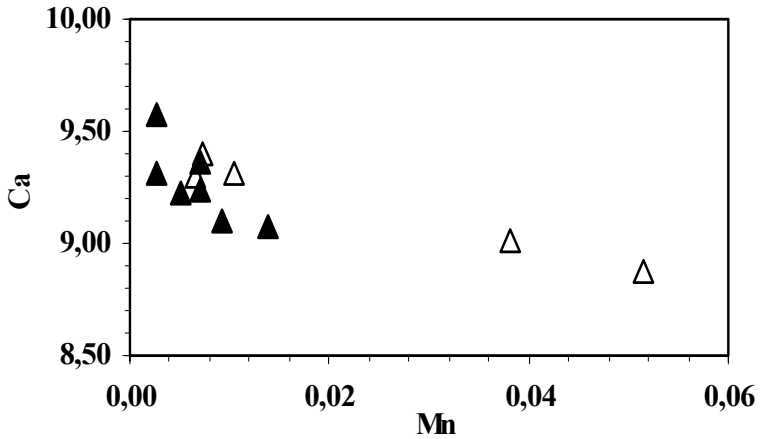


Figura 34. *Diagrama de substituição entre Mn versus Ca (a.f.u.) de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região Piratini, RS. Simbologia: Simbologia: Idem fig. 28.*

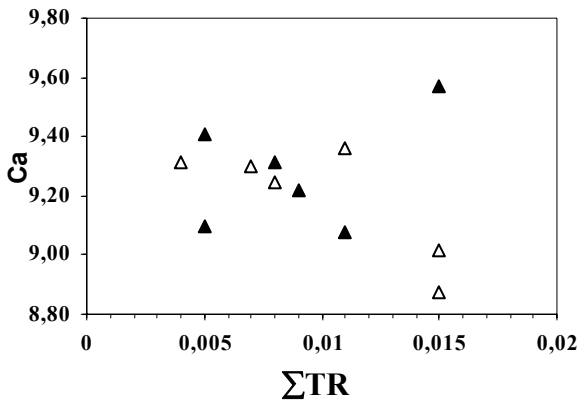


Figura 35. *Diagrama de substituição entre ∑TR versus Ca (a.f.u.) de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 28.*

Dados recalculados a partir das análises químicas da tabela 28.

*Flúor * = valor da análise em peso x 0,4211;*

*Cloro * = Valor da análise em peso x 0,2256*

*∑Total Final = ∑Total - Flúor * - Cloro**

∑TR = Soma dos Elementos Terras Raras = Ce e La.

*-O = F, Cl = Flúor * + Cloro**

ENCLAVES												
Cristais de Apatita												
RC-77 (Micro-monzogranito)							RC-88 (Micro-sienogranito)					
Análise	Apatita tardia		Apatita inclusa*				Apatita inclusa*		Apatita tardia		Apatita inclusa*	
FeO	0,62	0,29	0,05	0,07	0,09	0,06	0,09	0,06	0,01	0,15	0,03	0,02
MnO	0,39	0,28	0,05	0,08	0,05	0,05	0,06	0,02	0,02	0,11	0,07	0,04
MgO	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	52,54	52,44	55,50	55,52	55,69	55,42	55,37	55,47	55,51	54,72	55,37	55,49
SrO	0,03	0,00	0,01	0,02	0,04	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,10	0,01
Na_2O	0,19	0,18	0,01	0,04	0,01	0,07	0,06	0,07	0,09	0,01	0,03	0,08
P_2O_5	42,03	41,22	41,78	41,87	41,68	41,29	41,37	41,75	41,79	41,31	42,93	41,89
F	5,64	5,42	6,03	5,56	5,88	5,60	5,30	5,62	4,18	6,74	6,02	6,08
Cl	0,09	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
Y_2O_3	0,50	0,75	0,16	0,15	0,17	0,15	0,12	0,14	0,15	0,32	0,15	0,12
Ce_2O_3	0,25	0,13	0,10	0,07	0,12	0,18	0,09	0,10	0,16	0,16	0,09	0,11
La_2O_3	0,00	0,12	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,10	0,03	0,00	0,05
∑Total	102,33	100,86	103,73	103,39	103,72	102,83	102,47	103,32	102,04	103,55	104,80	103,89
Flúor *	2,37	2,28	2,54	2,34	2,47	2,36	2,23	2,37	1,76	2,84	2,53	2,56
Cloro *	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
∑Total final	99,98	98,58	101,19	101,05	101,25	100,47	100,24	100,96	100,28	100,71	102,27	101,33
∑ TR	0,25	0,25	0,13	0,08	0,12	0,18	0,09	0,14	0,25	0,20	0,09	0,15
Fórmula Estrutural Calculada com Base em 26 Átomos de Oxigênio.												
Fe	0,082	0,039	0,006	0,009	0,012	0,008	0,012	0,008	0,001	0,019	0,004	0,002
Mn	0,051	0,038	0,007	0,010	0,006	0,007	0,007	0,003	0,003	0,014	0,009	0,005
Mg	0,016	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Ca	8,876	9,017	9,243	9,316	9,299	9,364	9,405	9,313	9,573	9,075	9,096	9,220
Sr	0,002	0,000	0,001	0,002	0,003	0,001	0,000	0,004	0,003	0,000	0,009	0,001
Na	0,058	0,056	0,003	0,011	0,002	0,022	0,019	0,021	0,028	0,002	0,010	0,025
P	5,610	5,600	5,498	5,551	5,500	5,513	5,552	5,538	5,695	5,413	5,572	5,500
Y	0,042	0,064	0,013	0,013	0,014	0,012	0,010	0,011	0,013	0,026	0,012	0,010
Ce	0,015	0,008	0,006	0,004	0,007	0,011	0,005	0,006	0,009	0,009	0,005	0,006
La	0,000	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006	0,002	0,000	0,003
∑Total	14,752	14,833	14,788	14,916	14,845	14,937	15,001	14,905	15,331	14,562	14,717	14,771
∑TR	0,015	0,015	0,008	0,004	0,007	0,011	0,005	0,008	0,015	0,011	0,005	0,009
F	2,810	2,752	2,964	2,755	2,896	2,794	2,659	2,783	2,127	3,300	2,917	2,982
Cl	0,024	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,004	0,006	0,000	0,001	0,005	0,001

Tabela 30. *Análises selecionadas de apatita dos enclaves dos granitos encaixantes dos diques na região de Piratini, RS.*

IV.3. *Diques Ácidos*

IV.3.1. *Feldspato Alcalino*

O feldspato alcalino dos diques ácidos mostra variação composicional compatível com o zonamento observado em alguns cristais. Foi analisada porção central, intermediária e borda de quatro fenocristais das amostras RC-16 e RC-55. No diagrama ternário Or-Ab-An as análises das amostras ocupam a linha Ab-Or, cujas variações nos teores das moléculas de Or-Ab-An são os seguintes: $Or_{96-82}Ab_{17-3,5}An_{0,19-0}$; $Or_{87-86}Ab_{11-4}An_{7,5-2,5}$ (RC-20); $Or_{97-36}Ab_{63-2,3}An_{0,13-0}$; $Or_{99-59}Ab_{40-0,46}An_{0,14-0}$ (RC-55) (Tab. 31).

No diagrama da figura 36, observa-se que algumas análises situam-se próximas ao pólo ortoclásio, uma delas no campo da sanidina e outra no campo do anortoclásio. Este comportamento é observado em minerais de rochas vulcânicas que foram envolvidos por processos de reequilíbrio durante a cristalização magmática (Deer *et al.* 1995).

No diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) (Fig. 37) ocorre correlação positiva, onde o riolito (RC-55) mostra-se levemente mais diferenciado se comparado com o traquito (RC-16). No diagrama da figura 38 observa-se que ocorre troca catiônica entre o Na e K no sítio M, com a componente K substituindo a componente Na, e sugere-se substituição do tipo simples neste sistema.

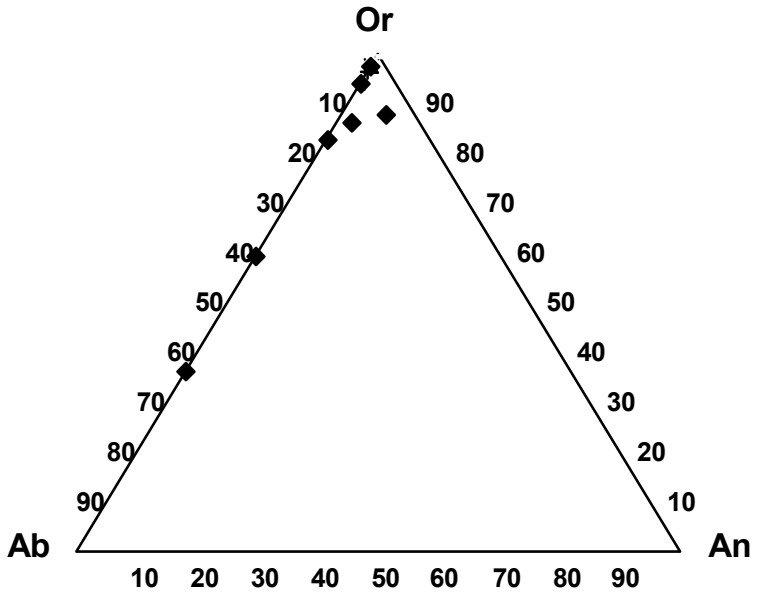


Figura 36. Classificação do feldspato alcalino dos diques ácidos projetados no diagrama ternário Or-Ab-An. Simbologia: ♦ = Traquito e riolito (RC-16 e RC-55).

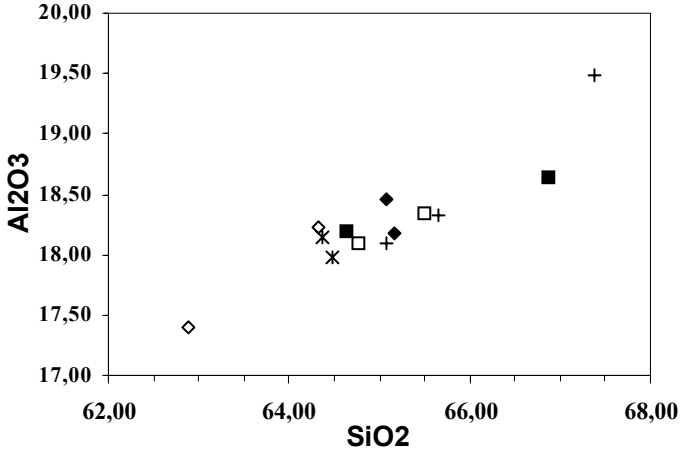


Figura 37. *Diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 (%,) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: ♦ = núcleo; ж = intermediário*; ◊ *= borda (Traquito - RC-16*); ■ *= núcleo; + = intermediário*; □ *= borda (Riolito -RC-55, RC-18E).*

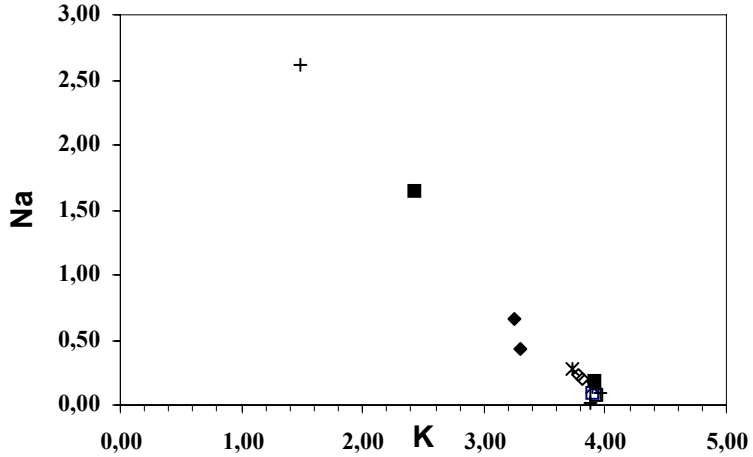


Figura 38. *Diagrama K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: ♦ = núcleo; ж = intermediário*; ◊ *= borda (Traquito - RC-16*); ■ *= núcleo; + = intermediário*; □ *= borda (Riolito -RC-55, RC-18E).*

DIQUES ÁCIDOS													
Feldspatos Alcalinos													
Fenocristais							Fenocristais						
RC-16 (Traquito)							RC- 55 (Riolito)						
	C-1	Int.1						Int.3				Int.5	
Análise			Int. 2	B-1	C-2	B-2	C-3		Int. 4	B-3	C-5		B-5
SiO_2	65,17	64,37	64,49	64,32	65,07	62,89	64,63	65,18	67,39	64,76	66,86	65,65	65,50
TiO_2	0,02	0,01	0,05	0,00	0,00	0,04	0,07	0,00	0,03	0,01	0,00	0,09	0,04
Al_2O_3	18,17	18,14	17,97	18,22	18,46	17,40	18,19	18,20	19,49	18,09	18,64	18,33	18,35
Fe_2O_3	0,03	0,05	0,04	0,01	0,02	0,28	0,25	0,00	0,07	0,15	0,36	0,02	0,01
MnO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,04	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01
CaO	0,06	0,00	0,00	0,04	0,5	1,62	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00
BaO	0,01	0,07	0,22	0,07	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,12	0,01	0,04	0,06
Na_2O	1,86	0,40	0,76	0,64	1,20	0,56	0,26	0,26	7,64	0,23	4,75	0,051	0,28
K_2O	13,76	16,41	15,68	15,93	14,04	15,80	16,47	16,84	6,60	16,61	10,57	16,55	16,71
∑Total	99,17	99,55	99,27	99,30	99,71	98,71	99,87	100,53	101,28	100,00	101,22	101,24	100,46
Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.													
Si	12,042	11,990	12,019	11,985	12,003	11,885	11,984	12,016	11,912	12,007	11,988	12,038	12,013
Ti	0,003	0,001	0,007	0,000	0,000	0,006	0,010	0,000	0,004	0,001	0,000	0,012	0,006
Al	3,958	3,984	3,948	4,002	4,014	3,877	3,976	3,955	4,061	3,954	3,940	3,962	3,968
Fe^{+3}	0,004	0,007	0,006	0,001	0,003	0,040	0,035	0,000	0,009	0,021	0,049	0,003	0,001
∑T	16,007	15,982	15,980	15,988	16,020	15,807	16,005	15,971	15,987	15,984	15,977	16,015	15,987
Mn	0,000	0,003	0,000	0,003	0,003	0,006	0,000	0,006	0,001	0,003	0,000	0,005	0,002
Ca	0,012	0,000	0,000	0,008	0,099	0,328	0,000	0,002	0,006	0,002	0,006	0,000	0,000
Ba	0,001	0,005	0,016	0,005	0,000	0,003	0,001	0,000	0,001	0,009	0,001	0,003	0,004
Na	0,666	0,144	0,275	0,231	0,429	0,205	0,093	0,093	2,619	0,083	1,651	0,018	0,100
K	3,244	3,900	3,728	3,787	3,304	3,809	3,896	3,961	1,488	3,929	2,418	3,872	3,910
∑M	3,923	4,053	4,019	4,034	3,835	4,352	3,990	4,062	4,115	4,026	4,076	3,897	4,015
∑Total	19,929	20,035	19,999	20,023	19,855	20,159	19,995	20,033	20,102	20,010	20,052	19,912	20,002
An	0,30	0,00	0,00	0,19	2,57	7,55	0,00	0,04	0,13	0,04	0,14	0,00	0,00
Ab	16,99	3,57	6,86	5,74	11,20	4,72	2,34	2,29	63,67	2,06	40,52	0,46	2,48
Or	82,70	96,42	93,13	94,05	86,22	87,72	97,65	97,66	36,19	97,89	59,33	99,53	97,51

Tabela 31. *Análises selecionadas de feldspato alcalino de diques ácidos da região de Piratini, RS.*

IV.3.2. *Plagioclásio*

Selecionaram-se cristais de matriz de plagioclásio possíveis de serem analisados quimicamente, fazendo-se perfis entre centro e borda. Os diques rioliticos apresentam teores na composição da molécula de anortita no intervalo de $An_{2,28}$ a $An_{12,72}$ e caracterizam plagioclásio do tipo albita e oligoclásio (Fig. 39). O zonamento predominante é do tipo normal, entretanto ocorre zonamento inverso subordinado (Tab. 32). Observa-se que a componente Ab do plagioclásio torna-se mais enriquecida à medida que ocorre o crescimento do cristal, sugerindo cristalização num meio mais alcalino, conforme apontam os óxidos de Ca e Na (Tab. 32).

No diagrama Na *versus* Ca *(a.f.u.)* observa-se que ocorre troca catiônica com substituição da molécula de Ca por Na no sítio M (Fig.40).

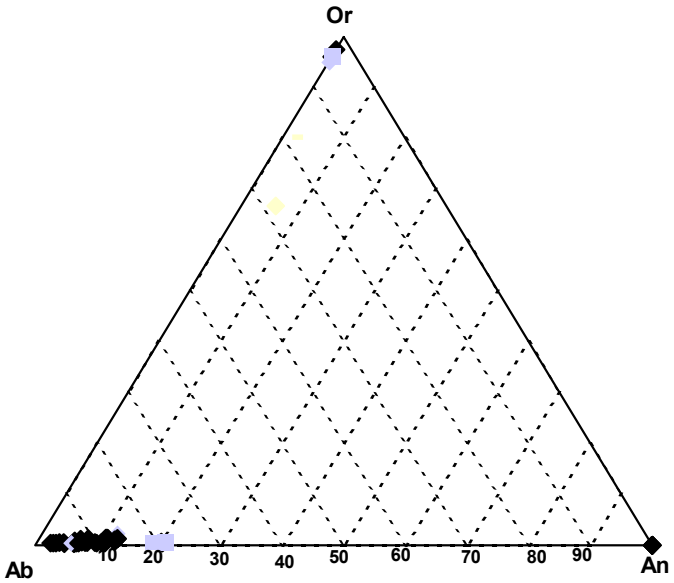


Figura 39. Classificação do plagioclásio dos diques ácidos projetados no diagrama ternário Or-Ab-An. Simbologia: ♦ = Traquito (RC-16); Riolito (RC-18E, RC-55).

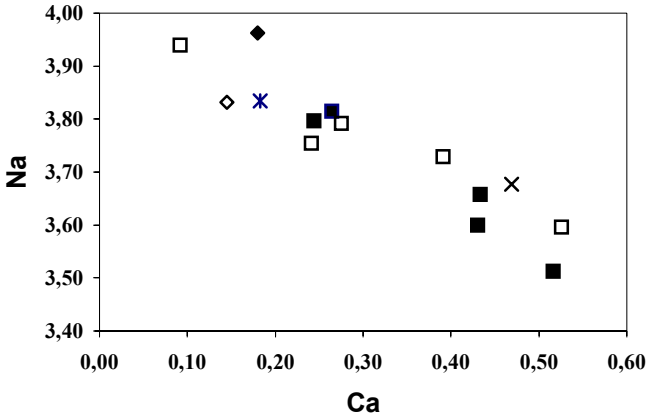


Figura 40. Diagrama de troca catiônica entre Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: ♦ = núcleo; ж = intermediário; ◊ = borda (Traquito - RC-16); ■ = núcleo; × = intermediário; □ = borda; (Riolito -RC-55, RC-18E).

DIQUE ÁCIDO														
Plagioclásio – Cristais de matriz														
	RC- 18E (Riolito)				**RC-16 (Traquito)**			**RC-55 (Riolito)**						
Análise	**C-1**	**B-1**	**C-2**	**B-2**	**C-3**	**Int.3**	**B-3**	**C-4**	**Int.-4**	**B-4**	**C-5**	**B-5**	**C-6**	**B-6**
SiO_2	67,419	68,485	67,082	65,550	67,102	67,608	67,427	65,643	65,530	66,463	64,068	67,447	65,181	64,776
TiO2	0,010	0,015	0,000	0,015	0,000	0,005	0,000	0,000	0,020	0,025	0,005	0,015	0,015	0,005
Al_2O_3	20,365	19,778	20,605	21,233	19,941	20,221	20,314	21,239	21,413	20,632	18,143	20,332	21,109	21,556
Fe_2O_3	0,026	0,116	0,060	0,111	0,489	0,089	0,040	0,098	0,131	0,286	0,013	0,047	0,027	0,066
MnO	0,020	0,000	0,006	0,007	0,019	0,016	0,000	0,014	0,037	0,033	0,028	0,013	0,000	0,000
MgO	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000	0,011	0,017	0,007	0,009	0,008	0,000	0,012	0,025	0,009
CaO	1,306	0,496	1,410	2,072	0,956	0,979	0,770	2,298	2,444	1,463	0,000	1,292	2,265	2,781
Na_2O	11,214	11,682	11,260	10,917	11,647	11,317	11,282	10,722	10,803	11,137	0,558	11,080	10,468	10,491
K_2O	0,083	0,080	0,084	0,095	0,094	0,064	0,090	0,047	0,070	0,055	16,776	0,077	0,080	0,071
BaO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,000	0,000	0,057
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	100,453	100,664	100,507	100,000	100,249	100,311	99,941	100,069	100,458	100,100	99,746	100,315	99,169	99,812

Fórmula Estrutural Calculada Com Base de 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions														
Si	11,773	11,909	11,720	11,546	11,772	11,811	11,812	11,550	11,504	11,672	11,476	11,785	11,562	11,453
Ti	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,002	0,002	0,001
Al	4,192	4,055	4,244	4,409	4,124	4,165	4,195	4,406	4,432	4,272	4,486	4,188	4,414	4,493
Fe^{+3}	0,003	0,015	0,008	0,015	0,065	0,012	0,005	0,013	0,017	0,038	0,012	0,0062	0,003	0,008
∑T	15,970	15,981	15,972	15,972	15,960	15,988	16,013	15,969	15,955	15,985	15,975	15,982	15,981	15,955
Mn	0,003	0,000	0,001	0,001	0,003	0,002	0,000	0,002	0,006	0,005	0,0015	0,002	0,000	0,000
Mg	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,006	0,002
Ca	0,244	0,092	0,264	0,391	0,180	0,183	0,145	0,433	0,469	0,275	0,516	0,241	0,430	0,526
Na	3,797	3,939	3,815	3,729	3,962	3,834	3,832	3,658	3,677	3,792	3,512	3,754	3,600	3,596
K	0,018	0,018	0,019	0,021	0,021	0,014	0,020	0,011	0,016	0,012	0,045	0,017	0,018	0,016
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑M	4,066	4,052	4,098	4,142	4,165	4,036	4,001	4,106	4,160	4,087	4,076	4,018	4,055	4,145
∑Total	20,036	20,033	20,070	20,115	20,126	20,024	20,014	20,075	20,116	20,072	20,052	20,000	20,036	20,101

An	6,019	2,282	6,442	9,444	4,317	4,546	3,616	10,562	11,071	6,747	12,673	6,028	10,632	12,728
Ab	93,526	97,279	93,101	90,041	95,177	95,100	95,881	89,181	88,552	92,950	86,220	93,545	88,921	86,886
Or	0,455	0,438	0,457	0,516	0,505	0,354	0,503	0,257	0,378	0,302	1,108	0,428	0,447	0,387

Tabela 32. *Análises selecionadas de plagioclásio de diques ácidos da região de Piratini, RS.*

IV.3.3. *Zircão*

Analisou-se centro e borda de dois cristais de zircão de traquito (RC-16) e riolito (RC-55) (Tabela 33). A fórmula estrutural foi calculada com base em 16 átomos de oxigênio (Deer *et al.* 1978).

Mesmo com a carência de análises químicas, foi possível realizar dois diagramas de trocas catiônicas (Figs. 41 e 42). No diagrama Zr *versus* ∑TR *(a.f.u.),* nota-se que os conteúdos de Sm, Nd, Gd e Yb são mais elevados nas bordas dos cristais analisados. O mesmo ocorre no diagrama Zr *versus* Hf *(a.f.u.)* com os teores de Hf são mais elevados na borda.

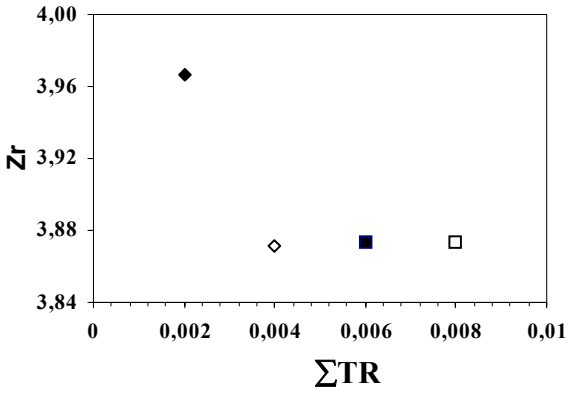


Figura 41. *Diagrama de troca catiônica entre ∑TR versus Zr (a.f.u.) de zircão de diques ácidos da região Piratini, RS. Simbologia: Traquito: ♦ = núcleo do cristal,* ◊ *= borda do cristal; Riolito:* ■ *= núcleo do cristal,* □ *= borda do cristal.*

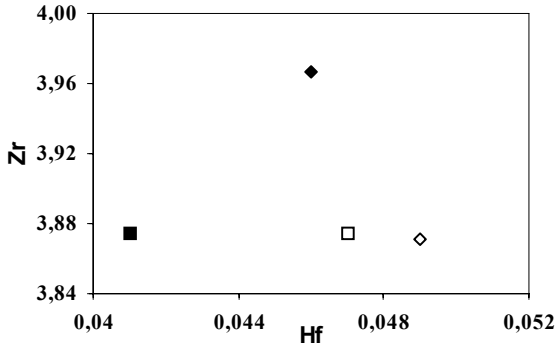


Figura 42. *Diagrama de troca catiônica entre Hf versus Zr (a.f.u.) de cristal de zircão dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 41.*

DIQUE ÁCIDO				
ZIRCÃO				
	RC-16		RC-55	
Análise	**C**	**B**	**C**	**B**
SiO_2	32,42	33,50	32,65	31,69
TiO_2	0,03	0,04	0,02	0,01
Al_2O_3	0,02	0,00	0,03	0,17
Fe_2O_3	0,20	0,24	0,81	1,23
CaO	0,01	0,00	0,03	0,26
ZrO_2	66,60	65,64	65,07	64,32
HfO_2	1,32	1,41	1,19	1,34
ThO_2	0,03	0,00	0,04	0,07
UO_2	0,00	0,03	0,10	0,06
PbO	0,03	0,00	0,04	0,00
Yb_2O_3	0,00	0,02	0,09	0,13
Gd_2O_3	0,03	0,02	0,05	0,05
P_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd_2O_3	0,00	0,02	0,02	0,02
Y_2O_3	0,08	0,14	0,53	0,65
Sm_2O_3	0,01	0,05	0,00	0,01
∑ Total	100,76	101,10	100,64	100,01
∑TR	0,04	0,11	0,16	0,21

∑TR.= Soma dos Elementos Terras Raras: Sm, Nd, Gd, Yb

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 16 Átomos de Oxigênio.

Cátions				
Si	3,960	4,051	3,986	3,914
Ti	0,003	0,004	0,002	0,001
Al	0,003	0,000	0,004	0,025
Fe^{+3}	0,018	0,022	0,074	0,114
Ca	0,001	0,000	0,004	0,034
Zr	3,967	3,871	3,874	3,874
Hf	0,046	0,049	0,041	0,047
Th	0,001	0,000	0,001	0,002
U	0,000	0,000	0,003	0,002
Pb	0,001	0,000	0,001	0,000
Yb	0,000	0,001	0,003	0,005
Gd	0,001	0,001	0,002	0,002
P	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,000	0,001	0,001	0,001
Y	0,005	0,009	0,034	0,043
Sm	0,000	0,002	0,000	0,000
∑ Total	8,008	8,009	8,032	8,065
∑TR	0,002	0,004	0,006	0,008

Tabela 33. *Análises selecionadas de zircão de diques ácidos da região de Piratini, RS.*

∑TR = *Soma dos cátions dos elementos terras raras: Gd, Nd, Sm, Yb*

IV.3.4. *Biotita*

Foram analisadas porções do núcleo de cristais de biotita de traquito e riolito. Os dados analíticos estão na tabela 34. O procedimento para o tratamento dos dados analíticos foi o mesmo utilizado nas biotitas anteriores, seguindo as recomendações do IMA - International Mineralogical Association - (Rieder, 1999).

Utilizou-se para os cálculos, a fórmula geral:

$IM_{2-3}\ \square_{1-0}\ T_4\ O_{10}\ A_2$

I = K, Na, Ca, Ba, Rb, Cs e NH_4

M = Li, Fe e Mn (di ou trivalente), Mg, Al, Ti, Zn, Al^{VI}, Cr, V.

$\square$ = é vago (posição vaga é comum na estrutura das micas – Rieder, 1998).

T = Si, Al^{IV}, Be, B, Fe (di ou trivalente)

A = Cl, F, OH, O, S.

No diagrama Al^{IV} versus Fe/(Fe+Mg) (Fig. 43) de classificação de micas, modificado de Deer et al. (1978), as biotitas formam um trend entre os pólos da annita e siderofilita, e mostram composições intermediárias entre estas duas componentes. A média de fe# 0,954 (intervalos de 0,891-0,998); a média do mg# é 0,107 (intervalos de 0,002-0,099). O baixo índice de magnésio, evidência caráter mais evoluído para este grupo, comparado com as demais biotitas analisadas. O diagrama mg# contra fe# (Fig. 44) mostra uma correlação negativa, refletindo magmas mais evoluídos.

No diagrama Al^{IV} versus Si (a.f.u.) nota-se correlação inversa linear entre os elementos, indicando a substituição do Al^{IV} por Si no sítio tetraédrico (Fig. 45).

O diagrama FeO total versus Al_2O_3 (%) apresenta os limites propostos por Abdel-Rahman (1994) para caracterizar suítes alcalinas, cálcio-alcalinas e peraluminosas. A biotita analisada das amostras de traquito e riolito ocupa os campos das suítes alcalina e peraluminosa. (Fig. 46).

O diagrama triangular 10* TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al. 1986) mostra a existência de uma evolução completa entre as biotitas, com a presença de biotitas primárias e secundárias (Fig. 47).

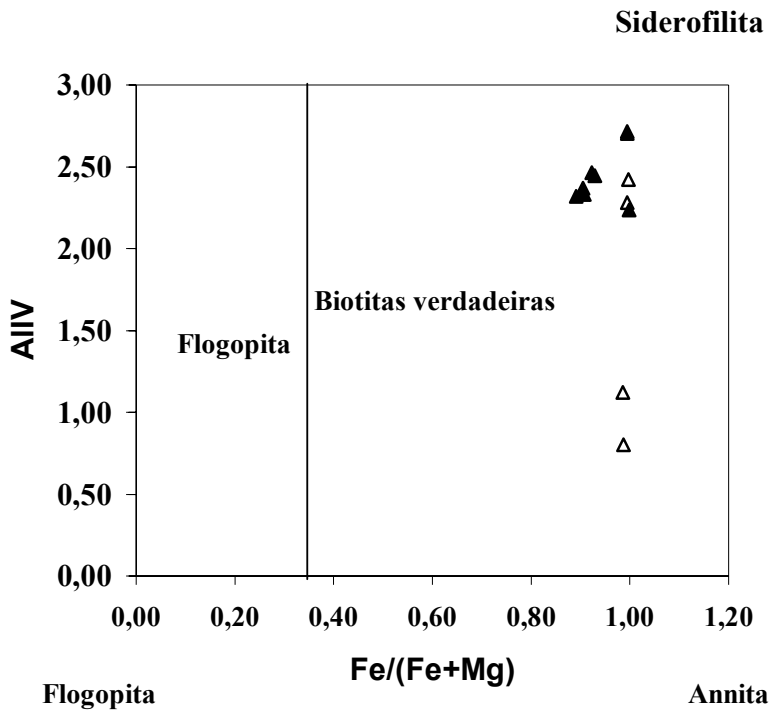


Figura 43. *Diagrama Fe/(Fe+Mg) versus Al^{IV} de caracterização de biotitas dos diques ácidos da região de Piratini, RS. (modificado de Deer et al. 1978). Simbologia: Δ = traquito; ▲= riolito*

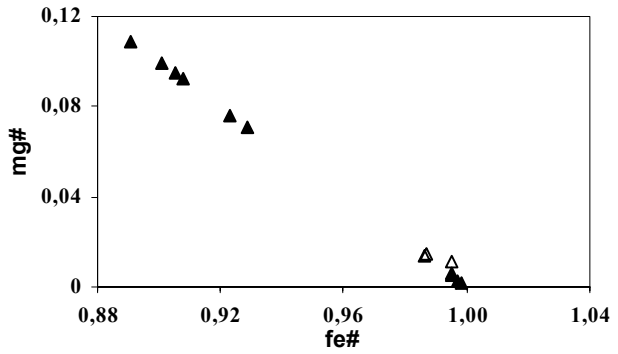


Figura 44. *Diagrama de troca catiônica entre fe# versus mg# (a.f.u.) de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 43.*

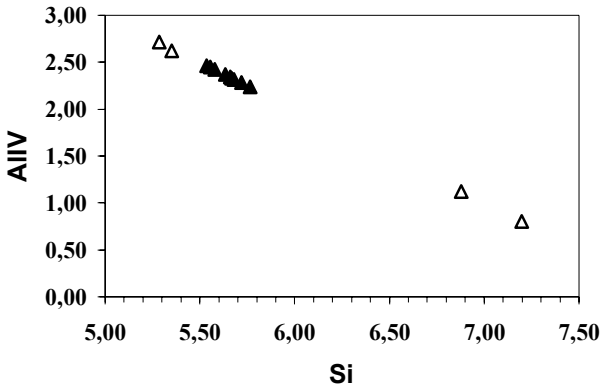


Figura 45. *Diagrama de troca catiônica entre Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 43.*

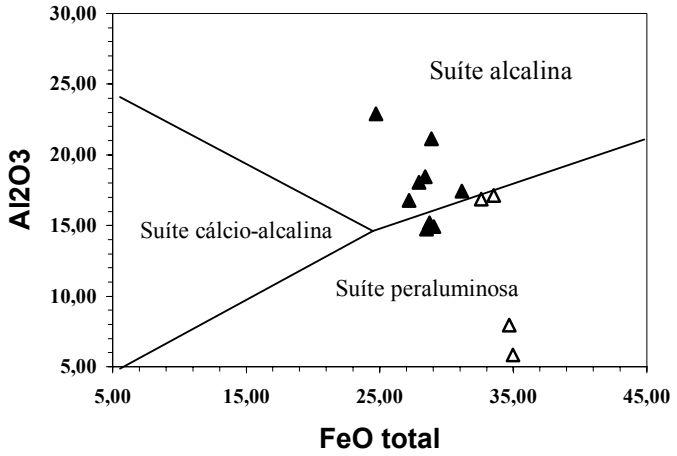


Figura 46. *Diagrama FeO total versus Al_2O_3 (%) (Abdel-Rahman 1994) discriminante de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS. Simbologia: ▲ = riolito; Δ = traquito.*

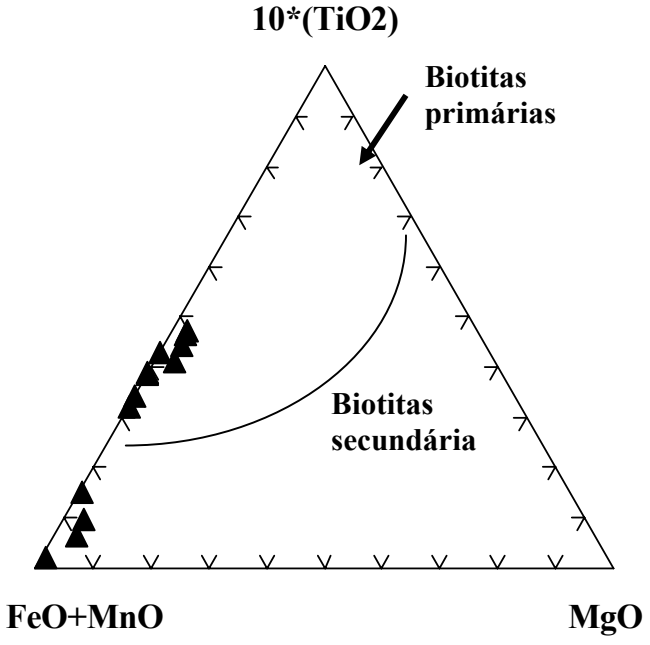


Figura 47. *Diagrama triangular 10* TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al. 1986) para as biotitas dos diques da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 43.*

DIQUES ÁCIDOS

Biotita

Análise	RC-16 (Traquito)				RC-55 (Riolito)				RC-18E (Riolito)				
SiO_2	40,922	42,000	30,807	30,955	34,240	34,194	36,479	35,497	34,255	34,603	35,125	34,680	34,425
TiO_2	0,640	0,082	1,601	1,723	0,181	0,335	1,811	2,113	1,965	2,759	2,124	2,892	2,546
Al_2O_3	7,957	5,834	17,110	16,851	22,904	21,116	18,435	18,036	17,449	14,729	16,756	14,936	15,164
FeO	34,674	34,963	33,525	32,609	24,740	28,885	28,380	27,928	31,142	28,504	27,189	29,059	28,744
MnO	1,039	1,267	0,186	0,465	0,521	0,553	0,040	0,038	0,077	1,547	1,366	1,513	1,362
MgO	0,275	0,255	0,090	0,101	1,151	1,245	0,029	0,074	0,056	1,622	1,872	1,716	1,776
CaO	0,052	0,091	0,062	0,113	0,029	0,028	0,013	0,047	0,047	0,037	0,058	0,031	0,021
Na_2O	0,262	0,231	0,166	0,291	0,077	0,068	0,107	0,089	0,107	0,085	0,056	0,032	0,060
K_2O	4,972	4,234	8,115	7,791	5,405	4,013	9,617	9,221	8,580	9,228	9,121	9,486	9,666
BaO	0,563	0,314	0,000	0,000	0,000	0,106	0,079	0,119	0,019	0,067	0,000	0,000	0,000
Cl	0,008	0,023	0,024	0,058	0,009	0,006	0,128	0,099	0,088	0,034	0,026	0,045	0,024
F	0,000	0,021	0,060	0,311	0,118	0,006	0,200	0,235	0,249	0,393	0,087	0,309	0,060
∑Total	91,391	90,334	91,790	91,268	90,375	89,554	95,317	93,496	94,039	93,609	93,78	94,718	93,847

Cátions													
Si	6,879	7,197	5,285	5,297	5,537	5,554	5,764	5,719	5,579	5,668	5,681	5,633	5,660
Al^{IV}	1,121	0,803	2,715	2,703	2,463	2,446	2,236	2,281	2,421	2,332	2,319	2,367	2,340
∑Tetraédrica	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,455	0,376	0,745	0,696	1,904	1,598	1,198	1,145	0,929	0,513	0,876	0,494	0,599
Ti	0,081	0,011	0,207	0,222	0,022	0,041	0,215	0,256	0,241	0,340	0,258	0,353	0,315
Fe^t	4,874	5,011	4,810	4,666	3,346	3,924	3,750	3,763	4,242	3,905	3,678	3,948	3,952
Mn	0,148	0,184	0,027	0,067	0,071	0,076	0,005	0,005	0,011	0,215	0,187	0,208	0,190
Mg	0,069	0,065	0,023	0,026	0,277	0,301	0,007	0,018	0,014	0,396	0,451	0,415	0,435
∑Octaédrica	5,628	5,646	5,812	5,677	5,620	5,940	5,176	5,188	5,435	5,368	5,451	5,419	5,491
Ba	0,037	0,021	0,000	0,000	0,000	0,007	0,005	0,008	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000
Ca	0,009	0,017	0,011	0,021	0,005	0,005	0,002	0,008	0,008	0,006	0,010	0,005	0,004
Na	0,085	0,077	0,055	0,097	0,024	0,021	0,033	0,028	0,034	0,027	0,018	0,010	0,019
K	1,066	0,926	1,776	1,701	1,115	0,832	1,939	1,895	1,783	1,929	1,882	1,966	2,027
∑Intercamada	1,198	1,040	1,843	1,818	1,144	0,865	1,979	1,939	1,826	1,966	1,910	1,981	2,050
∑Total	14,826	14,686	15,654	15,495	14,765	14,805	15,155	15,126	15,261	15,334	15,361	15,400	15,541
Cloro *	0,003	0,010	0,010	0,024	0,004	0,003	0,054	0,042	0,037	0,008	0,006	0,010	0,005

Flúor *	0,000	0,005	0,014	0,070	0,027	0,001	0,045	0,053	0,056	0,165	0,037	0,130	0,025
-OH=F,Cl	0,003	0,014	0,024	0,095	0,030	0,004	0,099	0,095	0,093	0,173	0,042	0,140	0,031
fe#	0,986	0,987	0,995	0,995	0,923	0,929	0,998	0,995	0,997	0,908	0,891	0,905	0,901
mg#	0,014	0,013	0,005	0,006	0,076	0,071	0,002	0,005	0,003	0,092	0,109	0,095	0,099
Al^{Total}	1,577	1,179	3,460	3,399	4,367	4,044	3,434	3,426	3,350	2,845	3,195	2,861	2,939

Tabela 34. *Análises selecionadas de biotita dos diques ácidos da região de Piratini, RS.*

IV.4. *Diques Básicos*

IV.4.1. *Feldspato Alcalino*

Nas amostras dos diques básicos, embora o feldspato alcalino seja raro, foi possível analisar dois fenocristais na amostra RC-20B. Foi analisado núcleo, porção intermediária e borda dos cristais. Os dados analíticos estão expostos na tabela 35. No diagrama molecular, Or-Ab-An (Fig. 48) os cristais de feldspato alcalino plotam ao longo da linha Ab-Or. Os diferentes valores obtidos em análises se devem a existência de pequenas exsoluções sódicas no interior de porções mais potássicas. Este tipo de comportamento é também observado no feldspato alcalino do dique ácido descrito anteriormente.

No diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) (Fig. 49) mostra leve correlação positiva e, no diagrama Na *versus* K *(a.f.u.)* (Fig. 50) nota-se uma efetiva substituição entre estes elementos, sugerindo uma substituição do tipo ortoclásio-albita. Esta diferença de teor na composição do feldspato pode ser atribuída às mudanças de composição do magma ou de suas condições físico-químicas (Deer *et al.* 1995). De acordo com Spear (1993), isto pode proporcionar substituições na estrutura do cristal do tipo simples – KNa_{-1}= ortoclásio-albita ou dupla – $NaSiCa_{-1}Mg_{-1}$ = albita – anortita. Os dados obtidos mostram teores relativamente baixos em moléculas de anortita ($An_{0,05-3,7}$).

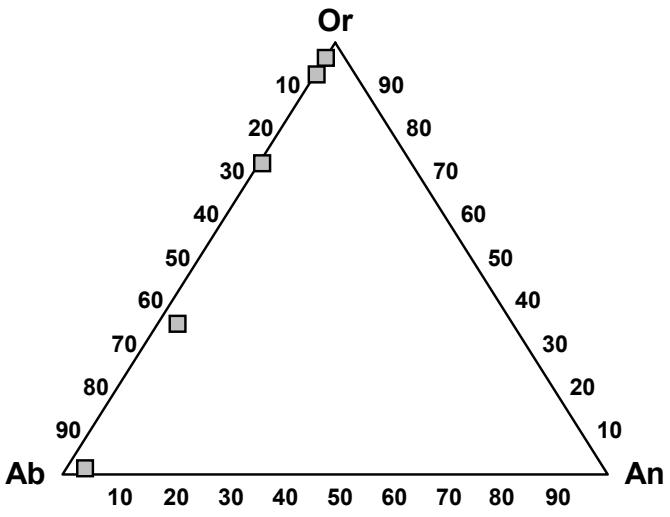


Figura 48. *Classificação do feldspato alcalino dos diques básicos projetados no diagrama Or-Ab-An.*
Simbologia: = dique básico

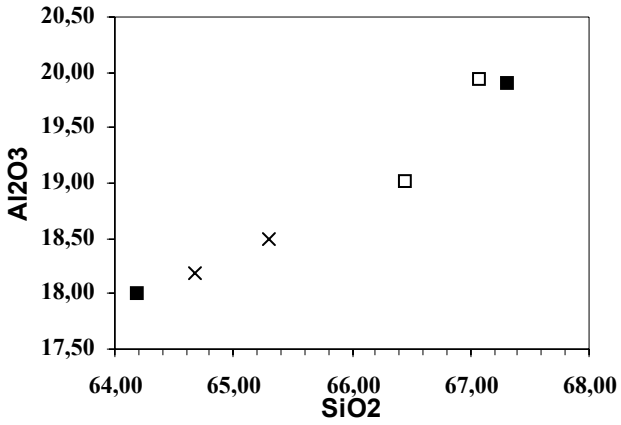


Figura 49. *Diagrama SiO_2 versus Al_20_3 (%) de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: ■ = núcleo; ×= intermediário; □ = borda (Basalto – RC-20B).*

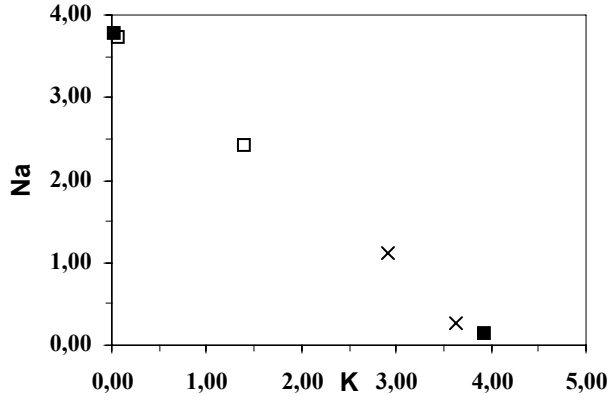


Figura 50. *Diagrama K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 49.*

DIQUES BÁSICOS						
Feldspato alcalino						
Fenocristais						
RC- 20B (Basalto)						
			Int.1			
Análise	***C-1***	***B-1***	***C-2***		***Int.2***	***B-2***
SiO_2	64,18	66,44	67,30	65,30	64,68	67,07
TiO_2	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
Al_2O_3	18,00	19,02	19,90	18,50	18,19	19,94
Fe_2O_3	0,20	0,25	0,33	0,04	0,14	0,52
MnO	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
CaO	0,01	0,77	0,77	0,12	0,05	0,72
BaO	0,04	0,12	0,01	0,13	0,00	0,00
Na_2O	0,39	7,00	11,06	3,11	0,77	10,94
K_2O	16,46	6,04	0,06	12,41	15,36	0,26
∑Total	99,36	99,67	99,47	99,74	99,30	99,48

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio

Cátions						
Si	11,983	11,924	11,847	11,974	12,007	11,823
Ti	0,006	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
Al	3,962	4,024	4,130	3,999	3,981	4,144
Fe^{+3}	0,028	0,034	0,044	0,006	0,020	0,069
∑T	15,979	15,982	16,020	15,979	16,016	16,036
Mn	0,002	0,000	0,006	0,006	0,000	0,000
Ca	0,002	0,148	0,145	0,024	0,010	0,136
Ba	0,003	0,008	0,001	0,009	0,000	0,000
Na	0,141	2,436	3,775	1,106	0,277	3,739
K	3,921	1,383	0,013	2,903	3,638	0,058
∑M	4,069	3,975	3,940	4,048	3,925	3,934
∑Total	20,047	19,957	19,961	20,028	19,941	19,970

An	0,05	3,73	3,69	0,58	0,25	3,45
Ab	3,47	61,40	95,96	27,42	7,06	95,05
Or	96,47	34,86	0,34	71,99	92,68	1,48

Tabela 35. Análises selecionadas de feldspato alcalino dos diques básicos da região de Piratini, RS.
C=centro; B= borda; Int.= porção intermediária

IV. 4.2. *Plagioclásio*

Analisou-se a composição química de alguns cristais de plagicolásio das amostras RC-50, RC-20B, RC-51 e RC-9 (Tabela 36 e 37). A composição dos cristais de plagioclásio dos diques básicos exibe altos teores nas moléculas de anortita (com exceção da amostra RC-51) que apresenta teores baixos. No diagrama ternário Or-Ab-An (Fig. 51) o plagioclásio situa-se nos campos da albita, andesina e labradorita, cujos teores na molécula de anortita são: $An_{3,6-3,0}$ (albita); An_{43-50} (andesina) e An_{50-60} (labradorita).

No diagrama Na *versus* Ca *(a.f.u.)* (Fig. 52) ocorre substituição da componente Na por Ca no sítio M, com contribuições significativas de Ca (*a.f.u.*) nos plagioclásios determinados. Comparativamente, os fenocristais apresentam teores mais elevados em Ca do que os cristais da matriz (Tabela 36). Neste caso sugere-se que durante a cristalização magmática o líquido tornou-se mais empobrecido em cálcio.

Os perfis das figuras 53 e 54 representam ilustrações de alguns zonamentos observados em cristais de plagioclásio. A figura 53 é representativa de fenocristais da amostra RC-9 e os zonamentos em ambos plagioclásios é inverso oscilatório. Nota-se que o núcleo apresenta teores de anortita mais baixos do que as porções intermediárias, entretanto às regiões das bordas são mais elevadas em teores de anortita quando comparada com o núcleo.

Nos perfis da figura 54, os zonamentos são do tipo inverso e oscilatório. São apresentados três *trends* representando núcleo, porção intermediária e porção de borda das amostras RC-50 e RC-20B.

O *trend* composicional da solução-sólida centro e borda tem sido usado como indicativo para avaliações das condições de temperatura de cristalização do magma (MacKenzie 1982). Neste sentido, os plagioclásios analisados evidenciam a predominância de zonamento inverso indicando condições iniciais de baixas temperaturas de cristalização. Por outro lado, também ocorre a existência de zonamento normal An = 47 (núcleo) e An = 42 (borda) que indica a existência de altas condições de temperatura de cristalização desses minerais.

Os perfis realizados em fenocristais das amostras acima indicam a existência de zonamento oscilatório e inverso. Observa-se que a cristalização se iniciou na parte central do cristal enriquecida em Na, com a composição mantendo-se relativamente estável em um dos cristais, enquanto em outro se dá um aumento relativamente rápido nos teores de anortita, ocorrendo logo depois um empobrecimento relativamente rápido em Ca no final da cristalização, onde os teores em anortita mostram-se similares ao do início da cristalização.

A análise de centro e borda de três cristais da amostra RC-51, mostra que os teores de anortita aumentam em direção às bordas, evidenciando o aumento do conteúdo em cálcio na solução.

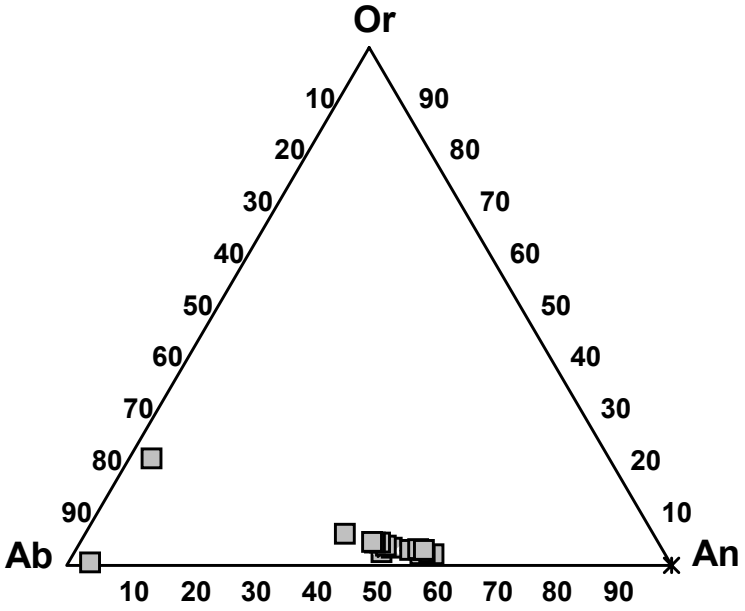


Figura 51. *Diagrama ternário Or-Ab-An para a classificação de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Fig 48.*

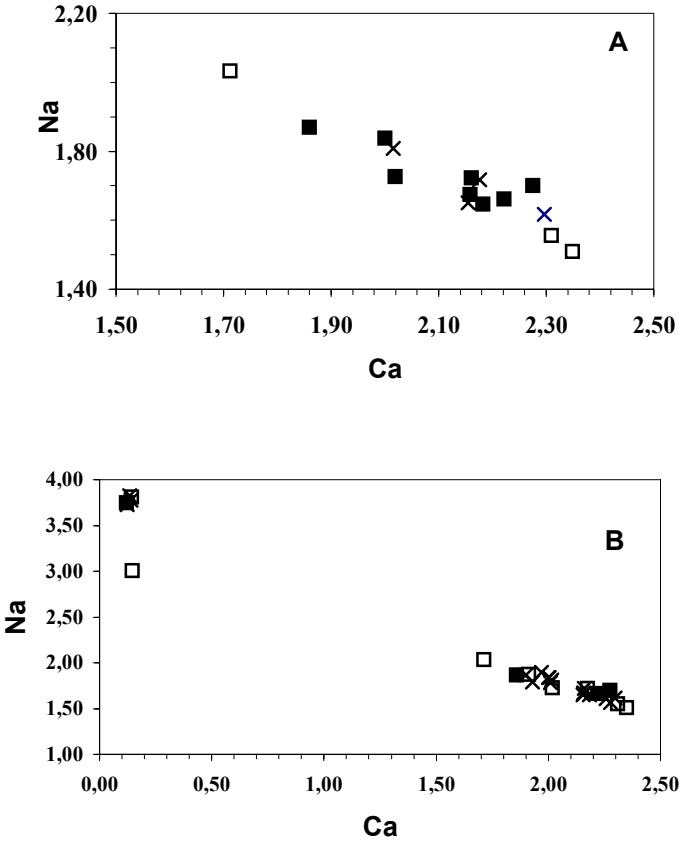


Figura 52. *Diagrama Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 49. Em A = Análises de andesina e labradorita; em B = albita, andesina e labradorita.*

Perfis em Fenocristal de Plagioclásio de Diques Básicos da Região de Piratini, RS.

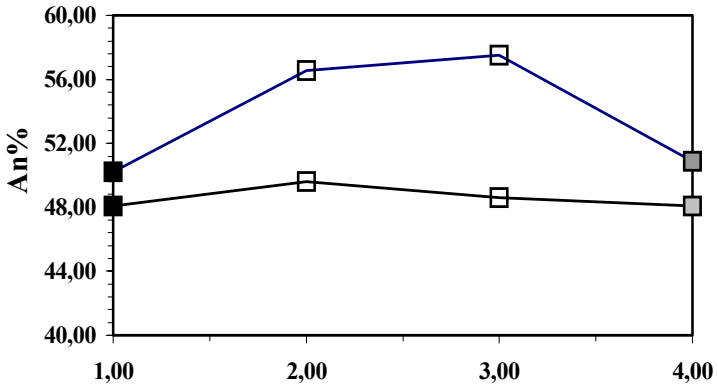


Figura 53. *Perfil em dois fenocristal de plagioclásio de diques básicos da região de Piratini, RS. (RC-9). Símbolos*: ■=*núcleo*; □= *porção intermediária*; = *borda. Em ambos os cristais zonamento é oscilatório inverso.*

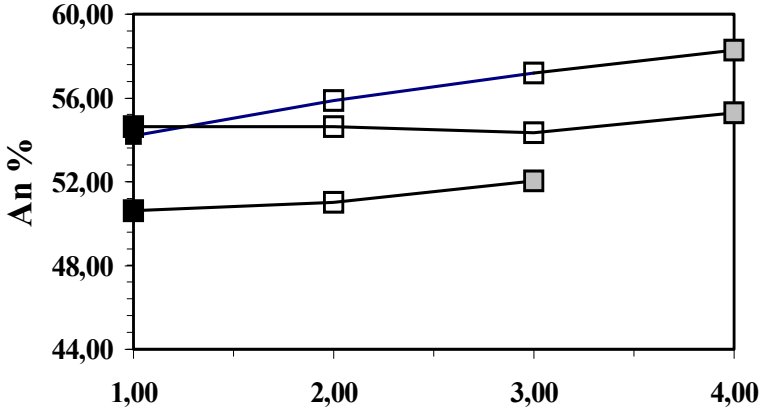


Figura 54. *Perfil em três fenocristal de plagioclásio de diques básicos da região de Piratini, RS (RC-50; RC-20B). Simbologia: Idem fig. 53. Os cristais apresentam zonamento inverso, com o cristal do meio mostrando-se levemente oscilatório.*

DIQUES BÁSICOS															
Plagioclásio															
Fenocristais							Fenocristais								
RC-50							RC-20 B								
Análises	C-1	B-1	C-2	C-1	Int.3	B-2	C-1	Int.1	B-1	C-2	B-2	C-3	Int.3	Int.4	B-3
SiO_2	53,22	53,41	54,22	53,48	53,72	53,86	55,54	55,92	55,35	57,13	57,15	55,06	54,86	54,72	54,27
TiO_2	0,28	0,05	0,12	0,12	0,12	0,03	0,10	0,12	0,06	0,05	0,00	0,14	0,09	0,00	0,04
Al_2O_3	28,72	29,63	28,37	28,47	29,18	29,40	27,90	28,18	28,22	27,31	26,48	28,57	28,80	28,55	28,71
Fe_2O_3	0,47	0,43	0,54	0,47	0,50	0,41	0,77	0,70	0,60	0,35	0,70	0,33	0,36	0,38	0,28
MnO	0,00	0,00	0,03	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,02	0,01
CaO	11,35	12,14	11,08	11,62	11,87	11,93	10,38	10,54	10,47	9,72	8,84	11,22	11,19	11,24	11,22
BaO	0,13	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,09	0,04	0,00	0,17	0,00	0,03
Na_2O	4,69	4,31	4,88	4,80	4,62	4,44	5,27	5,23	4,95	5,40	5,80	4,81	4,82	4,90	4,68
K_2O	0,44	0,36	0,45	0,41	0,38	0,36	0,43	0,55	0,58	0,90	1,04	0,51	0,48	0,49	0,51
∑Total	99,30	100,34	99,71	99,46	100,40	100,47	100,40	101,24	100,37	100,96	100,09	100,64	100,86	100,30	99,74

Fórmula Estrutural Calculada com base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions															
Si	9,719	9,645	9,870	9,770	9,700	9,728	9,988	9,977	9,961	10,197	10,332	9,885	9,861	9,887	9,850
Ti	0,038	0,007	0,016	0,016	0,016	0,004	0,014	0,016	0,008	0,007	0,000	0,019	0,012	0,000	0,005
Al	6,184	6,308	6,089	6,132	6,211	6,260	5,915	5,927	5,987	5,747	5,644	6,047	6,103	6,082	6,143
Fe^{+3}	0,065	0,058	0,009	0,028	0,068	0,009	0,104	0,094	0,081	0,047	0,009	0,045	0,018	0,006	0,003
∑T	16,006	16,019	15,984	15,947	15,995	16,001	16,021	16,014	16,037	15,997	15,985	15,996	15,995	15,975	16,002
Mn	0,000	0,000	0,005	0,014	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,009	0,003	0,002
Ca	2,221	2,349	2,161	2,275	2,296	2,309	2,000	2,015	2,019	1,859	1,712	2,158	2,155	2,176	2,182
Ba	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,006	0,003	0,000	0,012	0,000	0,002
Na	1,661	1,509	1,723	1,700	1,617	1,555	1,838	1,809	1,727	1,869	2,033	1,674	1,680	1,717	1,647
K	0,103	0,083	0,105	0,096	0,088	0,083	0,099	0,125	0,133	0,205	0,240	0,117	0,110	0,113	0,118
∑M	3,891	3,858	3,889	3,989	3,914	3,868	3,838	3,824	3,757	3,734	3,753	3,833	3,856	3,896	3,833
∑Total	19,897	19,877	19,873	19,936	19,909	19,869	19,858	19,838	19,794	19,731	19,738	19,829	19,851	19,871	19,835

An	55,744	59,603	54,190	55,881	57,390	58,500	50,811	51,019	52,042	47,268	42,967	54,648	54,628	54,324	55,281
Ab	41,683	38,292	43,190	41,772	40,422	39,399	46,683	45,812	44,525	47,521	51,015	42,395	42,582	42,856	41,727
Or	2,573	2,104	2,620	2,348	2,188	2,102	2,506	3,170	3,433	5,211	6,019	2,958	2,790	2,820	2,992

Tabela 36. *Análises selecionadas de plagioclásio dos diques básicos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS. C=centro; B=borda; Int.=porção intermediária*

DIQUES BÁSICOS

Plagioclásio

Fenocristal									**Matriz**					
RC–9									**RC-51**					
Análise		**Int.4.1**	**Int.4.2**			**Int.5.1**	**Int.5.2**			**B-1**	**C-2**	**B-2**	**C-3**	**B-3**
	C-4			**B-4**	**C-5**			**B-5**	**C-1**					
SiO_2	55,94	54,05	54,08	55,95	56,37	56,69	55,88	56,05	68,55	66,81	67,07	67,66	68,24	67,73
TiO_2	0,05	0,16	0,06	0,05	0,07	0,08	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	003	0,00
Al_2O_3	28,00	29,17	29,04	28,13	27,52	27,80	27,56	27,66	20,07	19,31	19,82	19,87	19,94	19,78
Fe_2O_3	0,40	0,38	0,40	0,44	0,40	0,38	0,46	0,37	0,04	0,31	1,07	0,19	0,11	0,17
MnO	0,04	0,05	0,00	0,06	0,03	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CaO	10,44	11,70	11,78	10,48	9,89	10,10	10,20	9,91	0,76	0,76	0,66	0,71	0,66	0,76
BaO	0,00	0,14	0,01	0,12	0,00	0,06	0,10	0,02	0,08	0,04	0,03	0,04	0,10	0,00
Na_2O	5,30	4,61	4,47	5,15	5,37	5,18	5,42	5,38	11,22	8,70	10,92	11,24	11,38	11,20
K_2O	0,63	0,54	0,52	0,67	0,81	0,75	0,76	0,77	0,10	3,62	0,11	0,09	0,13	0,09
∑Total	100,81	100,80	100,36	101,06	100,44	101,05	100,38	100,25	100,84	99,55	99,69	99,87	100,60	99,76

Fórmula Estrutural Calculada com base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions														
Si	10,018	9,728	9,758	10,004	10,116	10,108	10,061	10,085	11,894	11,897	11,805	11,866	11,600	11,884
Ti	0,007	0,022	0,008	0,007	0,009	0,011	0,000	0,003	0,000	0,001	0,003	0,005	0,384	0,000
Al	5,912	6,189	6,177	5,930	5,823	5,844	5,850	5,867	4,106	4,054	4,113	4,108	3,996	4,092
Fe^{+3}	0,054	0,051	0,054	0,059	0,054	0,051	0,062	0,050	0,005	0,042	0,142	0,025	0,014	0,022
∑T	15,991	15,990	15,998	16,000	16,002	16,013	15,974	16,005	16,005	15,993	16,062	16,005	15,994	15,999
Mn	0,006	0,008	0,000	0,009	0,005	0,006	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Ca	2,003	2,256	2,278	2,008	1,902	1,930	1,968	1,911	0,141	0,145	0,124	0,133	0,120	0,143
Ba	0,000	0,010	0,001	0,008	0,000	0,004	0,007	0,001	0,005	0,003	0,002	0,003	0,007	0,000
Na	1,840	1,609	1,564	1,786	1,869	1,791	1,892	1,877	3,775	3,004	3,727	3,822	3,751	3,811
K	0,144	0,124	0,120	0,153	0,185	0,171	0,175	0,177	0,022	0,822	0,025	0,020	0,028	0,020
∑M	3,994	4,007	3,962	3,964	3,961	3,901	4,042	3,976	3,944	3,974	3,878	3,979	3,906	3,975
∑Total	19,984	19,997	19,960	19,964	19,963	19,915	20,016	19,981	19,949	19,967	19,941	19,983	19,900	19,974

An	50,24	56,56	57,50	50,88	48,07	49,59	48,77	48,19	3,59	3,65	3,21	3,36	3,08	3,60
Ab	46,15	40,33	39,48	45,25	47,24	46,02	46,90	47,35	95,85	75,64	96,15	96,14	96,19	95,90
Or	3,61	3,11	3,02	3,87	4,69	4,38	4,33	4,46	0,56	20,71	0,64	0,51	0,72	0,51

Tabela 37. *Análises selecionadas de plagioclásio dos diques básicos associados ao Batólito Pelotas da região de Piratini, RS.*
C=centro;B=borda; Int.=porção intermediária

IV.4.3. Piroxênio

Foram analisados quimicamente cristais de piroxênio de cinco amostras de diques básicos e os resultados analíticos estão expostos nas tabelas 38, 39 e 40.

O piroxênio é a principal fase mineral máfica dos diques básicos e ocorre associado com apatita, titanita e minerais opacos. Análise do núcleo, porção intermediária e borda em alguns cristais permitiu identificar um leve zonamento. Para a classificação do piroxênio, utilizou-se a nomenclatura proposta por Morimoto (1988), cuja fórmula estrutural é a seguinte: $M_2M_1T_2O_2$, calculada com base em 6 átomos de oxigênio e 4 cátions. O sítio M_2 compreende os elementos Mg^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Ca^{+2}, Na^{+2}, K^{+1}, Li^{+1}

O Sítio M_1 = Al^{VI+3}, Ti^{+4}, Fe^{+3}, Fe^{+2}, Cr^{+3}, Mg^{+3}, V^{+3}, Ti^{+3}, Zr^{+4}, Sc^{+3}, Zn^{+2}, Mn^{+2}

E o Sítio T = Si^{+4}, Al^{IV+3}, Fe^{+3}.

O sítio T representa a coordenação catiônica tetraédrica; M_1 corresponde aos cátions de coordenação octaédrica regular, enquanto M_2 corresponde aos cátions de coordenação octaédrica irregular.

Foram utilizadas ainda as recomendações de Droop (1987) para o cálculo da relação Fe^{+2} /Fe^{+3} e a partir da fórmula F= 2X(1-T/S) foi recalculado o ferro para ser distribuído na fórmula estrutural de cada cristal analisado. De acordo com o autor, F corresponde ao número de íons de Fe^{+3} presentes pelo número (X) de átomos de oxigênio na fórmula do mineral; T corresponde ao número ideal de cátions por unidade de fórmula e S representa o total de cátions analisados pelo número (X) de oxigênios calculados, assumindo que todo o Ferro está presente como Fe^{+2}.

Para a classificação do piroxênio realizaram-se cálculos das componentes Wo-Es-Fs e lançou-se no diagrama ternário (Morimoto 1988). As fórmulas estruturais das componentes Wo-Es-Fs são as seguintes: Wollastonita: $Ca_2Si_2O_6$; Enstatita: $Mg_2Si_2O_6$ e Ferrossilita: $Fe^{+2}{}_2Si_2O_6$.

Os dados químicos do piroxênio analisado revelam conteúdos elevados de alumínio, sódio e titânio. De acordo com Kushiro (1960) teores elevados de Al_2O_3 e TiO_2 no clinopiroxênio são características de associações magmáticas alcalinas subsaturadas em sílica. O piroxênio analisado apresenta valores de Al_2O_3 e TiO_2 contidos no intervalo de 1,55 a 6,48 (%) e 0,70 a 3,28 (%) respectivamente, muito acima daquelas encontradas em associações toleíticas.

Os teores de CaO são elevados e praticamente constantes, com o componente wollastonita entre 38,02 a 47,78 % caracterizando o clinopiroxênio como augita no diagrama de classificação triangular Wo-En-Fs (Fig. 55).

A augita determinada apresenta a seguinte fórmula estrutural:

$Wo_{38,02-47,78}En_{30,33-43,96}Fs_{14,32-21,02}$.

Os teores em MgO situam-se entre 10,21 e 15,38 (%), havendo pequenas diferenças composicionais entre o centro e a borda dos cristais. Nas amostras não há uma evidência clara de variação na composição do MgO através dos cristais. Isto é confirmado pelo mg# o qual possui igualmente valores muito próximos entre centro, porção intermediária e borda. Estes dados sugerem pouca variação da composição global do líquido durante a cristalização dos clinopiroxênios. Observa-se que o sítio M_2 é ocupado praticamente pelo Ca (a.f.u.) com pequenas contribuições de Fe^{+2} e Na (a.f.u.). No sítio M_1, a maior contribuição é dada pelo Mg, seguida pelo Fe^{+2}, Ti, Fe^{+3} e Al^{VI+3} (a.f.u.). O sítio T apresenta quantidade elevadas de Si, acompanhado de uma pequena de contribuição do Al^{IV+3} (a.f.u.).

Nos diagramas de substituição entre elementos catiônicos, as distribuições deram-se nos três sítios. Na distribuição dos cátions no sítio T, o Al^{IV+3} é substituído pelo Si (Fig. 56). A excelente correlação do alumínio com o silício deve estar associada à substituição do Al^{IV+3} na posição tetraédrica, já que não ocorrem mudanças de conteúdo na coordenação octaédrica,

indicando que o caráter subsaturado em sílica do líquido magmático é determinante pela incorporação do alumínio na estrutura do piroxênio.

Entretanto as análises dos cristais mostram a diminuição dos teores de TiO_2 (%) do centro para as bordas dos cristais (Tabs. 38, 39 e 40) com o avanço da cristalização magmática. Esta variação química sugere cristalização do piroxênio em um líquido magmático substaurado em sílica e sob condições progressivamente mais evoluídas. Os teores elevados de Al_2O_3 (intervalos de 1,55-6,48%) e de TiO_2 (intervalos de 0,70-3,28%) são características de associações magmáticas alcalinas (Kushiro1960).

No sítio M_2, as principais substituições ocorrem entre Mg e Ca (a.f.u.) (Fig. 58) e Fe^{+2} e Ca (a.f.u.) (Fig. 59).

Com base na proposta de Spear (1993), relativos às substituições previstas para o piroxênio, sugere-se que as amostras estudadas apresentam substituições do tipo tschermackita na evolução do piroxênio dos diques básicos, conforme sugerido pelas seguintes substituições de trocas: $FeMg_{-1}$; $CaMg_{-1}$; $Fe^{+3}Al_{-1}$; $Al^{VI}Al^{IV}Mg_{-1}Si_{-1}$.

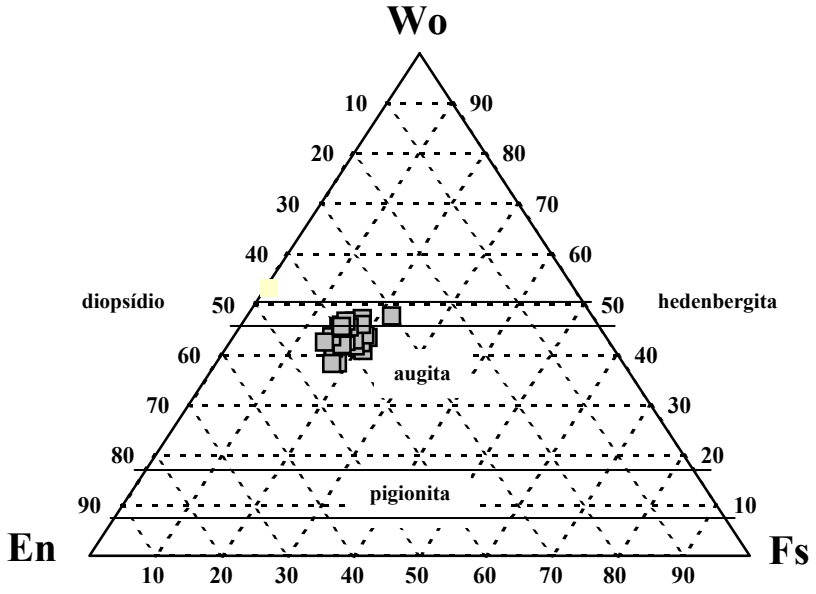


Figura 55. *Classificação de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS, com base no diagrama Wo-Es-Fs (Morimoto 1988). Simbologia: Idem fig. 48.*

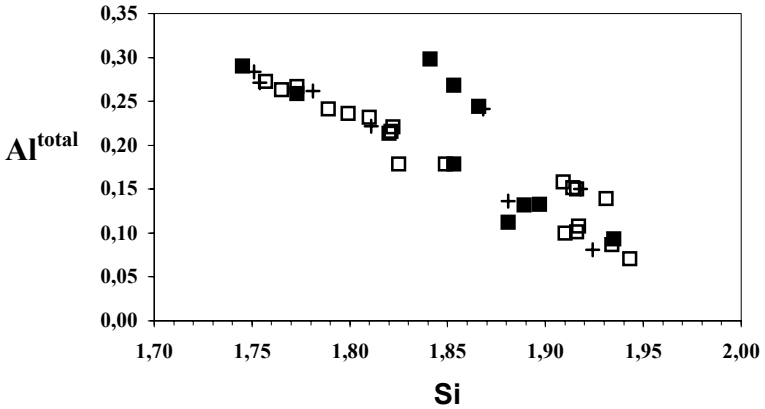


Figura 56. *Diagrama de substituição entre Si versus Al^{total} (a.f.u.) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: ■ = núcleo; □ = intermediário; + = borda (Basalto).*

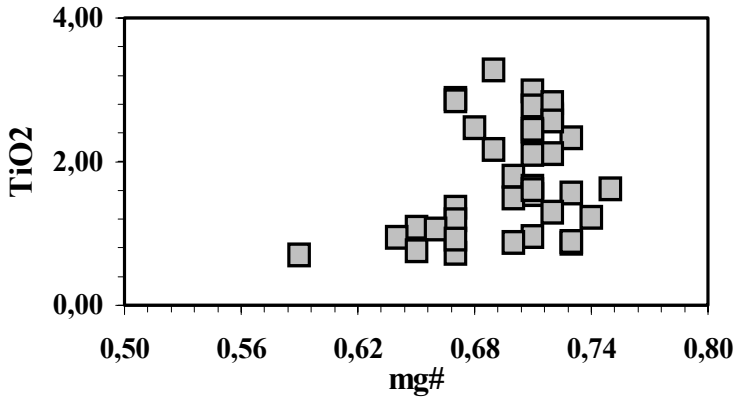


Figura 57. Diagrama mg# (a.f.u.) versus TiO_2 (%) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. **48.**

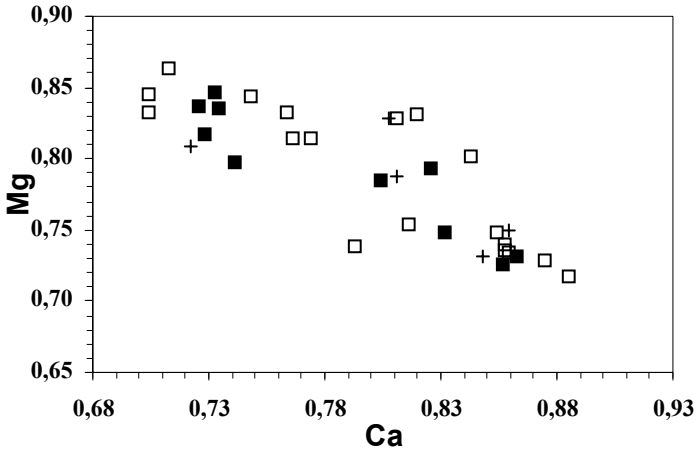


Figura 58. Diagrama Ca versus Mg (a.f.u.) (Sítio M_2) de piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 56.

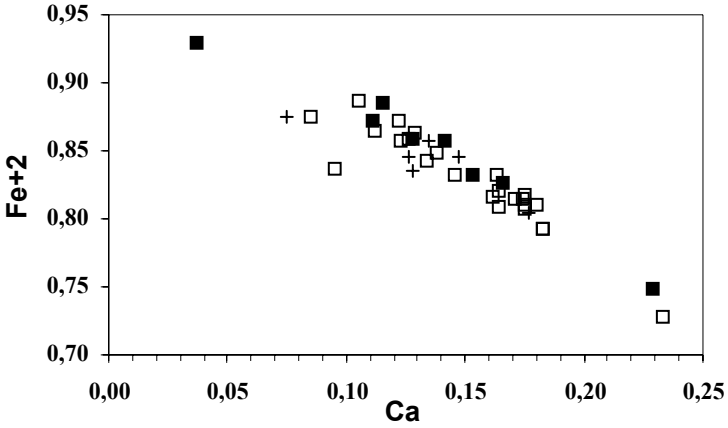


Figura 59. Diagrama Ca versus Fe^{+2} (a.f.u.) (Sítio M_2) do piroxênio dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 56.

DIQUES BÁSICOS									
Piroxênio									
Cristais da Matriz									
						RC-20B			***RC-51***
Análise	***C-1***	***B-1***	**C-2**	**C-3**	**Int.3**	**B-3**	**C-1**	**Int.1**	**B-1**
SiO_2	51,30	50,43	48,96	49,33	49,75	51,14	49,43	51,06	50,92
TiO_2	0,96	1,09	1,80	1,56	1,54	0,72	1,66	0,86	0,89
Al_2O_3	2,30	2,24	4,48	4,04	3,63	2,08	3,66	2,26	2,38
FeO	11,13	12,45	9,97	9,43	9,99	11,54	10,01	9,71	9,91
Cr_2O_3	0,04	0,06	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,05
MnO	0,35	0,36	0,25	0,23	0,24	0,31	0,26	0,33	0,23
MgO	15,18	13,04	13,34	14,16	14,08	13,39	13,96	14,79	14,82
CaO	18,71	19,49	20,65	20,51	20,16	20,16	19,87	20,08	20,19
Na_2O	0,38	0,38	0,43	0,39	0,43	0,37	0,42	0,34	0,36
K_2O	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
∑Total	100,36	99,58	99,89	99,67	99,86	99,73	99,31	99,43	99,76

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 6 Átomos de Oxigênio

Cátions									
Si	1,914	1,916	1,841	1,853	1,868	1,931	1,866	1,918	1,909
$Al^{lv\ +3}$	0,086	0,084	0,159	0,147	0,133	0,069	0,134	0,082	0,090
∑ T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	1,999
$Al^{vl\ +3}$	0,063	0,071	0,068	0,077	0,063	0,041	0,074	0,074	0,074
Fe^{+3}	0,050	0,142	0,093	0,053	0,077	0,161	0,065	0,056	0,057
Fe^{+2}	0,05	0,163	0,090	0,054	0,070	0,152	0,080	0,070	0,060
Ti	0,027	0,031	0,051	0,044	0,043	0,020	0,047	0,024	0,025
Cr	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,844	0,738	0,748	0,793	0,788	0,754	0,785	0,828	0,828
∑ M1	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,001	1,000	1,001
Fe^{+2}	0,234	0,183	0,153	0,166	0,175	0,162	0,177	0,175	0,180
Mn	0,011	0,012	0,008	0,007	0,008	0,010	0,008	0,011	0,007
Ca	0,748	0,793	0,832	0,826	0,811	0,816	0,804	0,808	0,811
Na	0,027	0,028	0,031	0,028	0,031	0,027	0,031	0,025	0,026
K	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑ M2	1,021	1,018	1,024	1,028	1,025	1,015	1,020	1,019	1,025
∑ Cations	4,017	4,024	4,023	4,026	4,021	4,014	4,025	4,025	4,025
Wo	38,36	40,91	43,76	42,96	42,23	41,98	42,00	41,41	41,44
En	43,28	38,07	39,32	41,25	41,02	38,78	41,05	42,42	42,30
Fs	18,36	21,02	16,93	15,78	16,75	19,24	16,95	16,16	16,26
mg#	0,71	0,65	0,70	0,73	0,71	0,67	0,71	0,73	0,73

Fe^{Total}	0,347	0,396	0,314	0,296	0,314	0,364	0,316	0,305	0,311
Al^{Total}	0,152	0,150	0,298	0,268	0,241	0,139	0,244	0,150	0,158

Tabela 38. Análises selecionadas de piroxênios dos diques básicos da região de Piratini, RS.

C = centro do cristal; Int. = porção intermediária; b = borda do cristal

DIQUES BÁSICOS											
Piroxênio											
Cristais da Matriz											
											RC-50
Análise	**C1**	**Inter.1**	**B1**	**C2**	**B2**	**C3**	**Inter.3**	**B3**	**C4**	**Inter.4**	**B4**
SiO_2	45,95	48,25	51,46	48,43	51,38	46,92	47,19	46,27	47,06	50,64	47,94
TiO_2	2,98	2,33	1,23	2,11	0,87	2,64	2,66	2,77	2,82	1,62	2,57
Al_2O_3	6,48	5,01	2,31	4,88	1,96	5,99	5,89	6,10	5,84	3,10	5,34
FeO	9,26	8,83	8,98	9,26	9,89	8,89	9,13	9,04	8,95	8,70	8,97
Cr_2O_3	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,04	0,00	0,04	0,01
MnO	0,20	0,30	0,25	0,27	031	0,21	0,21	0,23	0,23	0,19	0,27
MgO	12,83	13,40	14,45	13,12	12,98	12,99	13,00	12,68	13,17	15,01	13,13
CaO	21,06	21,37	21,12	21,29	21,68	21,32	20,97	21,76	21,24	20,61	21,37
Na_2O	0,57	0,51	0,39	0,58	0,72	0,52	0,56	0,50	0,49	0,37	0,51
K_2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
∑Total	99,35	100,00	100,19	99,95	99,82	99,53	99,61	99,41	99,81	100,28	100,12

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 6 Átomos de Oxigênio

Cátions											
Si	1,745	1,811	1,916	1,821	1,934	1,773	1,781	1,757	1,773	1,881	1,799
Al^{Iv+3}	0,255	0,189	0,083	0,179	0,066	0,227	0,219	0,243	0,226	0,119	0,201
∑T	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000
Al^{vl+3}	0,035	0,033	0,018	0,037	0,021	0,040	0,043	0,030	0,033	0,017	0,035
Fe^{+3}	0,136	0,092	0,039	0,095	0,069	0,110	0,098	0,133	0,104	0,054	0,086
Fe^{+2}	0,017	0,059	0,107	0,073	0,157	0,042	0,052	0,039	0,043	0,052	0,072
Ti	0,085	0,066	0,034	0,060	0,025	0,075	0,075	0,079	0,080	0,045	0,073
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Mg	0,726	0,750	0,802	0,735	0,728	0,732	0,731	0,718	0,740	0,831	0,734
∑M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fe+2	0,141	0,126	0,134	0,123	0,085	0,129	0,138	0,115	0,135	0,164	0,128
Mn	0,006	0,010	0,008	0,009	0,010	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,009
Ca	0,857	0,859	0,843	0,858	0,875	0,863	0,848	0,885	0,858	0,820	0,859
Na	0,042	0,037	0,028	0,042	0,053	0,038	0,041	0,037	0,036	0,027	0,037
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
∑M2	1,046	1,032	1,013	1,031	1,022	1,037	1,033	1,045	1,036	1,017	1,029
∑Cátions	4,046	4,031	4,013	4,032	4,023	4,037	4,033	4,045	4,035	4,018	4,029
Wo	45,50	45,34	43,61	45,32	45,46	45,86	45,25	46,66	45,46	42,57	45,60
En	38,55	39,54	41,50	38,85	37,86	38,86	39,02	37,82	39,20	43,12	38,97
Fs	15,95	15,12	14,90	15,83	16,68	15,28	15,73	15,52	15,34	14,32	15,42
mg#	0,71	0,73	0,74	0,72	0,70	0,72	0,72	0,71	0,72	0,75	0,72

Fe^{Total}	0,294	0,277	0,28	0,291	0,311	0,281	0,288	0,287	0,282	0,27	0,282
Al^{Total}	0,29	0,222	0,101	0,216	0,087	0,267	0,262	0,273	0,259	0,136	0,236

Tabela 39. Análises selecionadas de piroxênios dos diques básicos da região de Piratini, RS.

C = centro do cristal; Int. = porção intermediária; b = borda do cristal

DIQUES BÁSICOS

Piroxênio

Cristais da Matriz

	RC - 9												RC - 41					
Análise	**C-1**	**B-1**	**C-2**	**C-3**	**Int.3**	**B-3**	**C-4**	**B-4**	**C-5**	**B-5**	**C-6**	**B-6**	**C-1**	**Int.1**	**B-1**	**C-2**	**Int.2**	***B-2***
SiO_2	49,97	50,84	48,60	50,42	50,54	51,27	48,82	51,48	46,87	49,13	51,29	49,30	48,35	48,42	45,88	50,10	45,68	46,45
TiO_2	1,37	0,94	2,17	1,19	1,06	0,92	2,42	0,76	2,47	1,49	1,30	1,61	2,45	2,10	3,28	0,70	2,88	2,85
Al_2O_3	3,07	2,44	5,01	2,98	3,00	1,84	4,97	2,09	5,36	4,04	2,28	4,03	5,25	4,83	6,02	1,55	6,30	5,87
FeO	11,34	12,36	10,79	11,45	11,82	11,93	9,64	11,84	10,80	10,46	10,58	10,15	9,23	9,44	9,67	12,70	10,13	10,61
Cr_2O_3	0,01	0,00	0,00	0,02	0,39	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,05	0,00
MnO	0,22	0,32	0,21	0,36	0,39	0,26	0,20	0,35	0,26	0,26	0,31	0,31	0,27	0,22	0,17	0,42	0,28	0,21
MgO	13,07	12,53	13,26	13,15	12,90	13,69	13,03	12,57	12,80	13,62	15,38	13,82	12,77	12,87	11,97	10,21	11,55	11,93
CaO	20,97	20,61	19,87	20,83	20,12	20,25	20,91	20,99	19,97	20,65	18,76	20,24	21,54	21,66	21,36	22,37	21,60	21,42
Na_2O	0,36	0,38	0,48	0,41	0,39	0,32	0,42	0,39	0,50	0,40	0,33	0,44	0,54	0,60	0,55	0,56	0,60	0,60
K_2O	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,01	0,01
∑Total	100,38	100,42	100,39	100,82	100,26	100,49	100,43	100,48	99,08	100,04	100,28	99,92	100,41	100,15	99,01	98,63	99,08	99,96

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 6 Átomos de Oxigênio

Cations																		
Si	1,881	1,917	1,822	1,889	1,897	1,924	1,825	1,935	1,789	1,849	1,910	1,853	1,810	1,820	1,754	1,943	1,751	1,765
Al^{iv+3}	0,119	0,083	0,178	0,111	0,103	0,075	0,175	0,065	0,211	0,151	0,089	0,147	0,190	0,180	0,245	0,057	0,249	0,235
∑T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000
Al^{vi+3}	0,017	0,025	0,043	0,021	0,030	0,006	0,004	0,028	0,030	0,028	0,011	0,032	0,042	0,034	0,026	0,014	0,035	0,028
Fe^{+3}	0,077	0,048	0,072	0,080	0,048	0,060	0,039	0,033	0,110	0,101	0,042	0,083	0,072	0,107	0,107	0,066	0,136	0,133
Fe^{+2}	0,133	0,196	0,083	0,151	0,159	0,141	0,167	0,213	0,060	0,065	0,055	0,065	0,105	0,079	0,089	0,309	0,084	0,082
Ti	0,039	0,027	0,061	0,034	0,030	0,026	0,068	0,021	0,071	0,042	0,036	0,046	0,069	0,059	0,094	0,020	0,083	
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,012	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000
Mg	0,733	0,704	0,741	0,734	0,722	0,766	0,726	0,704	0,728	0,764	0,854	0,774	0,713	0,721	0,682	0,590	0,660	0,675
∑M1	1,000	1,000	1,000	1,021	1,000	1,000	1,004	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fe^{+2}	0,147	0,146	0,183	0,128	0,164	0,174	0,095	0,126	0,175	0,163	0,233	0,171	0,112	0,111	0,075	0,037	0,105	0,122
Mn	0,007	0,010	0,007	0,011	0,012	0,008	0,006	0,011	0,008	0,008	0,010	0,010	0,009	0,007	0,006	0,014	0,009	0,007
Ca	0,846	0,833	0,798	0,836	0,809	0,814	0,837	0,845	0,817	0,833	0,749	0,815	0,864	0,872	0,875	0,930	0,887	0,872
Na	0,026	0,028	0,035	0,030	0,028	0,023	0,030	0,028	0,037	0,029	0,024	0,032	0,039	0,044	0,041	0,042	0,045	0,044

K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
∑M2	1,026	1,017	1,024	1,006	1,015	1,020	0,970	1,012	1,037	1,033	1,015	1,029	1,024	1,035	0,998	1,022	1,046	1,045
∑Cations	4,025	4,016	4,023	4,027	4,016	4,019	3,973	4,011	4,037	4,033	4,014	4,029	4,025	4,036	3,998	4,022	4,045	4,045
Wo	43,53	43,73	41,95	43,13	42,59	41,86	43,47	44,08	42,76	42,44	38,02	41,67	46,11	45,98	46,75	47,78	47,16	46,11
En	37,73	36,35	39,33	37,83	37,70	39,00	38,80	36,43	38,36	39,50	43,96	40,36	38,02	38,00	36,44	30,33	35,08	35,72
Fs	18,74	20,66	18,30	19,08	20,03	19,52	16,43	19,82	18,62	17,44	17,49	17,14	15,88	16,02	16,80	21,89	17,76	18,18
mg#	0,67	0,64	0,69	0,67	0,66	0,67	0,71	0,65	0,68	0,70	0,72	0,71	0,71	0,71	0,69	0,59	0,67	0,67
Fe^{Total}	0,357	0,39	0,338	0,359	0,371	0,375	0,301	0,372	0,345	0,329	0,33	0,319	0,289	0,297	0,309	0,412	0,325	0,337
Al^{Total}	0,136	0,108	0,221	0,132	0,133	0,081	0,179	0,093	0,241	0,179	0,10	0,179	0,232	0,214	0,271	0,071	0,284	0,263

Tabela 40. Análises selecionadas de piroxênios dos diques básicos da região de Piratini, RS.
mg# = $Mg/(Mg+Fe)_t$; $Wo=100Ca/(Mg+Fe_t+Mn+Ca)$; $En=100\ Mg/(Mg+Fe_t+Mn+Ca)$; $Fs=100Fe_t/(Mg+Fe_t+Mn+Ca)$.

C = centro do cristal; Int. = porção intermediária; b = borda do cristal.

IV.4.4. **Epídoto**

É comum a ocorrência de minerais do grupo do epídoto nas rochas estudadas. Entretanto, os cristais apresentaram-se muito alterados, o que dificultou a realização de análise química. Apenas três amostras de diques básicos foram favoráveis a realização das análises do epídoto: RC-9, RC-50 e RC-51 (Tabela 41).

A fórmula geral dos minerais do grupo do epídoto é $X_2Y_3Z_3$ $(O,OH,F)_{13}$. O sítio X é ocupado por:Ca, Ce^{+3}, La^{+3}, Y^{+3}, Th, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Mn^{+3}; enquanto o sítio Y é ocupado pelo Al, $Fé^{+3}$, Mn^{+3}, Fe^{+2}, Ti, e o Z = Si e Be (Deer et al. 1978). As substituições mais comuns ocorrem entre Al $\leftrightarrow$ Fe^{+3}, Al $\leftrightarrow$ Mn (sítio Y) e Ca$\leftrightarrow$Mn (sítio X).

Os resultados analíticos foram calculados com base em 12,5 átomos de oxigênio (25 cargas negativas).

No diagrama Fe^{+3} *(a.f.u.) versus* Ps (%) (teor na molécula de pistacita: Ps = $Fe^{+3}/(Fe^{+3}$ + Al) (Fig. 60), nota-se uma correlação positiva entre estes elementos com os teores na molécula de pistacita situando-se entre 0,28 a 0,36 (%).

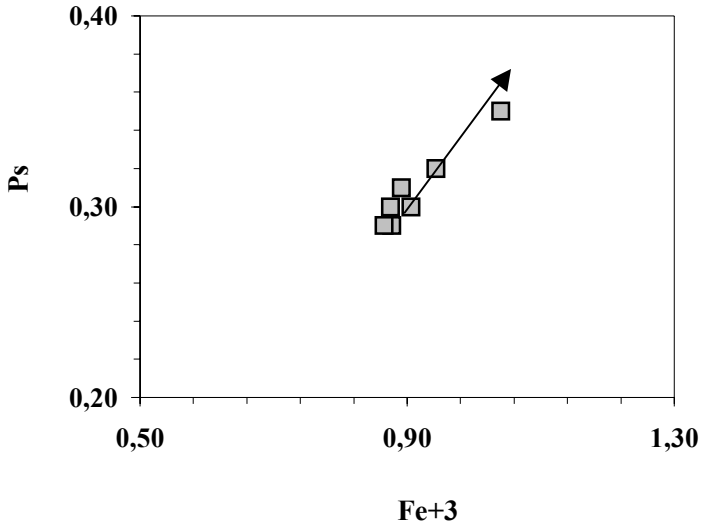


Figura 60. *Diagrama Fe^{+3} (a.f.u) versus Ps % de epídoto dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: idem fig. 48.*

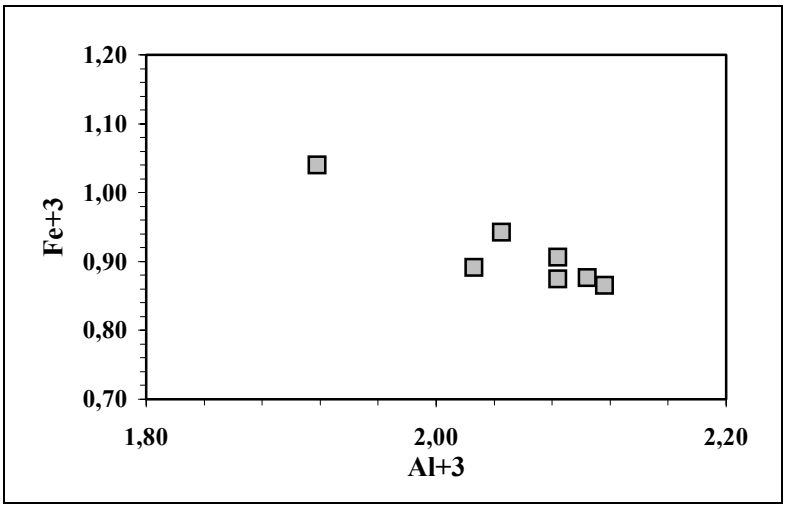


Figura 61. *Diagrama Al^{+3} versus Fe^{+3} (a.f.u.) de epídoto dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 48.*

No diagrama Al^{+3} *versus* Fe^{+3} *(a.f.u.)* (Fig. 61), observa-se boa correlação inversa entre estes elementos, indicando substituição do Fe^{+3} pelo Al^{+3} (sítio Y) mostrando a importância do Al durante a cristalização do epídoto.

DIQUES BÁSICOS							
Epídoto							
Cristais da Matriz							
Análise	**RC-9**	**RC-9**	**RC-9**	**RC-50**	**RC-51**	**RC-51**	**RC-51**
SiO_2	37,47	37,22	37,32	37,60	37,77	37,68	37,35
TiO_2	0,09	0,09	0,02	0,07	0,05	0,06	0,67
Al_2O_3	21,28	21,47	22,00	22,30	22,44	21,97	19,90
Fe_2O_3	14,66	15,50	14,97	14,55	14,37	14,45	16,90
MnO	0,11	0,06	0,05	0,04	0,14	0,08	0,06
MgO	0,46	0,03	0,11	0,08	0,21	0,12	0,35
CaO	22,92	22,94	23,07	23,07	22,80	23,02	21,62
Ce_2O_3	0,08	0,07	0,03	0,11	0,08	0,02	0,00
La_2O_3	0,00	0,04	0,07	0,17	0,11	0,01	0,03
ZrO_2	0,00	0,02	0,04	0,11	0,00	0,00	0,13
∑Total	97,07	97,44	97,68	98,10	97,97	97,41	97,01

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 12,5 Átomos de Oxigênio.

Cátions							
Si	3,028	3,008	3,000	3,011	3,022	3,032	3,054
Al^{lv+3}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑ Z	3,028	3,008	3,000	3,011	3,022	3,032	3,054
Al^{vl+3}	2,026	2,045	2,084	2,104	2,116	2,084	1,918
Ti	0,005	0,005	0,001	0,004	0,003	0,004	0,041
Fe^{+3}	0,891	0,943	0,906	0,877	0,865	0,875	1,040
Mn	0,008	0,004	0,003	0,003	0,009	0,005	0,004
Mg	0,055	0,004	0,013	0,010	0,025	0,014	0,043
∑ Y	2,986	3,001	3,008	2,998	3,018	2,982	3,046
Ca	1,984	1,986	1,987	1,979	1,954	1,985	1,894
Ce	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000
La	0,000	0,001	0,002	0,005	0,003	0,000	0,001
Zr	0,000	0,001	0,002	0,004	0,000	0,000	0,005
∑ X	1,986	1,991	1,992	1,992	1,960	1,986	1,900
∑Total	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
%Ps	0,31	0,32	0,30	0,29	0,29	0,30	0,35

Tabela 41. *Análises selecionadas de epídoto dos diques básicos da região de Piratini, RS.*
% Ps = $Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Al)$

IV.4.5. *Apatita*

Foram realizadas análises pontuais de apatita em quatro amostras de diques básicos. Os dados analíticos estão contidos nas tabelas 42 e 43. Nestas rochas, a apatita ocorre associada com cristais de piroxênio e plagioclásio sob duas formas: como cristais inclusos e como cristais aciculares cortando os demais de piroxênio e plagioclásio. Analises realizadas nas diferentes variedades texturais, não mostram conteúdos diferenciados de elementos terras raras e, bem como teores de flúor revelam-se semelhantes, tanto nas apatitas primárias (mais antigas) como nas secundárias (mais jovens) (Tabs. 42 e 43). A flurapatita é um importante acessório e abundante em zonas ricas em titânio ou associadas com outros minerais de terras raras (Chapman & Hall 1996). De acordo com os autores, a paragênese fluorapatita + titanita é caracterizada por conter minerais de enxofre (pirrotita e calcopirita). Embora a titanita ocorra como um acessório raro, ainda assim é possível observar em microfraturas preenchidas por minerais de enxofre.

A fórmula estrutural da apatita foi calculada com base em 26 átomos de oxigênio, cuja fórmula geral é: $Ca_5\ (PO_4)_3\ (OH,F,Cl)$ (Deer *et al.* 1978). O F e Cl utilizado para o cálculo da fórmula estrutural é o quele obtido na análise da microssonda eletrônica.

O procedimento usado para o teste das trocas catiônicas entre os elementos foi o mesmo realizado nas apatitas dos granitos e enclaves.

Considerando os dados em porcentagem em peso, a fluorapatita pura apresenta razões F/P_2O_5 = 0,089 e CaO/P_2O_5 = 1,318 (McClellan 1980). Aplicando-se estas razões para apatitas dos diques básicos, os resultados são os seguintes:

	*F/P_2O_5 (%)	CaO/P_2O_5 (%)
Dique Básico	0,098	1,190

*F/P_2O_5 = Para esta relação utilizou-se o valor do flúor obtido em microssonda eletrônica (Tabs. 36 e 37).

Os diagramas Cl *versus* F (%) (Fig. 62) e ∑TR *versus* Ca (%) (Fig. 63) mostra ampla dispersam dos óxidos, embora com leve tendência de correlação positiva, sugerindo mostrando crescimento.....

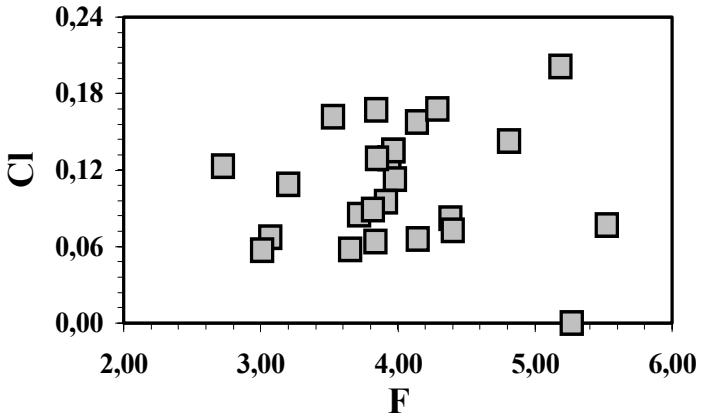


Figura 62. *Diagrama entre F versus Cl (%) de apatitas dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: idem fig. 48.*

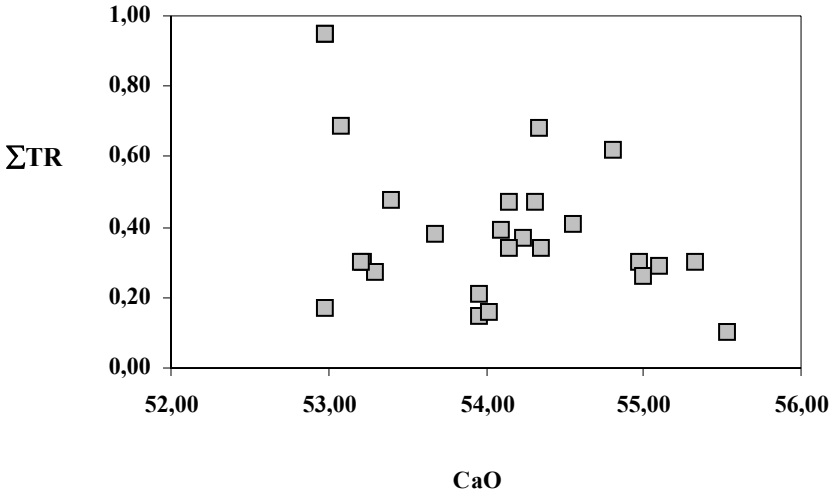


Figura 63. *Diagrama entre CaO versus ∑TR (%.) de apatitas dos diques básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 48.*

DIQUES BÁSICOS																
Apatita																
	RC-51							RC-9								
Análise	**Apatita primária**				**Apatita secundária**			**Apatita primária**					**Apatita secundária**			
FeO	0,44	0,34	0,34	0,44	0,34	0,34	0,50	0,46	0,51	0,36	0,39	0,70	0,32	0,39	0,40
MnO	0,08	0,04	0,05	0,08	0,04	0,05	0,05	0,08	0,10	0,06	0,05	0,03	0,06	0,07	0,02
MgO	0,19	0,06	0,21	0,20	0,06	0,15	0,30	0,22	0,30	0,23	0,25	0,23	0,22	0,27	0,14
CaO	53,22	52,98	53,29	53,2	52,98	53,08	53,68	53,95	52,98	54,23	54,09	53,40	54,14	53,96	54,02
SrO	0,14	0,08	0,09	0,14	0,08	0,11	0,070	0,08	0,15	0,13	0,130	0,13	0,12	0,09	0,12
Na_2O	0,04	0,19	0,01	0,04	0,19	0,11	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0	0,05
P_2O_5	41,74	41,70	41,02	41,74	41,70	41,69	41,76	42,17	42,12	42,22	42,59	42,33	41,92	42,75	41,14
F	3,94	3,96	4,14	3,94	3,96	3,84	3,20	4,81	3,52	5,18	3,98	4,28	4,14	3,85	5,26
Cl	0,13	0,13	0,16	0,13	0,13	0,17	0,11	0,14	0,16	0,20	0,11	0,16	0,06	0,13	0
Y_2O_3	0,13	0,22	0,10	0,13	0,21	0,13	0,08	0,06	0,07	0,07	0,11	0,10	0,07	0,04	0,06
Ce_2O_3	0,25	0,58	0,23	0,25	0,58	0,53	0,22	0,21	0,16	0,26	0,31	0,31	0,21	0,15	0,07
La_2O_3	0,05	0,37	0,04	0,05	0,37	0,16	0,16	0,00	0,01	0,11	0,08	0,17	0,13	0,00	0,09
∑Total	100,35	100,67	99,70	100,35	100,67	100,33	100,17	102,24	100,13	103,10	102,14	101,89	101,44	101,72	101,39
Flúor *	1,658	1,671	1,742	1,658	1,671	1,617	1,348	2,025	1,484	2,183	1,675	1,805	1,746	1,621	2,219
Cloro *	0,029	0,030	0,036	0,029	0,030	0,038	0,025	0,032	0,037	0,045	0,025	0,038	0,015	0,029	0,000
∑ Final	98,723	99,034	97,991	98,723	99,034	98,758	98,852	100,246	98,689	100,963	100,491	100,123	99,713	100,131	99,172
∑ TR	0,297	0,958	0,270	0,297	0,958	0,694	0,388	0,206	0,173	0,372	0,395	0,480	0,347	0,155	0,160

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 26 Átomos de Oxigênio.

Cátions															
Fe	0,060	0,046	0,047	0,060	0,046	0,047	0,069	0,062	0,070	0,048	0,053	0,094	0,044	0,053	0,054
Mn	0,012	0,006	0,007	0,012	0,006	0,007	0,007	0,011	0,014	0,009	0,007	0,004	0,009	0,009	0,003
Mg	0,048	0,015	0,051	0,048	0,015	0,028	0,075	0,054	0,073	0,053	0,060	0,054	0,054	0,064	0,034
Ca	9,315	9,275	9,384	9,315	9,275	9,317	9,497	9,189	9,308	9,141	9,300	9,180	9,371	9,299	9,264
Sr	0,013	0,008	0,009	0,013	0,008	0,010	0,007	0,007	0,014	0,012	0,012	0,012	0,012	0,009	0,011
Na	0,012	0,060	0,004	0,012	0,060	0,036	0,009	0,013	0,013	0,009	0,010	0,009	0,005	0,000	0,016
P	5,773	5,767	5,707	5,773	5,767	5,783	5,837	5,676	5,846	5,623	5,786	5,750	5,733	5,821	5,575
Y	0,011	0,019	0,009	0,011	0,019	0,012	0,007	0,005	0,007	0,006	0,009	0,009	0,006	0,004	0,005
Ce	0,015	0,035	0,014	0,015	0,035	0,032	0,013	0,012	0,010	0,015	0,018	0,018	0,013	0,009	0,004

La	0,003	0,022	0,003	0,003	0,022	0,010	0,010	0,000	0,001	0,006	0,005	0,010	0,008	0,000	0,005
∑Total	15,262	15,253	15,235	15,252	15,253	15,282	15,532	15,027	15,347	14,922	15,261	15,140	15,254	15,269	14,971
∑TR	0,018	0,057	0,016	0,018	0,057	0,042	0,024	0,012	0,010	0,021	0,023	0,028	0,021	0,009	0,009
F	2,034	2,050	2,150	2,034	2,050	1,989	1,671	2,418	1,828	2,580	2,018	2,175	2,118	1,958	2,667
Cl	0,036	0,037	0,044	0,036	0,037	0,046	0,030	0,039	0,045	0,054	0,031	0,046	0,018	0,035	0,000

Tabela 42. *Análises selecionadas de apatita de diques básicos da região de Piratini, RS.*

DIQUES BÁSICOS											
Apatita											
	RC-50						RC-20B				
Análise	Apatita primária			Apatita secundária			*Apatita primária*		Apatita secundária		
FeO	0,33	0,57	0,37	0,36	0,56	0,68	0,39	0,32	0,33	0,31	0,34
MnO	0,05	0,04	0,02	0,01	0,07	0,10	0,04	0,11	0,08	0,08	0,03
MgO	0,25	0,29	0,23	0,26	0,25	0,28	0,24	0,19	0,21	0,16	0,16
CaO	55,33	55,10	54,81	54,55	54,97	55,00	55,53	54,35	54,31	54,14	54,34
SrO	0,16	0,11	0,12	0,15	0,16	0,14	0,18	0,07	0,11	0,10	0,16
Na_2O	0,04	0,06	0,09	0,02	0,04	0,01	0,04	0,09	0,47	0,14	0,12
P_2O_5	41,57	42,32	41,40	41,62	42,36	41,90	41,53	41,33	41,17	40,79	41,88
F	3,65	3,91	4,38	3,72	4,40	5,53	3,84	3,07	2,73	3,82	3,01
Cl	0,06	0,10	0,08	0,09	0,07	0,08	0,06	0,07	0,12	0,09	0,06
Y_2O_3	0,12	0,08	0,15	0,12	0,09	0,05	0,06	0,12	0,11	0,15	0,16
Ce_2O_3	0,29	0,22	0,37	0,21	0,23	0,23	0,08	0,23	0,31	0,46	0,48
La_2O_3	0,01	0,07	0,25	0,20	0,07	0,03	0,02	0,11	0,16	0,01	0,20
∑Total	101,86	102,86	102,26	101,30	103,27	104,01	102,00	100,05	100,11	100,25	100,93
Flúor *	1,54	1,65	1,84	1,56	1,85	2,33	1,61	1,29	1,15	1,61	1,27
Cloro *	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01
∑ Total	100,34	101,24	100,44	99,75	101,43	101,70	100,40	98,77	98,99	98,66	99,67
∑ TR	0,29	0,30	0,62	0,41	0,30	0,26	0,11	0,34	0,47	0,47	0,68

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 26 Átomos de Oxigênio.

Cátions											
Fe	0,045	0,076	0,050	0,050	0,074	0,088	0,053	0,044	0,046	0,043	0,046
Mn	0,007	0,005	0,002	0,001	0,010	0,013	0,005	0,015	0,011	0,011	0,004
Mg	0,061	0,068	0,055	0,062	0,059	0,064	0,057	0,046	0,053	0,039	0,040
Ca	9,633	9,449	9,448	9,524	9,345	9,200	9,634	9,670	9,718	9,563	9,597
Sr	0,015	0,010	0,011	0,014	0,014	0,012	0,017	0,007	0,011	0,010	0,015
Na	0,014	0,018	0,028	0,007	0,011	0,004	0,011	0,029	0,153	0,044	0,038
P	5,719	5,736	5,638	5,742	5,690	5,537	5,692	5,811	5,821	5,693	5,845
Y	0,010	0,007	0,013	0,010	0,007	0,004	0,005	0,010	0,010	0,013	0,014
Ce	0,017	0,013	0,022	0,012	0,013	0,013	0,005	0,014	0,019	0,028	0,029
La	0,000	0,004	0,015	0,012	0,004	0,002	0,001	0,007	0,010	0,001	0,012
∑Total	15,522	15,387	15,282	15,435	15,229	14,937	15,479	15,653	15,850	15,445	15,640
∑TR	0,017	0,017	0,036	0,025	0,017	0,015	0,006	0,021	0,029	0,029	0,041
F	1,877	1,981	2,229	1,915	2,209	2,729	1,964	1,611	1,440	1,991	1,569
Cl	0,016	0,026	0,022	0,023	0,020	0,020	0,018	0,019	0,035	0,025	0,016

Tabela 43. *Análises selecionadas de apatita dos diques básicos da região de Piratini, RS.*

Flúor * = valor da análise em peso x 0,4211

Cloro * = valor da análise em peso x 0,2256

∑Total Final = ∑ Total - Flúor *- Cloro *

∑TR = Soma dos Elementos Terras Raras = Ce e La.

*-O =F,Cl = Flúor * + Cloro **

IV.4.6. *Anfibólio*

De todas as rochas de diques amostrados da região de Piratini, a amostra RC-20B, apresenta mistura de magma ácido e básico. Apesar de estar muito alterada, foi possível caracterizar em microscópio eletrônico a presença de resquícios de cristais de anfibólio no material básico (representante dos diques básicos). Os mesmos apresentam uma pequena porção central preservada, de coloração entre castanho escuro e verde-escuro. Na porção central do cristal foi possível realizar análise química com o objetivo de identificar a composição química do anfibólio presente nestas rochas. Nota-se que estas análises não tiveram um bom fechamento (Tabela 44), entretanto, apresentou composição anfibólio do tipo cálcico. As bordas apresentam coroa de alteração verde-claro a azulado, as quais foram caracterizadas quimicamente como clorita.

A composição do anfibólio foi obtida de Leake *et al.* (1997) seguindo-se a fórmula:
$A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(Oh,F,Cl)_2$.
Os sitos podem ser ocupados pelos seguintes elementos:
A = Na, K (0-1 sítio por fórmula unitária)
B = Al^{VI}, Mg, Fe^{+3}, $Fe^{+2,}$, Ti, Mn, Cr^{+3}, Li, Zn (podendo ser preenchido por Ca, Li e Ni) (2 sítios M4 por fórmula unitária)C = Ca, (pode ser preenchido por Na, Mg) (5 sítios que compreendem 2 M1, 2 M2 e 1 M3 por fórmula unitária)
T = Si, Al^{IV} (podendo ser preenchido por Fe^{+3}) (8 sítios compostos por dois grupos de 4).
(OH, F, Cl) = 2 sítios por fórmula unitária.

Em razão das análises realizadas sem a estimativa do conteúdo de H_2O, a fórmula estrutural foi calculada na base de 23 átomos de oxigênio, conforme Leake *et al.* (1997), não utilizando os conteúdos de F e Cl obtidos em microssonda. E, em relação ao ferro, tornou-se necessário estimar o Fe^{+3}/Fe^{+2} baseada nas propostas de Schumacher (1997) e adotou-se o método em que os cátions estão ajustados em um total de 13 – CNK com Fe^{+3} máximo.

Para a classificação adotou-se os critérios de Leake (1997) de acordo com os limites dos campos estabelecidos. Os critérios utilizados estão fundamentados em alguns parâmetros propostos. Dessa forma utilizou-se o parâmetro $Ca_B \geq 1,50$ $(Na + K)_A < 0,50$ para o anfibólio analizado. O anfibólio dos diques básicos ocupa preferencialmente o campo *ferro-hornblenda,* anfibólio essencialmente cálcico (Fig. 64). A fórmula estrutural calculada apresenta os seguintes intervalos:

$$(Na_{0,023-0,101}K_{0,050-0,140})(Ca_{1,564-1,807}Na_{0,193-0,436})(Al^{VI}_{0,000-0,080}Ti_{0,070-0,101}Fe^{+3}_{0,651-1,107}Fe^{+2}_{3,055-3,470}Mn_{0,095-0,169}Mg_{0,391-0,968})(Si_{7,014-7,213}Al^{IV}_{0,777-0,929}Fe^{+3}_{0,000-0,085})_{22}(OH)_2$$

O sítio tetraédrico é completado por Al^{IV} (até 0,929 *a.f.u.*) e Fe^{+3} (até 0,085 *a.f.u.*). O sítio B recebe contribuições do Na (até 0,434 *a.f.u.*) enquanto que o sítio A é totalmente ocupado por Na+K. O sítio C é preenchido por todo Fe^{+2} e Fe^{+3} da amostra, além do Mg, Mn, Ti e Al^{VI} (este último até 0,080 *a.f.u.*). Apresentam uma média de teores de MgO de 2,462 % e FeO de 31,083 %. Embora não foram realizadas análises nas bordas, por estarem alteradas, o anfibólio mostra núcleo com teores mais elevados na componente Mg evoluindo em direção as bordas com teores mais elevados na componente Fe. Projetando-se os teores de Si *versus* Na+K+Ca *(a.f.u.)* (Leake 1971) as análises situam-se no limite entre o campo de anfibólios magmáticos e não magmáticos. Os valores de Ca compreendidos entre 1,564 a 1,807 *(a.f.u)* e conteúdos em Ti ficam entre 0,070 a 0,101 *(a.f.u.).* De acordo com Helz (1982) anfibólios com estas características sugerem fases de cristalização em condições de baixa fO_2.

$Ca_B \geq 1,50$ $(Na + K)_A < 0,50$

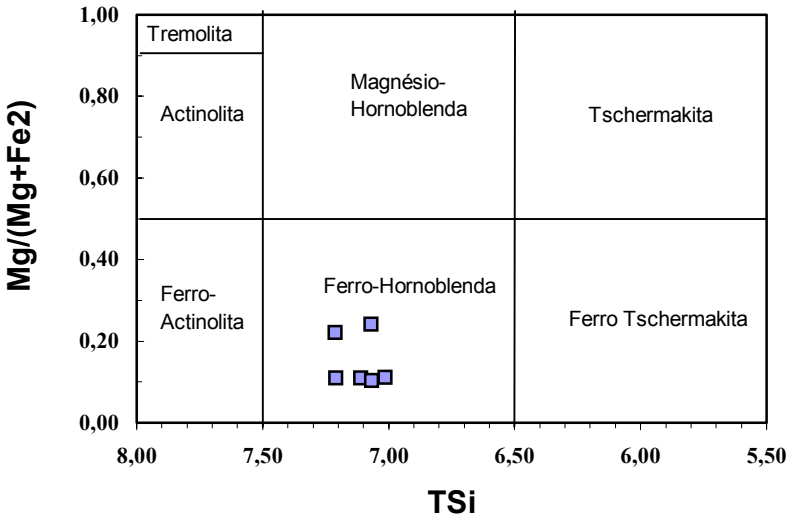


Figura 64. *Diagrama de classificação de anfibólio cálcico (Leake 1997) dos diques básicos da região de Piratini, RS. O anfibólio analisado dos diques básicos ocupa o campo ferro-hornblenda. Simbologia: Idem fig. 48.*

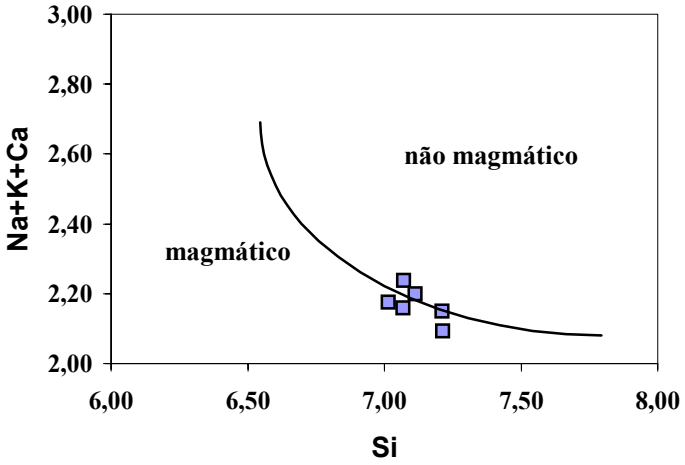


Figura 65. Diagrama Si versus Na+K+Ca (a.f.u.) aplicado para caracterizar os anfibólios magmáticos e não magmáticos (Leake 1971). O anfibólio do dique básico da região de Piratini, RS, situa-se entre os dois campos. Simbologia: Idem fig. 48.

ANFIBÓLIO DOS DIQUES BÁSICOS						
Fenocristal						
RC-20B						
Análise	**Int.3**	***C.3***	**C.1**	**Int.1**	**C.2**	**Int.2**
SiO_2	44,213	44,000	45,568	44,568	43,864	43,932
TiO_2	0,583	0,829	0,8	0,655	0,831	0,809
Al_2O_3	4,822	5,051	4,464	4,078	5,314	4,671
FeO	33,462	31,385	29,137	32,084	27,773	32,658
MnO	1,236	1,130	0,712	1,234	0,781	1,221
MgO	1,736	1,777	3,845	1,759	4,027	1,631
CaO	9,201	9,473	10,653	9,197	9,954	9,341
Na_2O	1,549	1,336	1,061	1,382	1,221	1,324
K_2O	0,674	0,68	0,773	0,596	0,666	0,661
F	0,39	0,449	0,246	0,485	0,266	0,51
Cl	0,134	0,155	0,085	0,162	0,113	0,137
∑Total	97,999	96,27	97,344	95,995	95,811	96,896
-F,Cl	97,475	95,666	97,013	95,348	95,432	96,249

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 23 Átomos de Oxigênio

Cátions						
Si	7,014	7,112	7,213	7,210	7,071	7,067
Al^{IV}	0,901	0,888	0,787	0,777	0,929	0,885
Fe^{+3}	0,085	0,000	0,000	0,013	0,000	0,049
∑T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,000	0,074	0,045	0,000	0,080	0,000
Ti	0,070	0,101	0,095	0,080	0,101	0,098
Fe^{+3}	1,107	0,772	0,651	0,886	0,689	0,969
Fe^{+2}	3,247	3,470	3,206	3,441	3,055	3,375
Mn	0,166	0,155	0,095	0,169	0,107	0,166
Mg	0,411	0,428	0,907	0,424	0,968	0,391
∑C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,564	1,641	1,807	1,594	1,719	1,610
Na	0,436	0,359	0,193	0,406	0,281	0,390
∑B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,040	0,059	0,044	0,028	0,101	0,023
K	0,136	0,140	0,050	0,123	0,137	0,136
∑A	0,177	0,200	0,094	0,151	0,238	0,158
∑ Cátions	15,177	15,200	15,094	15,151	15,238	15,158
Al^{totao}	0,901	0,962	0,832	0,777	1,009	0,885
Fe^{total}	4,439	4,242	3,857	4,340	3,744	4,344
mg#	0,112	0,110	0,221	0,110	0,241	0,104
fe#	0,888	0,890	0,779	0,890	0,759	0,896
F	0,199	0,231	0,124	0,251	0,137	0,262
Cl	0,004	0,004	0,002	0,005	0,003	0,004
-O=F,Cl	0,203	0,235	0,126	0,256	0,140	0,266

Tabela 44. *Análises selecionadas de anfibólio dos diques básicos na região de Piratini, RS.*
C = centro do cristal; Int. =porção intermediária

IV.5. *Geotermometria dos Diques Ácidos e Básicos da Região de Piratini, RS.*

A partir dos dados de química mineral, foram realizados estudos de geotermometria nas fases plagioclásio. As fórmulas obtidas, bem como a determinação das temperaturas dos estágios de cristalização dos plagioclásios, utilizaram-se os geotermômetros de Kudo & Weill (1970) e Mathez (1973), assumindo condições anidras. Os valores das temperaturas das amostras, em graus centígrados (°C) esta na tabela abaixo.

Nos diques ácidos, realizaram-se medidas somente no núcleo de dois cristais e a temperatura média dos estágios de cristalização é 1147ºC pelo método de Kudo e Weill (1970) e de 1122ºC pelo método de Mathez (1973). A temperatura média nos diques básicos é de 1329ºC (núcleo) e 1344 ºC (borda) pelo método e Kudo e Weill (1970) e de 1284ºC (núcleo) e 1303ºC (borda) pelo método de Mathez (1973).

Diques Ácidos	**Fase**	**Geotermômetro (°C)**	
		$T_{Kudo\ \&\ Weill}$	**T_{Mathez}**
RC – 18E –Riolito	**N (C=1)**	**1193**	**1155**
RC – 55 -Riolito	**N (C=6)**	**1102**	**1090**
Média	**N (n=2)**	**1147**	**1122**
Diques Básicos			
RC-50	**N (C=1)**	**1365**	**1316**
Basalto	**B (B=1)**	**1398**	**1347**
RC-20B	**N (C=1)**	**1311**	**1268**
Basalto	**B (B=1)**	**1331**	**1293**
RC-9	**N (C=1)**	**1311**	**1268**
Basalto	**B (B=1)**	**1305**	**1270**
Média	**N (n = 3)**	**1329**	**1284**
	B (n = 3)	**1344**	**1303**

Tabela 45. *Temperaturas dos plagioclásios e o seu valor médio para os diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.*

N =Núcleo – C=1= centro 1

B = Borda – B=1= borda 1

n = número de amostras

$T_{Kudo\ e\ Weill}$ *= Temperatura de Kudo & Weill (1970)*

T_{Mathez} *= Temperatura de Mathez (1973).*

CAPÍTULO V
(artigo submetido a RBG)

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS DIQUES ÁCIDOS E BÁSICOS ASSOCIADOS AO BATÓLITO PELOTAS NA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS DIQUES ÁCIDOS E BÁSICOS ASSOCIADOS AO BATÓLITO PELOTAS NA REGIÃO DE PIRATINI, RS.

Celí Zanon[1], Rômulo Machado[2] e Ruy Paulo Philipp[3]

(1) Pós-graduação - Universidade de São Paulo (USP). Rua do Lago 562, 05508-900, São Paulo, SP, e-mail: celizanon@Yahoo.com

(2) Instituto de Geociências da USP e Pesquisador do CNPq. Rua do Lago 562, 05508-900, São Paulo, SP, e-mail: rmachado@usp.br

(3) Instituto de Geociências da UFRGS e Pesquisador do CNPq. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540- 000, Porto Alegre – RS, CP- 15001, e-mail: ruy.philipp@ufrgs.br

ABSTRACT

Petrographic studies on the basic and acid dykes from the Piratini region, RS, reveal porphyritic texture with aphanitic to fine-grained matriz, glomeroporphyritic and spherulitic (acid), and ophitic to sub-ophitic with myrmekitic intergrowth (basic). These dykes are intrusive in granitic rocks of the Pelotas Batholith. They occur as bodies in the NW-SE and N-S trending associated high angle shear zones. These dykes are strongly metaluminous (basic) and slighty metaluminous to peraluminous (acid), with alumina saturation index between 0.60 and 0.65 and 0.75 and 1.2, respectively. The SiO_2 content in the basic dykes varies from 44 to 48 % and in the felsic varies from 67 to 75 %. The mafic dykes present more high content in Ti, Mg, Ca, Fe, Mn e P than acid dykes. The behavior of several major and traces elements (Fe, Mn, Mg, Ti, P, Ca and Sr, and relatively Ca and Mg) show the importance of crystallization of iron-magnesium and feldspars in both dykes. The ratios of trace elements (Nb/Ta e U/Th) of these rocks show evidence of the crustal contamination. The HREE display sub horizontallized patterns, with basic dikes showing Tb/Lu ratios between 1.5 a 2.7 (acid dykes: 1.6 to 2.5) and values of Lu between 0.3 and 0.6 ppm (acid: 18 to 41 ppm). LREE are more enriched in the acid dykes, with La between 73 and 155 ppm (basic: 18 to 41 ppm) and La/Sm between 3.0 to 5.0.

Key-words: Pelotas Batholith, acid and basic dykes, petrography, geochemistry,

RESUMO

Estudos petrográficos efetuados em diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS, mostram textura porfirítica com matriz afanítica ou muito fina, glomeroporfirítica a esferulítica (ácidos) e ofítica a sub-ofítica com intercrescimento mirmequítico (básicos). Estes corpos, com orientação dominante NW-SE e N-S, encontram-se encaixados em rochas graníticas do Batólito Pelotas. Os diques básicos possuem afinidade geoquímica transicional entre alcalina e sub-alcalina enquanto que os diques ácidos apresentam afinidades alcalinos. Os primeiros são fortemente metaluminosos, com índice de saturação em alumina (A/CNK) entre 0,60 a 0,65, e os últimos são fracamente metaluminoso a levemente peraluminoso, com A/CNK entre 0,75 e 1,2. Os diques básicos apresentam teores em SiO_2 entre 44 a 48 % e os diques ácidos entre 67 e 75 %. Os diques básicos apresentam teores mais elevados em Ti, Mg, Ca, Fe, Mn e P. O comportamento de elementos maiores e traços (Ti, Fe, Mn, P, Zr e Sr, e relativamente Ca e Mg) mostra a importância da cristalização de minerais ferromagnesianos. Em diagramas com razões entre os elementos traços (Nb/Ta e U/Th) evidenciam-se efeitos de contaminação crustal dos magmas que deram original aos diques. Os $ETR_{(n)}$ mostram padrões próximos da horizontalidade para os ETR pesados, com razões $Tb/Lu_{(n)}$ para os diques básicos da ordem de 1,5 a 2,7 (diques ácidos: entre 1,6 a 2,5) e valores de Lu em torno de 0,3 a 0,6 ppm (diques ácidos: entre 18 e 41 ppm). Os ETR leves mostram-se enriquecidos nos diques ácidos, com teores de La entre 73 a 155 ppm (contra 18 e 41 ppm) e razões La/Sm entre 3,5 a 5,0.

Palavras-chaves: Batólito Pelotas, diques básicos e ácidos, petrografia, geoquímica.

INTRODUÇÃO São encontradas na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul nos domínios do Batólito Pelotas e das Bacias do Camaquã e Santa Bárbara, ocorrências de rochas vulcânicas e sub-vulcânicas (ácidas, intermediárias e básicas), incluindo rochas piroclásticas diversas (tufos, ignimbritos, brechas etc.), na forma de diques, derrames e *sills*, associadas ou não a seqüências sedimentares, com várias designações locais (Riolitos Asperezas, Tufos e Ignimbritos Ana Dias, Formações Hilário, Membro Rodeio Velho e Acampamento Velho) que foram desenvolvidas entre o final do Neoproterozóico III e o Eopaleozóico (Wildner *et al*. 2002, Lima *et al*. 1995, Janikian *et al*. 2003, Fragoso Cesar *et al*. 1986, Almeida *et al*. 2000 dentre outros)

Coube a Figueiredo Filho & Salgado (1964) a denominação de Riolitos Asperezas para a ocorrência de enxame de diques na região da Serra das Asperezas, situada a norte da de Pinheiro Machado. Neste mesmo trabalho, os autores consideram a existência de uma estreita ligação entre os diques ácidos e as rochas graníticas da região.

Posteriormente, outros autores reconhecem ocorrências de diques similares na região de Piratini e descrevem a existência de diques básicos e intermediários associados (Picada 1971, Ribeiro 1977, Gomes *et al*. 1990, Philipp *et al.* 1991, Philipp 1998, dentre outros).

Estes diques têm sido correlacionados na literatura com os Riolitos Asperezas da região de Pinheiro Machado e com as rochas sub-vulcânicas e vulcânicas ácidas (Tufos e Ignimbritos Ana Dias) do Platô do Taquarembó, sendo também incluídos por alguns autores na Suíte Dom Feliciano (Fragoso Cesar *et al*. 1984, Philipp 1998, Philipp & Machado 2001, Wildner *et al.* 2002).

Dados geocronológicos Rb/Sr disponíveis para os diques ácidos dos Riolitos Asperezas apontam idades de 560 ±12 (Soliani Jr. 1986). Embora os recentes dados isotópicos U/Pb (Convencional e SHRIMP) e Pb/Pb (evaporação) forneçam idades relativamente mais antigas para as rochas correlacionadas aos Riolitos Asperezas (ver Koster *et al.* 2001, Philipp *et al.* 2002), há a consenso entre os autores em considerá-los como vinculados à fase final do magmatismo granítico do Batólito Pelotas, notadamente com a Suíte Granítica Dom Feliciano.

O presente trabalho envolve a caracterização petrográfica e geoquímica (elementos maiores, menores, traços e terras raras) do enxame de diques ácidos e básicos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS.

ARCABOUÇO TECTÔNICO REGIONAL Uma feição estrutural comum no Batólito Pelotas é a presença de zonas de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil, principalmente de alto ângulo, que desempenharam um papel muito importante tanto na colocação das suítes graníticas do batólito, quanto na colocação dos diques a ele associados. Estas zonas de cisalhamento foram ativas desde o posicionamento das suítes graníticas mais antigas do batólito (Suíte Pinheiro Machado), com idades U/Pb (Convencional e SHRIMP) e Pb/Pb (evaporação) entre 0.61 a 0.63 Ga (Babinski et al. 1997, Silva et al. 1999, Philipp et al. 2002), até o posicionamento das suítes mais novas, como a Suíte Dom Feliciano, cujas idades obtidas pelas mesmas metodologias, nos granitos Capão do Leão e Santana, forneceram valores entre 0.58 e 0.60 (Koster et al. 2001, Philipp et al. 2002).

Idades mais novas entre 0.53 e 0.54 Ga, obtidas pelo método Ar/Ar, em milonitos de zonas de cisalhamento que afetam rochas graníticas do batólito, foram atribuídas a um evento tectônico tardio ao de geração destas rochas, e interpretado como um evento de reativação tectônica, relacionado aparentemente com a tectônica extensional responsável pelo desenvolvimento da Bacia do Camaquã, situada à oeste do batólito (Philipp *et al.* 2003).

Estruturalmente nota-se, no domínio do batólito, a presença de zonas de cisalhamento rúpteis/dúcteis de alto ângulo NE-SW paralelas à zona de cisalhamento principal da região (Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu - ZCDC), que limita as rochas graníticas do Batólito Pelotas das rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos. A movimentação principal da

ZCDC tem sido caracterizada como sinistral (Fernandes *et al*. 1992, Philipp *et al*. 1993). Associadas a esta zona de cisalhamento, são descritas espessas faixas de milonitos (entre 6 e 7 km) que se estendem do Rio Grande do Sul até o Uruguai. A ZCDC afeta tanto rochas das suítes graníticas do batólito, quanto às rochas mais antigas. Em várias regiões do batólito são descritos diques associados a zonas de cisalhamento dúcteis/rúpteis de alto ângulo, NNE-SSW, com movimentação dominante direcional sinistral (Frantz & Remus 1986, Fernandes *et al*. 1992, Philipp *et al*. 1993). Estes diques, com espessuras métricas e extensão de dezenas a centenas de metros, ocorrem na forma de enxames e encontram-se encaixados em rochas graníticas do Batólito Pelotas, com sua maior área de ocorrência sendo registrada nas regiões de Pinheiro Machado e Piratini.

GEOLOGIA DA REGIÃO DE PIRATINI A área estudada abrange em termos geográficos a região do município de Piratini (RS) e situa-se geologicamente no domínio do Batólito Pelotas, porção leste do Escudo Sul-Riograndense (Fig.1).

Fig. 1. *Mapa de localização da área estudada (modificado de Chemale et al. 2000).*

A região de Piratini é caracterizada pela ocorrência de enxames de diques ácidos e básicos encaixados em rochas graníticas do Batólito Pelotas. Os diques são de natureza sub-vulcânica e encontram-se alojados em fraturas e ao longo de zonas de cisalhamento dúcteis/rúpteis de alto ângulo de direções dominantes próximas de NNE-SSW e N-S, com registros de movimentação direcional, oblíqua e normal. Os diques cortam as rochas encaixantes e ocorrem entorno de corpos graníticos como Cerro do Sandi, Passo do Coutinho e Bela Vista (Gomes *et al*. 1991; Philipp *et al*. 1991). As rochas encaixantes, de composição sienogranítica a monzogranítica e granodiorítica, são relacionadas as suítes Viamão, Dom Feliciano e Pinheiro Machado.

Ocorrem também na região corpos graníticos subcirculares a ligeiramente alongados segundo as zonas de cisalhamento de direção NNE-SSW (Granitos Cerro do Sandi, Passo do Coutinho e Bela Vista). Estes corpos graníticos são cortados ou não por diques, sugerindo de forma análoga o mesmo tipo de controle estrutural durante sua colocação.

O enxame de diques encontra-se afetado por zonas de cisalhamento subverticais, que promovem o encurvamento dos mesmos e deformação no estado sólido. Em mapa, nota-se também a existência de uma geometria curva no granito Bela Vista, junto à zona de falha à leste, de forma análoga à curvatura definida pelos diques, sugerindo colocação simultânea com a movimentação da falha.

Os granitos encaixantes apresentam boas exposições em toda a área de estudo e afloram principalmente na forma de lajedos ao longo das drenagens e encostas ou em cortes de estradas. As exposições são comumente de rocha fresca e mostram o desenvolvimento de um fino manto de alteração. As formas de relevo encontram-se bastante dissecadas. Estes corpos graníticos caracterizam-se por apresentarem composições granodiorítica, monzogranítica a sienogranítica. Os granodioritos correspondem a Suíte Pinheiro Machado (SPM), os monzogranitos a Suíte Viamão (SV) e os sienogranitos, a Suíte Dom Feliciano (SDF) todas pertencentes ao Batólito Pelotas.

Os granodioritos, de cor cinza, possuem granulação média a grossa e textura inequigranular. Exibem bandamento magmático caracterizado por *schlieren* irregular e descontínuo de biotita, com espessura milimétrica a centimétrica.

Os monzogranitos são heterogranulares a porfiríticos, e contêm megacristais euédricos de K-feldspato orientados e imersos em uma matriz equigranular grossa à média (4-8 mm), composta por plagioclásio, K-feldspato, quartzo e biotita. São rochas de coloração rosada com pontuações escuras. Possuem foliação de fluxo magmático definido pela orientação dimensional de megacristais tabulares de K-feldsapto, euédricos a subédricos, com limites retilíneos a lobados e zonamento marcado por trilhas concêntricas de inclusões de biotita, plagioclásio e minerais opacos. A biotita, o principal mineral básico dessas rochas, é subédrica e ocorre intersticialmente associada aos minerais opacos. São encontrados enclaves de composições sienogranito e monzogranito, arredondados a subarredondados, de dimensões centimétricas (15 a 40 cm).

Os corpos de monzogranitos mostram em mapa formas alongadas na direção NE-SW e são concordantes com as zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo. Exibem uma foliação magmática que transiciona muitas vezes para uma foliação no estado sólido para o interior destas zonas de cisalhamento, aparecendo aí rochas miloníticas de espessura métrica. Tais relações estruturais sugerem tratar-se de corpos de colocação sin a tardi-transcorrência.

Os sienogranitos são leucocráticos, rosados, com estrutura maciça, de granulação média (3 a 6 mm), com textura equigranular. Os minerais essenciais são K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. O quartzo possui forma amebóide e a biotita é intersticial. Caracteriza-se por corpos circunscritos e apresentam ao seu redor grande incidência de diques ácidos e básicos. Dentre eles, destacam-se os granitos Cerro do Sandi, Passo do Coutinho e Bela Vista (Gomes *et al.* 1991; Philipp *et al.* 1991, 2002). Estes corpos possuem contatos intrusivos nos granodioritos e monzogranitos. Ocorrem ainda no contato zonas com grande densidade de fraturas e falhas. O

posicionamento desses corpos graníticos foi controlado por zonas de cisalhamento rúpteis/dúcteis de orientação geral N30-60ºE, que são responsáveis também pela sua forma elíptica e alongada.

ENXAME DE DIQUES Na região de Piratini ocorrem mais de duas centenas de diques ácidos e básicos, havendo o predomínio dos primeiros em relação aos últimos. Os diques básicos e ácidos apresentam duas direções principais: uma NW-SE e outra direção próxima de N-S**.** Cabe aqui novamente salientar que não foram observadas no campo relações temporais entre as duas direções de diques, tendo sido observado apenas relações de mistura física (*mingling*) de magmas entre os diques básicos e ácidos, sugerindo assim contemporaneidade entre eles. Os diques da região de Piratini são corpos tabulares, de espessura centimétrica a métrica (30 cm até 10 metros), mostrando contatos retos com os granitos encaixantes, sendo comum à ocorrência conjunta no mesmo afloramento dos dois tipos de diques. Os diques básicos são mais freqüente na região nordeste da área estudada. O estudo detalhado do enxame de diques nesta região permitiu a separação de dois grupos distintos, um de caráter ácido e outro de caráter básico, identificando-se composição mineralógica e feições texturais (observadas em microscopia) diferenciadas, entretanto, em ambos os tipos, observa-se que a matriz é maciça, afanítica/porfíritica, com granulação fina. O mapa geológico da área estudada está representado na figura 2.

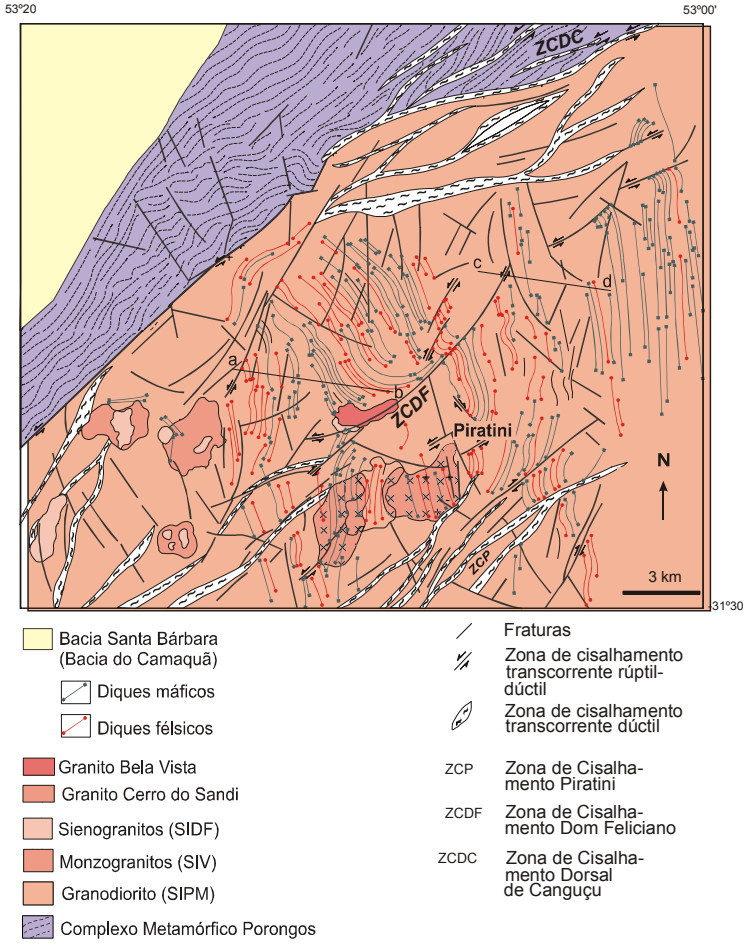


Figura 2. *Mapa geológico da região de Piratini, RS.*

PETROGRAFIA DOS DIQUES ÁCIDOS E BÁSICOS Os diques ácidos, quando não alterados são leucocráticos e exibem cor rósea-avermelhada. Macroscopicamente apresentam matriz afanítica e textura porfirítica, com até cerca de 10% de fenocristais de feldspato e quartzo, geralmente este último bipiramidal, imersos em uma matriz fina.

Microscopicamente apresentam textura glomeroporfirítica felsofírica e por vezes matriz microcristalina. O quartzo ocorre também na matriz como agregados intercrescidos com K-feldspato, quartzo e plagioclásio, resultando muitas vezes em textura esferulítica. O K-feldspato exibe bordas de reação com intercrescimento de quartzo. Os minerais acessórios são plagioclásio (An_{5-10} e An_{16-20}), minerais opacos, biotita, zircão, apatita e titanita. Ocorrem ainda caulinita, clorita, epídoto, carbonatos e óxido de ferro como minerais de alteração.

Os diques básicos são mesocráticos, de cor cinza-esverdeada a preta, sendo comum a presença de veios milimétricos contendo sulfetos. Ao microscópio, caracterizam-se pela presença de fenocristais de piroxênio e plagioclásio como minerais essenciais, dispersos em uma matriz afanítica, formando textura panidiomórfica. Ocorrem também K-feldspato, biotita, anfibólio**,** minerais opacos, sulfetos e apatita como minerais acessórios. Ocorrem ainda carbonatos, sericita e epídoto como minerais de alteração. O plagioclásio ocorre tanto na matriz quanto na forma de fenocristal, com este último exibindo zonamento normal, inverso e oscilatório. O primeiro possui composição albita ($An_{3,6-3,2}$) e o segundo, andesina (An_{50-43}) e labradorita (An_{60-51}). Os fenocristais ocorrem associados tanto a cristais xenomórficos de piroxênio formando textura ofítica e sub-ofítica. Quando associados com agregados de quartzo, formam intercrescimento do tipo mirmequítico.

GEOQUÍMICA Foram analisados um conjunto de 26 amostras de rochas, sendo 9 de diques ácidos, 14 de diques básicos e 3 dos granitos encaixante (Tabelas 1 e 2). As amostras analisadas foram coletadas nos arredores da cidade de Piratini. Os dados analíticos foram obtidos no Laboratório ACTLABS - Ontário - Canadá. Os elementos maiores foram analisados por intermédio de Fusão-ICP (*Inductively Coupled Plasma*) e os elementos traços e terras raras foram analisados por *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). São discutidos conjuntamente os dados geoquímicos dos diferentes elementos analisados (maiores, traços e terras raras) com base em diferentes tipos de diagramas de classificação, caracterização e discriminação de ambientes tectônicos disponíveis na literatura, assim como em diagramas de Harker e de terras raras normalizados, com objetivo de definir a geração e evolução do magmatismo relacionados aos diques e sua possível ligação com a fase final do magmatismo do Batólito de Pelotas.

Para a classificação da nomenclatura e caracterização magmática dos diques estudados, utilizou-se o diagrama de Le Maitre (2002) e Winchester & Floyd (1976) (Figs. 3 e 4) respectivamente. Ambos os diagramas acentuam a diferença composicional entre os diques, com este último separa o campo de basaltos alcalinos dos subalcalinos. No diagrama da figura 3, os diques ácidos apresentam composição riolítica com subordinações traquítica, enquanto os diques básicos apresentam composição de basalto. Observa-se que os riolitos e traquitos situam-se acima da linha de Kuno (1968) caracterizando filiação alcalina e os basaltos situam-se nos dois campos, mostrando serem de filiação transicional. No diagrama de figura 4, os diques ácidos ocupam os campos traquito, comendito/pantalerito e riolito, enquanto que os diques básicos situam-se no limite do campo dos basaltos alcalinos e sub-alcalinos, caracterizando um *trend* transicional com tendência alcalina. As amostras dos diques básicos estudados possuem caráter fortemente metaluminoso, com índice A/CNK entre 0,60 a 0,65, enquanto os diques ácidos e os granitos possuem caráter fracamente metaluminoso a levemente peraluminoso, com índice A/CNK, respectivamente, entre 0,75 a 1,2 e entre 0,96 a 1,02, já bastante próximo do campo peralcalino. O índice A/NK para os diques básicos situa-se entre 2,1 a 2,8, para os diques ácidos, entre 1,1 a 1,2, e para os granitos, entre 1,2 e 1,5. Este comportamento para os riolitos e

granitos é influenciado principalmente pelos valores relativamente elevados em Na_2O (entre 4,0 e 5,5%) e K_2O (entre 2,9 e 5,4%). Por outro lado, os valores baixos exibidos por estes elementos nos diques básicos (Na_2O, entre 2,8 e 3,5%; K2O, entre 0,4 e 1,5 %) refletem seu caráter fortemente metaluminoso.

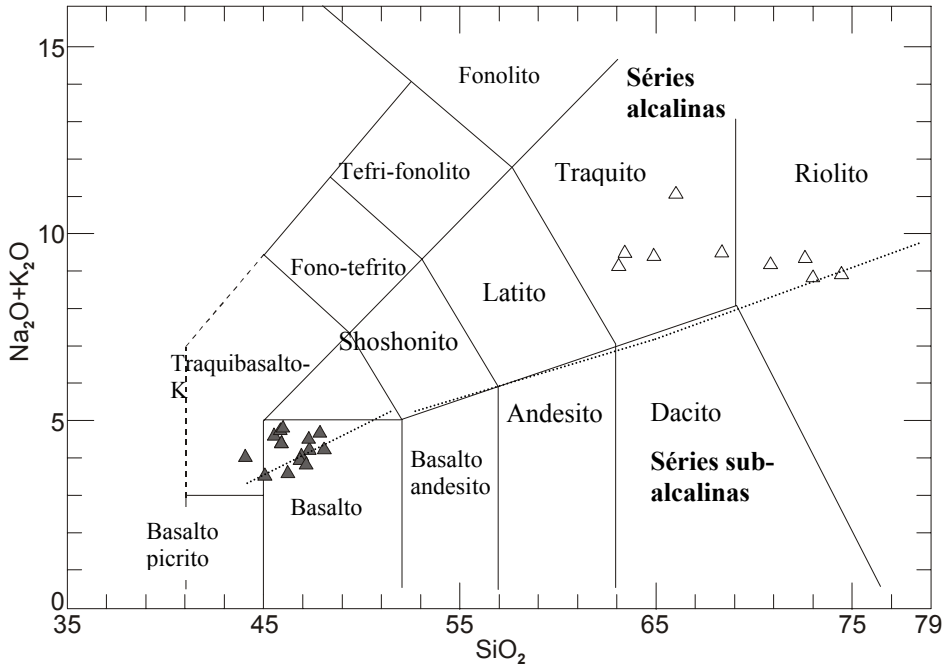


Figura 3. *Diagrama de classificação SiO_2 versus Na_2O+K_2O (%) (TAS - Le Maitre 2002) e o limite entre as séries sub-alcalinas e alcalinos de Kuno (1968) para os diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.* Simbologia: Δ diques ácidos; ▲ diques básicos.

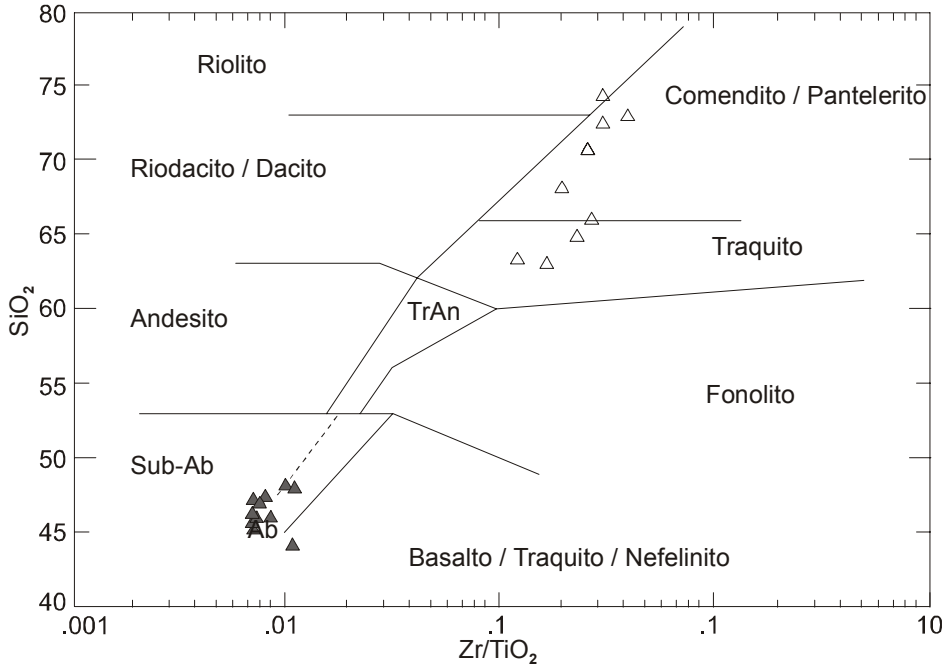
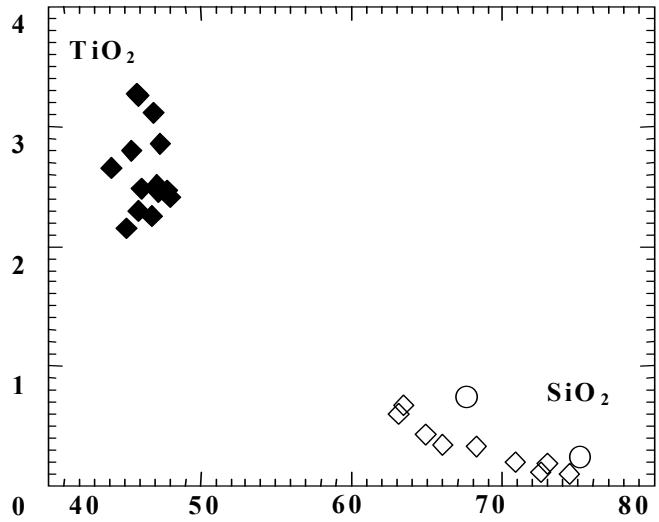
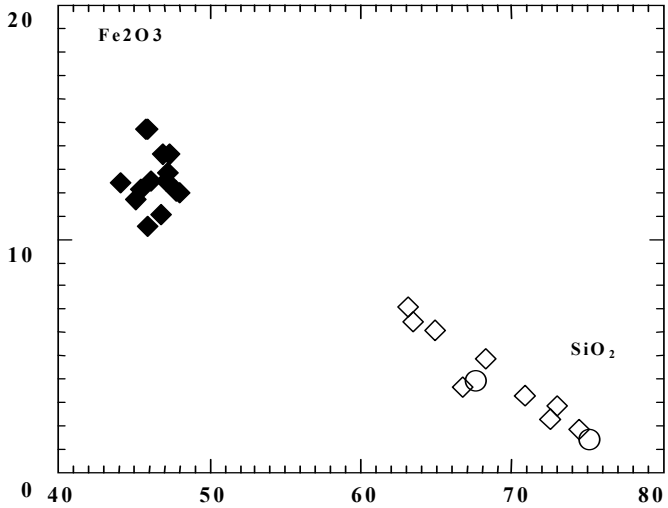
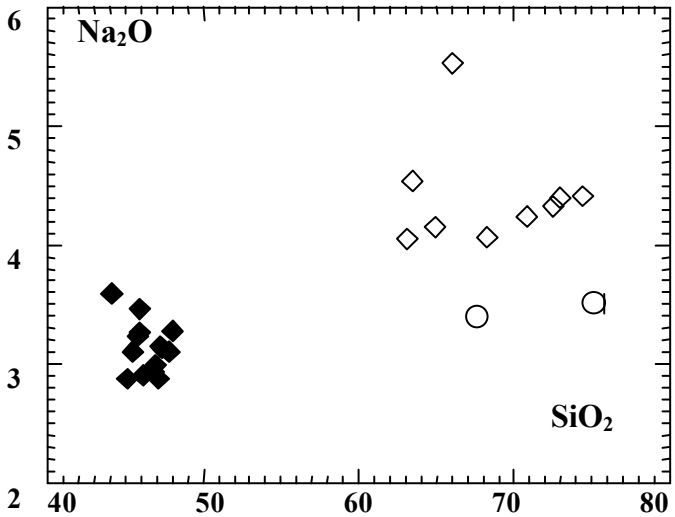


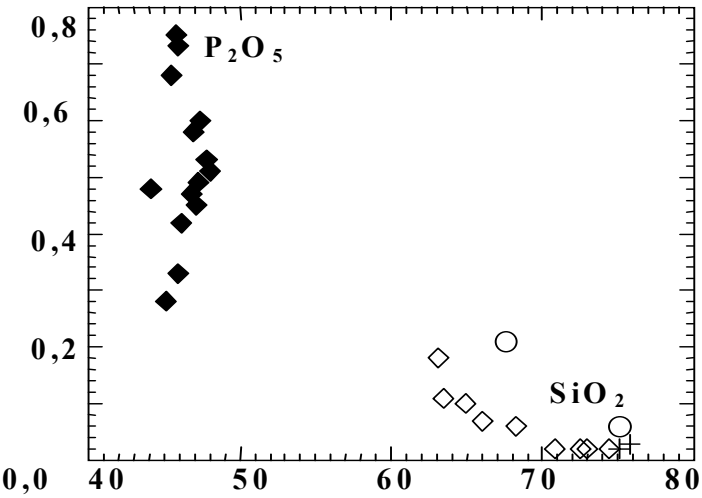
Figura 4. *Diagrama de classificação SiO_2 versus Zr/TiO_2*0.0001 (Winchester & Floyd 1976) para os diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem figura 3.*

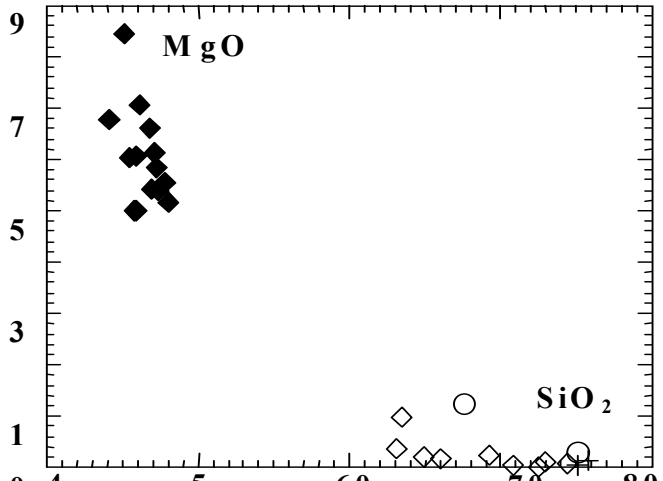
Nos diques básicos, os teores em SiO_2 variam entre 44,0 a 48,0 (%), enquanto nos diques ácidos variam entre 63,0 a 74,4 (%), mostrando assim a existência de magmatismo bimodal com um *gap* composicional em SiO_2 no intervalo de 48,0 a 63,0 (%). Os granitos apresentam conteúdos em SiO_2 entre 67,0 a 75,0 (%). Os diques básicos, em relação aos diques ácidos e granitos, apresentam teores mais elevados em Ti, Mg, Ca, Fe, Mn e P (Fig. 5). Nestes últimos (granitos e diques ácidos) observa-se de maneira geral uma boa correlação linear de alguns elementos com o índice de diferenciação utilizado (SiO_2), ocorrendo durante a evolução um decréscimo de Ti, Fe, Mn, P, Zr e Sr, relativamente de Mg e Ca, com aumento dos teores de Ba, Y e Nb, e comportamento mais ou menos constante de Na e Rb (Fig. 5). O K mostra no início da evolução um comportamento como elemento incompatível - até teores de cerca de 67% em SiO_2 - comportando-se a partir daí como elemento compatível.

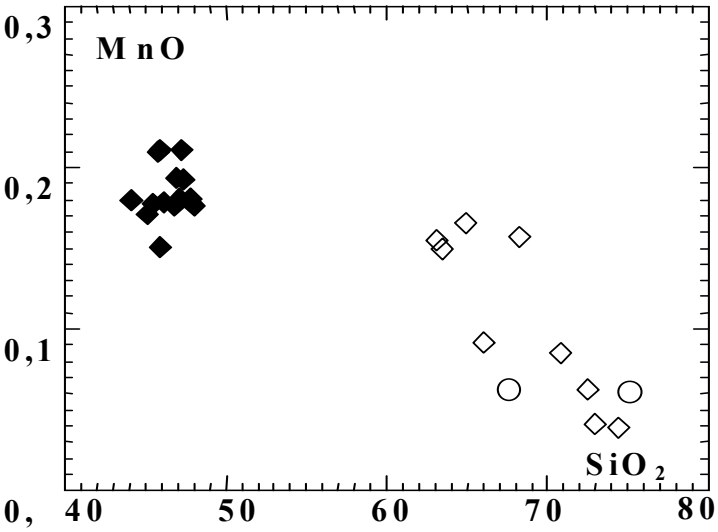


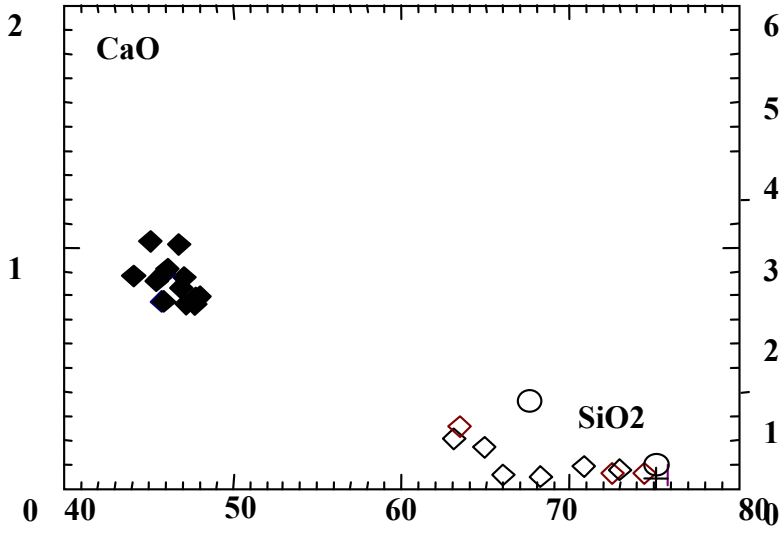

Fe2O3
SiO2
20
10
0
40
50
60
70
80


Na2O
SiO2
6
5
4
3
2
40
50
60
70
80


P2O5
SiO2
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
40
50
60
70
80


MgO
SiO2
9
7
5
3
1
0
4
5
60
70
80


MnO
SiO2
0,3
0,2
0,1
0,
40
50
60
70
80


CaO
SiO2
2
1
0
40
50
60
70
80

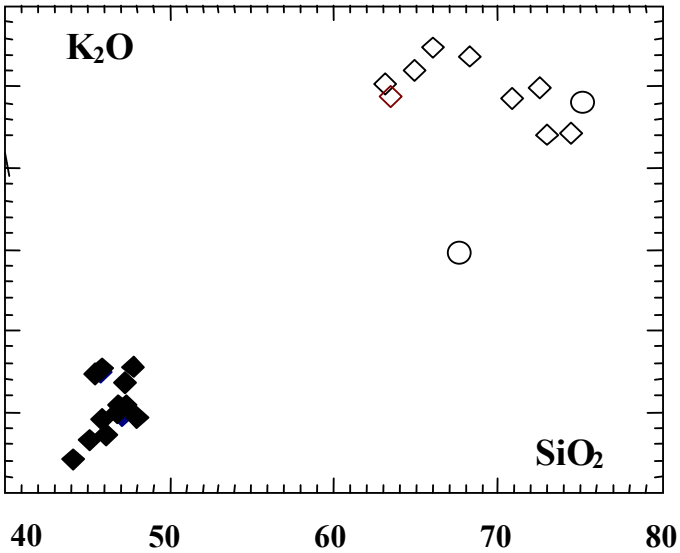

K2O
SiO2
6
5
4
3
2
1
0
40
50
60
70
80

Figura 5: Diagramas de Harker mostrando as principais variações entre os elementos maiores e sílica (%) para o conjunto dos diques ácidos, básicos e granitos encaixantes. Simbologia: ♦*diques básicos;* ◊ *diques ácidos*; • *granitos encaixantes.*

Com base na relação $MgO/(MgO+Fe_2O_3)$, os diques ácidos apresentam valores de mg# entre 0,009 a 0,048, os diques básicos, entre 0,25 a 0,42, e os granitos, entre 0,237 a 0,172.

A utilização de diagramas com Zr como parâmetro de referência, em relação a outros elementos (TiO_2, Na_2O, Nb e Y), conforme sugerido por Leat *et al*. (1986) e Wilson (1989, 1993) mostra comportamento contrastante entre as amostras dos diques básicos e ácidos, ressaltando assim as diferenças entre eles (Fig. 6).

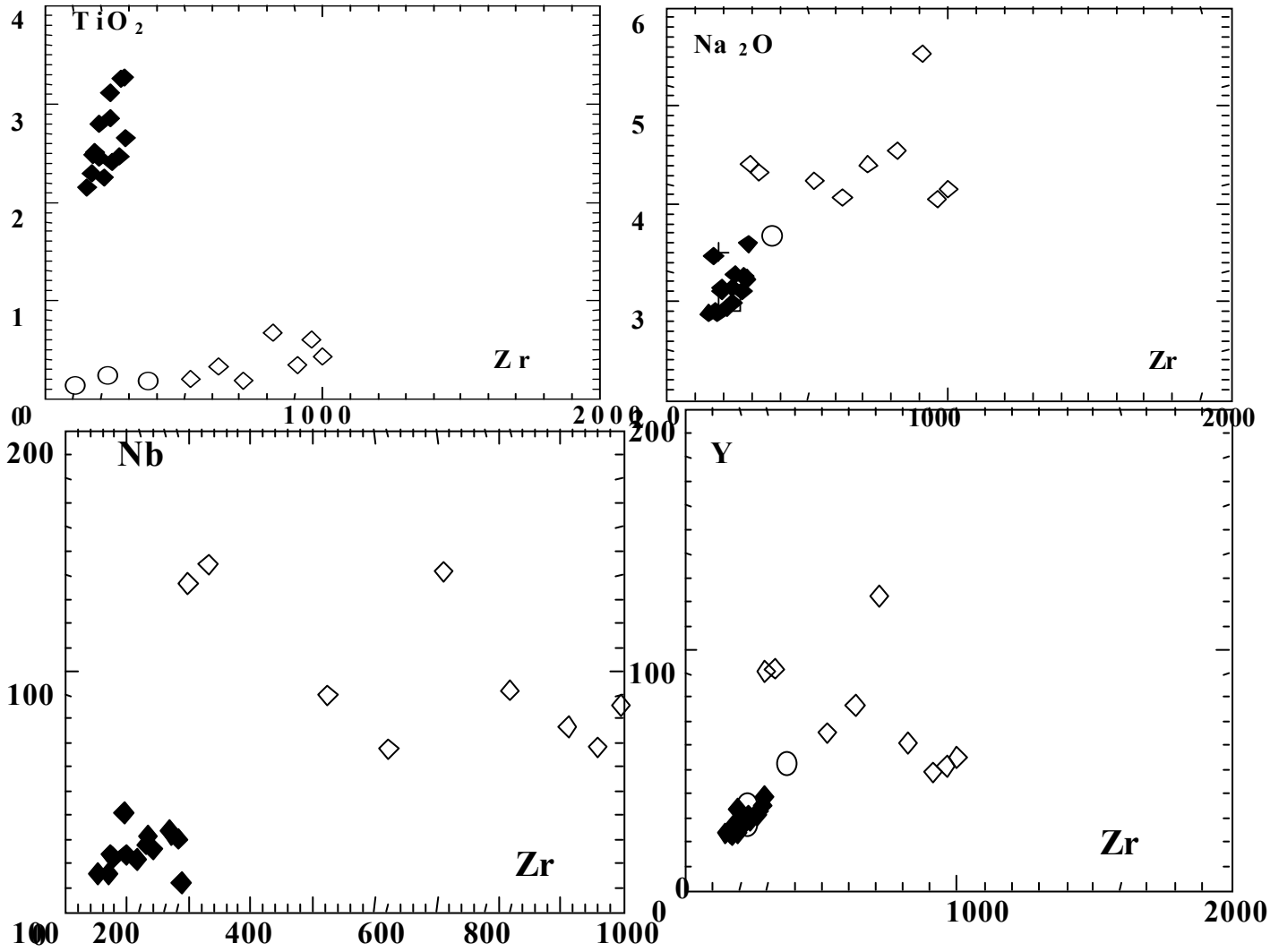
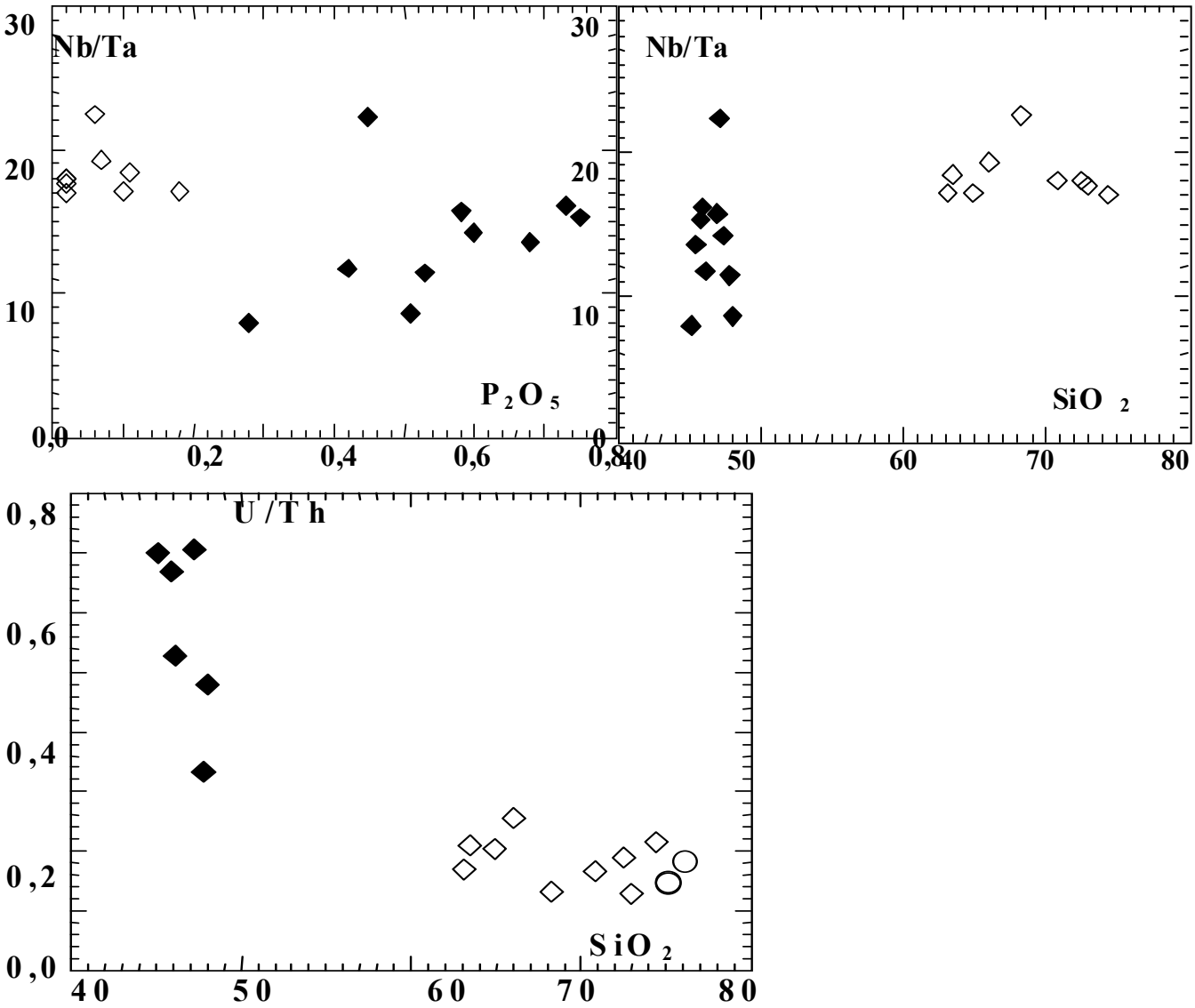


Figura 6. *Diagramas binários de variação de Zr (ppm) versus elementos maiores (%) e traços (ppm) dos diques ácidos, básicos e granitos encaixantes da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

O contraste entre os diques estudados é também evidenciado pelas razões envolvendo elementos traços (Nb/Ta e U/Th) *versus* elementos maiores (SiO_2 e P_2O_5) e também entre elementos traços (Th *versus* U) (Figs. 7 e 8). A dispersão das amostras nos diagramas é sugestiva de efeitos de contaminação crustal dos magmas predecessores dos diques, sendo isto também sugerido pelo decréscimo da razão U/Th *versus* SiO_2 (Fig. 9).

Figura 7. *Diagrama das razões Nb/Ta e U/Th (ppm) versus SiO_2 e P_2O_5 (%) para os diques ácidos, básicos e granitos encaixantes da região de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*



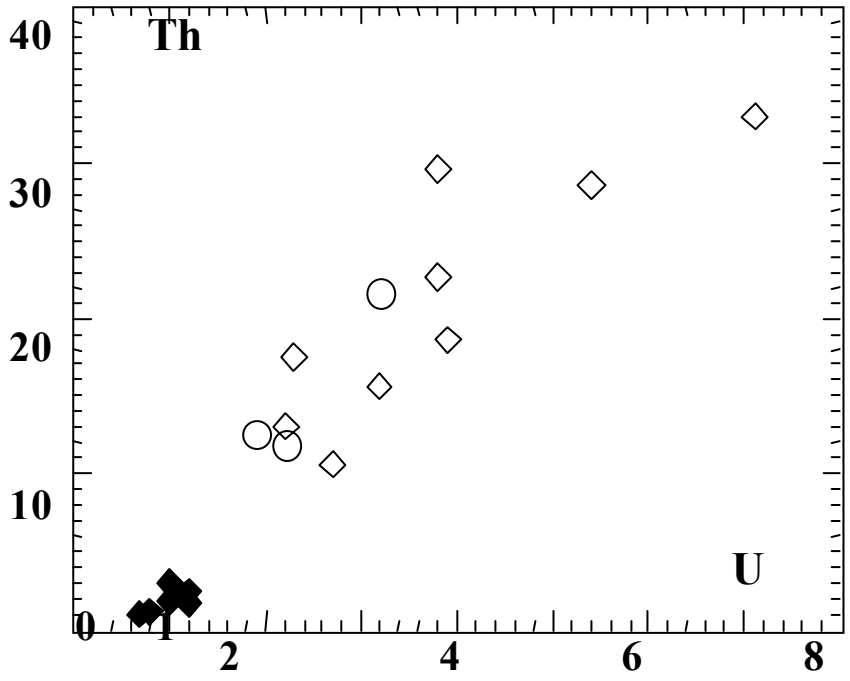


Figura 8. *Diagrama U versus Th (ppm) (Black et al. 1997) para os diques ácidos, básicos e granitos encaixantes de Piratini, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

As amostras de basaltos (diques básicos) apresentam um conjunto homogêneo com relação ao conteúdo de ETR. A distribuição dos $ETR_{(n)}$ gera padrões próximos da horizontalidade para os ETR pesados, com razões $Tb/Lu_{(n)}$ da ordem de 1,52 a 2,7 e valores de Lu em torno de 0,3 a 0,6 ppm. Os ETR leves mostram-se enriquecidos, com teores de La situados entre 18 e 41 ppm e razões La/Sm entre 3,5 a 5,0. O comportamento do Eu é caracterizado pela presença de anomalias levemente positivas pouco significativas, semelhantes ao comportamento descrito para basaltos alcalinos associados a comenditos-panteleritos de associações bimodais metaluminosas e peralcalinas encontradas em outras regiões do mundo (Civetta *et al.* 1998).

Os padrões de ETR dos granitos encaixantes são muito similares aos dos diques ácidos, exibindo forte anomalia negativa de Eu e mesmo comportamento de ETR leves. Nota-se, entretanto, conteúdos ligeiramente mais elevados nos ETR pesados nos diques ácidos (Fig.9a,b,c).

Os $ETR_{(n)}$ mostram padrões próximos da horizontalidade, com razões $Tb/Lu_{(n)}$ da ordem de 1,6 a 2,5 e valores de Lu entre 0,74 a 1,76 ppm (diques ácidos) e entre 0,34 a 0,74 ppm (granitos). Os ETR leves, com teores de La entre 73 a 155 ppm (diques ácidos) e entre 31 a 106ppm (granitos), mostram-se enriquecidos. As razões La/Sm situam-se entre 4 e 6. Observa-se uma diminuição significativa nos teores de ETR leves para os diques ácidos mais ricos em SiO_2. O comportamento do Eu é caracterizado pela presença de anomalias negativas, que aumentam acentuadamente nos termos mais diferenciados. Os padrões de ETR dos diques ácidos são semelhantes aos encontrados em associações comendíticas descritas em diferentes partes do mundo. Nestas regiões, os autores propõem que a assinatura dos ETR esteja relacionada aos

processos de fracionamento mineral, principalmente de feldspatos (Parker 1983, Civetta *et al.* 1998).

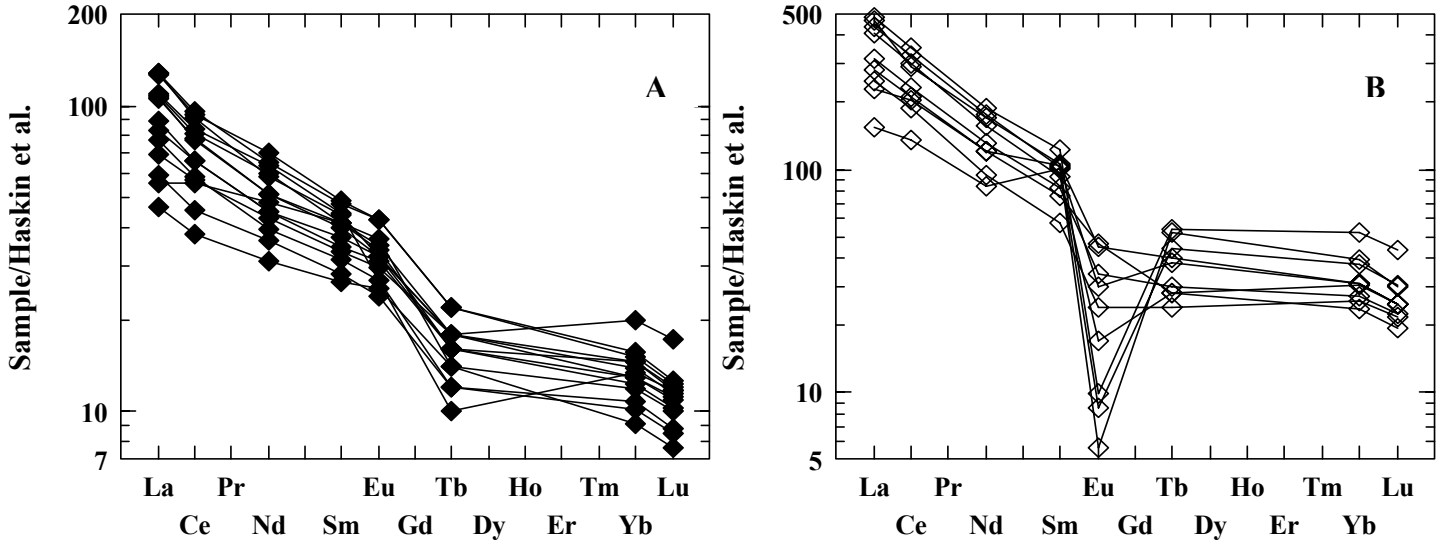
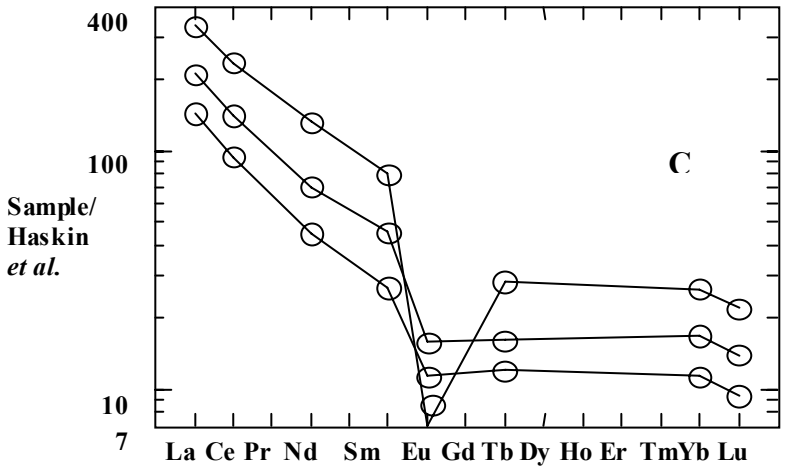


Figura 9. *Padrões de elementos terras raras normalizados pelo condrito de Haskin et al. (1984) para os diques básicos (A); diques ácidos (B); graníticas encaixantes (C) associados ao Batólito Pelotas, região de Piratini, RS.*

Os diagramas multi-elementares com a distribuição dos elementos incompatíveis para os diques ácidos, básicos e granitos, normalizados pelo condrito, (Sun 1982) mostram as seguintes diferenças:

O padrão dos diques ácidos e dos granitos mostra-se similares, com anomalias negativas em Ba, Sr, Eu, Ti, Sc e Ni e mostram-se enriquecidos, em relação ao condrito, em K, Rb, Zr, Y e Tb (Figs. 11 e 13).

O padrão dos diques básicos apresenta anomalias positivas em Ba, Ti, Sr, Eu e La e levemente enriquecido, em relação ao condrito, em K, Nd e Zr (Fig. 12). A anomalia positiva em Eu pode ser pela presença do anfibólio (Hanson 1978).



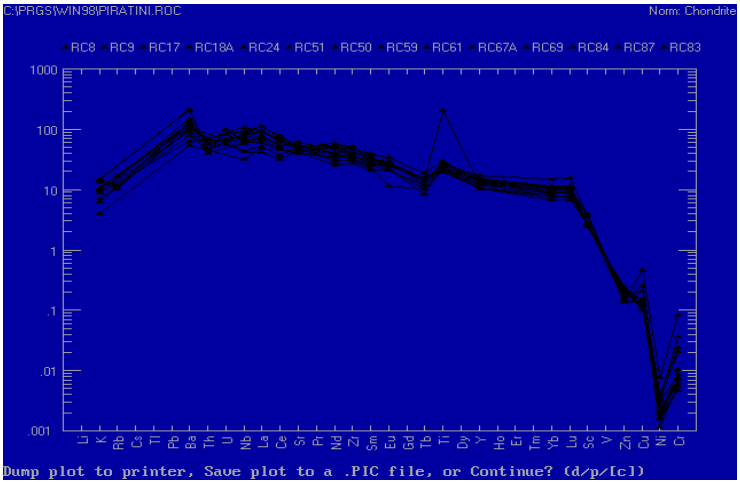


Fig.10.

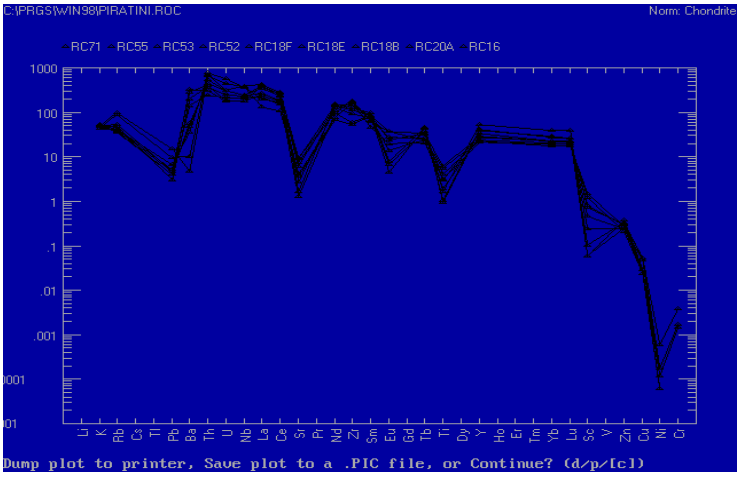


Fig. 11

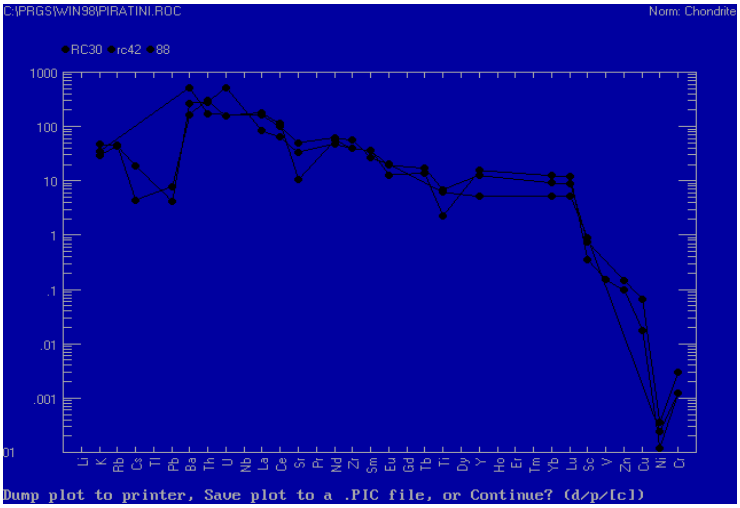


Fig. 12.

Figura 10, 11,12. *Diagramas multi-elementar normalizado para o condrito (Sun 1982) para os diques básicos (10), ácidos (11) e granitos (12) da região de Piratini, RS.*

No diagrama discriminante 2Nb-Zr/4-Y de ambiente tectônico para rochas basálticas (Meschede 1986) as amostras dos diques básicos ocupam os campos AI e AII de basaltos alcalinos intra-placas.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES A disposição das amostras estudadas de Piratini nos diagramas de classificação de rochas vulcânicas (Le Maitre, 2002) indica o caráter dominante alcalino para os diques ácidos, situando-se acima da linha de e transicional para os diques básicos situado-se no limite da linha divisória das séries alcalinas e sub-alcalinas de Kuno (1968) (Fig. 3). No diagrama de Winchester & Floyd (1977) (Fig. 4), os diques básicos ocupam o limite dos campos sub-alcalino e alcalinos, formando um *trend* de tendência alcalina. Entretanto os diques ácidos ocupam os campos dos traquitos, pantalleritos e comenditos, (alcalinos) com as amostras formando um *trend* próximo a linha de divisória, indicando uma progressiva diferenciação magmatica com a razão Zr/TiO_2 aumentando (Winchester & Floyd 1977). No diagrama da figura 14, FeO_t *versus* Al_2O_3, as amostras dos diques ácidos apresentam conteúdos compatíveis com rochas do tipo comenditos, enquanto as amostras dos diques básicos ocupam o campo dos pantalleritos (Le Maitre 2002).

Embora alguns autores consideram que não é muito comum a ocorrência de associações (bimodal) entre rochas de suítes alcalinas e cálcio-alcalinas, registros das mesmas se fazem presente nas ilhas de Granada, Antilhas e México (Arculus & Curran, 1972). Nas Ilhas Granada, os basaltos alcalinos sub-saturados em sílica encontram-se associados com andesitos e dacitos cálcio-alcalinos. Comparando-se os basaltos de Granada com os basaltos de Piratini, observam-se conteúdos de SiO_2 muito próximos (44 a 47% em Granada) e relativamente alto conteúdo em álcalis (principalmente Na_2O). As rochas alcalinas apresentam geralmente conteúdos mais elevados em MgO, Ba, Nb, Zr, Sr, Rb, Ni e Cr quando comparadas com rochas de associações cálcio-alcalinas (Baker 1982). Comparando-se geoquimicamente os diques ácidos da região de Piratini (RS) com riolitos hipabissais da região de Santuário (RS) (Matos *et al.* 2002) nota-se uma estreita semelhança entre os mesmos, observada nos teores dos elementos maiores (ambos os grupos de rochas ocupam o campo dos comenditos) e semelhante padrão para os ETR quando normalizado por Haskin *et al.*(1984).

A presença de magmatismo bimodal na região de Piratini (RS) pode ser correlacionada com outras manifestações semelhantes, como, por exemplo, no Platô do Taquarembó (RS) (Wildner *et al.* 2002). De acordo com os autores, as rochas vulcânicas e plutônicas ácidas foram derivadas de um mesmo magma básico através de processos de cristalização fracionada gerado em ambiente intra-placa pós-colisional. Para o grupo de rochas basálticas e riolitícas (traquitos) da região de Piratini, baseado na integração dos dados de geoquímica obtidos, sugere-se um mesmo tipo de ambiente tectônico, entretanto, com a evolução de magmatismo parental a partir de fontes distintas, com fusões de porções diferentes da crosta.

Os diques ácidos apresentam índice de saturação em alumina (A/CNK) muito próximo do campo das rochas peralcalinas, salientando assim a importância dos álcalis na caracterização do magma que deu origem a estas rochas. Os valores de mg# evidenciam claramente o maior grau de evolução dos diques ácidos (0,09 a 0,048), em relação aos diques básicos (0,25 a 0,42), com os granitos (0,17 a 0,237) apresentando valores mais próximos destes últimos. Observa-se que a diferenciação nos diques básicos é acompanhada pelo aumento de K, P e Ba, com forte decréscimo em Mg, Ti e Fe, mostrando o efeito da cristalização dos minerais ferromagnesianos (Wilson 1986).

Os padrões de ETR muito semelhantes exibidos pelos diques básicos indicam um conjunto muito homogêneo das amostras, sugerindo uma forte similaridade do material fonte e dos processos magmáticos que deram origem à estas rochas. Os ETR dos diques ácidos e granitos representam um conjunto relativamente homogêneo com relação aos conteúdos destes

elementos, mostrando conteúdos mais acentuados de ETR leves, anomalias fortemente negativas de Eu e valores muito baixos de ETR pesados.

Os diagramas multielementares normalizados pelo condrito (Sun 1982) mostram dois tipos de padrões dominantes: um para os granitos e diques ácidos e outro para os diques básicos.

O comportamento diferente dos elementos (maiores e traços) durante o processo de evolução magmática reforça assim as diferenças assinaladas entre os magmas que deram origem aos diques básicos e ácidos. Estas diferenças de comportamento se acentuam quando se utiliza nos diagramas Zr como parâmetro de referência em relação a outros elementos.

O posicionamento das amostras estudadas nos diagramas de discriminação de ambiente tectônico de Meschede (1986) e Pearce *et al*. (1984) (este último não aqui apresentado) sugere que o magmatismo dos diques ácidos e básicos da região de Piratini foi gerado em condições de ambiente intra-placa, sendo isto também compatível com os dados de campo e geocronológicos (estes último da literatura). Estes aspectos são reforçados pelas evidências de contemporaneidade entre os dois tipos de magmatismo e pelo seu caráter tardio em relação às suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas, cuja formação tem sido relacionada aos estágios tardi a pós-colisional do Ciclo Brasiliano (Bitencourt & Nardi 1993 e 2000, Philipp *et al*. 2002).

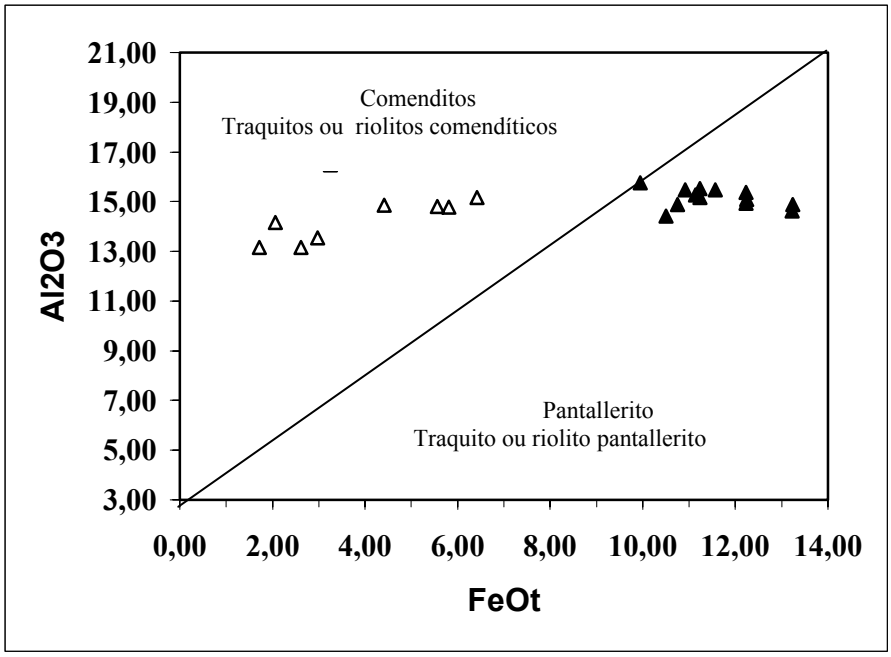


Figura 13. *Riolitos, traquitos e basaltos da região de Piratini, RS., posicionados no diagrama Al_2O_3 versus FeOt (%) (MacDonald 1974). Simbologia: Δ = diques ácidos; ▲= Diques básicos.*

Agradecimentos Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 94/5952-7), pelo suporte financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de campo, ao CNPq (Proc. 300423/82-9, de R. Machado), pela concessão de uma bolsa de Produtividade em Pesquisa, e a CAPES (Celi Zanon), pela concessão de uma bolsa de doutorado.

Tabela 1. *Análises químicas dos elementos maiores (%) dos granitos, diques ácidos e básicos da região de Piratini, RS.*

Amostra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Total	P.F.	IGA	mg#
Ácidos														
RC-16	63,090	15,170	7,130	0,1550	0,360	2,070	4,050	5,030	0,598	0,180	100,280	2,45	0,599	0,048
RC-20A	63,410	14,790	6,460	0,149	0,960	2,580	4,540	4,890	0,683	0,110	100,140	1,58	0,638	0,129
RC-18B	64,870	14,970	6,120	0,166	0,210	1,740	4,150	5,210	0,439	0,100	99,990	2,01	0,625	0,033
RC-18E	72,570	14,170	2,290	0,062	0,020	0,68	4,320	4,990	0,113	0,020	100.16	0,94	0,567	0,009
RC-18F	74,400	13,160	1,900	0,039	0,070	0,65	4,410	4,420	0,101	0,020	99,900	0,75	0,671	0,036
RC-52	70,810	13,540	3,310	0,085	0,030	0,95	4,230	4,870	0,207	0,020	98,950	0,88	0,672	0,009
RC-53	68,290	14,850	4,910	0,157	0,100	0,50	4,070	5,380	0,331	0,060	100,030	1,39	0,636	0,020
RC-55	73,000	13,160	2,900	0,041	0,090	0,82	4,390	4,410	0,182	0,020	100,100	1,09	0,669	0,030
RC-71	66,000	16,470	3,620	0,091	0,170	0,57	5,520	5,480	0,343	0,070	99,280	0,94	0,668	0,045
Básicos														
RC-8	48,070	14,890	11,940	0,176	5,170	7,93	3,280	0,920	2,404	0,510	100,140	4,85	0,282	0,302
RC-9	46,870	15,080	13,600	0,194	5,420	8,33	2,990	1,070	3,105	0,580	99,370	2,13	0,269	0,285
RC-17	47,300	15,460	12,860	0,211	5,830	7,69	3,150	1,360	2,458	0,490	99,040	2,23	0,292	0,312
RC-18A	47,110	15,170	12,490	0,181	6,140	8,72	2,870	0,950	2,508	0,450	98,760	2,17	0,252	0,330
RC-24	47,310	14,920	13,590	0,193	5,380	8,25	3,130	1,080	2,858	0,600	98,670	1,36	0,282	0,284
RC-51	47,860	15,360	12,070	0,181	5,550	7,89	3,110	1,560	2,465	0,530	98,770	2,19	0,354	0,315
RC-50	45,890	16,640	10,550	0,151	6,070	8,89	3,470	0,900	2,292	0,330	98,750	3,55	0,263	0,365
RC-59	46,180	15,530	12,480	0,179	7,060	9,10	2,910	0,710	2,484	0,420	99,230	2,17	0,233	0,361
RC-61	45,830	14,620	14,700	0,210	4,990	7,72	3,230	1,480	3,264	0,750	99,222	2,43	0,322	0,253
RC-67A	45,490	15,480	12,130	0,177	6,020	8,63	3,110	1,470	2,799	0,680	98,590	2,61	0,296	0,332
RC-69	45,910	14,890	14,710	0,211	5,010	7,75	3,260	1,530	3,258	0,730	98,820	1,57	0,322	0,254
RC-84	46,840	15,760	11,060	0,176	6,620	10,09	2,930	1,000	2,256	0,470	98,860	1,67	0,249	0,374
RC-87	44,060	15,270	12,370	0,180	6,770	8,83	3,590	0,410	2,655	0,480	98,650	4,04	0,262	0,354
RC-83	45,090	14,430	11,670	0,171	8,440	10,23	2,880	0,640	2,157	0,280	99,030	3,04	0,244	0,420
Granitos														
RC-30	75,100	13,020	1,440	0,061	0,300	1,030	3,520	4,810	0,240	0,06	100,050	0,41	0,640	0,172
RC-42	67,64	14,94	3,97	0,062	1,23	3,65	3,40	2,97	0,746	0,21	99,360	0,54	0,426	0,237
RC-35	67,16	15,76	4,05	0,068	1,12	3,21	3,69	3,58	0,666	0,22	99,524	0,51	0,461	0,217

P.F. = perda ao fogo em porcentagem.

IGA = índice agpaítico em porcentagem.

mg# = MgO/(MgO + FeO_2) em porcentagem

Tabela 2. *Análises químicas dos elementos traços e terras raras (ppm) dos diques ácidos, básicos e granitos encaixantes da região de Piratini, RS.*

Amostra	Ba	Sr	Y	Zr	Hf	Rb	Ta	Th	La	U	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Nb	Ni	Pb
Ácidos																				
RC16	1120	114	52	959	17,3	133	4	13	89,8	2,2	168	70	14,1	3,3	1,4	4,4	0,66	68,4	N.d*	15
RC-20A	194	108	61	819	15,5	138	5	18,6	141	3,9	255	102	19	2,1	1,9	5,7	0,85	91,9	10	17
RC-18B	668	91	55	997	16,9	167	5	15,7	100	3,2	185	76	15,3	2,4	1,5	5	0,76	85,3	1	11
RC-18E	16	15	92	330	10,1	333	8	28,5	73,4	5,4	160	70	19,3	0,6	2,2	7	1,03	144	3	56
RC-18F	35	45	91	298	10,6	304	8	32,9	49,9	7,1	106	49	18,7	0,4	2,6	7,3	1,01	136	2	36
RC-52	161	33	65	525	12,4	187	5	22,7	130	3,8	236	92	17,2	1,2	1,4	5,6	0,84	89,8	1	17
RC-53	973	74	77	624	13	140	3	17,5	150	2,3	227	99	19,5	3,2	2	5,7	0,85	67,3	N.d*	19
RC-55	121	20	122	712	19,4	144	8	29,5	155	3,8	277	109	22,7	0,7	2,7	9,7	1,49	141	2	25
RC-71	469	49	49	912	14,7	126	4	10,6	80,4	2,7	148	55	10,6	1,7	1,2	4,8	0,74	77,0	3	15
Básicos																				
RC-8	512	582	29	240	4,9	N.d.*	3	2,5	34,2	1,2	61	30	7,4	2,3	0,9	2,4	0,38	26,0	19	N.d*
RC-9	413	659	30	234	4,6	N.d.*	2	2,4	34	N.d.*	62	30	7,7	2,4	0,8	2,4	0,37	31,4	26	N.d*
RC-17	461	669	34	197	4	38	N.d.*	1,7	28,7	1,2	52	26	6,9	2,3	0,9	2,6	0,39	23,8	31	N.d*
RC-18A	319	645	27	177	3,7	N.d.*	1	1,7	26,5	N.d.*	52	26	6,4	2,2	0,8	2,3	0,35	22,3	52	N.d*
RC-24	432	592	31	231	5,2	N.d.*	2	2,5	35,1	N.d.*	66	37	8,2	,	0,5	2,5	0,4	28,4	42	N.d*
RC-51	432	605	31	269	5,6	41	3	3	40,9	1	72	34	8,1	2,3	0,8	2,7	0,4	34,1	34	N.d*
RC-50	212	567	24	169	3,5	N.d.*	N.d.*	1,2	19	0,8	36	21	5,2	1,7	0,6	1,9	0,29	16,2	37	N.d*
RC-59	268	604	23	172	3,6	N.d.*	2	1,9	24,7	1	46	23	5,8	1,9	0,6	2	0,3	23,5	55	N.d*
RC-61	720	593	35	282	5,6	N.d.*	2	3,1	40,5	N.d.*	74	41	9,1	3	1,1	2,9	0,43	30,5	28	N.d*
RC-67A	392	736	24	194	4,3	35	3	2,6	34,7	N.d.*	64	35	7,7	2,6	0,7	1,7	0,26	40,7	28	N.d*
RC-69	707	606	33	274	5,7	N.d.*	2	2,7	41	N.d.*	76	38	8,9	3	1,1	2,8	0,42	32,2	26	N.d*
RC-84	347	484	27	214	4,3	58	N.d.*	1,6	22,1	N.d.*	45	25	6,2	2,1	0,9	2,7	0,41	21,6	58	N.d*
RC-87	184	529	39	288	5,6	N.d.*	N.d.*	0,6	18	N.d.*	44	28	7,7	2,5	0,9	3,7	0,59	12,1	68	N.d*
RC-83	337	512	24	152	3,3	N.d.*	2	1	15	0,7	30	18	4,9	1,8	0,7	2,2	0,34	16,0	128	N.d*
Granito																				
RC-30	564	125	36	224	4,9	160	1	12,7	66,6	1,9	111	41	8,4	1,1	0,8	3,1	0,47	18,2	2	28
RC-42	904	391	28	225	4,6	147	2	11,9	31,6	6,3	62	34	8,3	1,7	1	2,3	0,34	17,9	6	15
RC-35	1726	588	12	314	7,1	136	1	7,2	59,8	n.d	96	44	6,3	1,8	n.d	1,3	0,2	15,6	4	21

N.d=não determinado*

Referências

Arculus R. J. & Curran, E. B. 1972. The genesis of the calc-alkaline rock suite. *Earth planet. Sci. Letters* **15**, 255-262.

Babinski M., Chemale Jr. F., Van Schmus W. R., Hartmann L. A., Silva L. C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *J. Sou. Am. Ear. Sci.*, **10**:263-274.

Baker P. E. 1982. Evolution and classification of orogenic volcanic rocks.

Bitencourt M. F. & L. S. V. Nardi. 1993. Late to pos-collisional Brasiliano Magmatism in the Southernmost Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, **65**: 3-16.

Bitencourt M. F. & Nardi L. V. S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt, *Rev. Bras. Geoc.*, **30**:184-187.

Black S., Macdonald R., Kelly M. R. 1997. Crustal origin for peralkaline rhyolites from Kenya: eviedence from U-Series Disequilibria and Th-Isotopes.J. Petrol. **38**: 277-297.

Chemale Jr. F. 2000. Evolução Geológica do Estado Sul-rio-grandense. In: Holz. M.; De Ros, L. F.(eds) Geologia do Rio Grande do Sul.Porto Alegre. CIGO- EFRGS. P.13-52.

Civetta L., D'Antônio M., Orsi G., Tilton G. R. 1998. The geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Island, Silicy, Channel: petrogenesis and characteristics of the mantle source region. *Journal of Petrology*. **39**: 1453-1491.

Cox K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J. 1979. *The interpretation fo igneous rocks, London*: George Allen & Unwin, 450p.

Irvigne T. N. & Baragar W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences **8** : 523-548.

Fernandes L. A., Tommasi A. & C. C. Porcher. 1992a. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of Dom feliciano Belt; a reappraisal. Journal of South American Earth Science, **5**(1): 77-96.

Figueiredo M.C.H., Fragoso Cesar A.R.S., Kronberg B.L.1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 36, Natal, *Anais,* **4**:1623-1738.

Fragoso-Cesar A. R. S., Figueiredo M. C. H., Soliani E., Faccini U. F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In*: CBG, Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, **3**:1322-1343.

Fragoso-Cesar A. R. S. & Soliani Jr. E. 1984 . Compartimentação tectônica do Crtón do Rio de La Plata. Na. XXXIII Cong. Bras. Geol., **5**: 2426-2434, Rio de Janeiro.

Frantz, J. C., Lima, E. F., Naumann, M. 1984. Contribuição a geologia de Encruzilhada do Sul – RS. In: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia. 33. Rio de Janeiro. Anais. **5**: 2407-2416.

Frantz J. C. & Remus M. V.D. 1986. Geologia da região de Canguçu-Torrinhas, RS: caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. *In:* SBG, Cong. Bras. Geol., 34, Goiânia, *Anais*, **2**:931-947.

Gomes M.E.B. 1990. *Petrologia do Granito Arroio Moinho, Canguçu (RS): geoquímica e deformação*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, 199p.

Gomes M. E. B., Almeida D. P. M., Philipp R. P. & D. A. Pintaúde 1991. Caracterização mineralógica e geoquímica do granito Cerro do Sandi, Piratini-RS. Acta Geológica Leopoldensia, **14**:123-144.

Hanson G. N. 1978.The application of trace elements to the petrogénesis of igneous rocks of granitic composition. *Eart. Planet. Sci. Lett.,* **38**:26-43.

Haskin L. A., Haskin M.A., Frey F.A, Wildemann T.R. 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earts. *In*: I.H. Archeans (Eds.) *Origin and distribution of the elements.* Oxford, Pergamom, pp.: 889-912.

Janikian L., Almeida R.P., Fragoso-Cesar A.R.S., Fambrini G.L. 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua Área-Tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Rev. Bras. Geoc*., **33** (4): 347-360.

Koester E., Soliani Jr. E., Leite J.A.D., Hartmann L.A., Fernandes L.A.D., McNaughton N.J., Santos J.O.S., Oliveira L.D. 2001. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences,* **14**: 91-99.

Kuno H. 1968. *Differentiation of Basalt Magma*. 2a. ed. New York, John Wiley, pp. 623-688.

Le Maitre, R.W. 2002. Igneas Rocks. A Classification and Glossary of Terms.

Leat P.T., Jackson S.E., Thorpe R.S., Stillman C.J. 1986. Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralcaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. *Geological Society of London*, **143**: 259-273.

Lima E. F. & Nardi L. V. S. 1985. Geologia, petrografia e petroquímica das rochas vulcânicas e tufáceas da Região de Volta Grande, Lavras do Sul, RS. *Acta Geol. Leopoldensia*, **20**:15-62.

Lima E. F., Wildener W., Lopes R.C., Sander A., Sommer C.A. 1995. Vulcanismo Neoproterozóico associado as bacias do Camaquã e Santa Bárbara – RS. Uma revisão. *In*: CBG/Núcleo RS, VI Simp. Sul-Brasileiro de Geologia/I Encontro de Geologia do Cone Sul. *Boletim de Resumos Expandidos*, 197-199.

Matos D. F., Lima E. F. de, Sommer C. A., Nardi L. V. S.. Liz J. D., Figueiredo A.M. G., Pierosan R., Waichel B. L. 2002. Riolitos Neoproterozóicos Pós-Colisionais na Área do Santuário, Sul do Brasil: Litoquímica, Química Mineral e Origem das Heterogeneidades Texturais. *Rev. Bras. Geoc*., **32** (2): 255-266.

Meschede M., 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiítes with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.,* Amsterdam, v. 56, n ¾, p.207-218.

Paim P. S. G., Chemale F.Jr., Lopes R. C. 2000. A Bacia do Camaquã. *In*: De Ros, L. F., M. Holz(Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, 231-374.

Parker D. F. 1983. Origin of the trachyte-quartz, trachyte-peralkalic rhyolite suite of the Oligocene Paisano volcano, Trans-pecos Texas. *Bulletin G.S.A.*, **94**: 614-629.

Pearce J. A., Harris N.B. W., Tindle A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.,* **25**:956-983.

Philipp R.P., Almeida D.P.M., Gomes M.E.B., Pintaúde D.A. 1991. Geoquímica do Granito Bela Vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor Oriental do Escudo. *Acta Geológica Leopoldensia*, v.XIV, **34**:95-122.

Philipp R.P., Mesquita M.J., Gomes M.E.B., Almeida D.P.M. 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasilianos da região de Pelotas, RS. *Pesquisas*, **20**(1):3-13.

Philipp R. P. 1998. *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.

Philipp R. P. & Machado R. 2001. Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Rev. Bras. Geoc*., **31** (3): 257-266.

Philipp R. P., Machado R., Nardi L. V. S. & Lafon J. M. 2002. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brazil: Novos dados e revisão da geocronologia regiona. Revista Brasileira de Geociências, **32**(2):277-290.

Philipp R.P., Machado R., Chemale F. Jr. 2003. Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do sul: Implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento. *Rev.Inst. Geoc., USP, Sér. Cient*., São Paulo, **3:** 71-84

Picada R. S. 1971. Ensaio sobre a Tectônica do Escudo Sul-riograndense. Caracterização dos sistemas de Falhas. *In*: CBG, Congr. Bras. Geol., 25, São Paulo, *Anais*, **1**:167-191.

Ribeiro – 1977. Mapa geológico da Quadrícula de Piratini, RS. Fund. Zoobt. Est. R. G. Sul, Publ. Esp. Número 2, Esc. 1:50 000. Porto Alegre

Silva L. C., Hartmann L. A., McNaughton N. J., Fletcher I. R. 1999. U-Pb zircon dating of Neoproterozoic granite magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. *Intern. Geol. Review,* **41**:531-551.

Soliani Jr. E. 1986. *Os dados Geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e Suas Implicações de Ordem Geotectônica,* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutoramento, 425p.

Sun S. S. 1982. Chemical composition and origin of the earth primitive mantle. *Geochem. Cosmochem, Acta,* **46**:179-192.

Tessari R. & Giffoni L. E. 1970. Geologia da região de Piratini, Pinheiro Machado e Bagé, Rio Grande do Sul. *Bol. Div. Geol*., DNPM, Rio de Janeiro, N°. 246.

Winchester J. A. & Floyd P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol*. **20**:325-343.

Wildner W., Sander A, Loper R.C. 2004. Estudo petrológico e litogeoquímico de uma parcela do vulcanismo ácido Cambriano do Rio Grande do Sul – Formação Acampamento Velho. Pesquisas, **21** (1): 47-57.

Wildner W. & Nardi L. V. S. 2002. Caracteristicas Geoquímicas e de Posicionamento Tectônico do Magmatismo Neoproterozóico Aflorante no Platô do Taquarembó –RS. Revista Brasileira de Geociências, **32** (2) 169-184.

Wilson M. 1989. *Igneous Petrology*. London, Unwin and Hyman, 466p.

Wilson M. 1993. Magmatic differentiation. Journal of the Geological Society, London, 150:611-624.

CAPÍTULO VI

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA REGIÃO DE PINHEIRO MACHADO, RS.

VI.1. Geologia da Região de Pinheiro Machado

A área de Pinheiro Machado (RS) engloba as folhas de Pinheiro Machado e Passo do Coutinho, estando as mesmas inseridas no Batólito Pelotas. Geograficamente ela abrange o município de Pinheiro Machado e situa-se na porção sudeste do Escudo Sul-Riograndense. A figura 1 mostra o mapa de localização da área estudada (Capítulo I) e as figuras 66, 67 e 68 mostram o mapa geológico e de amostragens, respectivamente.

As rochas graníticas encaixantes dos diques apresentam composição preferencialmente monzogranítica e sienogranítica, e subordinado algumas amostras de granodioritos, e as mesmas fazem parte das suítes Viamão e Dom Feliciano. Os contatos dos diques com as encaixantes são retilíneos e mostram orientações preferenciais entre N20°-30°E e N20°-50°W, com predominância do primeiro, o que corresponde a mesma orientação das zonas de cisalhamento regionais. Os diques são predominantemente ácidos, ocorrendo também intermediários e básicos.

A figura 66 é representativa do mapa geológico da região de Pinheiro Machado com a distribuição do enxame de diques e das demais litologias. São distinguidos na área do mapa o Complexo Metamórfico Porongos, coberturas sedimentares da Bacia do Camaquã, e o Batólito Pelotas este último apresentando as suítes graníticas Viamão, Dom Feliciano, Pinheiro Machado, Cordilheira além dos septos metamórficos do embasamento. Os enxames de diques estão intrudidos nas suítes Viamão e Dom Feliciano.

Estruturalmente nota-se, no domínio do batólito, a presença de zonas de cisalhamento rúpteis/dúcteis de alto ângulo NE-SW, paralelas à zona de cisalhamento principal da região (Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu - ZCDC), que limita o Batólito Pelotas do Complexo Metamórfico Porongos. Esta zona se estende deste a região de Piratini e a movimentação principal da ZCDC tem sido caracterizada como sinistral (Fernandes *et al*. 1992).

a) Granitos Encaixantes

Estas rochas apresentam boas exposições em toda a área de estudo e ocorrem na forma de pequenas coxilhas e lajedos ou ainda ao longo de encostas e em cortes de estradas. As rochas apresentam leve alteração intempérica observada nos tons que variam entre cinza-esverdeado a avermelhado.

As rochas graníticas encaixantes dos diques estudadas na referida região apresentam composições mineralógicas preferencialmente monzogranitos e sienogranitos. Estas rochas estão associadas à Suíte Viamão (SV), Suíte Dom Feliciano (SDF) respectivamente. Os monzogranitos são corpos rosados, porfiríticos e inequigranulares de granulação média a grossa e algumas amostras apresentam megacristais de feldspato alcalino, estes levemente alinhados, definindo foliação de fluxo magmático. A colocação sin a tardi-cinemática é constatada pela foliação magmática que é concordante com as zonas de cisalhamento. A composição mineralógica é feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita, resquícios de anfibólio e minerais opacos. Algumas amostras mostram terem sido afetadas por processos de saussuritização e carbonatação identificada por apresentarem coloração esverdeada a esbranquiçada. Os sienogranitos são leucogranitos rosados, homogêneos, isótropos, textura equigranular com granulação média. Por serem corpos que não apresentam feições estruturais de deformação acentuadas e mostram comportamento textural homogêneo, sugerem posicionamento posterior às zonas de cisalhamento, similares aos sienogranitos da região de Piratini. Os principais minerais são feldspato alcalino, quartzo, biotita, minerais opacos e plagioclásio. Em geral, as amostras de sienogranitos quando comparadas com os demais tipos graníticos, apresentam menor grau de alteração. Geralmente os diques estudados nessa região,

ocorrem intrudidos em monzogranitos da Suíte Viamão e sienogranitos da Suíte Dom Feliciano. A distribuição das rochas encaixantes da SDF é em torno de 40% (sienogranito) e da SV é de 60% (monzogranito) e os mesmos são encontrados em bons afloramentos em toda a extensão da área, inclusive ocorrem dentro da área, pedreiras de extração de sieno e monzogranitos.

b) Enxames de Diques

A Serra das Asperezas está situada a cerca de 10 Km a leste da cidade de Pinheiro Machado e comporta pequenos morros alinhados, em forma de colinas, com pouca exposição de solo e bons afloramentos de rocha granítica e de diques, principalmente ácido, onde foram observados também diques intermediários e básicos. Aos diques da Serra das Asperezas, Fragoso César (1991) chamou de "serrarias sustentadas por enxame de diques riolíticos de direção NE-SW". O referido autor considera estes diques como sin-plutônicos e gerados na crosta inferior durante a fase tardi-colisional.

O corpo granítico que comporta a Serra das Asperezas tem forma alongada segundo a direção N40-50°E, concordante com a Zona de Cisalhamento Piratini (ZCP) (Fig. 60) mostrando próximo a zona de cisalhamento estrutura foliada e textura protomilonítica e faz parte da Suíte Dom Feliciano. No extremo sul e sudeste do referido granito, os diques intrudem monzogranitos porfiríticos a inequigranulares da Suíte Viamão.

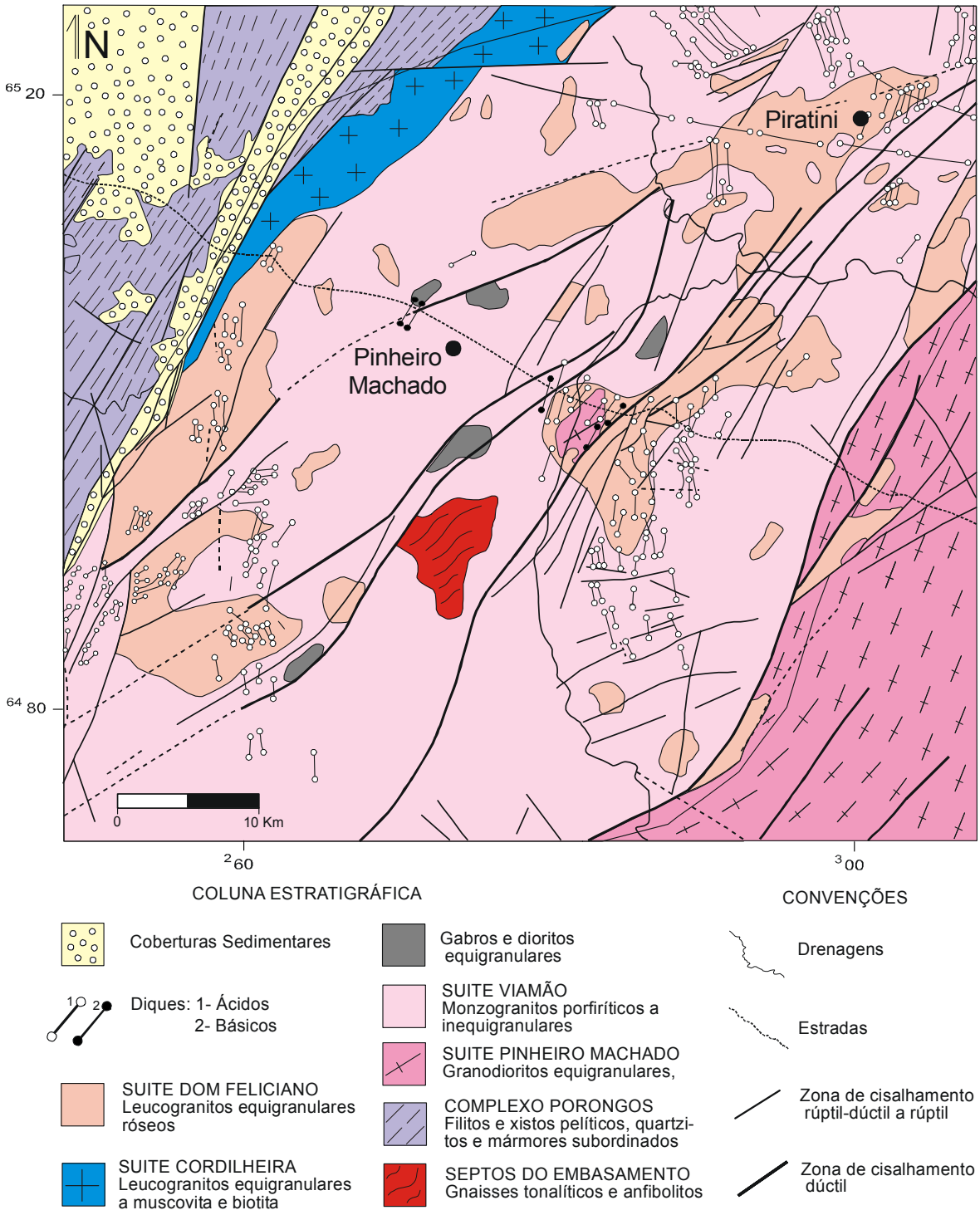
O estudo detalhado em afloramentos mostra que a estrutura dos diques ácidos é maciça, matriz afanítica com granulação variável de fina (<1,0 mm) a muito fina (<0,05 mm) ocorrendo em algumas amostras fenocristais de feldspato alcalino e quartzo, predominando texturas porfíritica. Nestas amostras os fenocristais de feldspato alcalino são euédricos, por vezes quadráticos e os fenocristais de quartzo são bipiramidal distribuídos em matriz afanítica. O tamanho dos fenocristais é médio (1,0 a 2,5 mm). Estes diques apresentam tons avermelhados, cinza-avermelhada até cinza-claro. Alguns cristais de tons esverdeados associados com fenocristais de feldspato, tornam a rocha cinza-rosada, provavelmente à atividade intempérica e pela presença dos minerais lamelares de biotita, clorita e minerais opacos. Analisando-se algumas amostras de mão, é possível determinar proporções de cristais e matriz, sendo em geral 20% e 95% respectivamente. Os fenocristais são de quatzo + feldspato alcalino e os microcristais são plagioclásio + acessórios e restos de anfibólio.

Dique de caráter intermediário e básico existente na região de Pinheiro Machado se resumem a dois afloramentos localizados próximos, sendo os mesmos amostrados. Em amostras de mão, são maciços, apresentam tons esverdeado (básico) e avermelhado (intermediário), porfíritico em matriz afanítica escura, com diminutos cristais placóides acinzentados, distribuídos irregularmente na matriz. Apresentam material de alteração de tons esverdeados, preenchendo veios e microfraturas além de tons avermelhados produzidos por oxidação. Observa-se, localmente diminutos cristais de feldspato alcalino e plagioclásio, associados com cristais lamelares máficos.

A tabela 46 mostra as principais diferenças entre as litologias estudadas e a prancha 9 expõe fotografias de amostra de mão de ambos os diques.

	Sienogranito	Monzogranito	Granodiorito	Ácidos	Básico	Intermediário
Cor	Rosada	Rosada com pontuações escuras	Cinza	Róseo-avermelhada	Cinza-esverdeado	Cinza-avermelhado
Textura/ Granulação	Equigranular média	Inequigranular grossa a média	Inequigranular média a grossa	Porfirítica com matriz afanítica	Porfirítica com matriz afanítica	Porfirítica com matriz afanítica
Hábito e formas de ocorrência dos minerais félsicos	Subédricos, cristais tabulares (Fk)	Tabulares e mega-cristais (Fk); subédricos	Inequigranular subédricos	Subédrico a euédrico	Subédrico a euédrico	Subédricos a euédricos
Hábito e formas de ocorrência dos minerais máficos	Agregados e intersticiais	Cristais subédricos, anédricos e intersticial	Agregados, intersticial e subédrico	Subédricos, anédricos e euédricos	Subédricos, anédricos e euédricos	Subédricos a euédricos

Tabela 46. *Resumo das principais características e texturas dos granitos encaixantes e dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.*



(Fonte: Philipp *et al.* 2005. Modificado da CPRM 1999; Philipp 1998.)

Figura 66. Mapa geológico da Área de Pinheiro Machado, RS.

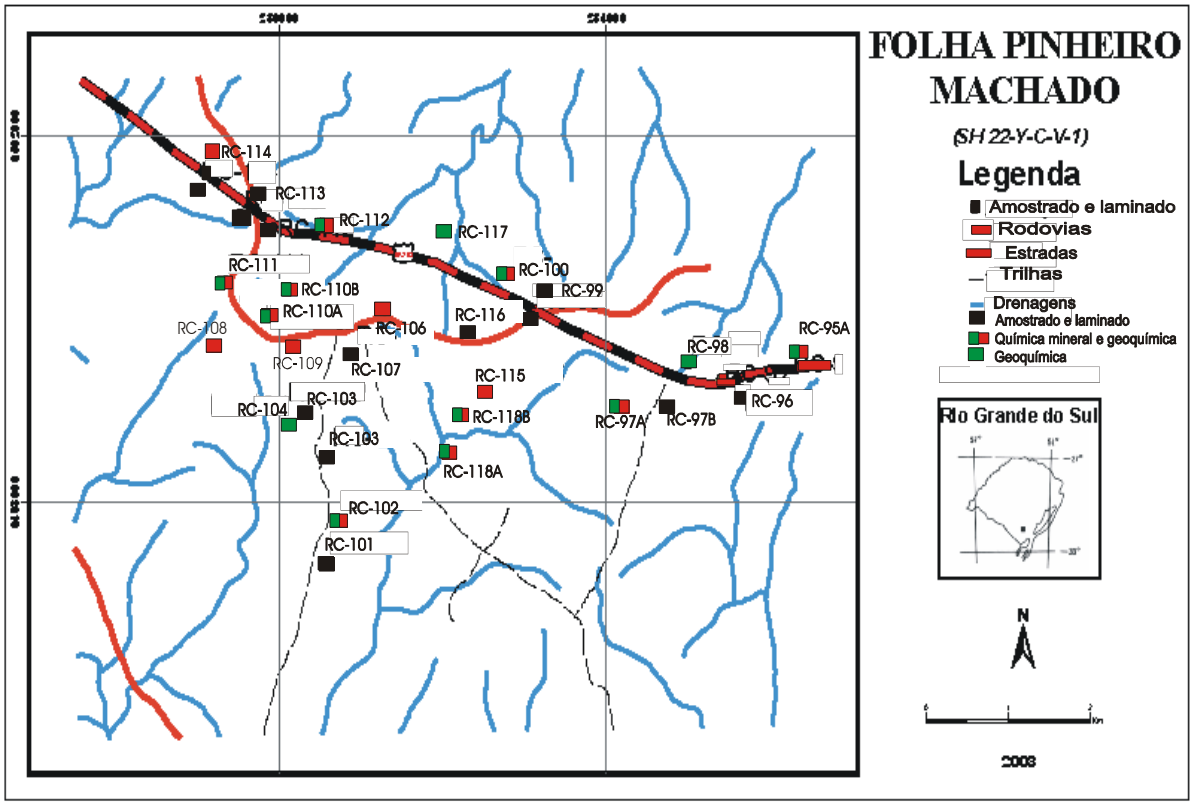


Figura 67. *Mapa de amostragem da Folha Pinheiro Machado, da região de Pinheiro Machado, RS.*

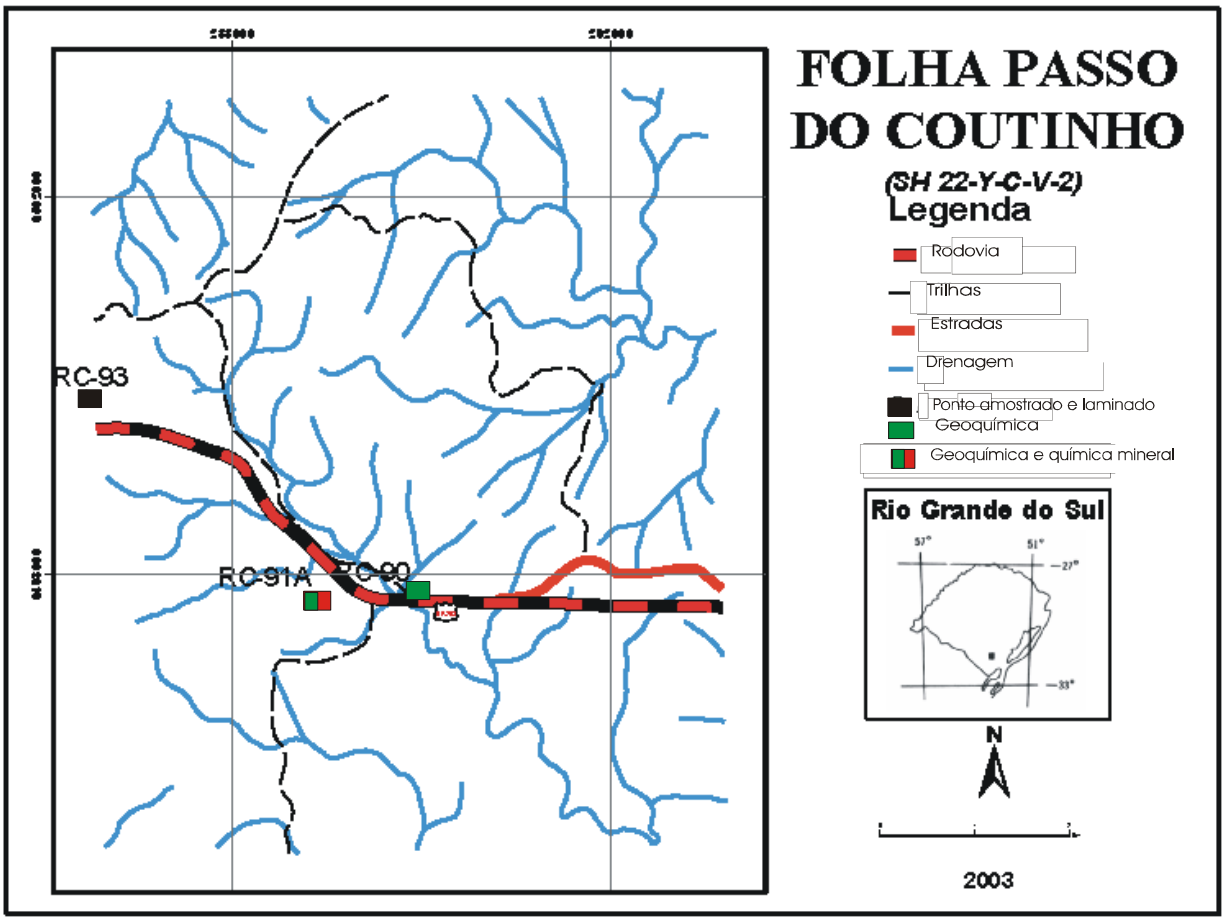


Figura 68. *Mapa de amostragem da Folha Passo do Coutinho, da região de Pinheiro Machado, RS.*

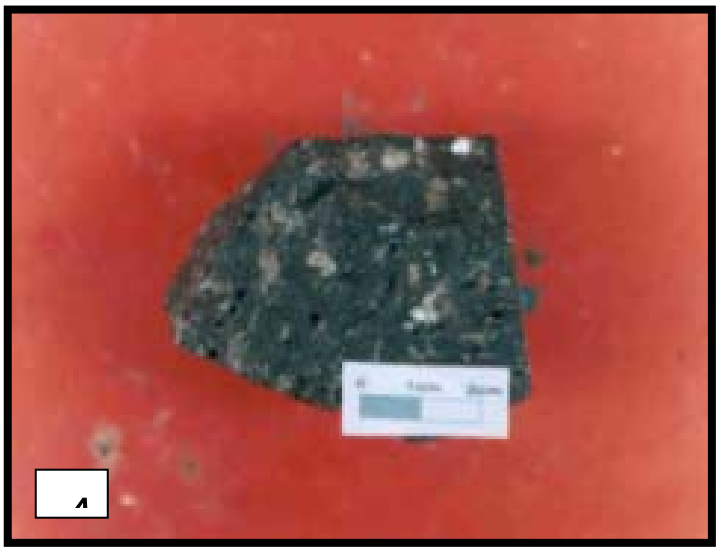
Prancha 9-Fotografias dos Diques Ácidos, Básico e Intermediário da Região de Pinheiro Machado (RS).

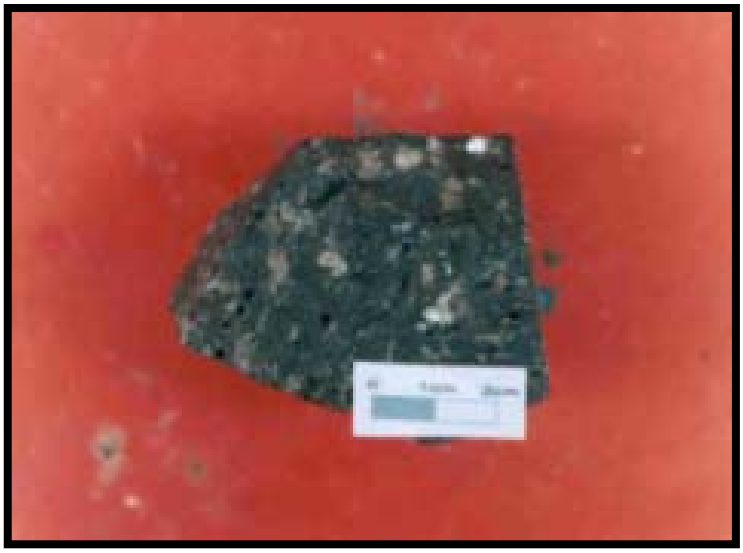
A - *Riolito leucocrático com matriz afanítica. Observar fenocristais de quartzo e feldspato alcalino (RC-94).*

B - *Dique intermediário (latito). Observar cristais tabulares de plagioclásio e feldspato alcalino dispersos na matriz afanítica. Cor cinza avermelhada (RC-118A).*

C – *Riolito avermelhado, textura porfirítica e matriz afanítica. Fenocristais de quartzo bipiramidal euédrico disperso na matriz (RC-110B).*

D - *Dique básico (basalto), porfirítico com fenocristais de plagioclásio dispersos em matriz afanítica (RC-*118*B).*





C

D

VI.2. *Petrografia*

VI.2.1. *Introdução*

Para a realização da investigação petrográfica das rochas estudadas, foram descritas seis lâminas de granitos encaixantes e 20 de diques. A classificação e nomenclatura adotadas para as rochas graníticas foram estabelecidas a partir da análise modal das amostras e uso do diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976) (Fig. 69). Para os enxames de diques ácidos, intermediário e básico partiu-se de análise modal visual dos minerais em relação a matriz e, posteriormente, com base nos dados de geoquímica confeccionou-se diagramas de classificação para as rochas vulcânicas.

Primeiramente são apresentados os aspectos petrográficos das rochas graníticas encaixantes, e a seguir dos diques.

VI.2.2. *Relações de Campo e Características Petrográficas*

As rochas graníticas encaixantes estudadas na referida região apresentam composições mineralógicas de *monzogranitos, sienogranitos* e subordinadamente *granodiorito.* Os granitos estudados nesta região são similares quanto à estrutura, geometria dos cristais e composição mineralógica dos estudados na região de Piratini.

Os *monzogranitos* (SV), são corpos rosados, porfiríticos e inequigranulares de granulação média a grossa, e algumas amostras e apresentam também megacristais de feldspato alcalino, estes levemente alinhados. São constituídos por *feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita e minerais opacos.* Algumas amostras apresentam material de alteração, de coloração esverdeada a esbranquiçada.

Os *sienogranitos* (SDF) são leucogranitos rosados, homogêneos, isótropos, equigranular com granulação média. A exemplo dos granitos da SDF de Piratini, sugere-se que o posicionamento ocorreu posterior às zonas de cisalhamento. Os principais minerais descritos em amostra de mão são: *feldspato alcalino, biotita, quartzo, minerais opacos e plagioclásio.*

Em campo, um afloramento de composição *granodiorítica* apresenta um dique intrudito, entretanto, pelas suas características, faz parte da SV. Trata-se de um corpo acinzentado com pontuações escuras e grãos rosados, textura inequigranular média grossa, isótropos mostrando-se levemente foliado. Macroscopicamente observam-se os seguintes minerais: *plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, biotita, minerais opacos*.

VI.2.3. *Descrições Microscópicas*

a) *Monzogranitos*

O *feldspato alcalino* apresenta tamanho entre 0,5 a 3,5 mm e são cristais hipidiomórficos a xenomórficos, com predomínio dos últimos. Estes últimos apresentam bordas irregulares. São pertitas e microclínio. Os fenocristais apresentam inclusão idiomórficas a hipidiomórficos de minerais acessórios e de plagioclásio, mostrando textura poquílitica. Nas bordas dos fenocristais são comuns intercrescimentos de cristais de quartzo exibindo textura gráfica. Os minerais de alteração são caulinita e sericita, predominando nas partes centrais dos fenocristais. Este tipo de alteração apresenta aspecto mosqueado.

Os fenocristais de *plagioclásio* mostram dimensões entre 1,0 e 3,0 mm e formas entre hipidiomórfica a xenomórfica. Raros cristais (0,5-1,0 mm) são idiomórficos e em geral ocorrem inclusos em feldspato alcalino. Contatos com os demais cristais são irregulares e por vezes um dos lados é reto. Apresentam-se por vezes associados com cristais hipidiomórficos de feldspato alcalino e quartzo em uma estrutura levemente orientada. A geminação, segundo a lei da albita, mostra teores de anortita entre An_{8-6}; An_{10-9}; An_{12-10}; An_{14-10} caracterizando albita e oligoclásio como principais plagioclásios. A textura mirmequítica é rara, ocorrendo somente nas bordas de alguns cristais, observam-se vênulas de quartzo interpenetradas nos plagioclásios. Saussuritização representa o principal processo de alteração das fases minerais, geralmente preenchendo microclivagens, maclas e regiões centrais e marginais de alguns cristais.

Os cristais de *quartzo* variam entre 0,1 a 3,5 mm, xenomórficos e contatos com os demais cristais são irregulares. Uma característica marcante dos fenocristais é a extinção do tipo tabuleiro-de-xadrez, é indicativa de processos de deformação sob condições de alta temperatura. Outra característica é ocorrência de fraturas e recristalização intersticial.

Cristais de *biotita* apresentam tamanhos entre 0,5 a 1,5 mm em forma de lamelas irregulares e com bordas alteradas para clorita. Apresentam pleocroísmo de marrom-claro a escuro. Em geral, apresentam simplictito e minerais opacos em suas zonas de clivagens (Prancha 10-A). Raros cristais totalmente alterados de *anfibólio* podem ser observados entre as plaquetas de biotitas.

Os *minerais opacos* em dimensões que variam de 0,01 a 0,3 mm são idiomórficos (magnetita) a xenomórficos. Ocorrem associados aos demais minerais máficos ou como inclusão em plagioclásio, feldspato e biotita.

Traços de *zircão, apatita, fluorita, epídoto e titanita* formam o conjunto de minerais acessórios. Normalmente estão inclusos ou interdigitados aos minerais opacos e biotita. Dos acessórios, a fluorita se diferencia dos demais por ocupar espaços sob a forma de bolsões, xenomórfica e apresentar pleocroísmo lilás-claro a escuro.

b) Sienogranitos

As rochas de composição *sienograniticas* são leucocráticas e os minerais distribuem-se de forma homogênea e não apresentam feições de deformação. Os fenocristais de *feldspato alcalino* (1,0-2,5 mm) são hipidiomórficos a xenomórficos. Os cristais apresentam bordas que variam de regulares a irregulares e os intercrescimentos mais comuns são pertitas e microclínio, sendo comum maclas Carlsbad. É comum textura poiquílitica com inclusões de

cristais de plagioclásio, minerais opacos, titanita e zircão. Em geral, sobre os cristais e em regiões macladas, são desenvolvidos materiais de alteração de caulinita e sericita.

Os cristais de *plagioclásio,* com dimensões entre 0,5 a 1,5 mm, hipidiomórficos a xenomórficos, geralmente os contatos são irregulares em contato com quartzo e retilíneo quando em contato com feldspato alcalino. As maclas polissintéticas da albita apresentam teores de anortita que variam de An_{4-10} e de An_{12-10} e caracteriza o plagioclásio como albita e plagioclásio. Textura mirmequítica é observada nas bordas de alguns cristais. Saussurita é o principal material de alteração presente em cristais de plagioclásio.

Cristais de *quartzo* ocorrem como fenocristais (1,0-3 mm) e como cristais da matriz (0,2-0,5 mm). Ambos são xenomórficos. A extinção ondulante ocorre em todos os cristais e os fenocristais em geral estão fraturados. Os cristais menores ocupam espaços entre os fenocristais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio.

A *biotita* ocorre como palhetas de dimensões inferiores a 1,5 mm sem forma definida. Em geral, mostram-se alteradas para clorita e óxido de ferro, associadas com titanita, minerais opacos e epídoto.

Os *minerais opacos* se resumem a diminutos cristais (0,01 a 0,05 mm) sob a forma hipidiomórfica e xenomórfica. Geralmente distribuem-se entre as lamelas das biotitas e cloritas. Alguns cristais apresentam-se oxidados.

Zircão, apatita, titanita, epídoto e fluorita formam o conjunto de minerais acessórios e suas dimensões são inferiores a 0,03 mm. Cristais de *zircão* são idiomórficos e apresentam-se levemente zonados, inclusos em fenocristais de plagioclásio, e associados com titanita e biotita. O mesmo ocorre com o *epídoto***.** As *Apatita***s** estão distribuídas (0,01 a 0,03 mm) entre os cristais ou associadas aos minerais opacos.

Entre os minerais de alteração, a *caulinita, mica branca* (*sericita), carbonatos* são os mais comuns, seguidos de *clorita* e *óxido de ferro*.

c) Granodiorito

O *feldspato-alcalino* ocorre em geral como fenocristais entre 1,0-2,0 mm, hipidiomórfico, e em cristais intersticial entre 0,2 a 0,8mm, xenomórfico. Apresentam intercrescimentos como microclínio, pertitas e mesopertitas. As inclusões são feições comuns, e ocorrem como cristais idiomórficos a hipidiomórficos de plagioclásio, minerais opacos, titanita, apatita, epídoto e zircão fornecendo uma textura poiquilítica. A intensa quantidade de intercrescimentos pertíticos sugere a ocorrência de uma fase tardia de cristalização. Minerais de alteração resumem-se a carbonatos e sericita que se desenvolvem incipiente ao longo dos planos de clivagens.

O *plagioclásio* ocorre com dimensão entre 0,2 a 3 mm e formas hipidiomórfica a xenomórficos com alteração do tipo saussurita. Os teores de anortita de acordo com a lei da

albita mostram teores de anortita de composição oligoclásio (An_{19-24}). Textura mirmequítica é observada nas bordas dos cristais de plagioclásio que são invadidas por pequenas vênulas ou gotículas de cristais irregulares de quartzo. Raros cristais apresentam um leve zonamento do tipo normal e inverso. Por vezes é possível identificar alguns cristais deformados mostrando-se encurvados com extinção ondulante e presença de cristais fraturados com fraturas preenchidas por cristais de quartzo e epídoto secundário. É possível que este tipo deformação do tipo dúctil e rúptil indique dois processos magmáticos, um no estado sub-solvus e outro no estado sólido (Prancha 10-B-C).

O *quartzo* apresenta tamanho entre 0,3 a 2,5 mm, é xenomórfico e ocorre na forma intersticial, ou associado com feldspato alcalino e plagioclásio. Por vezes mostram-se levemente estirados com extinção ondulante na forma de tabuleiro-de-xadrez.

O principal máfico é a *biotita* seguida de *minerais opacos* e resquícios de *anfibólio*. Ocorre na forma de palhetas e associadas com minerais opacos. Apresentam inclusão de zircão. Em geral são alteradas e mostram clivagem preenchida por óxido de ferro. As bordas são cloritizadas.

Os minerais acessórios como *titanita, apatita, zircão e epídoto* (0,1 a 0,5 mm) são idiomórficos com exceção do *epídoto* que se mostra xenomórfico. Em geral estão inclusos em plagioclásio e feldspato alcalino ou associados com minerais máficos.

Minerais de alteração como *clorita, sericita* e *caulinita* ocupam partes centrais e ao longo de clivagens de plagioclásio e feldspato alcalino.

A tabela 47 apresenta a ordem de cristalização das fases minerais das rochas graníticas encaixantes dos diques e, a tabela 48 mostra a composição modal destas rochas.

Na tabela 49 estão sintetizadas as principais características petrográficas dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.

Fase-magmática	Fase tardi-magmática	Fase pós-magmática
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais Opacos		
Epídoto		
Anfibólio		
Biotita		
Plagioclásio	Fluorita	Epídoto, clorita, sericita, saussurita,
Feldspato Alcalino	Microclínio	Carbonato, caulinita, mica branca
Quartzo		

Tabela 47. *Provável ordem de cristalização das fases minerais estudadas nas rochas graníticas encaixantes dos diques na região de Pinheiro Machado, RS.*

Amostra→ Minerais↓	**RC-96**	**RC-90**	**RC-108**	**RC-109**	**RC-115**	**RC-117**	**RC–97B**
Quartzo	30,00	35,00	22,00	27,30	26,70	28,50	27,50
Feldspato	40,00	37,00	24,40	51.50	42,50	52,00	43,00
Plagioclásio	20,00	20,00	35,70	14,00	13,50	13,50	14,00
Biotita	2,80	2,50	10,50	3,00	6,50	2,50	5,20
Anfibólio	---	---	Tr	---	Tr	0,50	1,00
Titanita	0,30	Tr	0,10	0,30	0,20	0,20	0,20
Minerais Opacos	3,20	2,50	4,00	2,00	4,00	1,50	2,50
Apatita	0,20	Tr	Tr	Tr	0,10	Tr	Tr
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0,15
Fluorita	Tr	---	---	---	---	Tr	---
Epídoto	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Min. Alt*	3,50	3,00	3,30	2,00	5,50	1,30	5,50
∑Total	100,00	99,00	100,01	100,00	99,00	100,00	99,05

Q	33,33	37,50	26,79	29,42	32,28	30,32	32,50
A	44,44	41,00	29,71	55,49	51,40	55,32	50,88
P	22,22	23,60	43,48	15,08	16,32	14,36	16,56
Máficos	6,50	8,00	14,60	5,30	10,80	4,70	9,05

Tabela 48. *Composição modal (%) das rochas graníticas encaixantes dos diques na região de Pinheiro Machado, RS.*
Min. Alt.. = sericita, clorita, saussurita, mica branca, caulinita, carbonatos, epídoto*
Tr –traços; ---= não ocorrem.
***Q** = Quartzo; **A** = Feldspato Alcalino; **P** = Plagioclásio*
Nomenclatura dos termos graníticos com base na análise modal.
RC-90 – Monzogranito
RC-96- Monzogranito
RC-97B – Monzogranito
RC-108 – Granodiorito
RC-109 – Sienogranito
RC-115 – Monzogranito
RC-117 –Sienogranito

Figura 69. *Diagramas QAP de classificação das rochas graníticas encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS. Legenda: 1= sienogranito, 2 = monzogranito, 3 = granodiorito (Streckeisen 1976) Simbologia:* ■ *= granodiorito*

●= *monzogranito*

○= *sienogranito*

Amostras	Cor	Estruturas	Texturas	Minerais Essenciais	Minerais Acessórios	Classificação	Localização (Dados GPS)
RC-90	Rosado	Maciça; leve orientação de Fk	Inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo	Biotita, Minerais Opacos, Titanita, Apatita, Epídoto	Monzogranito	3137834/5313673
RC-96	Rosado-esbranquiçado	Maciça	Hipidiomórfica inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Apídoto, Apatita, Titanita, Zircão, Minerais Opacos	Monzogranito	3137230/5315502
RC-97B	Rosado-esbranquiçado	Maciça; leve bandamento magmático	Hipidiomórfica inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Titanita, Zircão, Minerais Opacos	Monzogranito	3137267/5315951
RC-108	Cinza-esbranquiçado	Maciça à Levemente foliada	Hipidiomórfica inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita	Epídoto, Apatita, Zircão, Titanita, Anfibólio, Minerais Opacos	Granodiorito	3136884/5318858
RC-109	Rosado	Maciça	Equigranular hipidiomórfica	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita.	Epídoto, Apatita, Fluorita Zircão, Minerais Opacos	Sienogranito	3136342/5319075
RC-115	Rosado-esbranquiçado	Maciça com leve orientação dos Fk	Porfirítica inequigranular	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita.	Epídoto, Apatita, Titanita Zircão, Fluorita, Anfibólio	Monzogranito	3137212/5317744
RC-117	Rosado	Maciça	Equigranular hipidiomórfica	Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Quartzo, Biotita.	Epídoto, Apatita, Titanita, Zircão, Fluorita, Minerais Opacos	Sienogranito	3133378/5318919

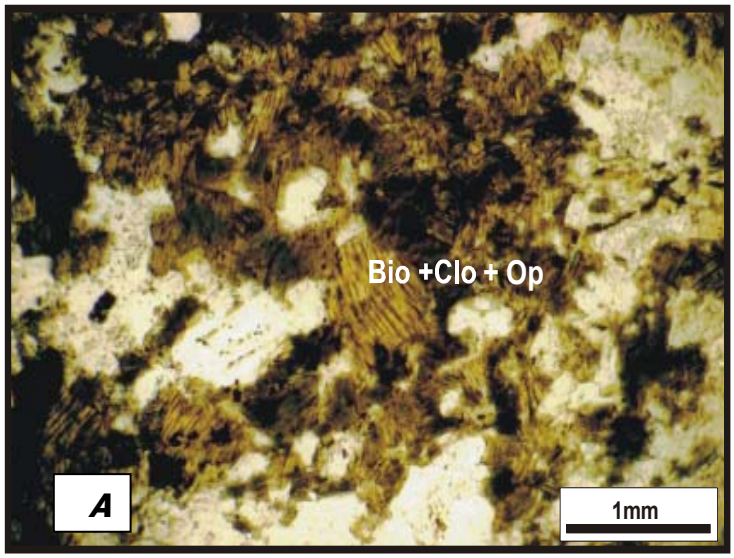
Tabela 49. Síntese das informações petrográficas das rochas graníticas encaixantes dos diques na região de Pinheiro Machado, RS.

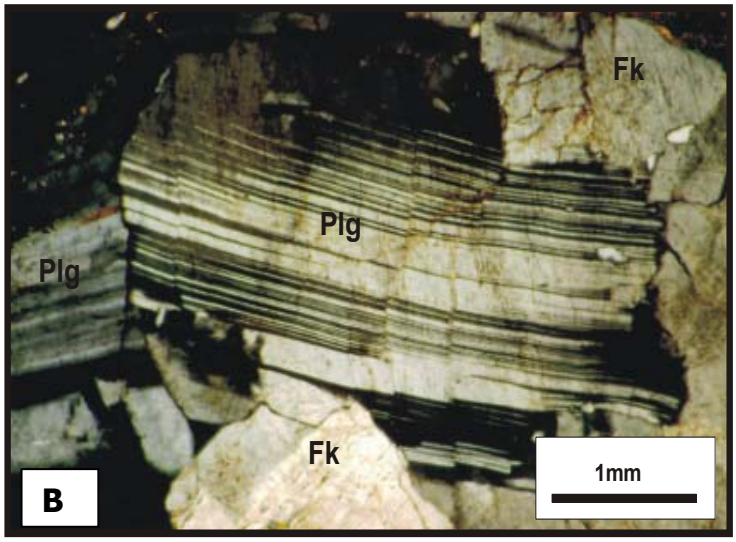
Prancha 10 - Fotomicrografias dos Minerais dos Granitos Encaixantes dos Diques na Região de Pinheiro Machado, RS.

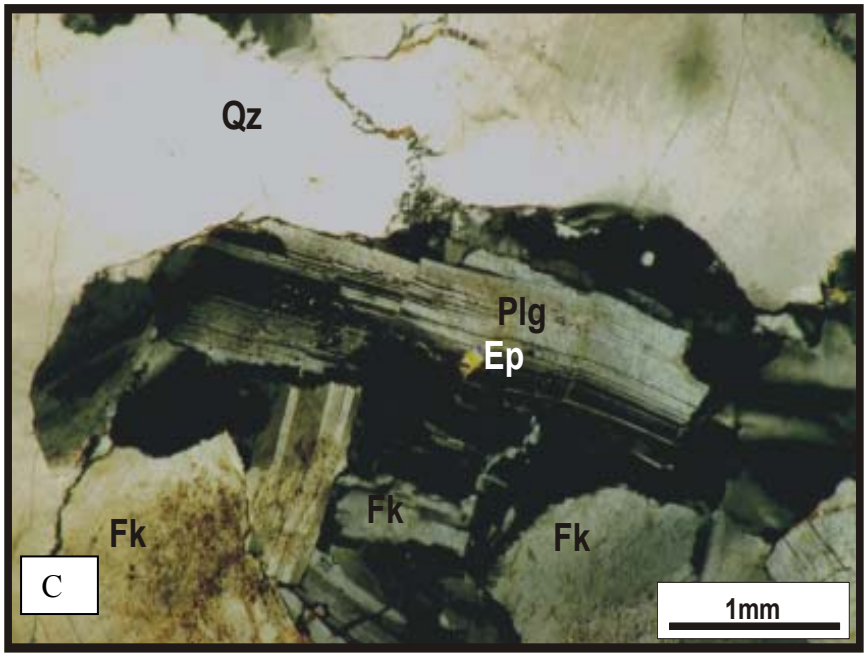
A - *Biotita (Bio) em forma lamelar associada com minerais opacos (Op). As bordas mostram-se alteradas para clorita (Clo) e óxido de ferro. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (Monzogranito-RC-115).*

B - *Fenocristal de plagioclásio (Plg) com feição de deformação rúptil e dúctil. Observar cristais de feldspato alcalino (Fk) circundando o plagioclásio. Sericita e caulinita formam aspecto mosqueado sobre os cristais de plagioclásio e feldspato alcalino. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (Granodiorito–RC-108).*

C *-Fenocristal de plagioclásio (Plg) com deformação rúptil e dúctil. Observar inclusão de epídoto (Ep). Cristais de feldspato alcalino (Fk) com pertita e sericita na parte inferior da foto. Fenocristais de quartzo (Qz) xenomórficos e microfraturados Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (Granodiorito-RC-108).*


Bio +Clo + Op
A
1mm


Fk
Plg
Plg
Fk
B
1mm


Qz
Plg
Ep
Fk
Fk
Fk
C
1mm

VI.3. *Enxames de Diques*

VI.3.1. *Relações de Campo e Características Petrográficas*

Os enxames de diques que ocorrem na região de Pinheiro Machado são dominantemente ácidos, entretanto ocorrem raros diques de caráter intermediário e básico. Diferentes dos diques de Piratini, estes não apresentam feições de mistura física de magmas (*mingling*), embora os contatos entre eles e suas encaixantes seja retilíneo. A espessura varia de um metro até 30 metros e apresentam duas direções principais N35W-N40W e N20E-N32E.

A princípio a classificação dos diques ácidos foi realizada a partir da análise modal e visual (Tab. 50) e, posteriormente, através da utilização de dados geoquímicos, lançou-se no diagrama TAS (Le Maitre 2002). Neste diagrama também estão plotados as amostras dos diques intermediário e básico (Fig. 70).

VI.4. *Diques Ácidos*

VI.4.1. *Descrição Macroscópica*

A estrutura dos diques é maciça, matriz afanítica, com granulação média a fina. Em amostras porfiríticas os fenocristais de feldspato alcalino são euédricos (atingindo no máximo 1cm de comprimento) por vezes quadráticos e os fenocristais de quartzo são bipiramidal a subarredontados, distribuídos em matriz afanítica. Estes diques apresentam tons avermelhado, cinza-avermelhado até cinza-claro. A proporção de matriz é entre 65 a 95%, entretanto também são observadas amostras constituídas somente por matriz afanítica. Como fases de minerais essenciais, macroscopicamente foram observados: *feldspato alcalino, quartzo* e raros cristais de *plagioclásio*. As principais fases de minerais máficos observadas em análise de mão são *biotita e minerais opacos.* Algumas amostras são envolvidas por materiais de alteração sendo reconhecidos processos de *saussuritização e óxidos de ferro***.**

VI.4.2. *Descrição Microscópica*

Os estudos das lâminas delgados permitiram caracterizar a mineralogia, aspectos texturais e a classificação com base na modal visual (Tab. 51). A presença de textura micrográfica, mostra a ocorrência de um grupo particular de diques ácidos nesta região.

Os minerais essenciais são: *feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo;* acessórios: resquícios de *biotita e muscovita,* restos de *anfibólio*, *minerais opacos, zircão, apatita* e *titanita.* Os minerais de alteração são *ferro-clorita, mica branca, caulinita, sericita, epídoto e fluorita***.**

O *feldspato alcalino* apresenta dimensões de 0,5 a 1,0 mm em cristais de matriz e de 1,5 a 4,5 mm como fenocristais. São hipidiomórficos, idiomórficas e xenomórficos exibindo bordas regulares, irregulares e de reação de resfriamento rápido. Apresentam intercrescimentos do tipo microclínio e pertitas. De acordo com a química mineral, mostram composição do ortoclásio, sanidina e anortoclásio. Minerais de alteração como caulinita e sericita distribuem-se uniformemente sobre os fenocristais dando um aspecto mosqueado. As inclusões em cristais de feldspato alcalino incluem cristais de zircão, minerais opacos e plagioclásio conferindo-lhe textura poiquilítica. Amostras granofíricas apresentam intercrescimentos micrográficos, entre quartzo e feldspato alcalino e, o intercrescimento entre

quartzo e plagioclásio apresenta forte tendência radial e esferulítica. As texturas observadas nos diques ácidos são: micrográfica, esferulíticas, glomeroporfirítica felsofírica, porfirítica e por vezes matriz microcristalina. Fotomicrografias representativas destas texturas estão expostas nas Pranchas 11, 12 e 13. Observa-se predominância de feldspatos ripiformes irregulares totalmente suborientados ou em feixes divergentes. Compondo a matriz, em porcentagens menores, cristais hipidiomórficos com contatos retos e por vezes fraturados estão parcialmente inclusos em cristais maiores ou ainda sob a forma intersticial entre os demais cristais.

O *plagioclásio* de matriz apresenta tamanho 0,8 a 1,5 mm e como fenocristal 1,5 a 2,5 mm. São hipidiomórficos a xenomórficos, e ocorrem como discretas ripas geminadas e parcialmente saussuritizadas. Maclas polissintéticas da albita apresentam teores de anortita nos intervalos de An_{5-10} e An_{15-20} e caracteriza albita como plagioclásio dominante, e raros cristais de oligoclásio. Textura esferulítica e mirmequitos são expostas na prancha 13-A e B. Algumas amostras de dique ácido, o plagioclásio está ausente ou como diminutos cristais na matriz.

O *quartzo* com dimensão entre 1,5 e 2,5 mm ocorrem como fenocristais bipiramidal e dimensão entre 0,01 a 0,8 mm são xenomórficos e fazem parte da matriz. Normalmente são límpidos, mas ricos em microfraturas e extinção ondulante. Quando presente em textura micrográfica, por vezes ocorrem como faixas microgranulares juntamente com feldspato alcalino e em feixes radiais com forte tendência esferulíticas (pranchas 11, 12 e 13).

Os cristais de *biotita* ocorrem sob a forma de lamelas, com dimensão entre 0,3 e 1,0 mm intersticial. Geralmente aparecem como associações micáceas finos (sericita + ferro clorita) e também associada com resquícios de *anfibólio*. Este por sua vez, é de difícil identificação, por não apresentar suas características próprias devido ao alto grau de alteração, entretanto, minúsculos resquícios apresentam pleocroísmo castanho-esverdeado e extinção oblíqua, permitindo assegurar traços do mesmo em algumas amostras. Alguns cristais de biotita apresentam tons de verde e ocorrem também como impregnações com óxido de ferro. *Mica branca e clorita* circundam plaquetas de biotita (prancha 11-C e D).

Materias esverdeados e de aspectos mosqueados produzidos por alterações, ocupam espaços intersticiais e microfraturas (prancha 11-D). Associados a estes materiais esverdeados ocorrem impregnações de óxidos de ferro produzidos por alteração de magnetita.

Os minerais acessórios como *epídoto, zircão, titanita* (0,01 - 0,4 mm) mostram-se idiomórficos a xenómorficos, ocorrem como inclusão em fenocristal de feldspato e associados com máficos. Pequenos bolsões de fluorita se fazem presente.

A tabela 50 mostra a ordem de cristalização dos minerais observados nos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS. A tabela 50 apresenta uma síntese das características petrográficas dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.

Fase - magmática	**Fase tardi -magmática**	**Fase pós-magmática**
Quartzo bipiramidal		
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais opacos		
Anfibólio		
Plagioclásio		
Feldspato Alcalino	Fluorita, epídoto	Clorita, sericita, saussurita, carbonato, óxido de ferro
Quartzo	Biotita, microclínio, quartzo de matriz	Caulinita, muscovita, mica-branca

Tabela 50. *Provável ordem de cristalização das fases minerais dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.*

Minerais→ Amostras↓	Fk	Pl	Qz	Bi	Af	Ti	Op	Zr	Ep	Fl	Ap.	M.a	∑total	Mz	Texturas	Classificação	Localização (Dados de UTM)
RC-91A	45	4,0	42	4,0	---	Tr	Tr	Tr	Tr	---	Tr	5,0	100	65%	Granofirica, glomeroporfirítica felsofirica, poiquilítica	Riolito	3137617/5313900
RC-91 B	33	1,0	50	1,5	Tr	Tr	Tr	Tr	---	Tr	Tr	4,5	100	90%	Microcristalina	Riolito	3137617/5313900
RC-92	48	2,0	46	Tr	Tr	Tr	1,0	Tr	Tr	--	Tr	3,0	100	70%	Micrográfica, microcristalina, esferulítica, glomeroporfirítica felsofirica	Riolito	3137385/5314075
RC-94 A	48	1,0	45	1,0	Tr	0,2	Tr	0,2	---	Tr	Tr	4,8	100	85%	Esferulítica, glomeroporfirítica felsofirica, gráfica, microcristalina	Riolito	3137335/5314279
RC-94 B	45	1,0	48	1,0	0,01	0,5	Tr	---	---	Tr	Tr	5,5	100	80%	Hipidiomórfica holocristalino seriada	Riolito	3137335/5314279
RC-95 B	45	1,0	47	1,0	Tr	Tr	1,0	---	---	---	Tr	5,0	100	90%	Esferulítica, microcristalina, glomeroporfiritica felsofirica, micrográfica	Riolito	3137173/5314760
RC-95A	45	1,5	47	1,0	---	0,1	Tr	Tr	---	Tr	---	5,0	100	65%	Glomeroporfiritica felsofirica, micrográfica	Riolito	3137173/5314760
RC-97A											---		100			Riolito	
RC- 98	45	1,0	47	0,5	---	2,0	Tr	Tr	---	Tr	Tr	4,5	100	80%	Glomeroporfiritica felsofirica, micrográfica, microcristalina, esferulítica	Riolito	3137267/5315951
RC-100	44	4,0	48	1,0	Tr	---	Tr	Tr	---	Tr	---	3,0	100	85%	Porfirítica, microcristalina	Riolito	3136433/5318255
RC-102	45	2,5	48	2,0	---	---	Tr	Tr	---	Tr	---	2,5	100	95%	Microcristalina, porfirítica	Riolito	3137992/5318835
RC-103	44	1,0	47	1,5	Tr	---	1,5	Tr	---	---	Tr	5,0	100	90%	Porfirítica, microcristalina	Riolito	3137804/5318875
RC-110A	70	---	5,0	0,5	2,0	---	1,0	---	Tr	---	Tr	3,0	100	95%	Holocristalina	Traquidesito	3136746/5319522
RC-110B	65	0,5	1,0	1,0	20	Tr	3,5	Tr	Tr	Tr	Tr	0,6	100	90%	Holocristalina	Traquidesito	3136746/5319522
RC-104	45	Tr	48	Tr	0,5	----	1,5	---	Tr	---	Tr	5,0	100	90%	Esferulítica, micrográfica, glomeroporfirítica felsofirica	Riolito	3137528/5318879
RC-105	45	2,5	45	2,3	0,5	Tr	Tr	Tr	---	Tr	Tr	4,0	100	88%	Porfirítica, microcristalina	Riolito	3137190/5318838
RC-106	45	1,0	47	1,5	0,5	Tr	0,5	----	---	Tr	--	4,0	100	90%	Porfirítica, microcristalina	Riolito	3137059/5318769
RC-107	45	2,5	46	2,0	Tr	Tr	1,5	Tr	Tr	---	---	3,0	100	85%	Glomeroporfirítica felsofirica, micrográfica	Riolito	3136927/5318750
RC-112	43	5,5	46	0,5	0,5	----	Tr	-----	Tr	---	---	4,5	100	95%	Microcristalina	Riolito	3136497/5319414
RC-111	5,0	45	45	0,5*	15*	2,0*	---	Tr	----	---	0,5	2,0	100	90%	Porfirítica/matriz afanítica	Dacito	3136542/5319528

Tabela 51. *Síntese das informações petrográficas e da modal visual dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.*

Fk = feldspato alcalino; Pl = plagioclásio; Qz = quartzo; Bi = biotita + muscovita; Af = anfibólio; Ti = titanita;
Op = minerais opacos; Zr = zircão; Ep = epídoto; Ap = apatita; F l= fluorita; Ma.= minerais de alteração;
0,5 = biotita e muscovita; 2,0 * = anfibólio e piroxênio.*
Mz = Matriz - geralmente é constituída por quartzo+ feldspato, mas também pode ser a soma de feldspato alcalino

+ Plagioclásio + Quartzo + minerais acessórios e traços que compõem a matriz da rocha

Prancha 11 – Fotomicrografias de Minerais dos Diques Ácidos da Região de Pinheiro Machado, RS.

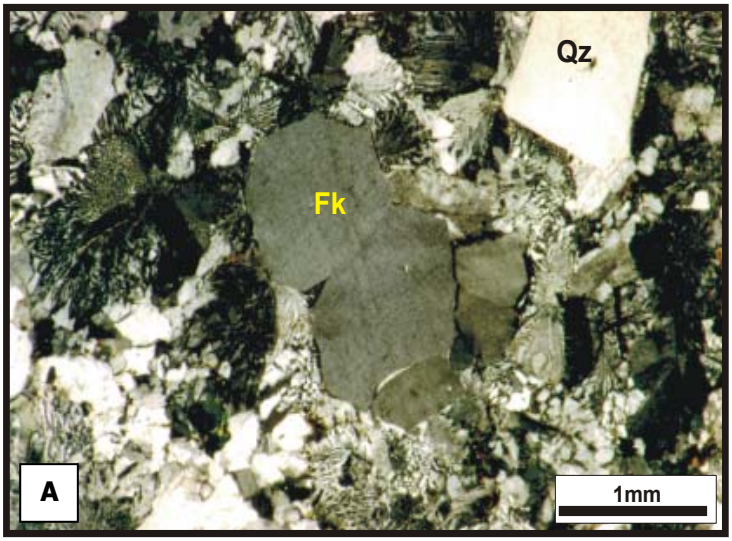
A –*Textura glomeroporfirítica felsofírica e textura micrográfica. Quartzo (Qz) hipidiomórfico (em amostra de mão é bipiramidal) e límpido está presente na matriz. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-91A).(Folha Passo do Coutinho)*

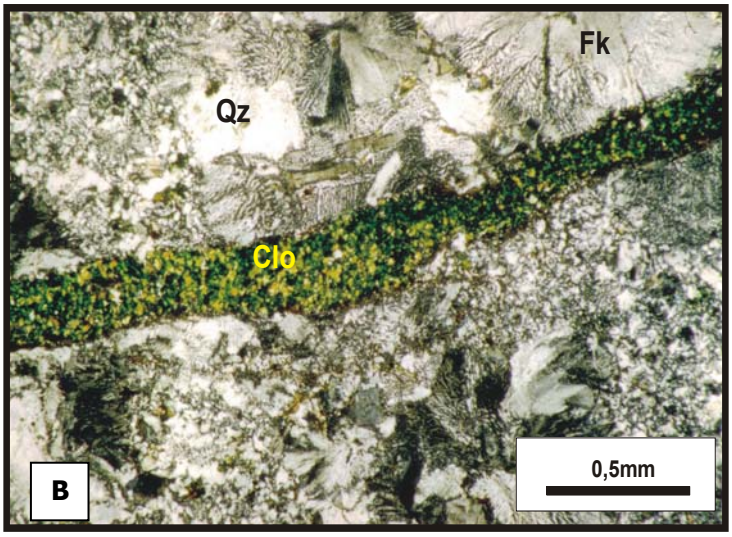
B - *Microfratura preenchida por material de alteração do tipo clorita (Clo) posterior a formação da rocha. A matriz é microcristalina composta por cristais de feldspato alcalino (Fk) e quartzo (Qz) apresentando textura gráfica e radial. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (RC-102).*

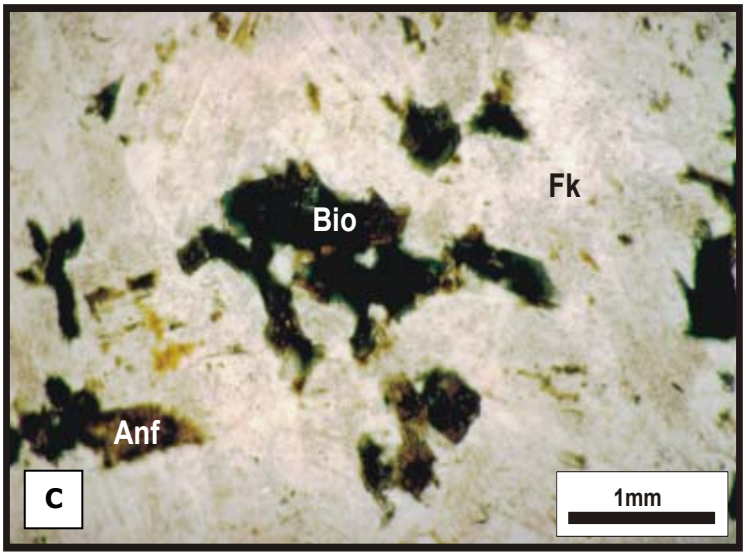
C – *Resquícios de biotita (Bio) e anfibólio (Anf). Ocorrem como cristais intersticiais entre cristais de feldspato alcalino (Fk). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-112).*

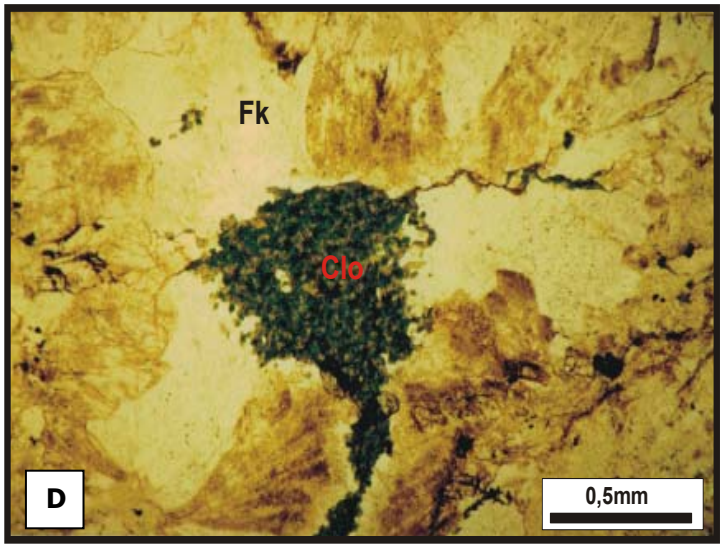
D -*Material esverdeado composto por agregados micáceos, constituídos por cloritas (Clo) e óxido de ferro, ocupando interstícios entre cristais de feldspato alcalino (Fk). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 5X (RC- 92).*

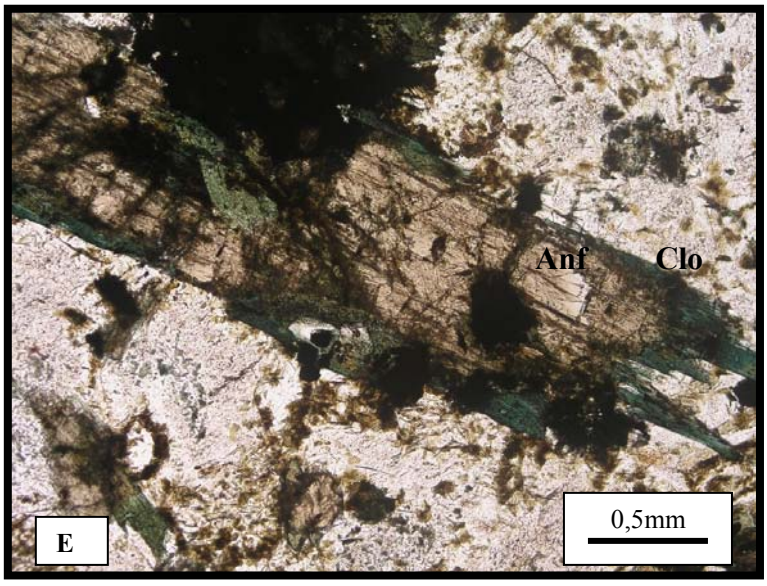
E – Cristal xenomórfico de anfibólio (Anf) com núcleo marrom, levemente preservado e bordas cloritizadas de tons esverdeados (Clo). Matriz composta por cristais xenomórficos de plagioclásio (Plg) e quartzo (Qz) Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-111).


Qz
Fk
A
1mm


Fk
Qz
Clo
B
0,5mm


Fk
Bio
Anf
C
1mm


Fk
Clo
D
0,5mm


Anf
Clo
E
0,5mm

Prancha 12 -Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Ácidos da Região de Pinheiro Machado, RS.

A - *Textura glomeroporfirítica felsofírica em matriz afanítica. Fenocristal hipidiomórfico de feldspato alcalino (FK) em textura poiquílitica com inclusão de cristal de plagioclásio (Plg). Material de alteração (sericita) associado com os fenocristais. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-98).*

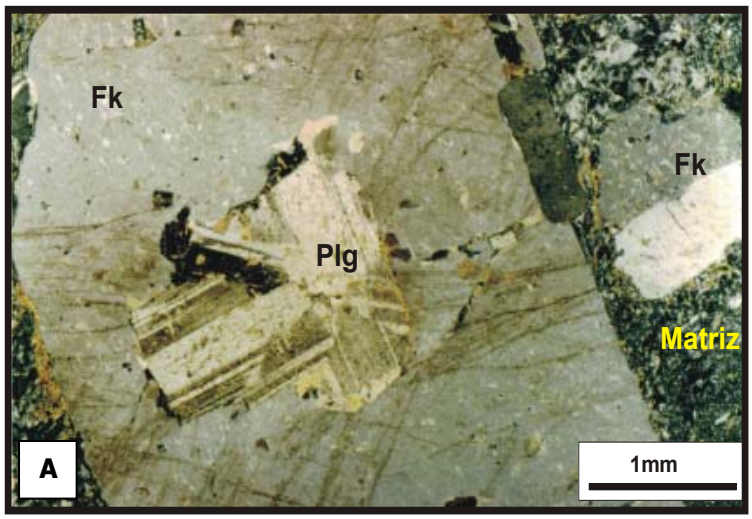
B - *Intercrescimento entre quartzo e feldspato alcalino em textura gráfica em dique granofírico. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 5X (RC-95A).*

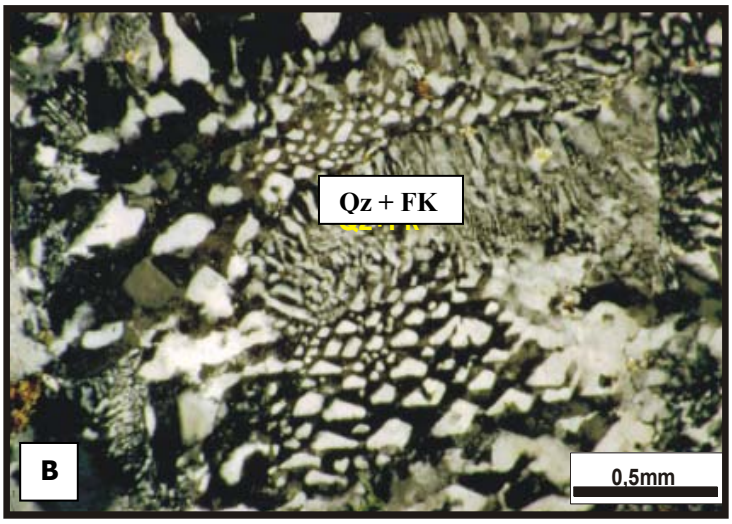
C - *Textura gráfica e cristais hipidiomórficos de epídoto (Epi), zircão (Zr) e minerais opacos (Op). Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-95B).*

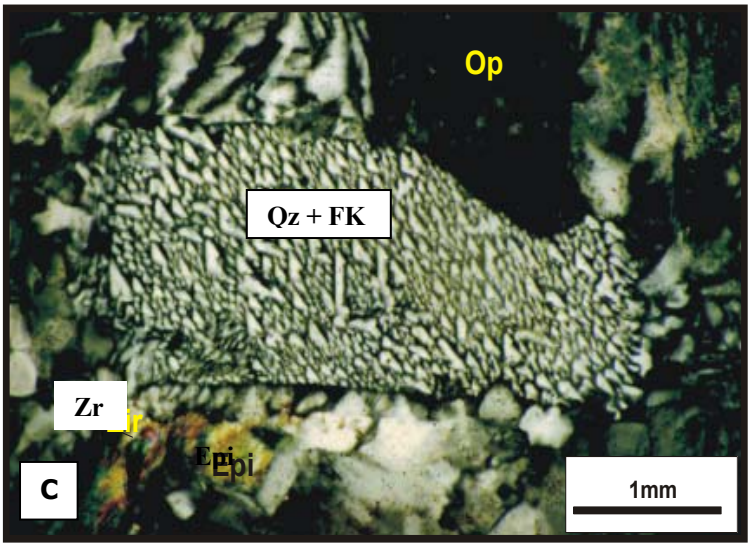
D– *Textura esferulítica em uma matriz microcristalina composta por cristais de quartzo. Fenocristais idiomórficos de quartzo podem ser observados na parte inferior esquerda da foto. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-97A).*

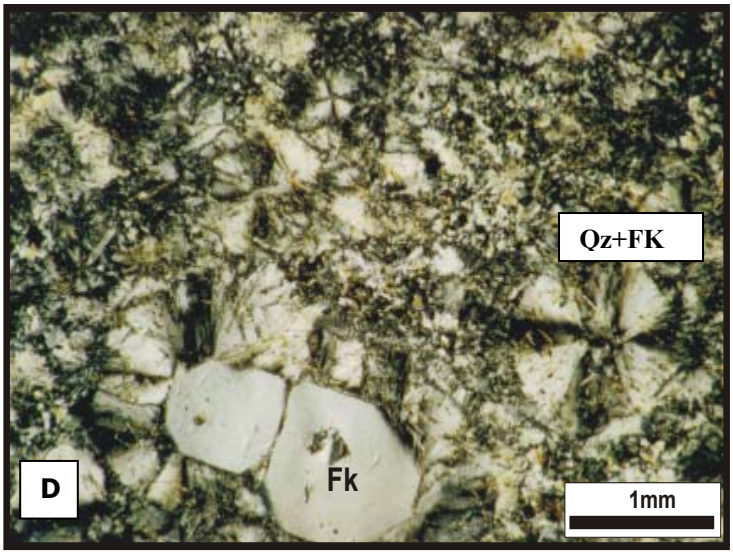
E -*Matriz microcristalina composta por material xenomórfico de alteração esverdeado (Clorita) e minerais opacos. Fenocristal de feldspato alcalino (Fk) imerso nesta matriz. Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-106).*

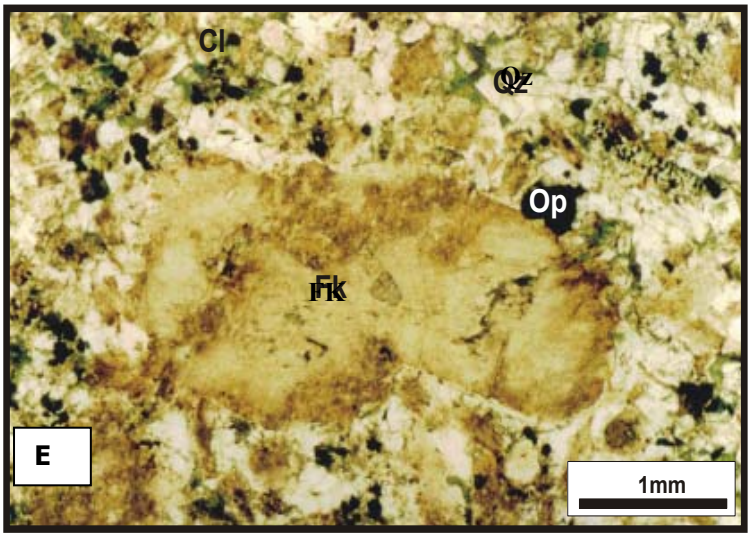
F -*Textura mirmequítica envolvida por cristais pertitizados e com textura granofírica. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-104).*

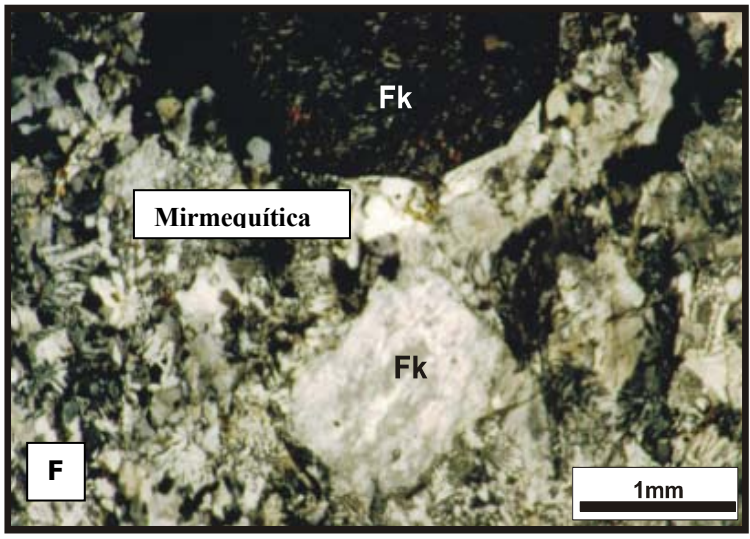

Fk
Fk
Plg
Matriz
A
1mm


Qz + FK
B
0,5mm


Op
Qz + FK
Zr
Epi
C
1mm


Qz+FK
Fk
D
1mm


Cl
Qz
Op
Fk
E
1mm


Fk
Mirmequítica
Fk
F
1mm

Prancha 13 -Fotomicrografias dos Minerais dos Diques Ácidos da Região de Pinheiro Machado, RS.

A -*Textura esferulítica formada por quartzo + plagioclásio. Observar bordas de reação microscristalinas compostas por microcristais de quartzo. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-95B).*

B– *Textura mirmequítica. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-94A).*

C– *Matriz microcristalina porfirítica com fenocristais de quartzo hipidiomórficos e xenomórficos. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-100).*

D– *Textura radial mostrando o núcleo composto por cristal de quartzo (Qz) circundado por quartzo+feldspato alcalino. A matriz é microcristalina. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-92).*

VI.5. *Diques Intermediário e Básico*

VI.5.1. *Descrição Macroscópica*

Na região de Pinheiro Machado foram registradas somente duas ocorrências de dique de caráter intermediário e básico (RC-118B e RC-118A). Em amostras de mão, são maciços, com textura porfirítica e matriz afanítica. O dique básico apresenta tons esverdeados e diminutos cristais placóides acinzentado, distribuídos irregularmente na matriz. O dique intermediário é avermelhado com fenocristais de feldspato subédricos. Ambos apresentam material de alteração cinza-esverdeado preenchendo veios e fraturas.

VI.5.2. *Descrição Microscópica*

A classificação foi realizada com base dos dados geoquímicos. No diagrama de Le Maitre (2002) o dique intermediário ocupa o campo do *latito* (RC-118A) e o dique básico o campo do *basalto* (RC1-18B) (Fig. 70).

As amostras são compostas pelos seguintes minerais:

Amostra RC-118A –Latito – minerais essenciais: *feldspato alcalino e plagioclásio;* como minerais acessórios: *quartzo, resquícios de anfibólio, biotita/muscovita, resquícios de clinopiroxênio, apatita, titanita e minerais opacos, e traços de zircão e epídoto*.

Amostra RC-118B – Basalto – os minerais essenciais são: *plagioclásio, piroxênio (alterado) e anfibólio (alterado); acessórios*: *feldspato alcalino, quartzo, biotita, clorita, apatita e minerais opacos*.

Cristais de *feldspato alcalino* presente foram identificados como ortoclásio e anortoclásio com base nos dados de química mineral. Estes cristais (0,5 a 0,8 mm) apresentam-se hipidiomórficos a idiomórficos e por vezes estão levemente orientados (Prancha 15 - B e C). Associados a estes, ocorrem microclínio e cristais pertitizados, geralmente como xenocristais alterando-se para caulinitas. No dique básico, o feldspato alcalino ocorre como um mineral acessório associado com plagioclásio.

O plagioclásio ocorre como fenocristais (1,5 a 2 mm) hipidiomórficos a xenomórficos, geralmente zonados e, como cristais de matriz (0,5 a 1,5 mm) hipidiomórficos. Ambas as amostras (Latito e basalto) apresentam cristais de plagioclásio, entretanto em amostras de latito são mais comuns a ocorrência de cristais de albita, com inclusões de minerais opacos e apatita. No basalto é mais comum a presença de fenocristais de andesina e labradorita, entretanto ocorrem também raros cristais de albita. A variação nos teores de anortita (An_{10-8}; $An_{8-0,5}$; An_{15-11}; An_{25-20}; An_{30-45}; An_{45-50}) classifica a ocorrência de albita, oligoclásio, andesina e labradorita. Minerais de alteração como sericita se faz presente. Mirmequito são comuns nas bordas dos cristais (Prancha 15).

O *quartzo* em ambas as rochas, ocorre como um mineral acessório, como raros fenocristais (0,5-1,0 mm) e como cristais de matriz, xenomórficos, intersticiais e com bordas corroídas quando cristais de matriz.

O *anfibólio* apresenta tamanho entre 0,5 a 1,5 mm, são xenomórficos, alterados estão associados com restos de biotitas, muscovita e resquícios de clinopiroxênio, minerais opacos e

plagioclásio. O pleocróismo é de tons de castanho-esverdeado até verde-azulado. Apresenta-se com alto grau de alteração o que dificultou a sua classificação no microscópio eletrônico, entretanto com o auxilio da química mineral, foi possível identificar anfibólio do tipo hornblenda (Prancha 15-A-C). As zonas de clivagens são preenchidas por óxido de ferro.

Raros cristais de *biotita* ocorrem em forma de plaquetas, xenomórficos e intersticiais (prancha 15-D). Em geral apresentam pleocróismo castanho-claro a castanho-escuro e algumas amostras alteram-se para clorita e ferro-clorita. Observa-se (prancha 15-B) que o processo de alteração contorna a placa central formada por cristais de ferro-clorita (bavanita e chamosita). Este conjunto parece substituir (pseudomorfose) mineral ferroso primário não identificado (talvez biotita, anfibólio ou ainda piroxênio) sendo, entretanto mais provável a biotita.

Óxidos de ferro, *clorita* e *minerais opacos* encontram-se preenchendo fraturas e são xenomórficos. *Apatita* apresenta forma alongada e em geral corta os demais cristais. O *zircão* ocorre como traços idiomórficos inclusos em plagioclásio. Ainda são observados epídotos e *carbonatos*.

Com base nas relações texturais, sugere-se uma provável ordem de cristalização das fases minerais do dique intermediário e básico conforme esquema abaixo. A tabela 52 apresenta uma síntese das características petrográficas do dique intermediário e básico, da região de Pinheiro Machado, RS.

Fase-magmática	**Fase tardi-magmática**	**Fase pós-magmática**
Apatita		
Zircão		
Titanita		
Minerais opacos		
Piroxênio		
Anfibólio		
Biotita		
Plagioclásio	Biotita	Epídoto, carbonato, clorita, sericita óxido de ferro
Feldspato Alcalino	Microclínio	Caulinita, muscovita, mica-branca
Quartzo	Quartzo recristalizado	

Minerais→ Amostra↓	Fk	Pl	Qz	Bi/Mus	Af/Py	Ti	Op	Zr	Ep	Ap	Ma	∑Total	Mz	Texturas	Classificação	Localização (Dados UTM)
RC- 118A	45	30	5,0	2,0	15	---	4,0	Tr	Tr	Tr	6,0	100	90%	Porfirítico/matriz afanítica	Latito	3133307/5324539
RC -118B	2,0	47	1,5	3,0	40	---	2,5	---	---	1,0	3,0	100	90%	Porfirítico/matriz afanítica	Basalto	3133307/5324539

Tabela 52. Síntese das informações petrográficas e modal visual do dique intermediário e básico, na região de Pinheiro Machado, RS.

Fk= feldspato alcalino; Pl=plagioclásio; Qz=quartzo; Bi=biotita; Af/Py= restos de anfibólio e piroxênio; Ti= titanita; Op= minerais opacos; Zr=zircão; Ep=epídoto; Ap=apatita; Ma=minerais de alteração; ∑Total = somatório total dos minerais que compõem a rocha; Mz = Matriz (Feldspato alcalino + Plagioclásio + Quartzo + minerais acessórios + minerais traços +minerais de alteração que compõem a matriz).

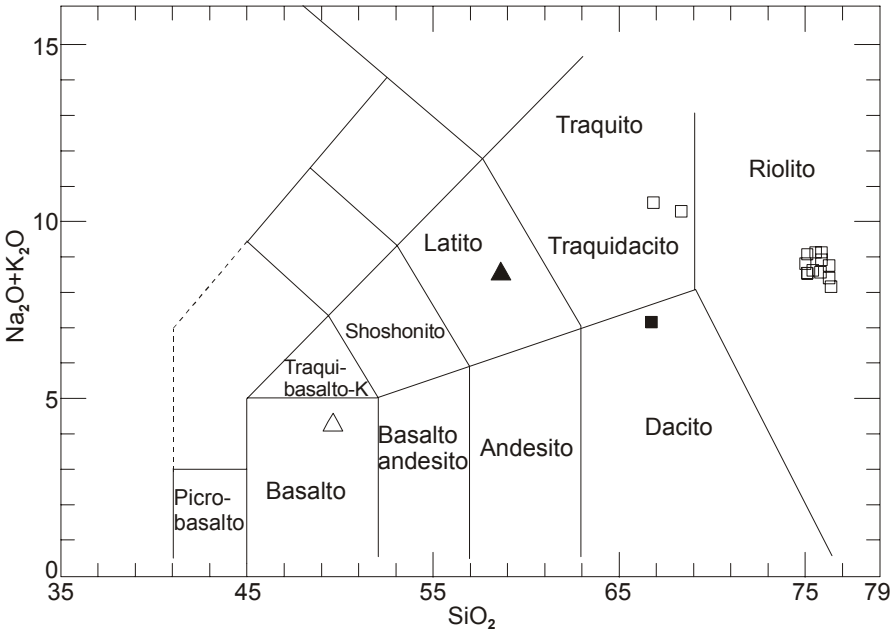


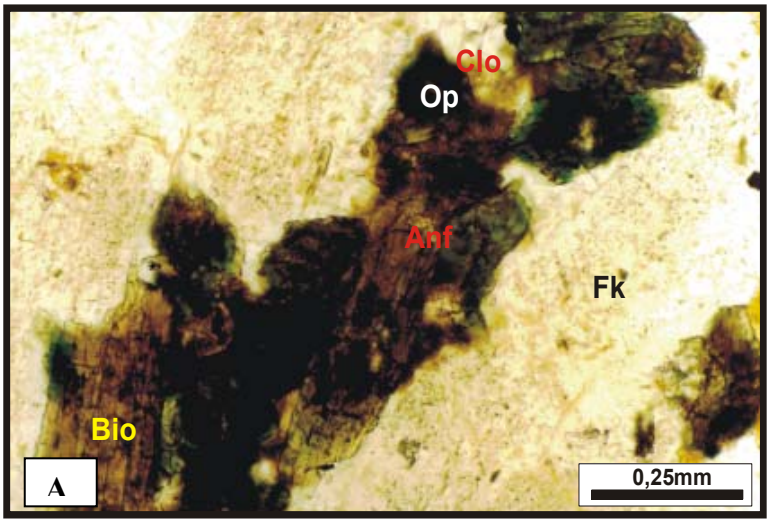
Figura 70. *Diagrama de classificação SiO_2 versus Na_2O+K_2O (%) (TAS - Le Maitre 2002) para os diques ácidos, intermediário e básico na região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: □ = riolitos; ■ = diorito; Δ = basalto; ◊ = traquidacito; ▲= latito; O = granitos.*

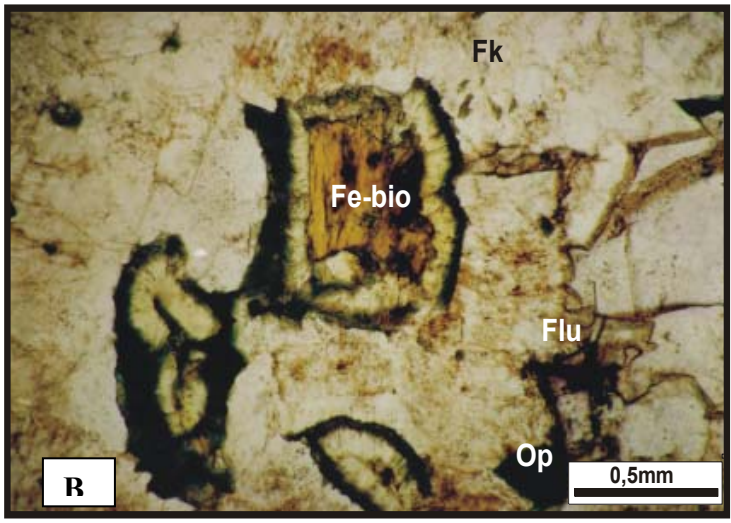
Prancha 14 – Fotomicrografias de Minerais de Diques Intermediário e Básico da Região de Pinheiro Machado, RS.

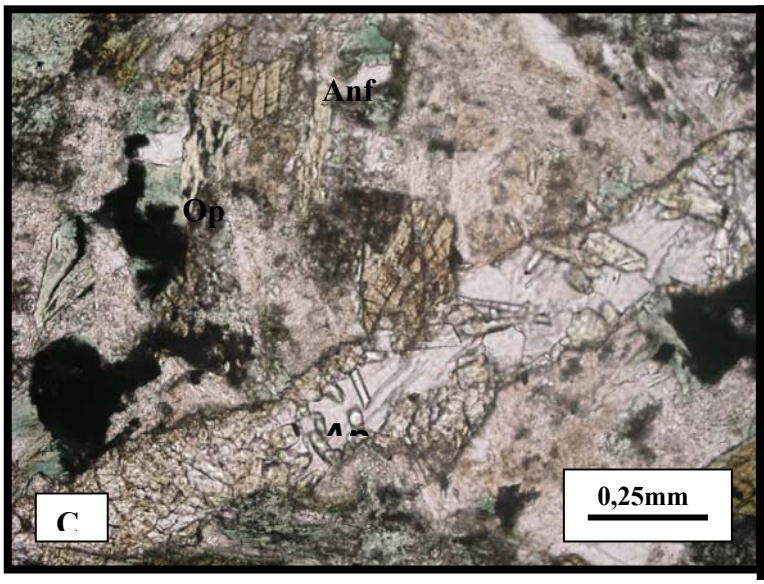
A – *Resquícios de anfibólio (Anf) interdigitado com clorita (Clo), minerais opacos (Op) e biotita (Bio). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-118A).*

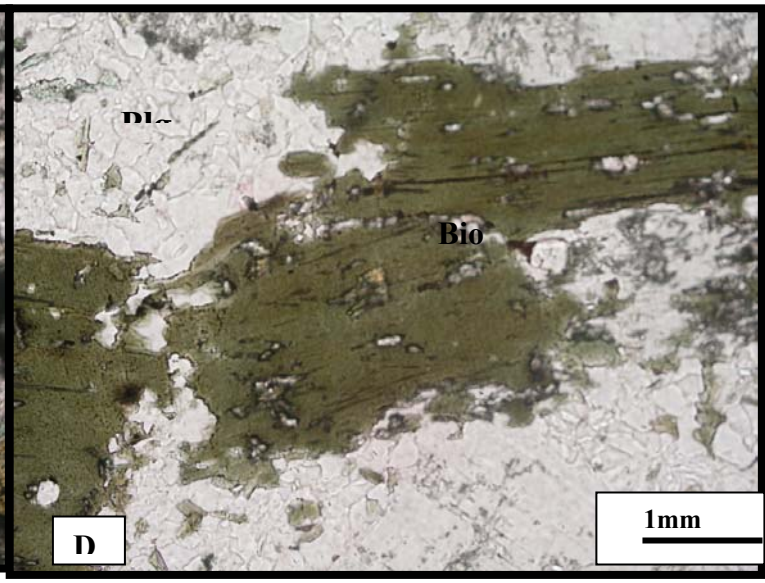
B e C-*Associações de agregados micáceos finos contornando placa central formada por ferro-clorita (Fe-Bio). Pequenos bolsões de fluorita (Flu) ocorrem entres cristais de quartzo (Qz), feldspato alcalino pertitizado (Fk) e minerais opacos (Op).Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-118B).*

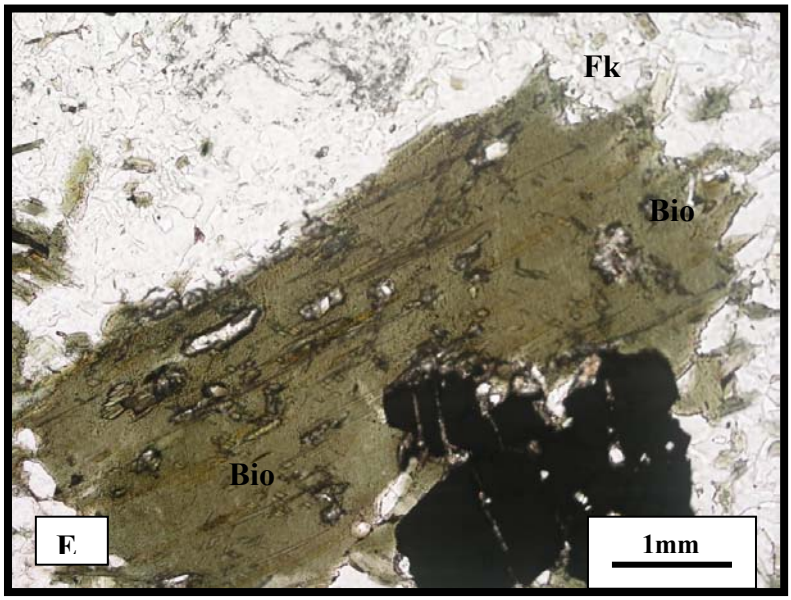
D e E – *Cristais intersticiais de biotita (Bio) e plagioclásio (Plg). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 10X. (RC-118A).*


Clo
Op
Anf
Fk
Bio
A
0,25mm


Fk
Fe-bio
Flu
Op
B
0,5mm


Anf
Op
C
0,25mm


Bio
D
1mm

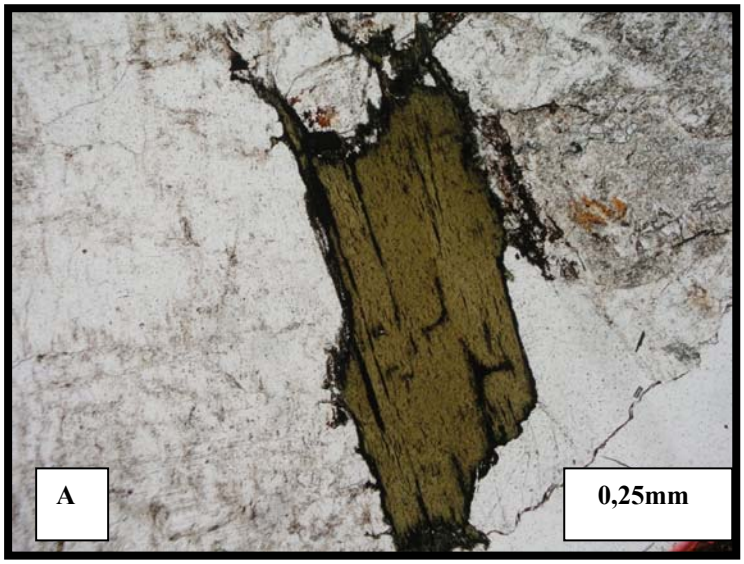

Fk
Bio
Bio
E
1mm

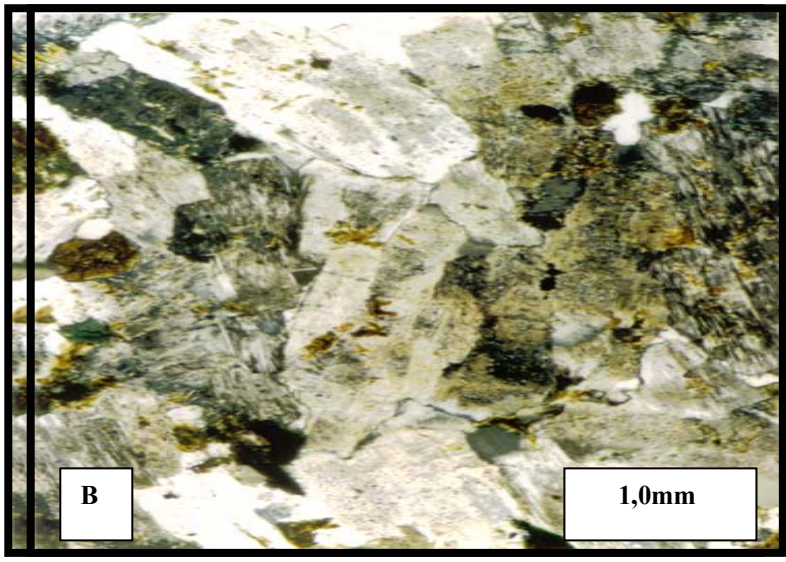
Prancha 15 – Fotomicrografias de Minerais de Diques, Intermediário e Básico da Região de Pinheiro Machado, RS.

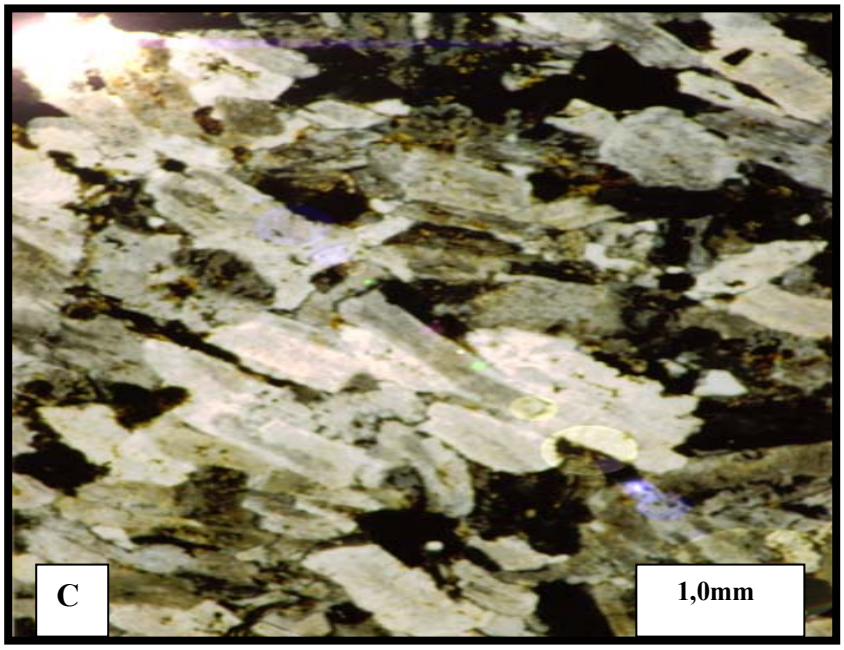
A - *Cristal de biotita (Bio) intersticial entre cristais de feldspato alcalino (FK) e plagioclásio (Plg). Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X (RC-118A).*

B *– Cristais de anortoclásio (Anr), resquícios de anfibólio (Anf) e biotita (Bio). Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-118A).*

C – *Cristais de anortoclásio (Ant) disposto levemente orientado. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (RC-118A).*


A
0,25mm


B
1,0mm


C
1,0mm

CAPÍTULO VII

QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE PINHEIRO MACHADO, RS.

VII.1. *Química Mineral*

VII.1.2. *Introdução*

As análises de química mineral das amostras da região de Pinheiro Machado foram realizadas no Laboratório de Microssonda do Instituto de Geociências (USP) nas fases feldspato, plagioclásio, biotita e anfibólio. Para o cálculo da fórmula estrutural aplicou-se a mesma metodologia utilizada para as rochas da região de Piratini.

VII.1.3. *Granitos Encaixantes*

VII.1.3.1. *Feldspatos Alcalino e Plagioclásio*

a) Feldspato Alcalino

Foi analisado núcleo, porção intermediaria e borda dos fenocristais. Para o cálculo da fórmula estrutural, seguiu-se o mesmo procedimento utilizado para as análises dos granitos da região de Piratini, conforme recomendações de Deer *et al*. (1978). Os dados analíticos estão expostos nas tabelas 53 a 55.

Analisaram-se feldspatos alcalinos de sienogranito (RC-109; RC-117), monzogranito (RC-115) e granodiorito (RC-108). As porcentagens das moléculas de Ortoclásio-Albita-Anortita apresentam teores nos seguintes intervalos: $Or_{93-97}Ab_{2,0-6,0}An_{0,00}$, não sendo observado diferenças significativas, embora o granodiorito mostra teores mais baixos na molécula do ortoclásio. No diagrama ternário de caracterização Or-Ab-An, as análises apresentam composições próximas ao campo do ortoclásio (Fig. 71).

Teores de BaO e SrO apesar de serem baixos, observa-se conteúdos em amostras de granodiorito e monzogranito, enquanto que nos sienogranitos não foi detectado estas componentes.

No diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) observa-se que os teores de ambos os elementos permanecem constantes durante a cristalização dos cristais de feldspato alcalino. A principal troca catiônica ocorre no sítio M entre as componentes K e Na *(a.f.u.)* (Fig. 72), sendo considerada substituição do tipo simples – KNa_{-1}- ortoclásio-albita (Spear 1993).

b) Plagioclásios

Foi analisado núcleo, porção intermediária e borda de fenocristais e cristais de matriz de plagioclásio. A composição da molécula de anortita apresenta diferenças pouco significativas e, caracteriza plagioclásio do tipo albita e oligoclásio (Fig. 73).

Dos diferentes granitos, o granodiorito apresenta teores mais elevados na molécula da anortita, situando-se no intervalo An_{16-24} enquanto que no monzogranito e sienogranito os conteúdos de anortita ocorrem no intervalo $An_{6,0-14.}$

No diagrama Na *versus* Ca *(a.f.u.)* para cristais de plagioclásio, observa-se que ocorre uma efetiva troca catiônica com substituição da molécula de Ca por Na no sítio M (Fig. 74). De acordo com Spear (1993) é uma substituição do tipo dupla ($NaSiCa_{-1}Mg_{-1}$) entre a albita e anortita.

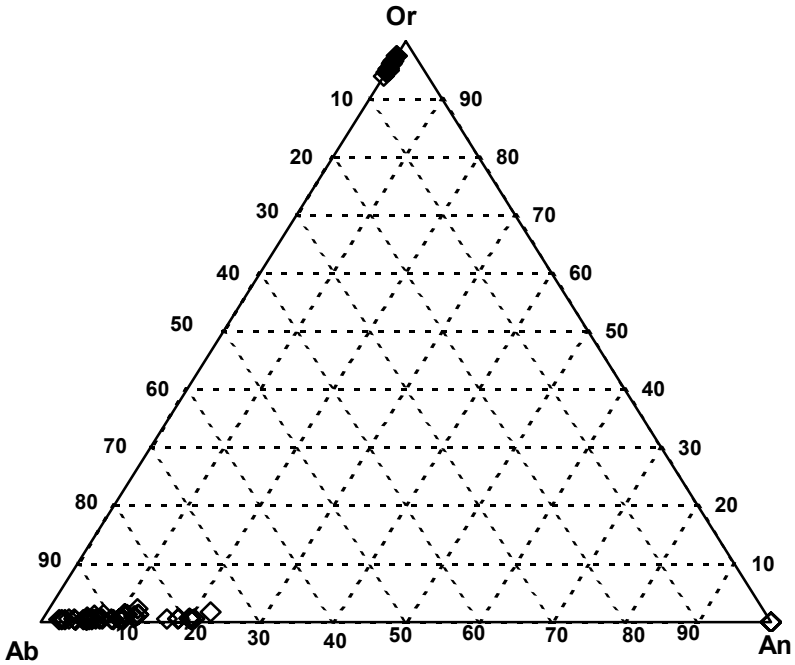


Figura 71. Diagrama de caracterização dos feldspatos alcalinos (no campo do ortoclásio) e plagioclásios (campo da albita e oligoclásio) de granitos, segundo as componentes moleculares Or-Ab-An. Simbologia: ♦ = cristais de feldspato alcalino; ◊= plagioclásio dos granitos. Rochas graníticas da região de Pinheiro Machado, RS.

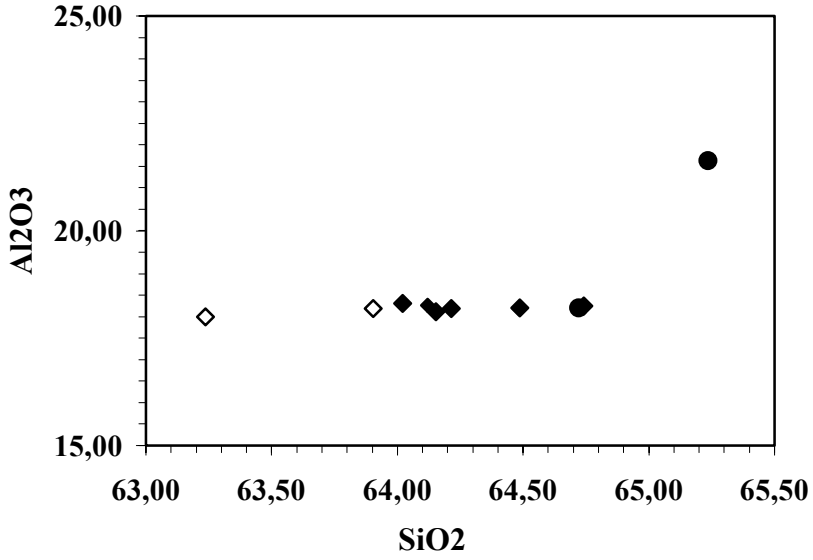


Figura 72. *Diagrama da variação do SiO_2 versus Al_2O_3 (%) para cristais de feldspato alcalino de granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: ♦ = Sienogranito*; ◊ *=Granodiorito*; ● *= Monzogranito*

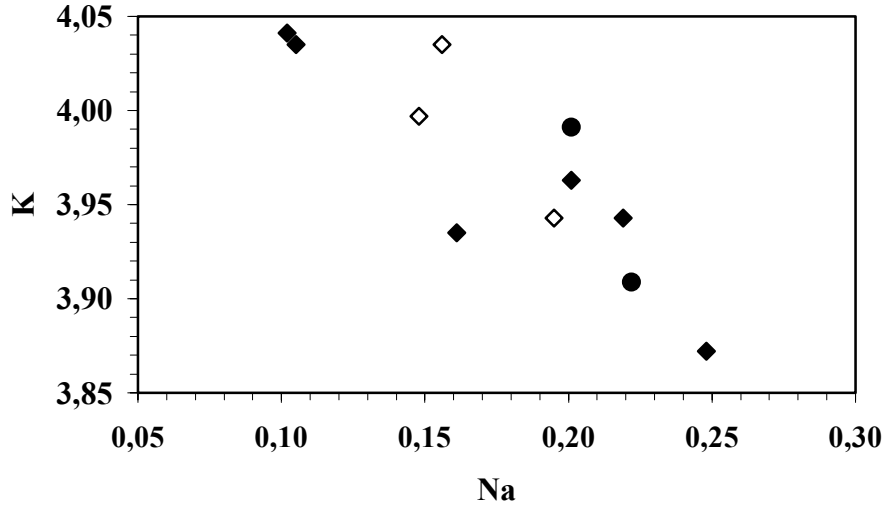


Figura 73. *Diagrama de troca catiônica entre Na versus K (a.f.u.) de feldspato alcalino de granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 72.*

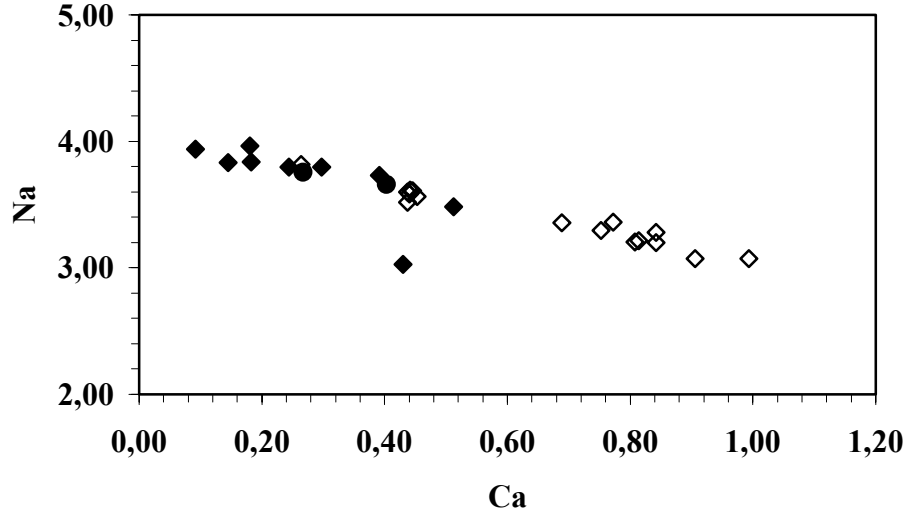


Figura 74. *Diagrama de variação catiônica entre Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig.72.*

GRANITOS											
Fenocristais RC-108 (Granodiorito)											
Plagioclásio										Fels. alcalino	
Análise	C-1	Int.1	Int.-1	B-2	C-3	B-3	C-4	Int.4	B-4	C-2	Int.2
SiO_2	64,200	62,965	62,717	63,562	61,973	62,691	62,079	62,232	62,725	63,903	63,237
TiO_2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,017	0,043	0,027	0,000	0,000	0,015
Al_2O_3	22,300	22,963	22,863	22,553	22,634	22,596	23,481	22,955	23,027	18,190	17,998
Fe_2O_3	0,037	0,094	0,077	0,115	0,011	0,097	0,106	0,069	0,073	0,080	0,000
MnO	0,008	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,023	0,019	0,000	0,000	0,000
MgO	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
CaO	3,645	4,284	4,233	3,970	4,371	4,039	5,223	4,736	4,425	0,000	0,000
Na_2O	9,805	9,354	9,277	9,615	9,411	9,729	8,942	8,875	9,286	0,432	0,533
K_2O	0,105	0,110	0,123	0,099	0,085	0,119	0,163	0,311	0,102	16,928	16,347
BaO	0,000	0,000	0,062	0,049	0,000	0,106	0,067	0,000	0,063	0,000	0,000
SrO	0,180	0,111	0,048	0,017	0,129	0,087	0,182	0,121	0,051	0,000	0,000
∑Total	100,270	99,881	99,401	99,998	98,641	99,479	100,309	99,346	99,751	99,533	98,135

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions											
Si	11,324	11,163	11,169	11,239	11,147	11,177	11,010	11,115	11,139	11,939	11,954
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,006	0,004	0,000	0,000	0,002
Al	4,637	4,799	4,800	4,701	4,800	4,749	4,910	4,834	4,821	4,006	4,011
Fe^{+3}	0,011	0,028	0,023	0,034	0,003	0,029	0,031	0,021	0,022	0,011	0,000
∑T	15,973	15,990	15,992	15,975	15,954	15,957	15,957	15,973	15,982	15,957	15,968
Mn	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,689	0,814	0,808	0,752	0,842	0,772	0,993	0,906	0,842	0,000	0,000
Na	3,354	3,215	3,203	3,297	3,282	3,363	3,075	3,074	3,198	0,156	0,195
K	0,024	0,025	0,028	0,022	0,020	0,027	0,037	0,071	0,023	4,035	3,943
Ba	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,007	0,005	0,000	0,004	0,000	0,000
Sr	0,018	0,011	0,005	0,002	0,013	0,009	0,019	0,013	0,005	0,000	0,000
∑M	4,083	4,064	4,048	4,079	4,156	4,177	4,129	4,065	4,072	4,191	4,138
∑Total	20,047	20,048	20,037	20,053	20,103	20,130	20,077	20,031	20,051	20,148	20,106

										0,000	0,000
A n	16,943	20,073	19,998	18,476	20,328	18,539	24,182	22,37	20,72		
Ab	82,476	79,313	79,310	80,975	79,201	80,811	74,919	75,87	78,70	3,734	4,722
Or	0,581	0,614	0,692	0,549	0,471	0,650	0,899	1,749	0,57	96,266	95,278

Tabela 53. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado (RS).***
C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. =porção intermediária

GRANITOS											
Fenocristais – RC-109 (Sienogranito)											
Plagioclásio								Feldspato Alcalino			
Análise	C-4	Int.4	Int.4	Int.4	B-4	C-5	B-5	C-1	Int.-1	Int.-1	B-1
SiO_2	66,178	66,102	62,945	64,982	65,662	65,841	65,915	64,121	64,742	64,152	64,211
TiO2	0,000	0,015	0,000	0,005	0,020	0,000	0,025	0,000	0,040	0,000	0,000
Al_2O_3	21,288	21,287	23,103	21,514	21,424	21,506	21,329	18,264	18,249	18,170	18,283
Fe_2O_3	0,113	0,094	0,107	0,069	0,011	0,092	0,018	0,083	0,111	0,051	0,078
MnO	0,000	0,028	0,007	0,011	0,003	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000
MgO	0,000	0,000	0,120	0,000	0,020	0,006	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
CaO	2,328	2,346	2,232	2,704	2,406	2,378	2,347	0,039	0,000	0,000	0,009
Na_2O	10,363	10,562	8,685	10,157	10,458	10,626	10,630	0,558	0,693	0,408	0,608
K_2O	0,247	0,252	0,351	0,233	0,242	0,202	0,100	16,685	16,416	16,800	16,618
BaO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	100,517	100,687	98,549	99,674	100,246	100,651	100,364	99,771	100,255	99,582	99,808

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions											
Si	11,583	11,564	11,310	11,489	11,535	11,525	11,558	11,938	11,969	11,963	11,943
Ti	0,000	0,002	0,000	0,001	0,003	0,000	0,003	0,000	0,006	0,000	0,000
Al	4,393	4,390	4,894	4,484	4,437	4,438	4,409	4,009	3,977	3,994	4,009
Fe^{+3}	0,015	0,012	0,014	0,009	0,001	0,012	0,002	0,012	0,015	0,007	0,011
∑T	15,991	15,969	16,219	15,983	15,976	15,976	15,973	15,958	15,968	15,964	15,963
Mn	0,000	0,004	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,032	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Ca	0,437	0,440	0,430	0,512	0,453	0,446	0,441	0,007	0,000	0,000	0,002
Na	3,517	3,583	3,026	3,482	3,562	3,607	3,614	0,201	0,248	0,148	0,219
K	0,055	0,056	0,080	0,053	0,054	0,045	0,022	3,963	3,872	3,997	3,943
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑M	4,009	4,083	3,569	4,048	4,075	4,099	4,078	4,176	4,121	4,144	4,165
∑Total	19,999	20,052	19,788	20,031	20,051	20,075	20,051	20,134	20,089	20,109	20,128

An	10,891	10,782	12,153	12,658	11,129	10,885	10,815	0,186	0,000	0,000	0,043
Ab	87,733	87,839	85,572	86,043	87,538	88,015	88,637	4,828	6,029	3,560	5,265
Or	1,376	1,379	2,275	1,299	1,333	1,101	0,549	94,986	93,971	96,440	94,691

Tabela 54. ***Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásios das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado (RS).***

C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. = porção intermediária

GRANITOS									
Fenocristais - RC-117 (Sienogranito)									
	Plagioclásio			Feldspato Alcalino			Plagioclásio		
Análise	C-1	Int.-1	B-1	C-2	Int-2	B-3	C-3	Int-4	B-4
SiO_2	66,028	66,268	67,155	64,017	64,484	64,486	65,252	64,486	64,881
TiO_2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,020	0,000	0,020	0,000
Al_2O_3	21,367	21,557	20,435	18,394	18,190	18,197	21,269	18,197	21,667
Fe_2O_3	0,056	0,166	0,061	0,080	0,122	0,092	0,054	0,092	0,107
MnO	0,001	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022
MgO	0,000	0,000	0,000	0,006	0,009	0,000	0,000	0,000	0,002
CaO	2,121	2,343	1,429	0,000	0,000	0,000	2,407	0,000	2,691
Na_2O	10,777	10,659	11,066	0,291	0,450	0,285	10,620	0,285	10,080
K_2O	0,074	0,135	0,127	16,978	16,623	17,071	0,082	17,071	0,230
BaO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	100,424	101,128	100,304	99,766	99,948	100,151	99,684	100,151	99,679

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions									
Si	11,566	11,539	11,750	11,925	11,967	11,966	11,530	11,551	11,469
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,000	0,003	0,000
Al	4,412	4,425	4,215	4,039	3,980	3,981	4,430	4,400	4,515
Fe^{+3}	0,007	0,021	0,008	0,011	0,017	0,012	0,007	0,017	0,014
∑T	15,985	15,986	15,973	15,975	15,973	15,962	15,967	15,971	15,999
Mn	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Mg	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,398	0,437	0,267	0,000	0,000	0,000	0,455	0,429	0,509
Na	3,660	3,598	3,754	0,105	0,161	0,102	3,638	3,641	3,455
K	0,016	0,029	0,028	4,035	3,935	4,041	0,018	0,021	0,052
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑M	4,075	4,065	4,055	4,142	4,100	4,144	4,112	4,093	4,020
∑Total	20,062	20,052	20,030	20,119	20,074	20,106	20,080	20,067	20,019

A n	9,769	10,751	6,614	0,000	0,000	0,000	11,080	10,504	12,297
Ab	89,825	88,511	92,682	2,539	3,962	2,474	88,470	88,968	86,618
Or	0,406	0,738	0,700	97,461	96,048	97,525	0,449	0,526	1,083

Tabela 55. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado (RS).

C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. =porção intermediária

GRANITOS								
Fenocristais – RC-115 (Monzogranito)								
	Felds. Alcalino		Plagioclásio					
Análise	**C-1**	**B-1**	**C-2**	**Int.2**	**B-2**	**C-3**	**Int.3**	**B-3**
SiO_2	64,693	65,234	65,009	64,481	64,527	64,915	65,701	66,702
TiO_2	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,010	0,000	0,000
Al_2O_3	18,201	21,632	21,869	21,942	21,897	21,557	21,299	20,029
Fe_2O_3	0,036	0,093	0,100	0,037	0,115	0,086	0,026	0,061
MnO	0,038	0,010	0,013	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
MgO	0,016	0,010	0,000	0,000	0,000	0,005	0,011	0,011
CaO	0,000	2,738	3,064	3,222	3,104	2,417	2,432	1,116
Na_2O	0,618	10,294	9,979	10,044	9,857	10,464	10,340	11,246
K_2O	16,545	0,201	0,097	0,099	0,218	0,148	0,056	0,085
BaO	0,101	0,000	0,040	0,003	0,000	0,000	0,023	0,000
SrO	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
∑Total	100,249	100,210	100,179	99,841	99,719	99,602	99,888	99,256

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions								
Si	11,978	11,949	11,439	11,394	11,412	11,483	11,565	11,788
Ti	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000
Al	3,973	3,989	4,536	4,571	4,565	4,495	4,420	4,173
Fe^{+3}	0,005	0,002	0,013	0,004	0,015	0,011	0,003	0,008
∑T	15,956	15,941	15,989	15,972	15,993	15,991	15,988	15,969
Mn	0,005	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003
Ca	0,000	0,000	0,577	0,610	0,588	0,458	0,458	0,211
Na	0,222	0,201	3,404	3,441	3,380	3,589	3,529	3,853
K	3,909	3,991	0,021	0,022	0,049	0,033	0,012	0,019
Ba	0,000	0,011	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
∑M	4,140	4,209	4,009	4,074	4,017	4,081	4,081	4,087
∑Total	20,097	20,150	19,998	20,047	20,011	20,073	20,073	20,057

A n	0,000	0,000	14,427	14,975	14,641	11,227	11,466	5,174
Ab	5,372	4,812	85,029	84,477	84,135	87,955	88,219	94,356
Or	94,628	95,188	0,544	0,548	1,224	0,819	0,314	0,469

Tabela 56. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásios das rochas graníticas da região de Pinheiro Machado (RS).

C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. =porção intermediária

VII.1.3.3. *Biotita*

A biotita analisada ocorre como lamelas milimétricas entre cristais de quartzo e feldspato, com pleocroísmo de tons castanho-escuro a castanho-claro e por vezes com borda cloritizada. Os resultados analíticos obtidos na microssonda não apresentam porcentagens de H_2O. Dessa forma, calculou-se a fórmula estrutural da biotita, numa base anidra de 22 átomos de cargas positivas (equivalente a 11 oxigênios), de acordo com IMA - International Mineralogical Association (Rieder 1999). Os dados analíticos estão expostos nas tabelas 57 e 58.

A biotita analisada, apresenta composição que corresponde à micas trioctaédricas, com o somatório de cátions octaédricos (Sítio M) superior a 2,5 por fórmula unitária.

No diagrama Al^{IV} versus Fe/(Fe+Mg) (Fig.75) de classificação de micas (Deer et al. 1978) as biotitas apresentam trend em direção a annita, entretanto a biotita do granodiorito situa-se mais ao centro do diagrama. A média de fe# para os sienogranitos é 0,905 (intervalos de 0,898-0,917); monzogranito é 0,771 (intervalos de 0,765-0,788); granodiorito é 0,901 (intervalos de 0,898-0,917). Conteúdos de fe# diferenciados nos granitos mostra claramente que o sienogranito é mais evoluído, seguido do monzogranito e, o menos evoluído granodiorito (Tabs. 58 e 59).

No diagrama Al^{IV} versus Si (a.f.u.) nota-se correlação inversa linear entre os elementos, indicando a substituição do Si por Al^{IV} no sítio tetraédrico (Fig. 76). A substituição é do tipo M^{2+VI} $Al^{IV}{}_2\square^{VI}Si_{-2}$ ($MgAl^{IV}{}_2\square^{VI}Si_{-2}$) entre Annita-flogopita (Stussi & Cuney 1996). Para os autores, este tipo de substituição é característica em biotitas de rochas de associação cálcio-alcalina. A troca catiônica existente entre Al^{VI} e Ti (a.f.u.) (Fig. 77) mostra contribuições do Ti no sítio octaédrico.

O estudo da química da biotita é utilizado para classificar rochas graníticas em relação aos tipos de associações magmáticas. O uso dos elementos Al^{total}, FeO e Mg tornam possível a caracterização em diagramas discriminantes de associações magmáticas. Nos diagramas FeO versus Al_2O_3, e MgO versus Al_2O_3 (Abdel-Rahman 1994) (Fig. 78) discriminantes de biotita de suítes alcalinas, cálcio alcalinas e peraluminosas, a biotita dos granitos situam-se entre os limites dos três campos.

E, na figura 79, as biotitas analisadas da região de Pinheiro Machado, ocupam o campo das biotitas primárias (Naschit et al.1986).

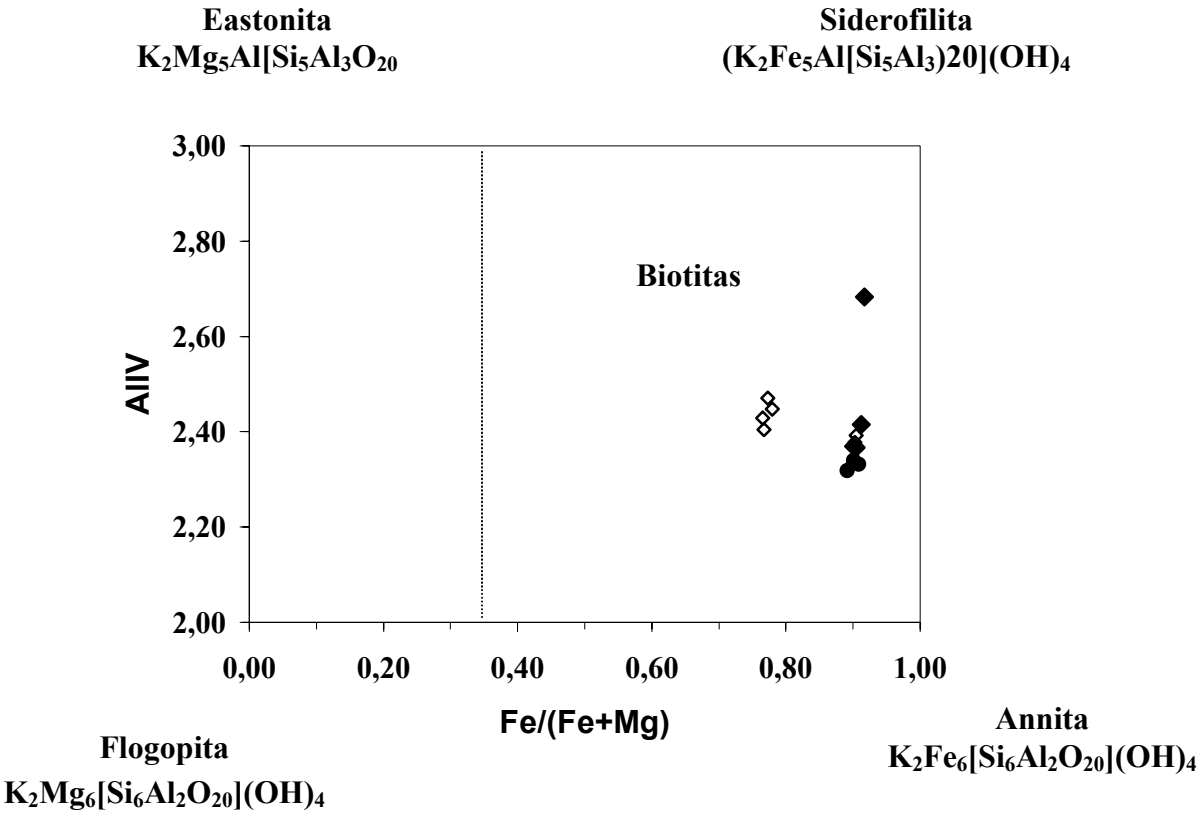


Figura 75. *Diagrama Al^{IV} versus Fe/(Fe+Mg) (a.f.u) de caracterização da biotita dos granitos da região de Pinheiro Machado, RS.Simbologia: ♦= sienogranito; ◊ = granodiorito; ●= monzogranito*

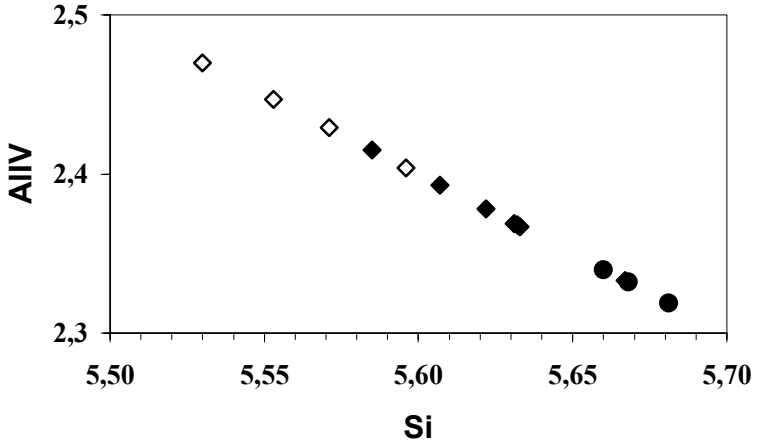


Figura 76. *Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotitas dos granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 75.*

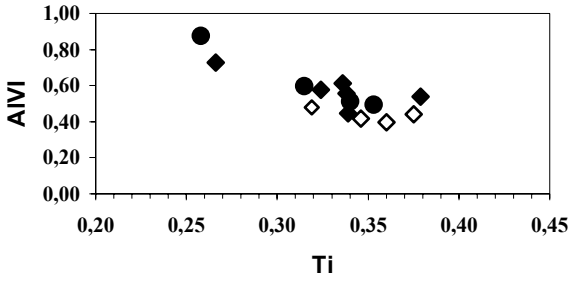
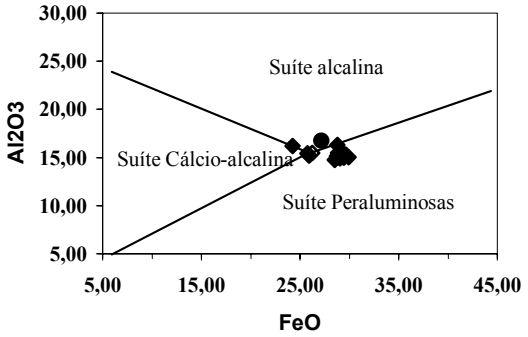
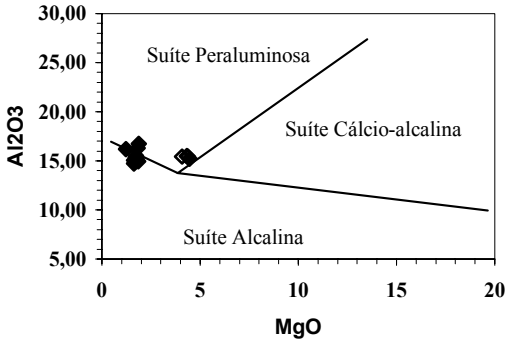


Figura 77. *Diagrama Ti versus Al^{VI} (a.f.u.) de biotitas dos granitos da região de Pinheiro*





Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 75.

Figura 78. *Diagramas FeO versus Al_2O_3, (%) e MgO versus Al_2O_3 (%) (Abdel-Rahman 1994) discriminantes de biotita de suítes alcalinas, cálcio alcalinas e peraluminosas. Simbologia. Idem fig. 75.*

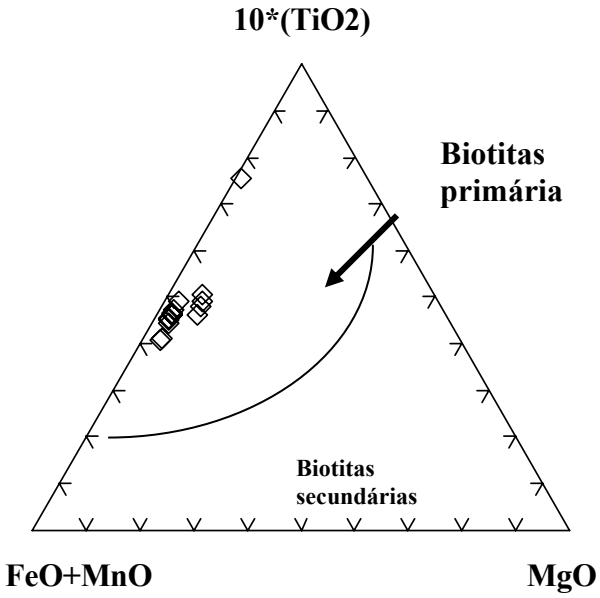


Figura 79. *Diagrama triangular $10*TiO_2$ – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al. 1986) para as biotitas dos granitos encaixantes dos diques da região de Pinheiro Machado, RS.*

GRANITOS							
Biotita							
Análises localizadas no núcleo dos cristais							
Análise	**RC-109 (Sienogranito)**						
SiO_2	34,331	34,153	34,596	32,749	34,829	34,100	34,989
TiO_2	2,732	2,622	2,788	8,204	3,097	2,719	2,202
Al_2O_3	15,493	15,351	15,034	16,221	14,969	15,011	16,330
FeO	28,862	29,334	29,932	24,256	29,443	28,822	28,770
MnO	1,087	1,036	1,759	1,339	1,033	1,339	1,219
MgO	1,742	1,723	1,623	1,226	1,840	1,728	1,824
CaO	0,088	0,113	0,075	0,173	0,118	0,000	0,068
Na_2O	0,051	0,089	0,017	0,036	0,062	0,066	0,014
K_2O	9,504	9,149	9,252	7,591	8,829	9,630	9,521
BaO	0,011	0,071	0,000	0,033	0,000	0,045	0,000
Cl	0,020	0,031	0,043	0,021	0,026	0,026	0,018
F	0,089	0,163	0,407	0,197	0,104	0,089	0,171
∑Total	94,022	93,855	95,551	92,054	94,351	93,577	95,126

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 22 Átomos de Oxigênio.

Cations							
Si	5,622	5,607	5,585	5,317	5,667	5,632	5,631
Al^{IV}	2,378	2,393	2,415	2,683	2,333	2,368	2,369
∑Tetraédrica	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,613	0,578	0,447	0,422	0,538	0,555	0,729
Ti	0,336	0,324	0,339	1,002	0,379	0,338	0,266
Fe^t	3,953	4,027	4,041	3,294	4,006	3,981	3,872
Mn	0,151	0,144	0,241	0,184	0,142	0,187	0,166
Mg	0,425	0,422	0,390	0,297	0,446	0,425	0,437
∑Octaédrica	5,478	5,494	5,458	5,198	5,512	5,487	5,471
Ba	0,001	0,005	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
Ca	0,015	0,020	0,013	0,030	0,021	0,000	0,012
Na	0,016	0,028	0,005	0,011	0,020	0,021	0,004
K	1,986	1,916	1,906	1,572	1,833	2,029	1,955
∑Intercamadas	2,018	1,969	1,924	1,616	1,873	2,053	1,971
∑Total	15,496	15,463	15,381	14,814	15,384	15,540	15,442
Cloro *	0,005	0,007	0,010	0,005	0,006	0,006	0,004
Fluor *	0,037	0,069	0,171	0,083	0,044	0,037	0,072
-OH=F,Cl=	0,042	0,076	0,181	0,088	0,050	0,043	0,076
fe#	0,903	0,905	0,912	0,917	0,900	0,903	0,898
mg#	0,100	0,090	0,090	0,080	0,100	0,100	0,090
Al^{total}	2,991	2,971	2,861	3,105	2,871	2,923	3,098

Tabela 57. *Análises selecionadas de biotita dos granitos da região de Pinheiro Machado (RS)*

GRANITOS								
Biotita								
Análises realizadas no núcleo dos cristais								
Análise	**RC-115 (Granodiorito)**				**RC-108 (Monzogranito)**			
SiO_2	35,270	35,077	35,277	34,980	34,603	35,125	34,680	34,425
TiO_2	3,055	2,900	2,675	3,139	2,759	2,124	2,892	2,546
Al_2O_3	15,500	15,203	15,416	15,430	14,729	16,756	14,936	15,164
FeO	26,241	25,896	25,759	25,780	28,504	27,189	29,059	28,744
MnO	0,929	0,914	0,916	0,969	1,547	1,366	1,513	1,362
MgO	4,334	4,454	4,386	4,073	1,622	1,872	1,716	1,776
CaO	0,000	0,006	0,000	0,000	0,037	0,058	0,031	0,021
Na_2O	0,078	0,046	0,075	0,064	0,085	0,056	0,032	0,060
K_2O	9,644	9,781	9,703	9,936	9,228	9,121	9,486	9,666
BaO	0,066	0,000	0,094	0,089	0,067	0,000	0,000	0,000
Cl	0,018	0,021	0,028	0,024	0,034	0,026	0,045	0,024
F	0,723	0,542	0,520	0,535	0,393	0,087	0,309	0,060
∑Total	95,864	94,840	94,849	95,020	93,609	93,780	94,718	93,847

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 22 Átomos de Oxigênio.

Cátions								
Si	5,530	5,571	5,596	5,553	5,668	5,681	5,633	5,660
Al^{IV}	2,470	2,429	2,404	2,447	2,332	2,319	2,367	2,340
∑Tetraédrica	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,396	0,418	0,479	0,441	0,513	0,876	0,494	0,599
Ti	0,360	0,346	0,319	0,375	0,340	0,258	0,353	0,315
Fe^t	3,441	3,440	3,417	3,423	3,905	3,678	3,948	3,952
Mn	0,123	0,123	0,123	0,130	0,215	0,187	0,208	0,190
Mg	1,013	1,054	1,037	0,964	0,396	0,451	0,415	0,435
∑Ocataédrica	5,333	5,382	5,376	5,332	5,368	5,451	5,419	5,491
Ba	0,004	0,000	0,006	0,006	0,004	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,010	0,005	0,004
Na	0,024	0,014	0,023	0,020	0,027	0,018	0,010	0,019
K	1,929	1,982	1,964	2,012	1,929	1,882	1,966	2,027
∑Intercamadas	1,957	1,997	1,993	2,038	1,966	1,910	1,981	2,050
∑Total	15,290	15,379	15,368	15,369	15,334	15,361	15,400	15,541
Cloro *	0,004	0,005	0,006	0,005	0,008	0,006	0,010	0,005
Fluor *	0,304	0,228	0,219	0,225	0,165	0,037	0,130	0,025
-OH=F,Cl=	0,308	0,233	0,225	0,231	0,173	0,042	0,140	0,031
fe#	0,773	0,765	0,767	0,780	0,908	0,891	0,905	0,901
mg#	0,227	0,235	0,233	0,220	0,09	0,10	0,09	0,88
Al total	2,866	2,847	2,883	2,888	2,845	3,195	2,861	2,939

Tabela 58. *Análises selecionadas de biotita dos granitos da região de Pinheiro Machado, (RS).*

VII.2. *Diques Ácidos*

VII.2.1. *Feldspato Alcalino e Plagioclásio*

a) Feldspato Alcalino

Os dados analíticos dos cristais de feldspato alcalino analisado estão nas tabelas 59 a 64. Foi analisado núcleo, porção intermediária e borda de cristais de traquidacito, dacito e riolito. No diagrama ternário Or-Ab-An as análises ocupam a linha Ab-Or, e as variações nos teores das moléculas de Or-Ab-An apresentam composições anortoclásio, sanidina e ortoclásio, cujos intervalos são os seguintes: $Or_{37-66}Ab_{33-62}An_{0,0-0,4}$; $Or_{0,6-94}Ab_{5,0-98}An_{0,0-0,8}$; $Or_{61-84}Ab_{13-37}An_{0,4-2,0}$. (Fig.80).

O diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) mostra correlação positiva e os riolitos mostram-se mais evoluídos quando comparados com amostra de traquidacito (Fig. 81). O diagrama de troca catiônica entre K e Na (*a.f.u.*) mostra substituição do tipo simples albita-ortoclásio (Fig. 82). Os perfis analíticos entre núcleo e borda permitem identificar que a medida ocorre à cristalização destes minerais, o líquido magmático tornava-se mais enriquecido na componente ortoclásio.

b) Plagioclásio

Os cristais de plagioclásio analisados (RC-102, RC-91A e RC-111) apresentam conteúdos de anortita de composição albita ($An_{1,0-10}$) como principal plagioclásio dos diques ácidos (Fig. 74). No diagrama Na *versus* Ca (*a.f.u.*) as analises apresentam espalhamento entre as componentes. Entretanto, a amostra de dacito, apresenta troca entre estas componentes (Fig. 83). Dados analíticos realizados no centro e borda mostram zonamento do tipo normal.

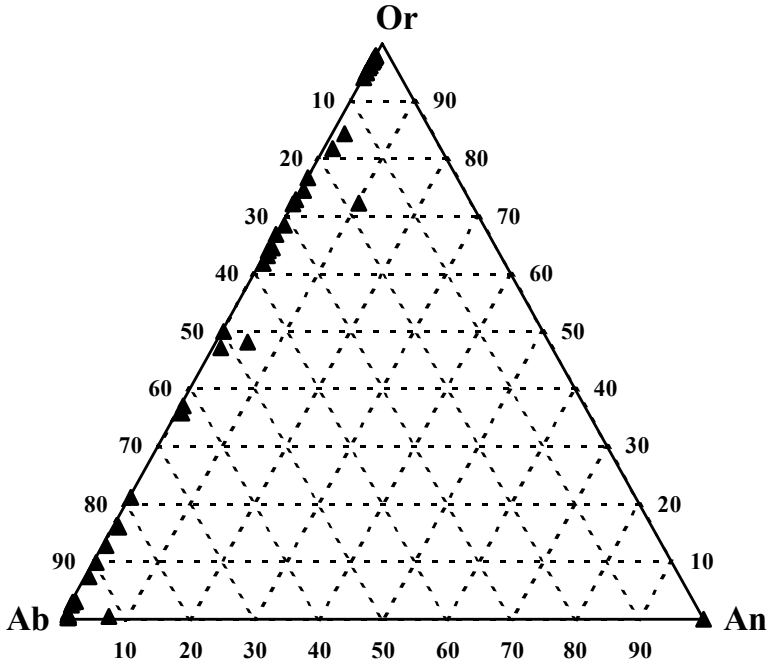


Figura 80. Diagrama ternário Or-Ab-An de classificação de feldspato alcalino e plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.

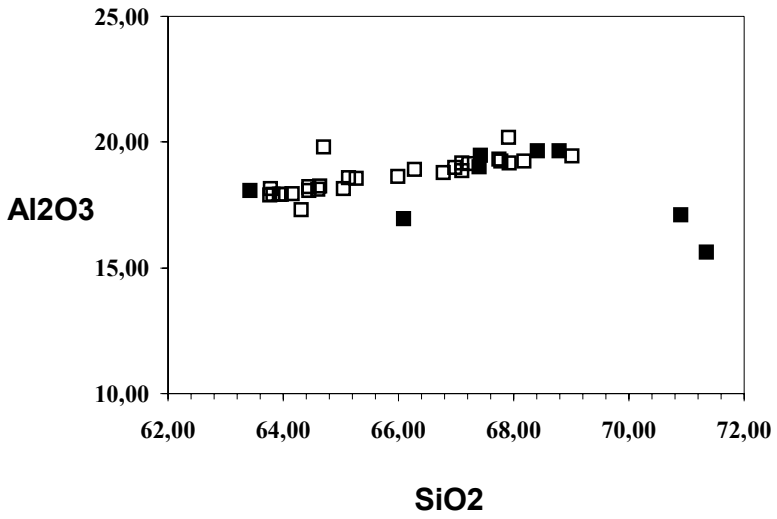


Figura 81. *Diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 (%) de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: □= traquidacito; ■ = riolito*

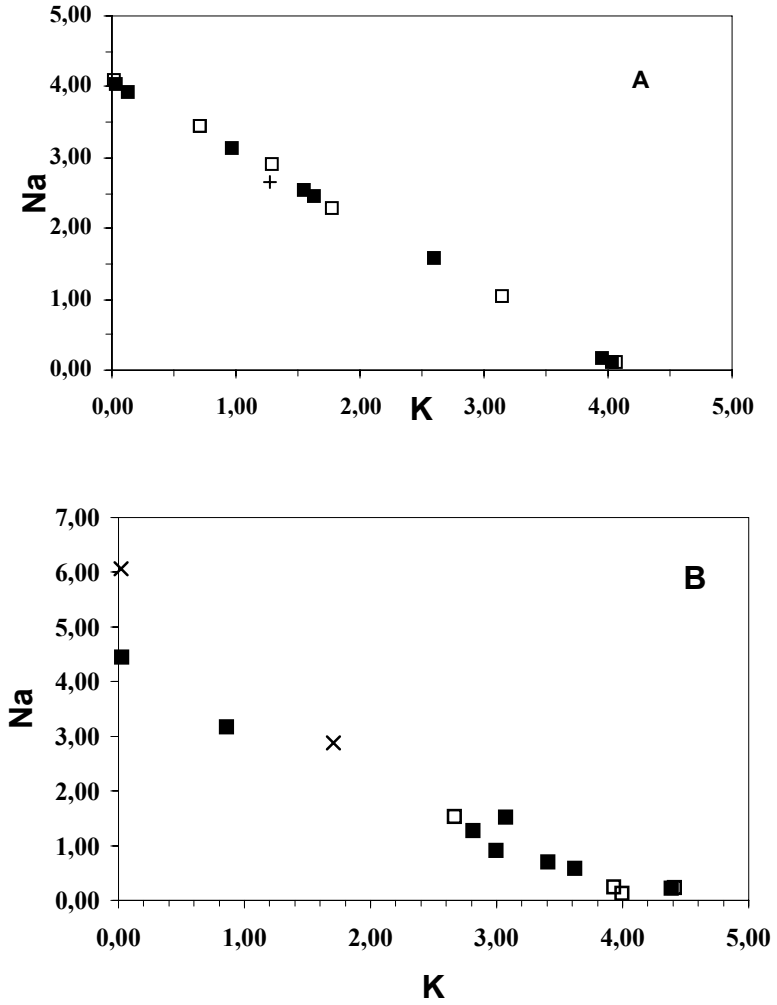


Figura 82. *Diagrama de troca catiônica entre K versus Na (a.f.u.) de feldspatos alcalinos dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia:* **A** *= Traquidacitos: + = intermediário; □ = borda do cristal; ■ = núcleo do cristal. Em* **B** *= Riolitos: □ = borda do cristal; ■ = núcleo do cristal; × = intermediário.*

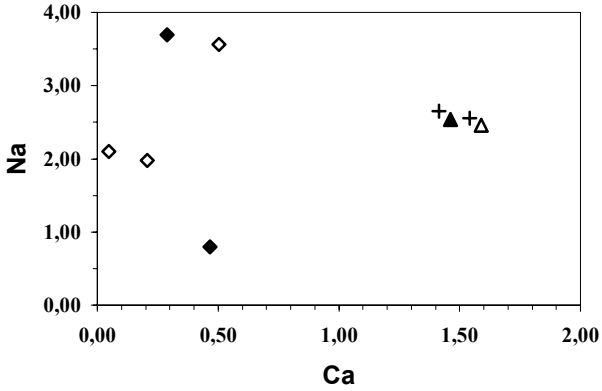


Figura 83. *Diagrama de troca catiônica entre Ca versus Na (a.f.u.) de plagioclásio dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Dacito - ▲= núcleo; + = intermediário; Δ = borda; Riolito -♦ = núcleo; ◊ = borda.*

DIQUE ÁCIDO							
Feldspato Alcalino							
RC- 94B (Riolito)							
Fenocristal							
Análise	**C1**		**C2**	**B2**	**C3**	**C4**	**C5**
		Int.					
SiO_2	65,263	67,097	68,408	63,427	70,896	63,768	71,349
TiO_2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
Al_2O_3	18,547	19,167	19,655	18,064	17,103	17,899	15,618
Fe_2O3	0,041	0,022	0,055	0,066	0,013	0,077	0,098
MnO	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
MgO	0,000	0,009	0,000	0,011	0,000	0,005	0,009
CaO	0,004	0,101	0,174	0,000	0,062	0,000	0,011
Na_2O	3,875	7,540	11,873	0,582	8,396	0,557	2,368
K_2O	11,872	6,797	0,110	16,591	3,438	16,523	11,858
BaO	0,033	0,000	0,015	0,040	0,000	0,005	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	99,637	100,754	100,291	98,781	99,908	98,841	101,317

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions							
Si	11,517	11,498	11,498	11,499	12,033	11,543	12,278
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Al	4,437	4,452	4,478	4,439	3,935	4,392	3,643
Fe^{+3}	0,006	0,003	0,008	0,010	0,002	0,012	0,015
∑T	15,961	15,953	15,984	15,949	15,969	15,947	15,936
Mn	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,003
Ca	0,001	0,021	0,036	0,000	0,013	0,000	0,002
Na	1,525	2,880	4,449	0,235	3,177	0,225	0,908
K	3,073	1,708	0,027	4,412	0,856	4,387	2,993
Ba	0,002	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑M	4,599	4,616	4,512	4,651	4,046	4,614	3,907
∑Total	20,560	20,569	20,497	20,600	20,015	20,561	19,843

An	0,019	0,462	0,799	0,000	0,320	0,000	0,060
Ab	33,152	62,479	98,600	5,062	78,524	4,874	23,270
Or	66,829	37,058	0,601	94,938	21,156	95,126	76,670

Tabela 59. Análises selecionadas de feldspato alcalino de diques ácidos associados da região de Pinheiro Machado, RS. C= centro do cristal; B = borda do cristal; Int. = porção intermediária.

DIQUE ÁCIDO														
Feldspato Alcalino														
RC- 110A (Traquidacito)														
Fenocristais														
Análise	**C1**	**B1**	**C2**	**Int.2**	**C3**	**B3**	**C4**	**B4**	**C5**	**B5**	**C6**	**B6**	**C7**	**B7**
SiO_2	67,776	63,783	66,281	67,101	64,698	67,223	68,180	66,773	63,970	66,982	67,399	67,919	64,628	65,137
TiO_2	0,000	0,030	0,045	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,045	0,040	0,000
Al_2O_3	19,233	18,161	18,905	18,867	19,808	19,150	19,235	18,783	17,920	18,980	19,025	19,163	18,258	18,592
Fe_2O_3	0,100	0,197	0,799	0,246	0,135	0,104	0,060	0,118	0,239	0,052	0,398	0,113	0,081	0,201
MnO	0,022	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,009	0,012	0,021	0,020	0,000	0,011	0,000
MgO	0,000	0,000	0,014	0,000	0,012	0,000	0,005	0,001	0,012	0,000	0,000	0,019	0,000	0,020
CaO	0,019	0,000	0,000	0,006	0,030	0,027	0,017	0,016	0,000	0,000	0,028	0,024	0,000	1,276
Na_2O	11,934	0,317	7,082	7,691	7,185	10,043	11,499	6,582	0,338	9,999	9,089	11,822	0,438	8,245
K_2O	0,082	17,068	7,083	5,587	6,695	3,125	0,578	7,735	16,917	3,087	4,246	0,182	16,754	5,550
BaO	0,000	0,048	0,037	0,000	0,012	0,038	0,000	0,000	0,006	0,018	0,000	0,050	0,072	0,046
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	99,16	99,60	100,24	99,55	98,57	99,70	99,57	100,01	99,46	99,14	100,20	99,33	100,28	99,06

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions														
Si	11,960	11,925	11,891	11,998	11,772	11,938	11,988	11,988	11,962	11,956	11,951	11,973	11,967	11,822
Ti	0,000	0,004	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,005	0,005	0,000
Al	4,001	4,003	3,998	3,977	4,249	4,009	3,987	3,975	3,950	3,994	3,977	3,981	3,985	3,978
Fe^{+3}	0,013	0,027	0,107	0,033	0,018	0,013	0,007	0,015	0,033	0,006	0,053	0,014	0,011	0,027
∑T	15,974	15,961	16,003	16,015	16,040	15,961	15,984	15,979	15,953	15,957	15,982	15,974	15,969	15,827
Mn	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,003	0,000	0,001	0,000
Mg	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,005
Ca	0,003	0,000	0,000	0,001	0,005	0,005	0,003	0,003	0,000	0,000	0,005	0,004	0,000	0,248
Na	4,083	0,114	2,463	2,666	2,535	3,458	3,920	2,291	0,122	3,460	3,125	4,040	0,157	2,901
K	0,018	4,071	1,621	1,274	1,554	0,708	0,129	1,771	4,035	0,703	0,960	0,040	3,957	1,285
Ba	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,005	0,003
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑M	4,108	4,186	4,088	3,943	4,098	4,171	4,054	4,067	4,163	4,167	4,094	4,090	4,116	4,440
∑Total	20,083	20,147	20,092	19,959	20,138	20,133	20,038	20,047	20,117	20,124	20,076	20,064	20,086	20,268

A n	0,088	0,000	0,000	0,029	0,143	0,123	0,079	0,076	0,000	0,000	0,130	0,111	0,000	5,595
Ab	99,463	2,745	60,312	67,641	61,904	82,904	96,722	56,352	2,947	83,116	76,390	98,887	3,821	65,427
Or	0,225	94,656	24,743	19,277	23,409	9,274	1,625	27,848	94,159	9,216	13,296	0,503	92,601	16,932

Tabela 60. *Análises selecionadas de feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.*
C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. = Porção intermediár

DIQUE ÁCIDO											
RC-110B (Traquidacito)				Fenocristais - RC–102 (Riolito)							
Feldspato alcalino										Plagioclásio	
Análise	C	Int.	B	C	B	C	B	C	B	C.1	B.1
SiO_2	65,678	65,084	63,768	63,233	64,273	64,952	62,988	66,086	65,538	63,419	65,402
TiO_2	0,045	0,005	0,000	0,065	0,035	0,055	0,000	0,050	0,000	0,000	0,005
Al_2O_3	18,883	18,558	18,307	18,146	18,285	18,548	18,714	18,807	18,933	18,015	18,686
Fe_2O_3	0,050	0,071	0,076	0,006	0,224	0,162	0,440	0,000	0,038	0,007	0,167
MnO	0,000	0,000	0,033	0,020	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,002
MgO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,014
CaO	0,114	0,101	0,409	0,306	0,022	0,298	0,000	0,118	0,103	2,346	1,064
Na_2O	4,496	2,970	1,624	17,179	0,678	1,972	0,354	3,637	4,359	2,214	5,608
K_2O	11,219	13,455	15,218	0,080	16,609	14,554	16,696	12,198	11,514	13,899	8,756
BaO	0,000	0,129	0,097	0,000	0,010	0,060	0,053	0,038	0,085	0,005	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
∑Total	100,400	100,374	99,532	99,035	100,179	100,600	99,245	100,954	100,577	99,922	99,703

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions											
Si	11,907	11,922	11,879	11,516	11,923	11,910	11,816	11,949	11,894	11,782	11,876
Ti	0,006	0,001	0,000	0,009	0,005	0,008	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001
Al	4,036	4,008	4,020	3,896	3,999	4,010	4,139	4,009	4,051	3,946	4,000
Fe^{+3}	0,007	0,010	0,011	0,001	0,031	0,022	0,062	0,000	0,005	0,001	0,023
∑T	15,956	15,940	15,910	15,422	15,958	15,950	16,017	15,965	15,951	15,729	15,899
Mn	0,000	0,000	0,005	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004
Ca	0,022	0,020	0,082	0,060	0,004	0,059	0,000	0,023	0,020	0,467	0,207
Na	1,580	1,055	0,587	6,066	0,244	0,701	0,129	1,275	1,534	0,798	1,975
K	2,595	3,144	3,617	0,019	3,931	3,405	3,996	2,814	2,666	3,294	2,028
Ba	0,000	0,009	0,007	0,000	0,001	0,004	0,004	0,003	0,006	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

∑M	4,197	4,228	4,297	6,148	4,186	4,169	4,129	4,120	4,227	4,562	4,214
∑Total	20,153	20,168	20,207	21,569	20,144	20,119	20,146	20,084	20,177	20,291	20,114

A n	0,528	0,470	1,905	0,972	0,105	1,406	0,000	0,556	0,475	10,244	4,917
Ab	37,653	25,003	13,690	98,726	5,836	16,836	3,122	31,011	36,350	17,494	46,901
Or	61,820	74,527	84,405	0,302	94,060	81,758	96,878	68,433	63,175	72,262	48,182

Tabela 61. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio de diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.

C= centro do cristal; B= borda do cristal; Int. = porção intermediária.

DIQUE ÁCIDO. Feno cristais – RC-91A (Riolito)										
Feldspato alcalino							**Plagioclásio**		**Feldspato alcalino**	
Análise	**C**	**Int.**	**B**	**C**	**Int.**	**B**	**C.1**	**B.1**	**C**	**B**
SiO_2	68,799	66,659	73,797	70,554	69,287	71,134	66,165	65,834	64,073	63,895
TiO_2	0,035	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,060	0,020	0,000	0,095
Al_2O_3	17,887	17,830	15,551	15,999	16,131	13,951	20,712	18,766	18,072	18,025
Fe_2O_3	0,051	0,081	0,111	0,000	0,001	0,000	0,188	0,126	0,000	0,070
MnO	0,000	0,000	0,020	0,010	0,007	0,012	0,000	0,003	0,028	0,018
MgO	0,020	0,000	0,009	0,005	0,000	0,000	0,010	0,000	0,003	0,000
CaO	0,073	0,003	0,108	0,055	0,038	0,000	1,527	0,256	0,000	0,000
Na_2O	10,835	3,123	9,703	5,143	3,687	0,341	10,816	5,971	0,282	0,480
K_2O	0,495	12,300	0,119	7,867	10,047	12,919	0,093	8,304	16,805	16,645
∑Total	98,194	99,995	99,419	99,632	99,253	98,358	99,572	99,281	99,264	99,164

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions										
Si	12,213	12,132	12,775	12,579	12,511	12,969	11,668	11,943	11,981	11,957
Ti	0,005	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,007	0,002	0,000	0,013
Al	3,743	3,826	3,174	3,363	3,434	2,999	4,306	4,013	3,984	3,976
Fe^{+3}	0,007	0,011	0,014	0,000	0,000	0,000	0,024	0,017	0,000	0,009
∑T	15,968	15,969	15,964	15,942	15,953	15,967	16,007	15,977	15,965	15,958
Mn	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	0,004	0,002
Mg	0,005	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Ca	0,014	0,001	0,020	0,011	0,007	0,000	0,288	0,049	0,000	0,000
Na	3,729	1,102	3,257	1,778	1,291	0,121	3,698	2,100	0,102	0,174
K	0,112	2,856	0,026	1,789	2,315	3,005	0,020	1,921	4,009	3,974
∑M	3,861	3,959	3,309	3,581	3,614	3,127	4,010	4,072	4,116	4,151
∑Total	19,828	19,928	19,272	19,523	19,567	19,095	20,018	20,050	20,082	20,109

An	0,360	0,015	0,606	0,294	0,204	0,000	7,199	1,222	0,000	0,000
Ab	96,732	27,840	98,598	49,693	35,732	3,857	92,279	51,580	2,487	4,199
Or	2,908	72,145	0,796	50,013	64,065	96,143	0,522	47,198	97,513	95,801

Tabela 62. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio de diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS.

C= centro do cristal; B = borda do cristal; Int. = porção intermediária.

DIQUE ÁCIDO. Feldspato alcalino

	Fenocristais-RC-110B (Traquidacito)						Fenocristais –RC-95A (Riolito)								
Análise	**C**	**Int**	**B**	**C**	**Int**	**B**	**C**	**Int**	**B**	**C**	**Int**	**B**	**C**	**Int**	**B**
SiO_2	64,160	65,049	63,826	63,932	65,992	64,312	67,910	64,599	69,007	66,085	64,442	64,440	67,422	67,744	68,786
TiO_2	0,030	0,045	0,000	0,015	0,000	0,050	0,000	0,010	0,030	0,000	0,025	0,065	0,015	0,000	0,035
Al_2O_3	17,958	18,152	17,932	17,919	18,633	17,312	20,192	18,130	19,438	16,942	18,077	18,217	19,472	19,330	19,655
Fe_2O_3	0,000	0,010	0,045	0,002	0,472	0,000	0,291	0,007	0,115	0,103	0,000	0,000	0,000	0,129	0,066
MnO	0,000	0,010	0,020	0,028	0,000	0,000	0,028	0,004	0,000	0,000	0,000	0,033	0,000	0,000	0,007
MgO	0,006	0,000	0,007	0,000	0,026	0,005	0,015	0,019	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
CaO	0,000	0,012	0,001	0,000	0,128	0,000	0,170	0,000	0,076	0,000	0,000	0,000	0,204	0,124	0,206
Na_2O	0,238	3,106	0,358	0,231	4,037	0,283	11,689	0,330	11,828	0,538	0,268	0,319	10,128	10,562	12,042
K_2O	17,059	12,732	16,766	16,867	11,385	16,872	0,562	17,003	0,448	15,552	16,976	16,821	2,966	2,374	0,056
BaO	0,095	0,063	0,000	0,041	0,000	0,040	0,000	0,000	0,043	0,200	0,000	0,000	0,112	0,046	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
∑Total	99,546	99,176	98,955	99,034	100,673	99,554	100,856	100,102	101,011	99,240	99,789	99,899	100,318	100,326	100,853

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cations															
Si	11,987	12,001	11,980	11,992	11,943	12,079	11,825	11,985	11,971	12,240	11,991	11,971	11,902	11,928	11,937
Ti	0,004	0,006	0,000	0,002	0,000	0,007	0,000	0,001	0,004	0,000	0,003	0,009	0,002	0,000	0,005
Al	3,955	3,948	3,968	3,963	3,975	3,833	4,145	3,965	3,976	3,699	3,965	3,990	4,052	4,013	4,021
Fe^{+3}	0,000	0,001	0,006	0,000	0,064	0,000	0,038	0,001	0,015	0,014	0,000	0,000	0,000	0,017	0,009
∑T	15,946	15,956	15,955	15,957	15,983	15,920	16,008	15,953	15,966	15,954	15,960	15,969	15,956	15,958	15,972
Mn	0,000	0,002	0,003	0,004	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001
Mg	0,002	0,000	0,002	0,000	0,007	0,001	0,004	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,000	0,002	0,000	0,000	0,025	0,000	0,032	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,039	0,023	0,038
Na	0,086	1,111	0,130	0,084	1,417	0,103	3,947	0,119	3,979	0,193	0,097	0,115	3,467	3,606	4,052
K	4,066	2,997	4,015	4,036	2,629	4,043	0,125	4,025	0,099	3,675	4,030	3,987	0,668	0,533	0,012
Ba	0,007	0,005	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,015	0,000	0,000	0,008	0,003	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
∑M	4,154	4,112	4,151	4,125	4,077	4,147	4,111	4,149	4,100	3,868	4,127	4,107	4,173	4,164	4,104
∑Total	20,100	20,068	20,105	20,082	20,060	20,067	20,119	20,102	20,065	19,822	20,086	20,076	20,130	20,122	20,076
An	0,000	0,058	0,005	0,000	0,610	0,000	0,773	0,000	0,345	0,000	0,000	0,000	0,925	0,562	0,934
Ab	2,076	27,033	3,143	2,039	34,806	2,486	96,184	2,865	97,232	4,995	2,343	2,802	83,069	86,627	98,764
Or	97,924	72,910	96,852	97,961	64,584	97,514	3,043	97,135	2,423	95,005	97,657	97,198	16,006	12,811	0,302

Tabela 63. Análises selecionadas de feldspato alcalino e plagioclásio de diques ácidos da região de Pinheiro Machado, RS., C = centro do cristal; B = borda do cristal; Int. = porção intermediária.

DIQUE ÁCIDO					
			Plagioclásio		
RC-111 (Dacito)					
Análise	C-1	B-1	C-2	Int.-2	B-2
SiO_2	57,935	58,009	58,559	58,184	65,091
TiO_2	0,040	0,030	0,010	0,050	0,017
Al_2O_3	25,942	25,727	25,621	25,074	21,444
Fe_2O_3	0,319	0,331	0,231	0,275	0,138
MnO	0,000	0,000	0,008	0,020	0,003
MgO	0,021	0,013	0,000	0,021	0,000
CaO	8,254	8,001	7,597	7,281	2,660
Na_2O	7,053	7,330	7,282	7,546	10,411
K_2O	0,108	0,186	0,172	0,171	0,092
BaO	0,068	0,116	0,044	0,110	0,039
SrO	0,118	0,249	0,111	0,165	0,044
Total	99,860	99,992	99,635	98,897	99,937

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions					
Si	10,413	10,432	10,522	10,548	11,487
Ti	0,005	0,004	0,001	0,007	0,002
Al	5,497	5,454	5,427	5,359	4,461
Fe^{+3}	0,043	0,045	0,031	0,038	0,018
∑T	15,958	15,935	15,981	15,952	15,969
Mn	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000
MgO	0,006	0,003	0,000	0,006	0,000
Ca	1,590	1,542	1,463	1,414	0,503
Na	2,458	2,556	2,537	2,653	3,562
K	0,025	0,043	0,039	0,040	0,021
Ba	0,005	0,008	0,003	0,008	0,003
Sr	0,012	0,026	0,012	0,017	0,005
∑M	4,095	4,178	4,055	4,141	4,094
∑Total	20,053	20,114	20,036	20,092	20,063
An	39,034	37,237	36,212	34,442	12,309
Ab	60,358	61,733	62,812	64,595	87,184
Or	0,608	1,031	0,976	0,963	0,507

Tabela 64. Análises selecionadas de plagioclásio de dique ácido da região de Pinheiro Machado, RS.

C= centro do cristal; B =borda do cristal; Int. = porção intermediário.

VII.3. *Dique Intermediário e Básico*

VII.3.1. *Feldspato alcalino e Plagioclásio*

a) *Feldspatos alcalinos*

O feldspato alcalino da amostra de latito (RC-118A) apresenta variações nos teores das moléculas Or-Ab-An nos seguintes intervalos: $Or_{3,5-96}$ $Ab_{3,3-96}An_{0,0-0,51}$ e classificam os mesmos como ortoclásio e anortoclásio (Fig. 84). Os dados analíticos estão expostos na tabela 65. No dique básico (RC-118B) não foi possível analisar o feldspato alcalino.

O diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) para o feldspato alcalino mostra uma correlação fortemente positiva e reflete a importância destes óxidos no líquido magmático (Fig. 85). O diagrama de troca catiônica entre Na e K (Fig. 86) revela substituição da componente Na pelo K no sítio M. Os perfis realizados em fenocristais de feldspatos alcalinos permitem identificar que à medida que ocorre a cristalização, o líquido magmático tornava-se mais enriquecido na componente K (Tab. 65).

b) Plagioclásios

Os cristais de plagioclásio analisados são da amostra de basalto (RC-118B) (Tab. 66) e os mesmos conferem conteúdos de anortita no intervalo $An_{9,5}$ a $An_{53,3,}$ caracterizando albita, oligoclásio, andesina e labradorita (Fig. 84). Os perfis em fenocristais (Tab. 65) possibilitaram identificar zonamento do tipo normal, oscilatório e inverso e, no diagrama Na *versus* Ca *(a.f.u.)* observa-se à existência de substituição do tipo albita-anortita no sítio M (Fig. 87).

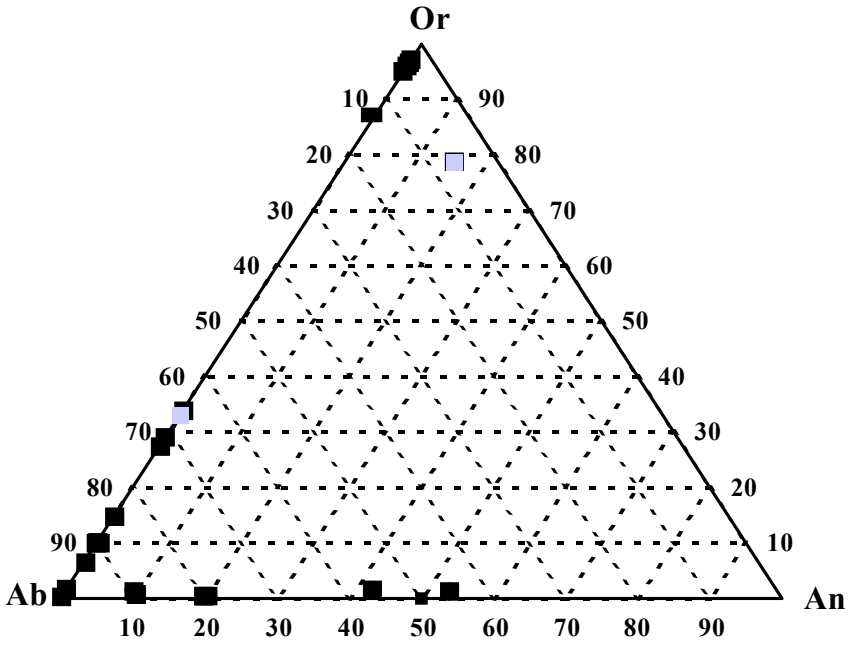


Figura 84. Diagrama ternário Or-Ab-An de caracterização do feldspato alcalino do dique intermediário e plagioclásio do dique básico da região de Pinheiro Machado, RS.

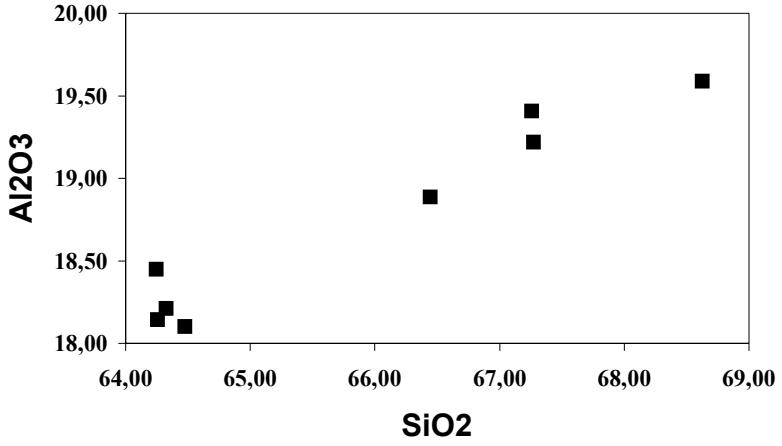


Figura 85. *Diagrama entre SiO_2 versus Al_2O_3 (%) de feldspato alcalino do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: ■ = latito*

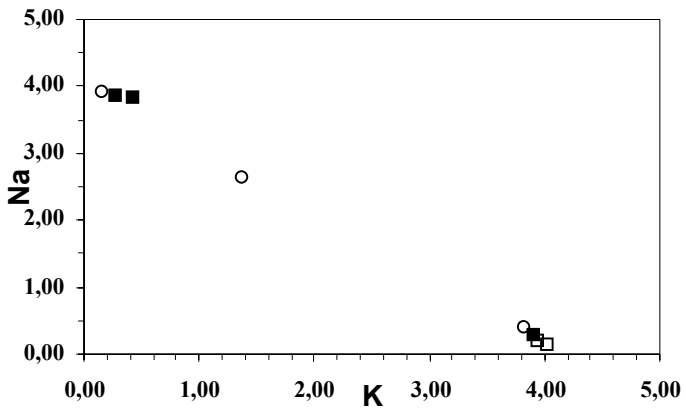


Figura 86. *Diagrama de troca catiônica entre K versus Na (a.f.u.) de feldspato alcalino do dique intermediário de região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia*: O = *porção intermediária;* ■ = *centro do cristal;* □ = *borda do cristal.*

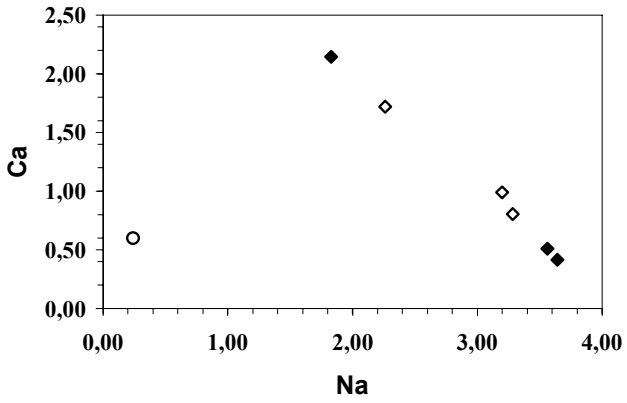


Figura 87. *Diagrama de troca catiônica entre Na versus Ca (a.f.u.) de plagioclásio do dique básico da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia:* ◊ = *borda do cristal;* O = *porção intermediária;* ♦ = *centro do cristal.*

DIQUE INTERMEDIÁRIO								
Feldspato Alcalino								
Fenocristais -RC-118A (Latito)								
Análise	**C1**	**Int.1**	**C2**	**B2**	**C3**	**Int.3**	**Int.3**	**B3**
SiO_2	67,255	66,445	67,270	64,477	64,325	64,244	64,253	68,624
TiO_2	0,005	0,000	0,000	0,010	0,015	0,000	0,015	0,025
Al_2O_3	19,406	18,885	19,217	18,103	18,211	18,448	18,143	19,589
Fe_2O_3	0,043	0,072	0,135	0,232	0,006	0,034	0,012	0,028
MnO	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MgO	0,003	0,013	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
CaO	0,116	0,039	0,060	0,000	0,009	0,000	0,000	0,089
Na_2O	11,194	7,611	11,207	0,389	0,777	1,171	0,570	11,614
K_2O	1,907	5,952	1,170	16,975	16,482	16,145	16,578	0,659
BaO	0,000	0,000	0,000	O,003	0,009	0,035	0,123	0,117
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑Total	99,961	99,017	99,071	100,189	99,835	100,078	99,695	100,745

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions								
Si	11,883	11,972	11,935	11,964	11,956	11,912	11,952	11,971
Ti	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,003	0,002
Al	4,042	4,011	4,019	3,960	3,991	4,033	4,022	3,985
Fe^{+3}	0,006	0,010	0,018	0,032	0,001	0,005	0,004	0,002
∑T	15,932	15,993	15,972	15,959	15,950	15,949	15,981	15,960
Mn	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,022	0,008	0,011	0,000	0,002	0,000	0,017	0,000
Na	3,835	2,659	3,855	0,140	0,280	0,421	3,922	0,206
K	0,430	1,368	0,265	4,019	3,908	3,819	0,146	3,941
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,007	0,008
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
∑M	4,293	4,038	4,135	4,159	4,190	4,240	4,085	4,146
∑Total	20,225	20,031	20,107	20,117	20,140	20,189	20,066	20,107

A n	0,512	0,187	0,276	0,000	0,043	0,000	0,407	0,000
Ab	89,460	65,903	93,314	3,366	6,683	9,929	96,009	4,966
Or	10,028	33,910	6,410	96,634	93,274	90,071	3,584	95,034

Tabela 65. Análises selecionadas de feldspato alcalino de dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.

C = centro do cristal; Int. = porção intermediária; b = borda do cristal.

DIQUE BÁSICO							
			Plagioclásio				
RC-118B (Basalto)							
Análise	C1	B1	C2	Int.2	B2	B3	C3
SiO_2	53,717	56,231	64,752	59,044	62,654	62,490	66,012
TiO_2	0,057	0,013	0,000	0,007	0,030	0,017	0,013
Al_2O_3	27,872	26,552	20,796	20,435	22,704	22,733	20,883
Fe_2O_3	0,612	0,335	0,107	1,038	0,039	0,018	0,233
MnO	0,003	0,000	0,013	0,000	0,000	0,024	0,000
MgO	0,062	0,024	0,005	0,107	0,000	0,000	0,001
CaO	10,916	8,810	2,172	2,944	4,225	4,365	2,060
Na_2O	5,141	6,408	10,512	0,648	9,503	9,449	10,667
K_2O	0,215	0,267	0,131	12,858	0,085	0,081	0,237
BaO	0,028	0,038	0,150	0,711	0,067	0,026	0,067
SrO	0,160	0,131	0,050	0,101	0,131	0,136	0,000
∑Total	98,783	98,809	98,687	98,892	99,437	99,338	100,173

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 32 Átomos de Oxigênio.

Cátions							
Si	9,850	10,238	11,569	11,254	11,173	11,157	11,609
Ti	0,008	0,002	0,000	0,001	0,004	0,002	0,002
Al	6,025	5,699	4,380	4,592	4,773	4,785	4,330
Fe^{+3}	0,084	0,046	0,014	0,149	0,005	0,002	0,031
∑T	15,967	15,984	15,963	15,996	15,956	15,947	15,971
Mn	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000
Mg	0,017	0,007	0,001	0,030	0,000	0,000	0,000
Ca	2,145	1,719	0,416	0,601	0,807	0,835	0,388
Na	1,828	2,262	3,642	0,239	3,286	3,271	3,637
K	0,050	0,062	0,030	3,127	0,019	0,018	0,053
Ba	0,002	0,003	0,011	0,053	0,005	0,002	0,005
Sr	0,017	0,014	0,005	0,011	0,014	0,014	0,000
∑M	4,059	4,066	4,106	4,062	4,131	4,144	4,084
∑Total	20,027	20,050	20,070	20,058	20,086	20,091	20,055

An	53,313	42,511	10,173	15,155	19,630	20,245	9,517
Ab	45,437	55,955	89,096	6,036	79,900	79,307	89,179
Or	1,250	1,534	0,731	78,809	0,470	0,447	1,304

Tabela 66. Análises selecionadas de plagioclásio de dique básico da região de Pinheiro Machado, RS.

C= centro do cristal; Int. = porção intermediária; b = borda do cristal.

VII. 3.2. *Biotita*

Foram analisados o núcleo de cristais da amostra do latito (RC-118A) e os dados analíticos estão expostos na tabela 67. Na amostra de basalto, restos de biotita apresentam-se interdigitados com restos de piroxênio, minerais opacos e clorita, provável produto de alteração do piroxênio, tornando-se inviável realizar analises químicas. A biotita analisada do latito apresenta pleocroísmo castanho-claro a verde-escuro, com bordas cloritizadas. A fórmula estrutural foi calculada numa base anidra de 22 átomos de cargas positivas (equivalente a 11 oxigênios), de acordo com IMA - *International Mineralogical Association* (Rieder 1999).

De acordo com *Deer et al.* (1978) as substituições dos elementos nos sítios da estrutura da biotita, podem ocorrem entre:

$Mg \leftrightarrow Fe^{+3}$, Al

$Al \leftrightarrow Si$ (sítio tetraédrico)

$K \leftrightarrow Na$, Ca, Ba, Rb, Cs (intercamadas)

$Fe^{+2} \leftrightarrow Mg$ (sítio octaédrico)

$Al \leftrightarrow Li$ (sítio octaédrico)

No diagrama Al^{IV} *versus* Fe/(Fe+Mg) (Fig. 88) para classificação de micas, a biotita analisada, ocupa a parte central do diagrama, campo das biotitas verdadeiras (Deer *et al.* (1978). As médias do índice de magnésio e índice de ferro são: mg# = 0,539 e fe# = 0,426. O mg# da biotita apresenta intervalo de 0,527 a 0,564; e o intervalo do fe# é 0,437 a 0,473.

Projetando-se as analises no diagrama discriminante de suítes alcalinas, cálcio-alcalinas e peraluminosas de Abdel-Rahman (1994), a biotita analisada situa-se no limite entre os campos peraluminosos e cálcio-alcalinas (Fig. 89).

Nos diagramas de substituição catiônica observa-se trocas significativas entre o Al^{IV} *versus* Si *(a.f.u.)* (sítio tetraédrico) (Fig. 90) e Fe^{total} *versus* Mg *(a.f.u.)* (sítio octaédrico) (Fig. 91).

No diagrama $0*TiO_2$ - FeO+MnO- MgO (%) (Naschit *et al.* 1986) para discriminar biotitas primárias de secundárias, as biotitas analisadas situam-se entre os dois campos, e mostram uma evolução completa, com a formação de biotita magmática e tardi-magmática (Fig. 92).

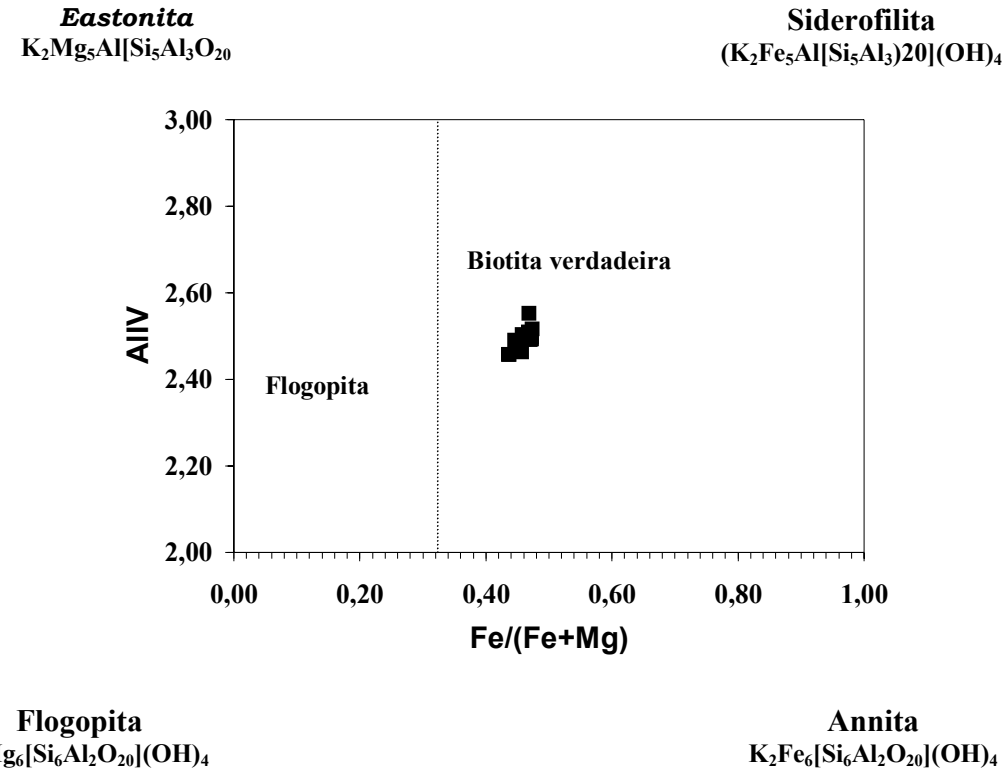


Figura 88. *Diagrama Fe/(Fe+Mg) versus Al^{IV} (a.f.u) (Deer et al. 1978) para caracterização das biotitas do dique intermediário, região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: ■ = RC-118A*

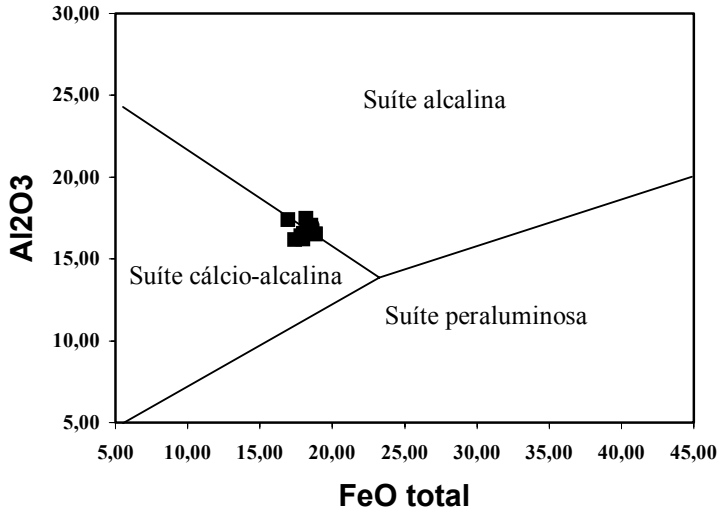


Figura 89. *Diagrama FeO total versus Al_2O_3 (%) (Abdel-Rahman 1994) discriminante de biotita de suites alcalinas, cálcio alcalina e peraluminosas para o latito da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 88.*

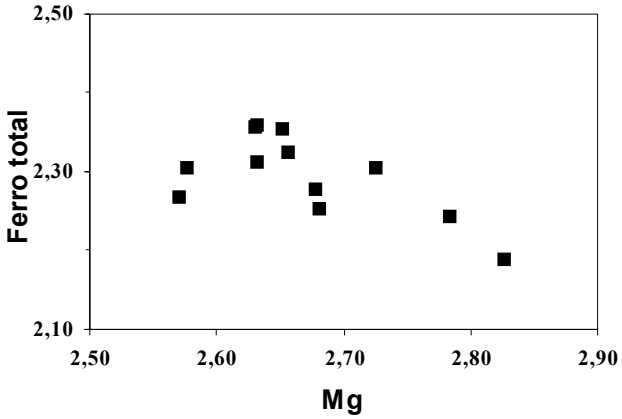


Figura 90. *Diagrama Mg versus Ferro total (a.f.u.) de biotita do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 88.*

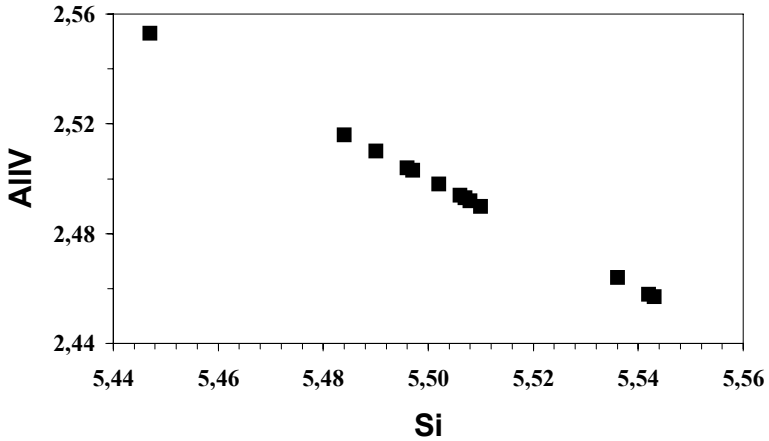


Figura 91. *Diagrama Si versus Al^{IV} (a.f.u.) de biotitas do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 88.*

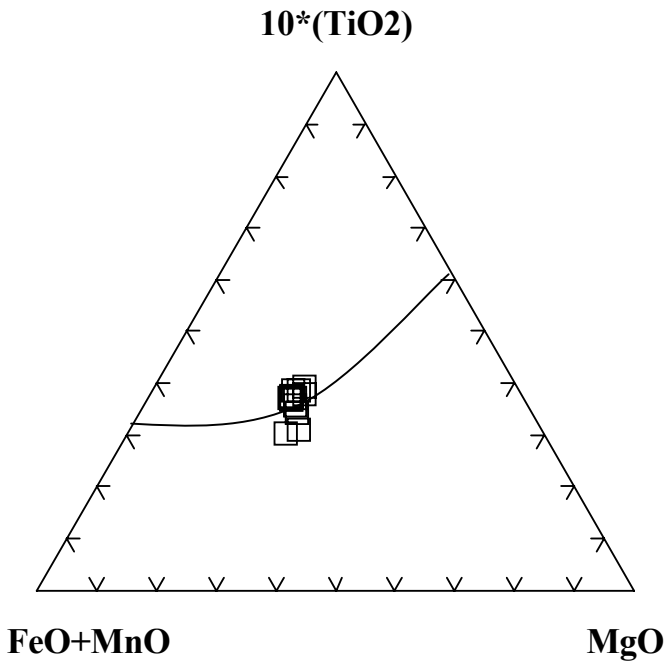


Figura 92. *Diagrama triangular 10*TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit et al. 1986) aplicado para as biotitas do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig.88.*

DIQUE INTERMEDIÁRIO													
Biotita													
Análise	**RC-118A (Latito)**												
SiO_2	37,394	36,512	36,773	36,86	36,957	36,472	36,347	36,547	36,852	36,584	36,774	36,287	36,614
TiO_2	1,919	1,726	1,867	1,79	1,795	1,793	1,342	1,835	1,368	1,61	1,953	1,748	1,818
Al_2O_3	17,396	16,629	16,515	17,477	16,569	17,053	16,823	16,521	16,179	16,434	16,701	16,232	16,721
FeO	16,924	18,302	18,813	18,184	17,982	18,511	18,571	18,809	17,396	17,818	18,622	17,947	18,332
MnO	0,525	0,487	0,427	0,333	0,459	0,474	0,51	0,448	0,549	0,573	0,53	0,523	0,548
MgO	12,259	12,147	11,789	11,567	12,01	11,824	11,738	11,768	12,607	12,403	11,938	11,845	11,508
CaO	0,051	0,006	0,006	0,000	0,012	0,008	0,053	0,057	0,058	0,021	0,028	0,011	0,008
Na_2O	0,177	0,064	0,036	0,087	0,077	0,051	0,115	0,108	0,034	0,09	0,036	0,033	0,085
K_2O	9,665	9,563	9,445	9,439	9,587	9,505	9,072	9,344	9,25	9,346	9,5	9,463	9,338
F	0,215	0,331	0,496	0,425	0,443	0,587	0,391	0,538	0,626	0,448	0,413	0,581	0,571
Cl	0,037	0,035	0,022	0,028	0,013	0,016	0,036	0,04	0,06	0,035	0,055	0,038	0,041
∑Total	96,562	95,801	96,189	96,19	95,904	96,295	95,000	96,015	94,98	95,362	96,55	94,707	95,584

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 22 Átomos de Oxigênio.

Cátions													
Si	5,542	5,497	5,507	5,496	5,536	5,447	5,508	5,484	5,543	5,510	5,490	5,506	5,502
Al^{IV}	2,458	2,503	2,493	2,504	2,464	2,553	2,492	2,516	2,457	2,490	2,510	2,494	2,498
∑Tetraédrico	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,582	0,449	0,423	0,568	0,462	0,450	0,514	0,407	0,413	0,428	0,430	0,409	0,464
Ti	0,214	0,195	0,210	0,201	0,202	0,201	0,153	0,207	0,155	0,182	0,219	0,199	0,205
Fe^{total}	2,098	2,304	2,356	2,268	2,253	2,312	2,354	2,360	2,188	2,244	2,325	2,277	2,304
Mn	0,066	0,062	0,054	0,042	0,058	0,060	0,065	0,057	0,070	0,073	0,067	0,067	0,070
Mg	2,708	2,726	2,631	2,570	2,681	2,632	2,651	2,632	2,826	2,784	2,656	2,678	2,577
∑Octaédrica	5,667	5,736	5,675	5,649	5,656	5,655	5,737	5,663	5,652	5,712	5,697	5,632	5,621
Ca	0,008	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,009	0,009	0,009	0,003	0,004	0,002	0,001
Na	0,051	0,019	0,010	0,025	0,022	0,015	0,034	0,031	0,010	0,026	0,010	0,010	0,025
K	1,827	1,837	1,805	1,796	1,832	1,811	1,754	1,789	1,775	1,796	1,809	1,832	1,790
∑Intercamadas	1,886	1,857	1,816	1,821	1,856	1,827	1,796	1,829	1,794	1,826	1,824	1,843	1,816
∑Total	15,553	15,593	15,491	15,470	15,513	15,482	15,533	15,492	15,447	15,537	15,522	15,475	15,437
mg#	0,563	0,542	0,528	0,531	0,543	0,532	0,530	0,527	0,564	0,554	0,533	0,540	0,528
fe#	0,437	0,458	0,472	0,469	0,457	0,468	0,470	0,473	0,436	0,446	0,467	0,460	0,472
Al^{Total}	3,040	2,952	2,916	3,072	2,926	3,003	3,006	2,923	2,869	2,918	2,940	2,904	2,962
-O=F,Cl	0,099	0,147	0,214	0,185	0,189	0,251	0,173	0,236	0,277	0,197	0,186	0,253	0,250

Tabela 67. Análises selecionadas de biotita do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS

VII.3.3. *Anfibólio*

Os dados analíticos dos cristais de anfibólio do dique intermediário encontram-se na tabela 68 e 69.

A composição do anfibólio foi obtida de Leake *et al.* (1997) seguindo-se a fórmula:

$A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(Oh,F,Cl)_2$.

Os sitos podem ser ocupados pelos seguintes elementos:

A= Na, K (0-1 sítio por fórmula unitária) (Sítio Octaédrico).

B = Al^{VI}, Mg, Fe^{+3}, $Fe^{+2,}$, Ti, Mn, Cr^{+3}, Li, Zn (pode ser completado por Ca, Li e Ni) (2 sítios M4 por fórmula unitária) (Sítio Octaédrico).

C= Ca, (pode ser completado por Na, Mg) (5 sítios que compreendem 2 M1, 2 M2 e 1 M3 por fórmula unitária)(Sítio Octaédrico).

T= Si, Al^{IV} (pode ser completado por Fe^{+3}) (8 sítios compostos por dois grupos de 4) (Sítio Tetraédrico)

(OH, F, Cl) = 2 sítios por fórmula unitária.

Em razão das análises realizadas sem a estimativa do conteúdo de H_2O, a fórmula estrutural foi calculada na base de 23 átomos de oxigênio, conforme Leake *et al.* (1997) não sendo utilizado os conteúdos de F e Cl obtidos em microssonda eletrônica. E, em relação ao ferro, tornou-se necessário estimar o Fe^{+3}/Fe^{+2} baseada nas propostas de Schumacher (1997) e adotou-se o método em que os cátions estão ajustados em um total de 13 excluindo CNK (Fe^{+3} máximo).

Para a classificação dos anfibólios em diagramas classificatórios, segui-se os critérios de Leake (1997) de acordo com os limites dos campos estabelecidos. Os critérios utilizados estão fundamentados em alguns parâmetros propostos. Dessa forma utilizou-se o parâmetro $Ca_B \geq 1{,}50$ $(Na + K)_A < 0{,}50$ para anfibólios cálcicos. Com base na classificação de Leake *et al.* (1997) o anfibólio do dique intermediário apresenta um *trend* de composição magnésio-hornblenda - tschermakita e estão representados no diagrama ($Mg/(Mg+Fe_2)$ *versus* TSi *(a.f.u.)* (Fig. 93).

A fórmula estrutural calculada para *magnésio-hornblenda* apresenta os seguintes intervalos:

$(Na_{0,000-0,150}K_{0,052-0,091})(Ca_{1,851-1,923}Na_{0,077-0,144})(Al^{VI}_{0,000-0,160}Ti_{0,021-0,037}Fe^{+3}_{0,447-0,719}Fe^{+2}_{1,065-1,411}$ $Mn_{0,086-0,099}\ Mg_{2,869-3,171})(Si_{7,173-7,407}\ Al^{IV}_{0,593-0,827})\ O_{22}(OH)_2$.

$(Na_{0,060-0,269}K_{0,064-0,094})(Ca_{1,552-1,763}Na_{0,237-0,448})(Al^{VI}_{0,000-0,077}Ti_{0,198-0,253}Fe^{+3}_{0,720-1,164}Fe^{+2}_{0,625-1,002}$ $Mn_{0,036-0,048}\ Mg_{2,955-2,995})(Si_{6,589-6,782}\ Al^{IV}_{1,218-1,411})O_{22}(OH)_2$.

A fórmula estrutural calculada para a *tschermakita* apresenta os intervalos:

$(Na_{0,171-0,413}\ K_{0,087-0,118})(Ca_{1,583-1,777}\ Na_{0,223-0,417})(Al^{VI}_{0,013-0,082}\ Ti_{0,252-0,373}\ Fe^{+3}_{0,538-1,374}\ Fe^{+2}_{0,205-0,909}$ $Mn_{0,027-0,032}\ Mg_{3,058-3,287})(Si_{6,173-6,412}\ Al^{IV}_{1,588-1,827})$

No sítio B, a fórmula estrutural da magnésio-hornblenda, recebeu contribuições de Na até 0,442 (*a.f.u.*). A fórmula da tschermakita também foi completada com a componente Na no sítio B. É possível observar a substituição $Al^{IV}_T + Ca_B$ entre $Si_T + Na_A + Na_B + K_A$ em *trend* negativo mostrando o enriquecimento em conteúdos de Si+Na+K para o latito (Fig. 94).

O comportamento do Fe^{+2} (sítio C) em relação ao Mg *(a.f.u.)* pode ser observado através do diagrama da figura 95. Nota-se que os cátions mostram um *trend* negativo, e a troca catiônica entre estes elementos, com a possível ocupação do Fe^{+2} no sítio octaédrico.

O diagrama da figura 96 mostra campos discriminantes para anfibólios magmáticos de não magmáticos (Leake 1971). Os anfibólios analisados ocupam o campo dos magmáticos.

O anfibólio analisado apresenta valores de Ca compreendidos entre 3,0 e 1,6 *(a.f.u)* e conteúdos em Ti entre 0,32 e 0,012 *(a.f.u.).* De acordo com Helz (1982), anfibólios com estas características sugerem fases de cristalização em condições de baixa fO_2.

$\mathbf{Ca_B \geq 1{,}50;\ (Na+K)_A < 0{,}50}$

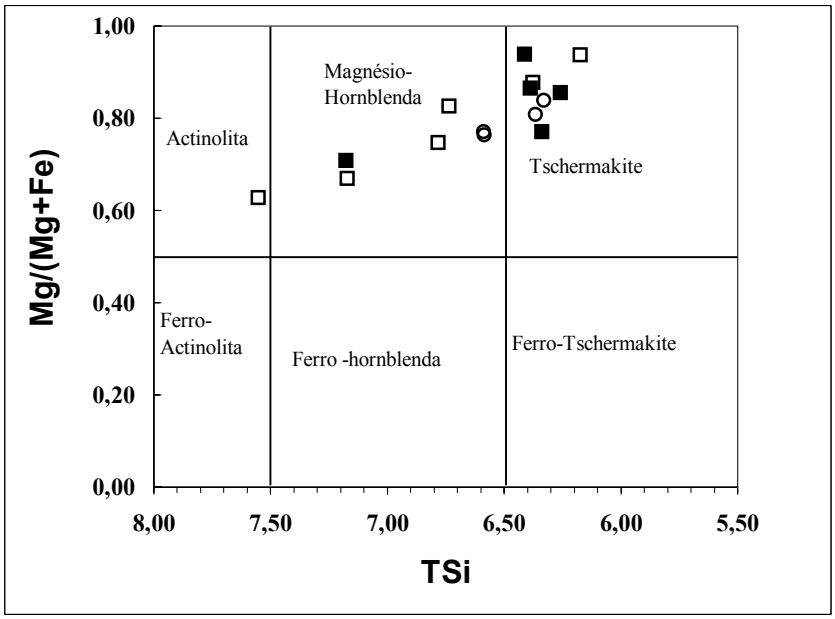


Figura 93. *Diagrama Mg/(Mg+Fe₂) versus Tsi (a.f.u.) de classificação para os anfibólios cálcicos dos diques intermediários da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: ■ =núcleo; □ = borda;* O *= porção intermediária (RC-118A).*

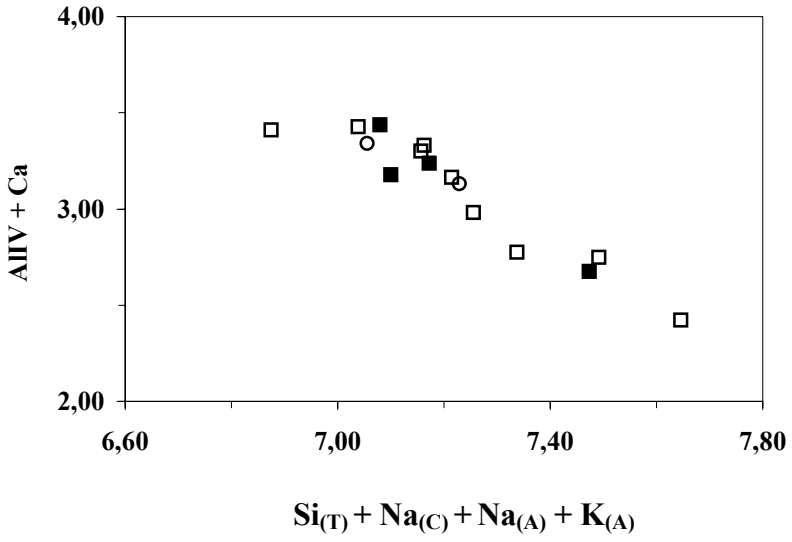


Figura 94. *Diagrama* $Si_T + Na_C + Na_A + K_A$ *versus* $Al^{IV}_T + Ca_C$ *(a.f.u.) onde observa-se a evolução composicional dos anfibólios dos diques intermediários da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 93.*

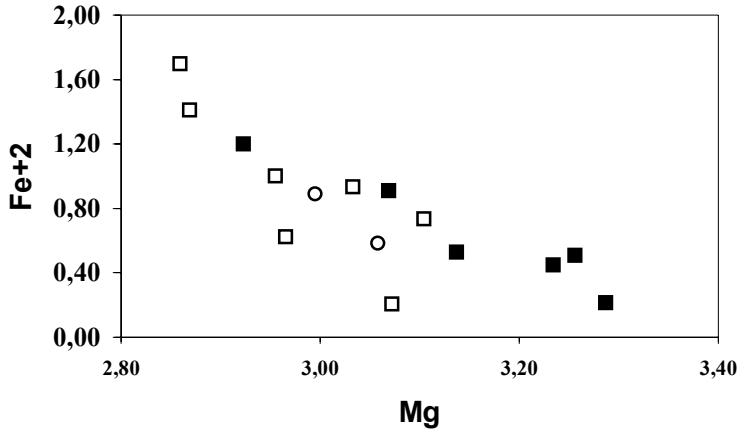


Figura 95. Diagramas Mg versus Fe^{+2} (sítio C) (a.f.u.) de anfibólio do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 93.

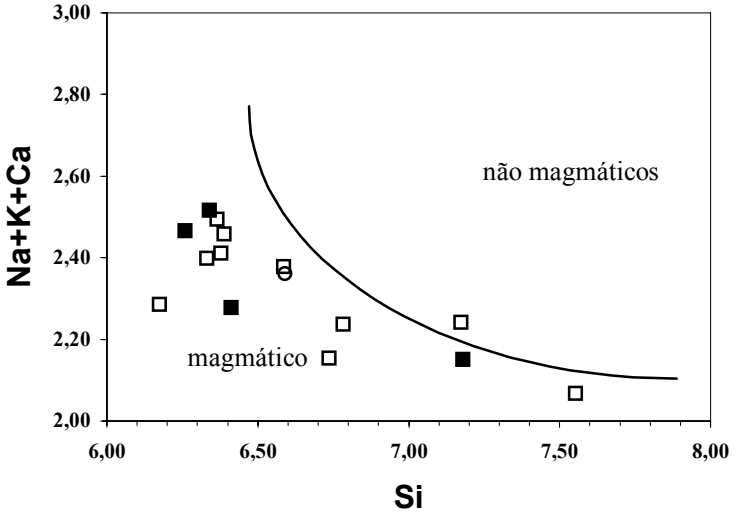


Figura 96. Diagrama aplicado para caracterizar os anfibólios magmáticos e não magmáticos (Leake 1971). O anfibólio do dique intermediário ocupa o campo dos anfibólios magmáticos. Simbologia: Idem fig. 93.

DIQUE INTERMEDIÁRIO							
Anfibólio – Cristais Intersticiais							
Análise	**RC-118A (Latito)**						
	B.1	**C.1**	**B.2**	**C.2**	**B.3**	**Int.3**	**C.3**
SiO_2	48,613	49,38	46,284	43,546	51,652	44,114	44,597
TiO_2	0,249	0,342	1,805	3,410	0,107	2,518	2,327
Al_2O_3	5,680	4,927	7,129	10,170	3,211	10,359	9,480
FeO	15,056	15,781	15,063	11,885	16,107	13,005	11,757
MnO	0,687	0,805	0,390	0,230	0,430	0,236	0,247
MgO	13,041	13,485	13,669	14,144	13,117	14,293	15,337
CaO	12,165	11,915	9,956	11,397	12,606	10,876	10,322
Na_2O	0,794	0,745	1,801	2,252	0,255	2,235	2,157
K_2O	0,485	0,451	0,504	0,561	0,115	0,568	0,472
F	0,250	0,061	0,128	0,484	0,00	0,241	0,573
Cl	0,003	0,008	0,035	0,033	0,00	0,028	0,025
∑Total	97,023	97,900	96,764	98,111	97,600	98,473	97,292
-F,Cl	96,770	97,831	96,601	97,594	97,600	98,204	96,694

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 23 Átomos de Oxigênio.

Cations							
Si	7,173	7,179	6,735	6,339	7,553	6,330	6,412
Al^{IV}	0,827	0,821	1,222	1,661	0,447	1,670	1,588
Fe^{+3}	0,000	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000
∑T	8,000	8,000	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al^{VI}	0,160	0,022	0,000	0,082	0,106	0,081	0,017
Ti	0,028	0,037	0,198	0,373	0,012	0,272	0,252
Fe^{+3}	0,447	0,719	1,164	0,538	0,274	0,975	1,199
Fe^{+2}	1,411	1,200	0,625	0,909	1,696	0,586	0,214
Mn	0,086	0,099	0,048	0,028	0,053	0,029	0,030
Mg	2,869	2,923	2,965	3,069	2,859	3,058	3,287
∑C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,923	1,856	1,552	1,777	1,975	1,672	1,590
Na	0,077	0,144	0,448	0,223	0,025	0,328	0,410
∑B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,150	0,066	0,060	0,413	0,047	0,294	0,191
K	0,091	0,084	0,094	0,104	0,021	0,104	0,087
∑A	0,242	0,150	0,154	0,517	0,069	0,398	0,278
∑Total	15,243	15,150	15,154	15,517	15,069	15,398	15,278
Al^{Total}	0,987	0,843	1,222	1,742	0,553	1,751	1,605
Fe^{Total}	1,854	1,919	1,833	1,447	1,970	1,561	1,413
mg#	0,670	0,709	0,826	0,771	0,628	0,839	0,939
fe#	0,330	0,291	0,174	0,229	0,372	0,161	0,061

Tabela 68. Análises selecionadas dos anfibólios dos diques intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.

mg# = Mg/(Mg+Fe); fe# = Fe/(Fe+Mg)

DIQUES INTERMEDIÁRIOS								
Anfibólio – cristais intersticiais								
Análise	**RC-118A (Latito)**							
	B.1	**Int.**	**C.1**	**C.2**	**B.2**	**B.3**	**C.3**	**Int.3**
SiO_2	43,411	45,600	43,384	44,597	45,052	46,872	44,629	44,368
TiO_2	2,521	2,327	2,649	2,873	2,726	1,948	2,382	2,871
Al_2O_3	11,193	8,743	10,446	9,929	8,371	7,574	9,663	9,752
FeO	13,277	13,561	12,515	11,529	13,072	14,232	12,040	12,885
MnO	0,269	0,296	0,251	0,246	0,351	0,310	0,232	0,223
MgO	14,494	13,906	14,587	15,173	13,922	13,697	15,258	14,513
CaO	10,388	11,119	10,908	10,548	11,166	11,373	11,020	11,037
Na_2O	2,134	1,955	2,365	2,502	1,963	1,460	2,378	2,446
K_2O	0,630	0,497	0,639	0,551	0,398	0,348	0,589	0,644
F	0,379	0,186	0,239	0,647	0,356	0,070	0,572	0,355
Cl	0,014	0,035	0,020	0,039	0,014	0,022	0,015	0,036
∑Total	98,709	98,225	98,003	98,804	97,427	97,906	98,778	99,201
-F,Cl	98,316	98,004	97,744	98,118	97,057	97,814	98,191	98,810

Fórmula Estrutural Calculada com Base em 23 Átomos de Oxigênio.

Cátions								
Si	6,173	6,589	6,259	6,377	6,585	6,782	6,389	6,365
Al^{IV}	1,827	1,411	1,741	1,623	1,415	1,218	1,611	1,635
Fe^3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
∑T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,047	0,077	0,034	0,048	0,026	0,073	0,018	0,013
Ti	0,270	0,253	0,287	0,309	0,300	0,212	0,256	0,310
Fe^{+3}	1,374	0,746	0,980	0,931	0,663	0,720	0,932	0,810
Fe^{+2}	0,205	0,892	0,530	0,448	0,935	1,002	0,509	0,736
Mn	0,032	0,036	0,031	0,030	0,043	0,038	0,028	0,027
Mg	3,072	2,995	3,137	3,234	3,033	2,955	3,256	3,104
∑C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,583	1,721	1,686	1,616	1,749	1,763	1,690	1,697
Na	0,417	0,279	0,314	0,384	0,251	0,237	0,310	0,303
∑B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,171	0,269	0,348	0,310	0,305	0,173	0,350	0,377
K	0,114	0,092	0,118	0,101	0,074	0,064	0,108	0,118
∑A	0,285	0,361	0,466	0,410	0,379	0,237	0,458	0,495
∑Total	15,285	15,361	15,465	15,410	15,379	15,237	15,458	15,495
Al^{Total}	1,874	1,488	1,775	1,671	1,441	1,291	1,629	1,648
Fe^{Total}	1,579	1,638	1,510	1,379	1,598	1,722	1,178	1,546
mg#	0,937	0,771	0,855	0,878	0,764	0,747	0,865	0,808
fe#	0,063	0,229	0,145	0,122	0,236	0,253	0,135	0,192

Tabela 69. Análises selecionadas dos anfibólios do dique intermediário da região de Pinheiro Machado, RS.

mg# = Mg/(Mg+Fe); fe# = Fe/(Fe+Mg)

VII.4. Geotermometria dos Diques Ácidos e Básicos da Região de Pinheiro Machado, RS.

A partir dos dados de química mineral, foram realizados estudos de geotermometria nas fases plagioclásio. As fórmulas obtidas, bem como a determinação das temperaturas dos estágios de cristalização dos plagioclásios, utilizaram-se os geotermômetros de Kudo & Weill (1970) e Mathez (1973), assumindo condições anidras. Os valores das temperaturas das amostras, em graus centígrados (°C) estão na tabela abaixo.

Nos diques ácidos a temperatura média dos estágios de cristalização é 1181ºC (núcleo) e 1086ºC (borda) pelo método de Kudo e Weill (1970) e de 1137ºC (núcleo) e 1070ºC (borda) pelo método de Mathez (1973). A amostra de dique básico apresenta temperatura de 1384ºC (núcleo) e 1222ºC (borda) pelo método e Kudo e Weill (1970) e de 1335ºC (núcleo) e 1197ºC (borda) pelo método de Mathez (1973).

Diques ácidos	**Fase**	**Geotermômetro (°C)**	
		$T_{Kudo\ \&\ Weill}$	T_{Mathez}
RC – 102	**N (C=1)**	**1071**	**1056**
Riolito	**B (B=1)**	**1018**	**1012**
RC – 111	**N (C=1)**	**1291**	**1218**
Dacito	**B (B=1)**	**1154**	**1129**
Média	**N (n = 2)**	**1181**	**1137**
	B (n =2)	**1086**	**1070**
Dique Básico			
RC – 118B	**N (C=1)**	**1384**	**1335**
Basalto	**B (B=1)**	**1222**	**1197**

Tabela 69. Temperaturas médias dos plagioclásios dos diques ácidos e básico da região de Pinheiro Machado, RS.

N =Núcleo (C = 1) centro 1 do cristal

B = Borda(B = 1) borda 1 do cristal

n = número de amostras

$T_{Kudo\ e\ Weill}$ = Temperatura de Kudo & Weill (1970)

T_{Mathez} = Temperatura de Mathez (1973)

CAPÍTULO VIII

(este capítulo está escrito em toda a sua totalidade na forma de artigo)

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO EMXAME DE DIQUES ASSOCIADOS AO BATÓLITO PELOTAS NA REGIÃO DE PINHEIRO MACHADO, RS.

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS DIQUES ASSOCIADOS AO BATÓLITO PELOTAS - PINHEIRO MACHADO, RS, BRASIL.

Celí Zanon[1], Rômulo Machado[2] e Ruy Paulo Philipp[3]

(1) Pós-graduação no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) - Rua do Lago 562, CEP: 05508-900, São Paulo, SP. e-mail: celizanon@yhaoo.com

(2) Instituto de Geociências da USP e Pesquisador do CNPq. Rua do Lago 562, CEP: 05508-900, São Paulo, SP, e-mail: rmachado@usp.br

(3) Instituto de Geociências da UFRGS e Pesquisador do CNPq. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540- 000, Porto Alegre – RS, CP- 15001, e-mail: ruyphilipp@ufrgs.br

ABSTRACT

The NW-SE to N-S dyke swarm in the Pinheiro Machado region (RS) is hosted by granites of the Pelotas Batholith. The swarm is composed of acid, intermediate and basic rocks containing quartz, alkali feldspar, plagioclase, amphibole, biotite, pyroxene relicts, opaque minerals, zircon and apatite, together with secondary biotite, muscovite, carbonate minerals, chlorite and sericite. Textural varieties include porphyritic, microcrystalline, glomeroporphyritic, spherulitic, and micrographic types in the rhyolites, dacites and granite dykes, and miemeckitic types in the latites, trachydacites and basalt. The rocks are calc-alcaline, the acid varieities being high-K, the intermediate rocks moderately alkaline, and the basalts transitional. The rocks are metaluminous to slightly peraluminous with A/CNK = 0,9 – 1,1 and A/NK = 1,0 – 1,6. The acid rocks contain 67 to 77 % SiO_2, the intermediate and basic rocks between 59 and 49 % SiO_2. Harker variation diagrams suggest that plagioclase and ferromagnesian minerals were fractionated in the basic and intermediate rocks. The rhyolites, trachydacites and granites have REE patterns with negative Eu anomalies, with LREE less fractionated than in the dacites, latites and basalts. A large part of the compositions correspond to those of within-plate granites, except for the dacites and basalts which have volcanic arc compositions. Nb/Ta and U/Th ratios indicate tha the acid dykes resulted from a larger crustal contamination than the intermediate and basic rocks which apparently have a larger mantle contribution. Additionally, multi-element diagrammes show different patterns, with a more enriched trend for the ryholites.

Palavras-chaves: Pelotas batholith , dykes swarm, petrography, geochemistry

RESUMO

O enxame de diques da região de Pinheiro Machado (RS), com direções NW-SE e N-S, encontra-se encaixado em rochas graníticas (sieno e monzogranito) do Batólito Pelotas. Composicionalmente, são ácidos (riolitos, traquidacitos e dacitos), intermediários (latito) e básicos (basalto). São constituídos por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, anfibólio, biotita, resquícios de piroxênio, minerais opacos, zircão e apatita, ocorrendo ainda muscovita, carbonato, clorita e sericita como minerais de alteração. As texturas são porfirítica, microcristalina, glomeroporfirítica esferulítica, micrográfica e mirmequítico. São classificados como riolitos, traquidacitos e dacito (ácidos) e latito e basalto (intermediário e básico). A geoquímica revela afinidades cálcio-alcalina alto-K para os riolitos, latito. Os traquidacitos e dacito mostram-se alcalino. São rochas cálcio-alcalinas alto-K (riolitos, dacitos e granitos), moderadamente alcalinas (latitos e traquidadcitos) a transicionais (basalto).
Possuem caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, com A/CNK entre 0,9 a 1,1 e A/NK entre 1,0 a 1,6. Os diques ácidos possuem teores em SiO_2 entre 67 a 77 (%), o intermediário e básico, 59 % e 49 %, respectivamente. Os diagramas de Harker mostram os efeitos da cristalização fracionada de minerais ferro-magnesianos e plagioclásio, nos diques básicos a intermediários. Os riolitos, traquidacitos e granitos mostram anomalias negativas em Eu e padrões de terras raras leves menos fracionados do que o dacito, latito e basalto. Grande parte destas rochas ocupa o campo dos granitos intra-placa, com exceção do dacito e basalto, que discriminam-se no campo dos granitos de arco-vulcânico. As razões de elementos traços (Nb/Ta e U/Th) indicam efeitos de maior contaminação crustal dos magmas dos diques ácidos e menor nos diques intermediário e básico, onde sugere-se maior participação do manto. Os diagramas multi-elementares mostram padrões diferentes para os diques ácidos, intermediário e básico.

Palavras-chaves: Batólito Pelotas, enxames de diques, petrografia, geoquímica, Pinheiro Machado, RS.

INTRODUÇÃO

São aqui apresentados os dados petrográficos e litogeoquímicos obtidos dos enxames de diques ácidos, intermediários, básicos e granitos da região de Pinheiro Machado (RS), associados à fase final de evolução do magmatismo do Batólito Pelotas. São discutidos e apresentados os aspectos de campo, feições texturais, mineralogia e o comportamento dos diferentes elementos analisados (maiores, menores, traços e terras raras) e feitas considerações sobre os aspectos petrogenéticos envolvidos na geração do magmatismo relacionados aos diques.

Volumes abundantes de magmatismo cálcico-alcalino alto-K têm sido descritos, principalmente em ambientes orogênicos, com evolução e posicionamento relacionados ao período pós-colisional no sentido de Liégeois (1998). Na maioria dos cinturões orogênicos, este magmatismo é predominante e apresenta uma evolução para composições shoshoníticas e alcalinas-peralcalinas nos estágios finais da orogenia (Bonin, 1982; Collins *et al.* 1982; Leat *et al.* 1986; Whalen & Currie, 1990; Liégeois *et al*, 1998; Bonin *et al.* 1998; Hadj-Kaddour *et al.* 1998; Waigth *et al.* 1998, entre outros).

As áreas de embasamento na região sul do Brasil são compostas em grande parte por associações de rochas graníticas com evolução relacionada ao Ciclo Brasiliano/Pan-Africano. No escudo Sul-Rio-Grandense, um variado conjunto de suítes graníticas corta um embasamento de idade Paleoproterozóica constituído dominantemente por associações de rochas metamórficas de médio a alto grau. A porção leste do escudo faz parte do Cinturão Dom Feliciano, sendo composta pelo Batólito Pelotas, um expressivo complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico com extensão de cerca de 400 km e largura entre 80 e 120 km. Estudos recentes interpretam este batólito como parte da evolução de um arco magmático de margem continental ativa (Fernandes *et al.* 1992, Silva *et al.* 1999, Chemale Jr. 2000) ou como gerado em condições pós-colisionais, marcando a evolução final do Ciclo Brasiliano (Philipp *et al.* 1998, Philipp, 1998; Bitencourt & Nardi, 2000, Philipp *et al.* 2002, 2003).

As rochas graníticas do batólito são distribuídas nas Suítes Pinheiro Machado, Erval, Cordilheira, Piquiri, Encruzilhada do Sul, Viamão e Dom Feliciano (Philipp *et al.* 2001, 2002). Associados aos granitos destas duas últimas suítes ocorrem enxames de diques ácidos e básicos, localizados principalmente ao norte da cidade de Piratini e a sudoeste e sudeste da cidade de Pinheiro Machado (Serra das Asperezas). Todas as unidades do batólito se caracterizam por uma evolução temporal relativamente restrita, entre 640 e 570 Ma. Apesar da presença de rochas dioríticas e das amplas ocorrências de estruturas de mistura de magmas, os isótopos de Sr e Nd disponíveis caracterizam-se por elevadas razões iniciais de Sr^{87}/Sr^{86} e valores de ε_{Nd} negativos (Soliani Jr. 1986, May, 1990, Babinski *et al.* 1997, Philipp, 1998, Philipp *et al.* 2003).

Os dados geoquímicos disponíveis para os granitos do batólito cobrem uma ampla variedade composicional, com magmatismo principal de natureza cálcio-alcalina alto-K e, subordinadamente, magmas de afinidade alcalina e peralcalina. Estes episódios magmáticos representam a evolução de um período pós-colisional, que grada até um magmatismo tipo intra-placa, de conotação pós-orogênica e/ou anorogênica (Philipp *et al.* 2003). O estágio final é caracterizado no batólito pela colocação de enxames de diques ácidos e básicos preenchendo zonas de fraturas encaixadas em rochas graníticas. Dados geocronológicos Rb/Sr disponíveis para os diques ácidos da Serra das Asperezas (Riolitos Asperezas) apontam idades de 560 ±12 (Soliani Jr., 1986). Embora os recentes dados isotópicos U/Pb (TIMS e SHRIMP) e Pb/Pb (evaporação) forneçam idades relativamente mais antigas para as rochas correlacionadas aos Riolitos Asperezas (Koster *et al.* 2001, Philipp *et al.* 2002), há consenso entre os autores em considerá-los como vinculados a fase final do magmatismo granítico do Batólito Pelotas, notadamente com a Suíte Dom Feliciano.

Nas demais regiões do escudo, os eventos magmáticos mais tardios mostram também natureza pós-colisional e estão representados por intensa atividade vulcanogênica do tipo bimodal, de natureza moderadamente alcalina a alcalina, com exposições relacionadas à Bacia sedimentar do Camaquã e no platô do Taquarembó (Sommer *et al.* 1999, Wildner *et al*. 1999, 2002) e da Ramada (Matos *et al.* 2002). Dados geocronológicos revelam idades de 470Ma a 572Ma (Wildner *et al.* 2002) para as lavas vulcânicas da Bacia do Camaquã.

Para entender o significado deste magmatismo, foram estudados na região de Pinheiro Machado os enxames de diques ácidos, intermediários e básicos, que ocorrem principalmente da região conhecida como Serras das Asperezas. A área estudada está inserida nas Folhas Pinheiro Machado (SH 22-Y-CV-1) e Passo do Coutinho (SH 22-Y-V-2), em escala 1:50.000 (Figura 1). Os resultados apresentados foram obtidos a partir do mapeamento geológico com coleta de amostras para análises químicas.

Fig. 1. *Mapa de localização da área estudada (modificado de Chemale et al. 2000).*

GEOLOGIA E PETROGRAFIA Os enxames de diques que ocorrem na região de Pinheiro Machado, em particular na Serra das Asperezas, são intrudidos em rochas graníticas, do Batólito Pelotas, preferencialmente na Suíte Dom Feliciano e subordinadamente na Suíte

Viamão (Fig. 2). As rochas encaixantes perfazem cerca de 40 % de sienogranitos e 60 % de monzogranitos. Os diques são de espessura decimétrica a métrica e extensão até quilométrica. Os contatos são retos e intrusivos com os granitos encaixantes. Predominam rochas de composição ácida, ocorrendo ainda intermediária e básica. Os diques apresentam direções dominantes N35-40°W e N20-32°E.

. Esta região reúne uma grande variedade de rochas ígneas de composição monzogranítica, sienogranítica, granodioritos, tonalitos e dioritos além de septos metamórficos. Geralmente os corpos plutônico sienograníticos e monzograníticos encontram-se pouco deformados e são as encaixantes dos enxames de diques estudados (Figura 2).

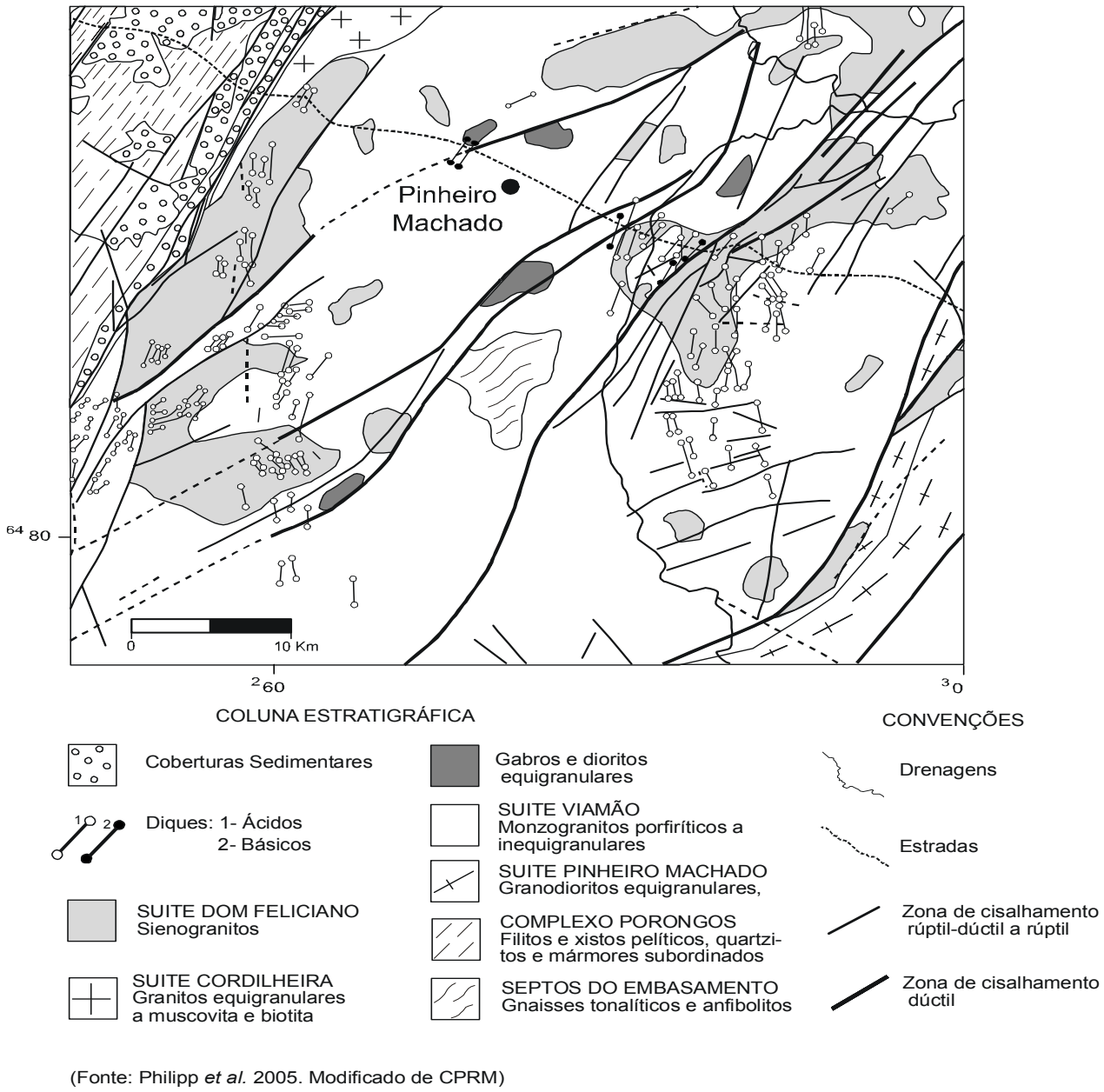
Os monzogranitos são corpos rosados, porfiríticos, inequigranulares, granulação média a grossa, e algumas amostras apresentam megacristais de feldspato alcalino, definindo foliação magmática. A colocação sin a tardi-cinemática é sugerida pela concordância da foliação magmática com as zonas de cisalhamento. Os minerais essenciais são feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita, ocorrendo ainda resquícios de anfibólio e minerais opacos. Algumas amostras mostram terem sido afetadas por processos de saussuritização e carbonatação. Os sienogranitos são rosados, isótropos, textura equigranular e granulação média. A homogeneidade textural e ausência de deformação acentuadas sugerem colocação posterior a movimentação principal das zonas de cisalhamento regionais. Os principais minerais são feldspato alcalino, quartzo, biotita, minerais opacos e plagioclásio. Não foram encontrados diques associadas aos granodioritos da Suíte Pinheiro Machado. São rochas acinzentadas de granulação média, inequigranulares com foliação magmática marcada por finos leitos de minerais máficos e alinhamentos de feldspato. Caracterizam-se pela presença de plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, biotita e minerais opacos. Os minerais de alteração mais freqüentes são sericita, caolinita, clorita, e epídoto, este último identificado facilmente pela coloração esverdeada. Os minerais acessórios são apatita, epídoto, zircão, titanita e fluorita. Apresentam direção NE-SW e mergulhos em geral baixos para NW. Apresentam ainda uma foliação de baixo ângulo atribuída ao evento $D_{1,}$ sendo considerada mais nova do que o metamorfismo das encaixantes do batólito e mais antiga do que as zonas de cisalhamento de ângulo regionais.

O corpo granítico que comporta a Serra das Asperezas tem forma alongada segundo a direção N40-50°E, concordante com a Zona de Cisalhamento Piratini (ZCP) (Fig. 2). No extremo sul e sudeste do referido granito, os diques são intrusivos em monzogranitos da Suíte Viamão.

Os diques ácidos possuem estrutura maciça, matriz afanítica, granulação fina (<1,0mm) a muito fina (<0,05mm) sendo muitas vezes porfiríticos, com esparsos fenocristais de feldspato alcalino e quartzo. Em amostras porfiritícas os fenocristais de feldspato alcalino (1,0 a 2,5mm) são euédricos, com seções quadráticos; os fenocristais de quartzo são bipiramidal a subarredontados, distribuído irregularmente matriz e prenchendo veios e fraturas. São avermelhados, cinza-avermelhada até cinza-claro. São constituídos de feldspato alcalino, quartzo, plagiocásio do tipo albita ($An_{1,0-10}$) e resquícios de anfibólio; ocorrendo ainda como acessorio zircão, apatita e minerais opacos. Os produtos de alteração são muscovita, óxido de ferro, ferro-clorita, carbonatos, caulinita, sericita, epídoto e fluorita. Analisando-se algumas amostras de mão, é possível determinar proporções de cristais e matriz, sendo em geral 20% e 95% respectivamente. As principais texturas são porfirítica, glomeroporfirítica, poiquilítica, micrográfica e esferulítica e geralmente apresentam matriz microcristalina (Fotomicrografia 1a,b,c,d).

Os diques de caráter intermediário e básico em amostras de mão são maciços, apresentam tons esverdeado (básico) e avermelhado (intermediário), porfíritico com matriz afanítica escura, com cristais placóides acinzentados, distribuídos irregularmente na matriz. Estudos microscópicos revelam como minerais essenciais: feldspato alcalino (ortoclásio e anortoclásio) (Fotomicrografia 1e) plagioclásio, resquícios de anfibólio e clinopiroxênio, quartzo, ocorrendo ainda apatita, minerais opacos e traços de zircão como acessórios. Anfibólio e clinopiroxênio ocorrem como pseudomorfos constituídos em aglomerados de

biotita + muscovita + clorita (Fotomicografia 1f). O plagioclásio ocorre como fenocristais (1,5-2mm) hipidiomórficos a xenomórficos, com zonamento inverso e normal e, como cristais de matriz (0,5-1,0mm) hipidiomórficos. Em geral a apatita apresenta-se idiomórfica. Geralmente a matriz varia de microcristalina a hipocristalina. Os teores de anortita, entre $An_{9,5}$ a $An_{53,3}$ e classificam estes plagioclásios como albita, oligoclásio, andesina e labradorita, por vezes totalmente saussuretizados e zonados. No dique intermediário se fazem presente apenas albita e oligoclásio. As texturas mais comuns são mirmequítica e intersertal (dique básico) com está última mostrando material hipocristalino entre as ripas de plagioclásio. Para a caracterização dos diques utilizarou-se o diagrama TAS (Le Maitre 2002), onde os diques ácidos ocupam o campo dos riolito, traquidacito e dacito, os intermediários, do latito, os básicos, do basalto (Fig. 3). As amostras dos granitos encaixantes associam-se aos riolitos.



(Fonte: Philipp *et al.* 2005. Modificado de CPRM)

Figura 2. *Mapa geológico da área estudada, região de Pinheiro Machado, RS. (Philipp et al. 2005, modificado da CPRM).*

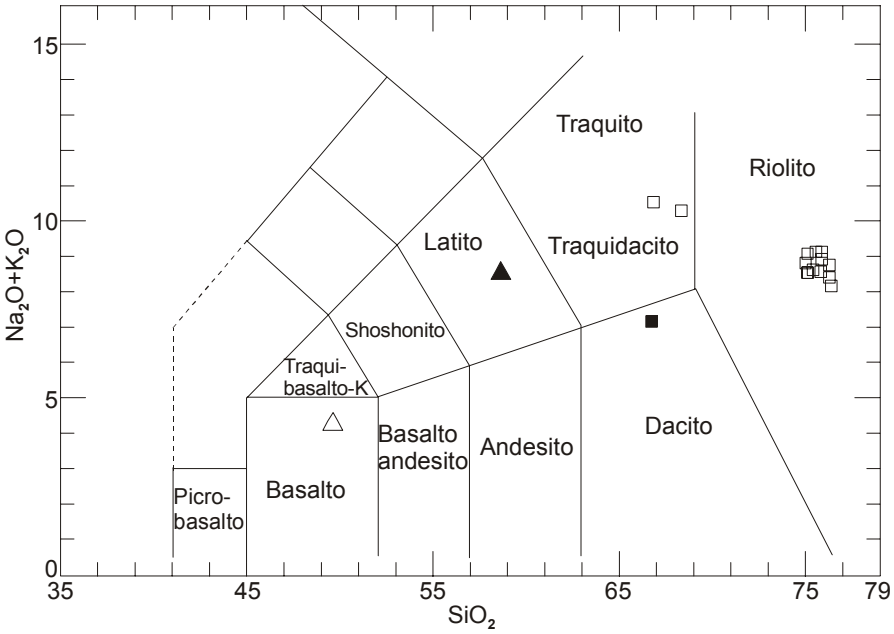
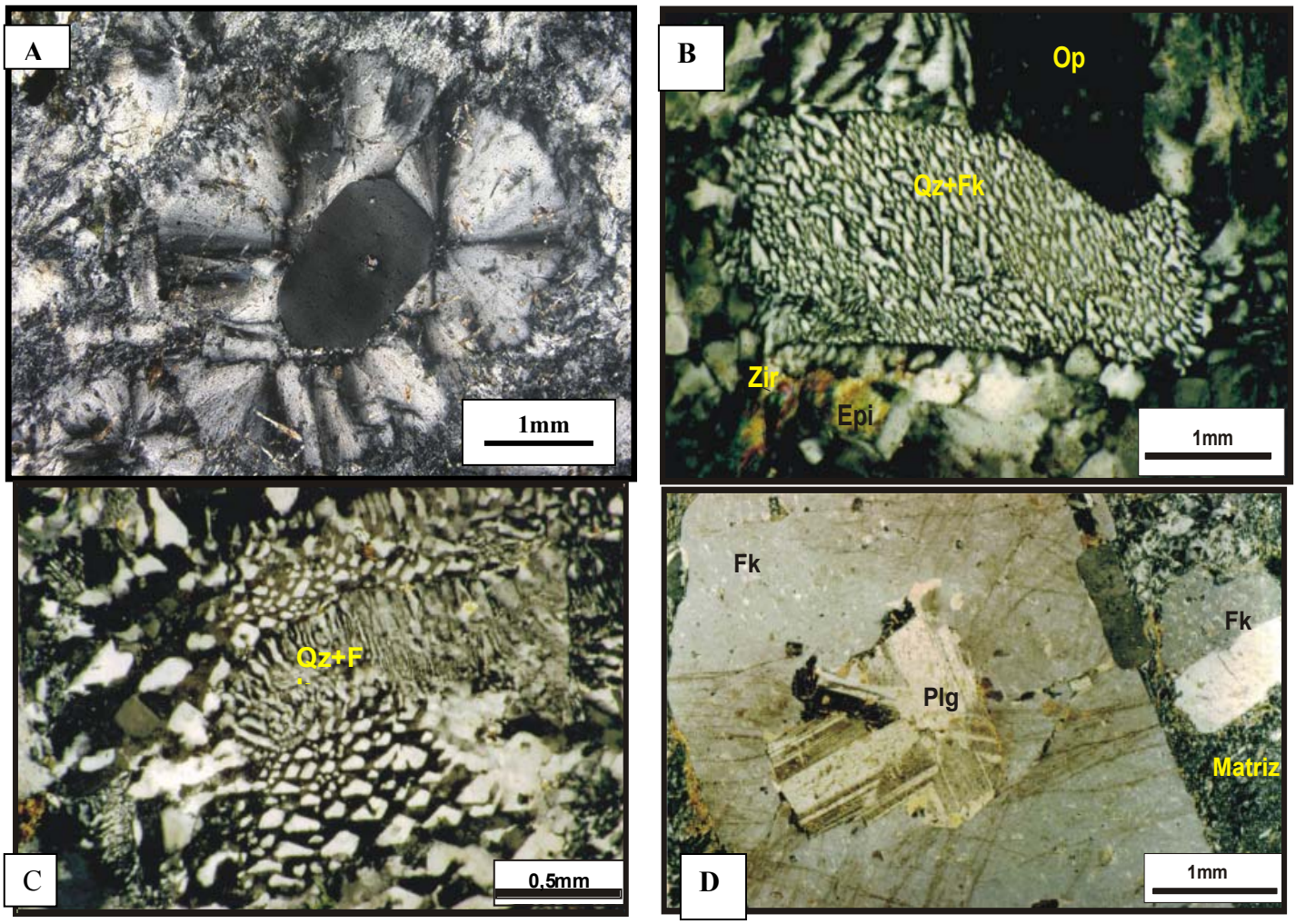
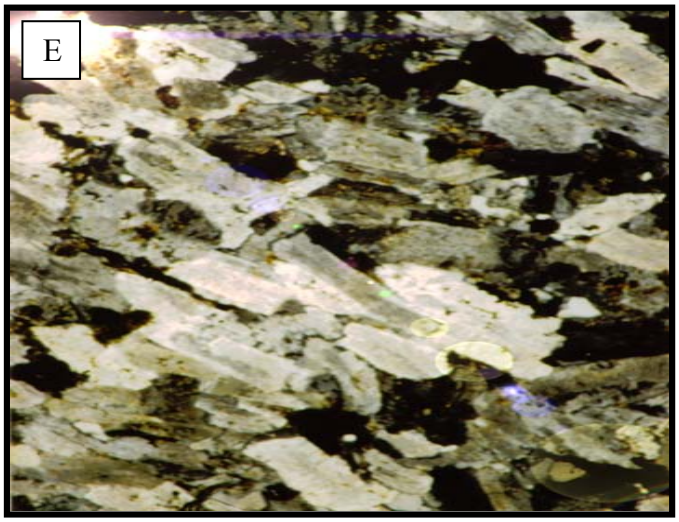
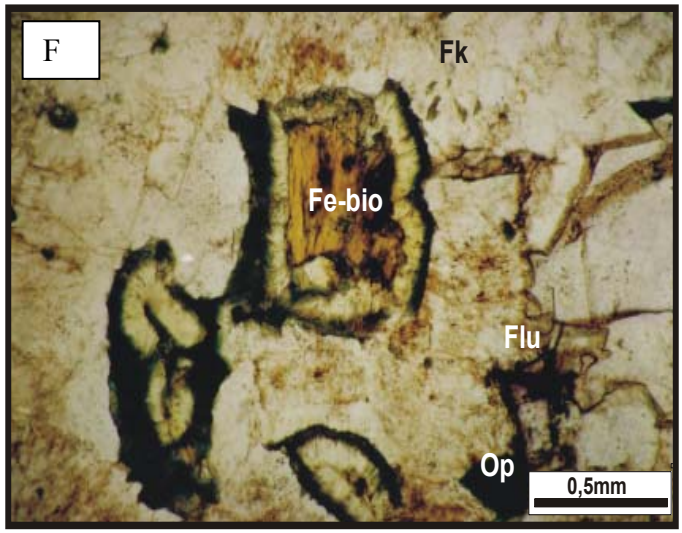


Figura 3. *Diagrama de classificação SiO_2 (%) versus Na_2O+K_2O (%) (TAS - Le Maitre, 2002) para os diques ácidos, intermediário e básico, região de Pinheiro.* Machado, RS. Simbologia: □ = riolitos; ■= diorito; =Δ basalto; ◊ = traquidacito; ▲= latito; O = granitos.







Fotomicrografia 1. ***(A)*** *Textura esferulítica mostrando o núcleo composto por cristal de quartzo (Qz) circundado por lamelas de quartzo+feldspato alcalino. A matriz é microcristalina;* ***(B)*** *textura micrográfica e cristais hipidiomórficos de epídoto (Epi), zircão (Zr) e minerais opacos (Op). Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X.;* ***(C)*** *textura micrográfica. Polarizadores cruzados, filtro azul, objetiva 5X;* ***(D)*** *textura glomeroporfirítica em matriz microcristalina composta por quartzo, fenocristal hipidiomórfico de feldspato alcalino (FK) com inclusões de cristais de plagioclásio (Plg) em textura poiquilítica. Material de alteração como sericita estão associados com os fenocristais. Polarizador cruzado, filtro azul, objetiva 10X (texturas comuns em diques ácidos);* ***(E)*** *Cristais de Anortoclásio (Ant) dispostos levemente orientados. Polarizadores cruzados, filtro azul, objetiva 10X;* ***(F)*** *associações de agregados micáceos finos contornando placa central formada por ferro-clorita (Fe-Bio). Pequenos bolsões de fluorita (Flu) ocorrem entres cristais de quartzo (Qz), feldspato alcalino pertitizado (Fk) e minerais opacos (Op).Polarizador descruzado, filtro azul, objetiva 2,5X* ***(E e F*** *= dique intemediário).*

GEOQUÍMICA Foi analisado um conjunto de 20 amostras de rochas, sendo 18 de diques e 2 de rochas graníticas encaixantes (Tabelas 1 e 2). As amostras analisadas foram coletadas nos arredores da cidade de Pinheiro Machado. Os dados analíticos foram obtidos no Laboratório ACTLABS - Ontário - Canadá. Os elementos maiores foram analisados por intermédio de Fusão-ICP (*Inductively Coupled Plasma*) e os elementos traços e terras raras foram analisados por *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). Os diques ácidos apresentaram baixos valores de perda ao fogo (média de 0,62%), definindo bem suas composições nos diagramas utilizados. O dique básico e intermediário apresenta valores de perda ao fogo entre 3,2 a 3,6, provavelmente relacionados à presença de minerais de alteração como epídoto, clorita, sericita e carbonatos. São apresentados os dados geoquímicos dos elementos analisados com base em diferentes diagramas de classificação, discriminação de ambientes tectônicos, diagramas de Harker, de elementos terras raras (Taylor & McLennan 1985) e multi-elementares normalizados pelo condrito (Sun 1982) com objetivo de definir a natureza do magmatismo dos diques e sua possível ligação com a fase final do magmatismo do Batólito de Pelotas.

Os diques ácidos de Pinheiro Machado mostram em sua ampla maioria caráter alto-K, com apenas o dique básico, sendo baixo-K (Fig. 4). Para a caracterização da filiação magmática das rochas estudadas, utilizou-se o diagrama SiO_2 (%) *versus* Zr/TiO_2^*1000 (Fig.5). Neste diagrama, proposto por Winchester & Floyd (1976), os riolitos, dacitos e granitos caracterizam-se como magmatismo cálcio-alcalino, o latito e os traquidacitos, como moderadamente alcalino, enquanto que o basalto ocupa o campo transicional (entre alcalino e sub-alcalino). As amostras dos diques estudados possuem caráter fracamente metaluminoso (com a amostra do basalto mostrando-se mais metaluminosa, com A/NK de 2,6) e peraluminoso, ocupando o limite entre ambos os campos citados. O índice A/CNK dos

riolitos, traquidacitos e granitos mostra caráter fracamente metaluminoso a levemente peraluminoso, com índice A/CNK de 0,9 a 1,1 e A/NK de 1,0 a 1,2, próximo do campo peralcalino. Entretanto, a amostra de dacito e latito apresentam-se levemente mais metaluminoso (Fig. 6).

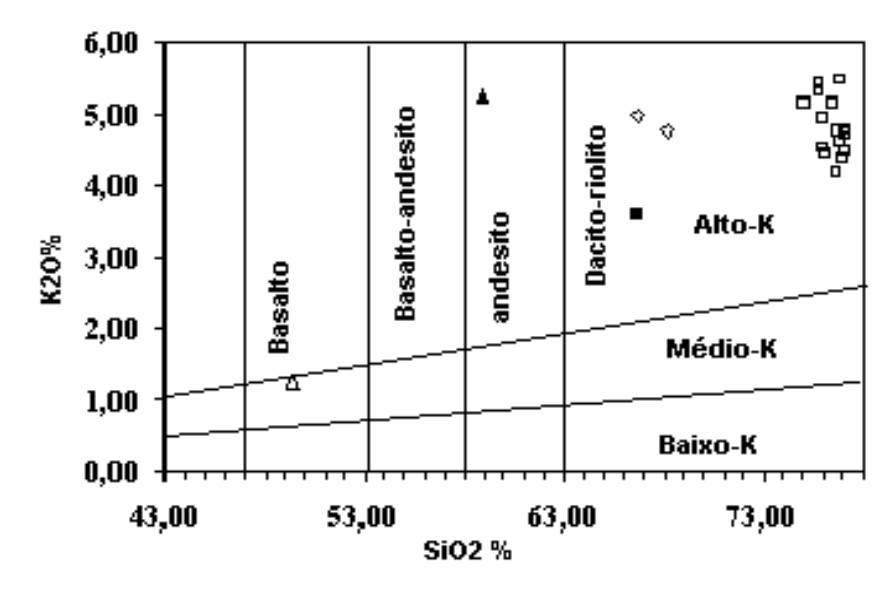


Figura 4. *Diagrama K_2O versus SiO_2 (%) (Le Maitre 2002) para os diques ácidos, intermediário e básico, associados ao Batólito Pelotas, região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem figura 3.*

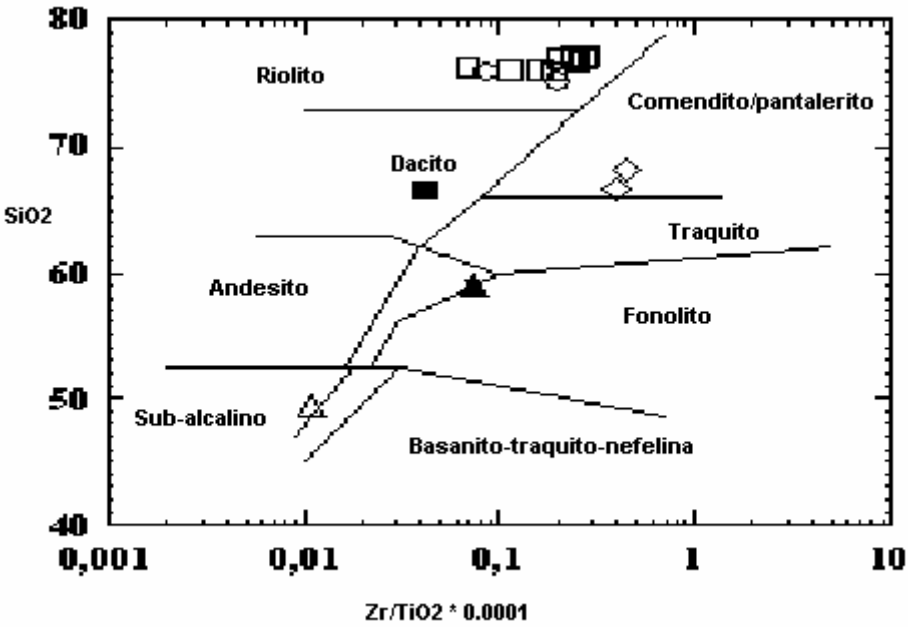


Figura 5. *Diagrama de caracterização magmática (Winchester & Floyd 1976) para os riolitos, granitos, traquidacitos, latito, dacito e basalto da região de Pinheiro Machado, Rs. Simbologia: Idem fig. 3.*

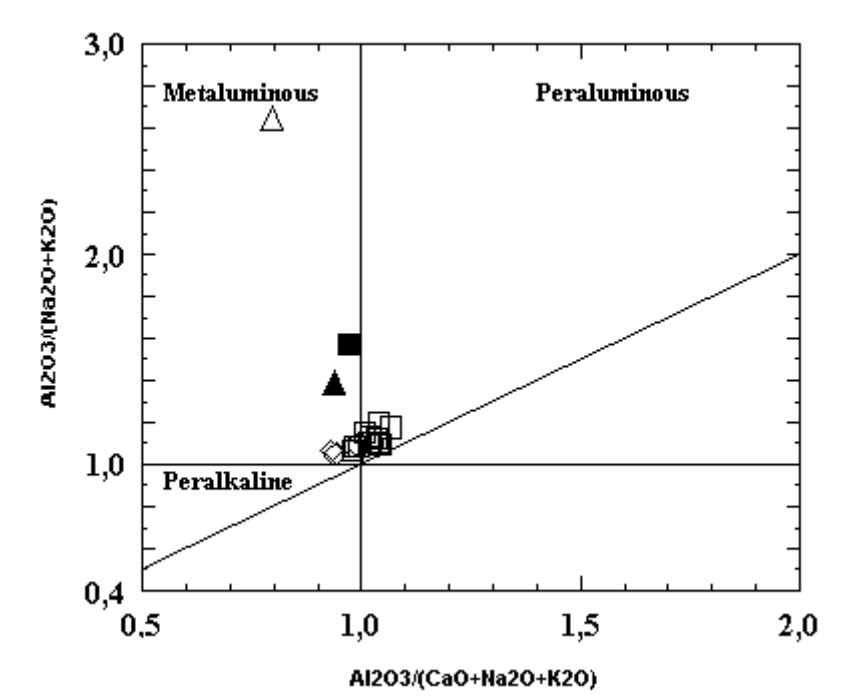
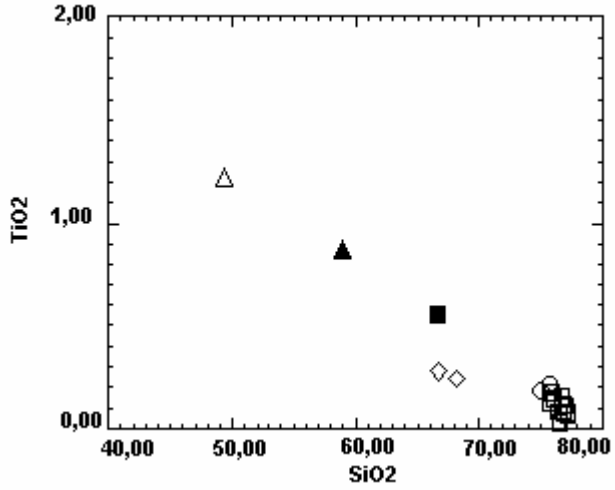
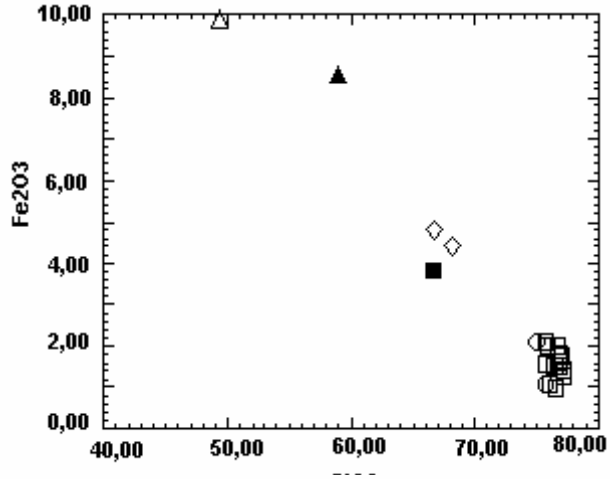
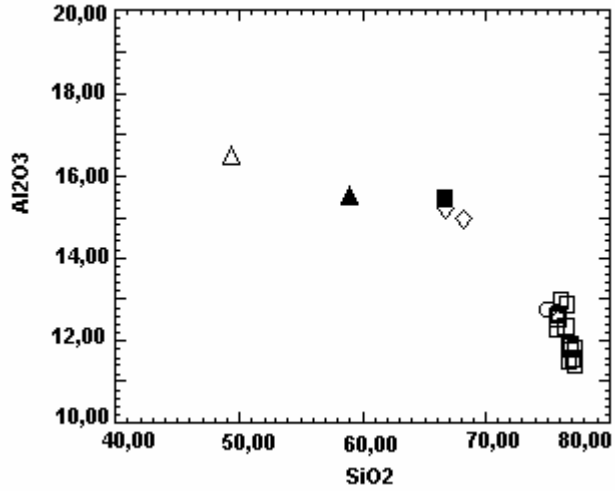


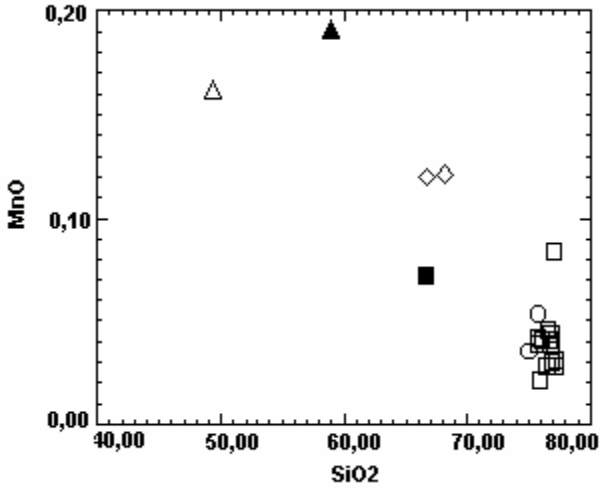
Figura 6. *Índice de Shand (1950) segundo Maniar e Piccoli (1989) para os diques ácidos, intermediário, básico e granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

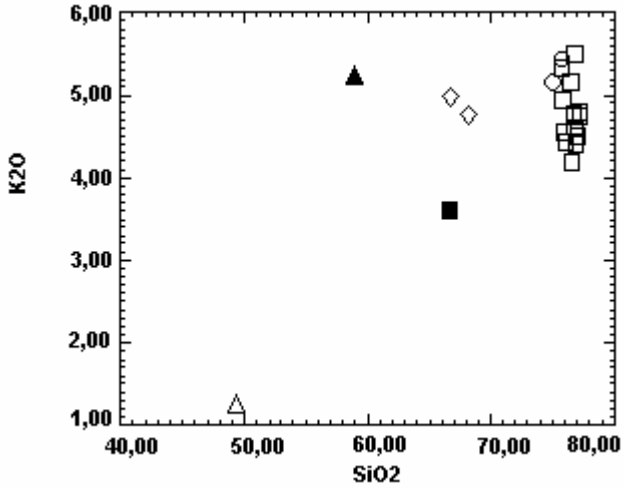
Os diques ácidos mostram-se saturados em sílica com teores que variam entre 67-77 %. No dique intermediário (latito), o teor em SiO_2 é 59 %, e o básico (basalto) é 49 %. Os granitos apresentam teores em SiO_2 entre 75,10 – 75,77 (%). Nos diagramas de Harker (Fig.7), os diques intermediário e básico, em relação aos diques ácidos e granitos, apresentam teores mais elevados em Ti, Mg, Ca, Fe, Mn, Al e P. Nestes últimos (granitos e diques ácidos) observa-se de maneira geral uma correlação linear negativa com enriquecimento em Na e K. Entretanto, o comportamento das duas amostras de traquidacitos apresentam-se diferenciados, ocupando espaços isolados quando comparados com as demais amostras. Apresentam teores mais levados em Nb, Na, Y, e Zr e nos diagramas contra SiO_2 apresentam *trends* positivos, juntamente com os granitos e diques ácidos. Observa-se ainda que os traquidacitos são mais diferenciados em relação a SiO_2, comparados com os intermediário e básico (Fig.7). Os teores de Sr são mais elevados nos diques intermediário (311 ppm) e básico (493 ppm) quando comparados com os diques ácidos (3-143 ppm) e granitos (12-22 ppm). O Ba mostra conteúdos elevados no latito (2461 ppm) e dacito (1424ppm) e básico (586 ppm), sendo, porém baixos nos diques riolíticos e granitos. Os traquidacitos mostram teores moderados (118-147) (Tabela 1).

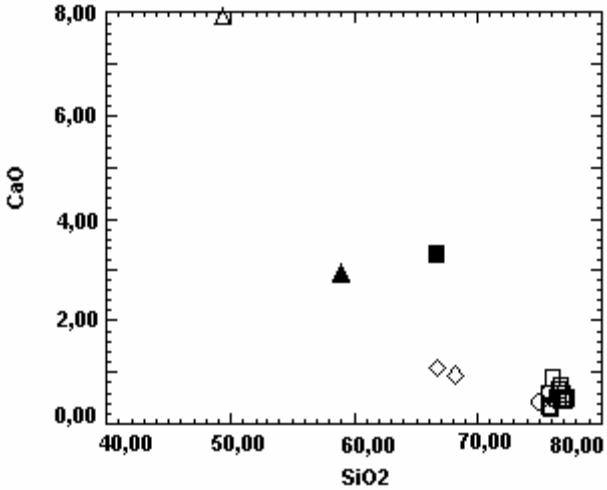

TiO2
SiO2
2,00
1,00
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

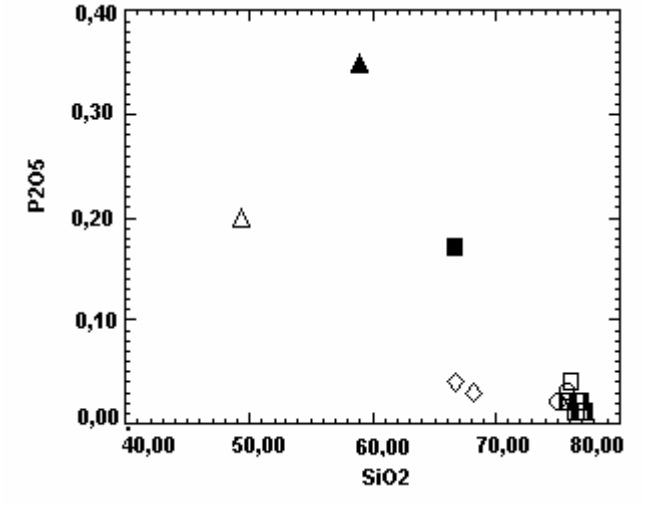

Fe2O3
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

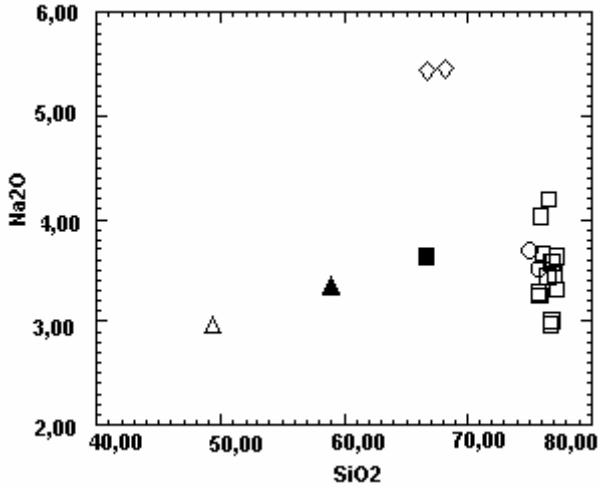

Al2O3
SiO2
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

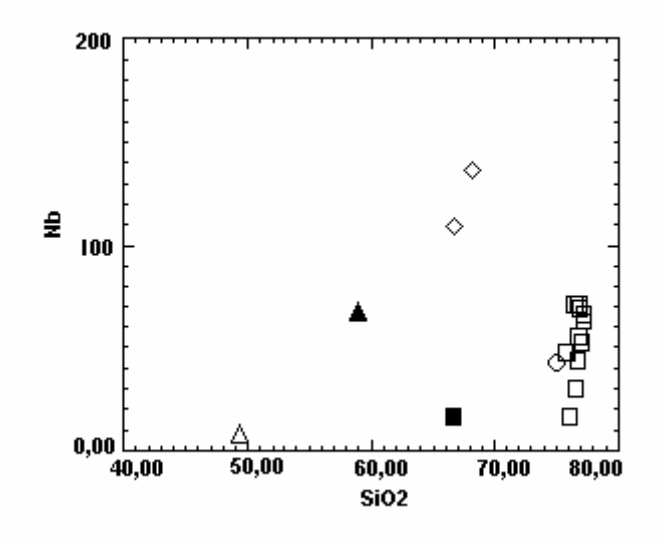

MnO
SiO2
0,20
0,10
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

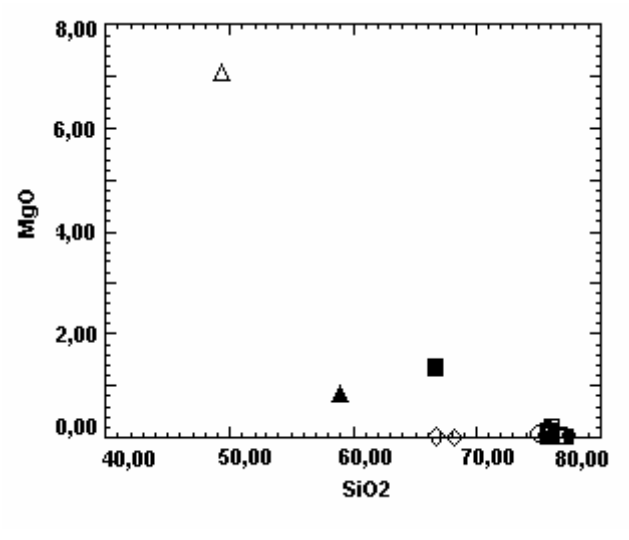

K2O
SiO2
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

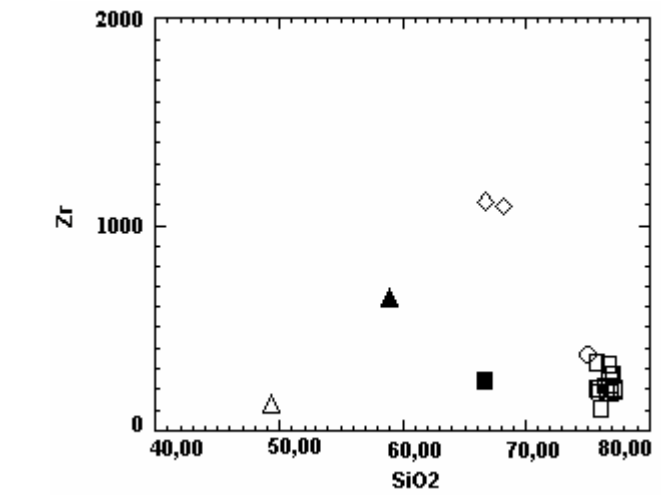

CaO
SiO2
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00

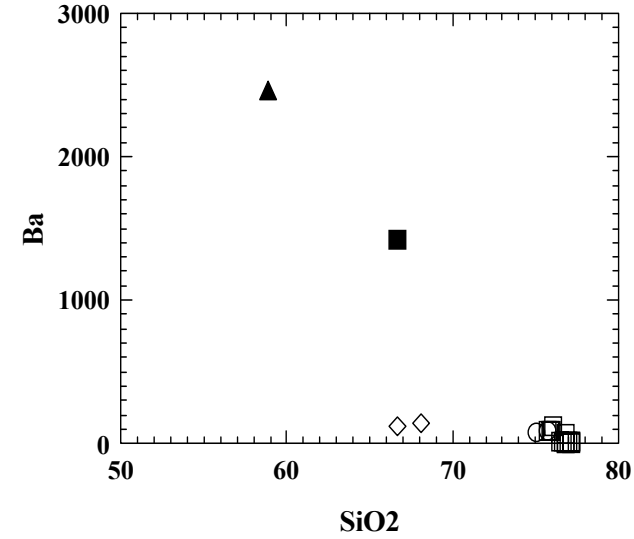

P2O5
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00
SiO2


Na2O
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00
SiO2


Nb
200
100
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00
SiO2


MgO
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00
SiO2


Zr
2000
1000
0
40,00
50,00
60,00
70,00
80,00
SiO2


Ba
3000
2000
1000
0
50
60
70
80
SiO2

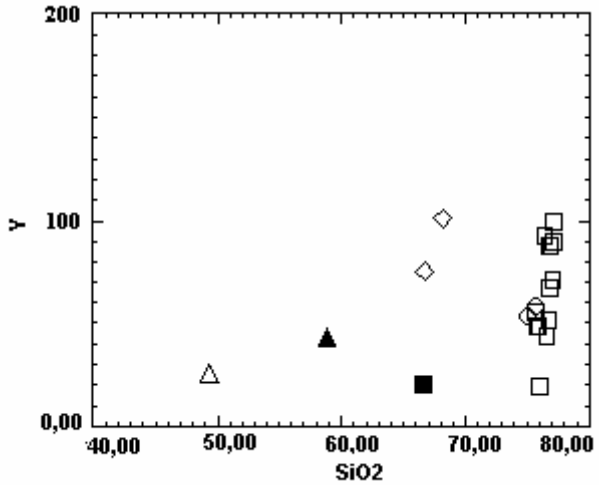
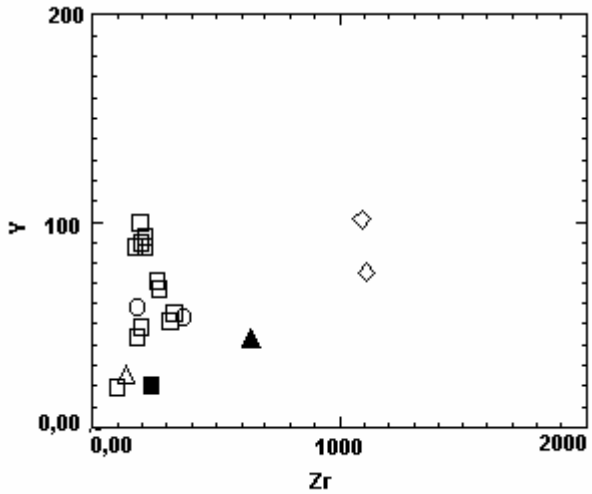
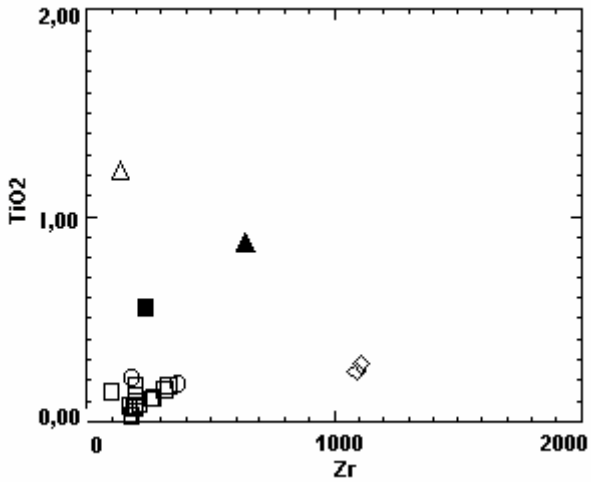


Figura 7. *Diagramas de Harker entre elementos maiores (%) e menores (ppm) versus SiO_2 (%) para os diques ácidos, intermediário, básico e granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

Com base na relação $MgO/(MgO+Fe_2O_3)$, os diques ácidos apresentam valores de mg# entre 0,02 – 0,14; os diques intermediário e básico entre 0,09 – 0,42; os granitos, entre 0,02 a 0,12. A utilização de diagramas com Zr, como parâmetro de referência, em relação a outros elementos como TiO_2, Fe_2O_3, Na_2O, Nb e Y, conforme sugerido por Leat *et al*. (1986) e Wilson (1989, 1993), mostram comportamentos distintos para os grupos de rochas estudadas. Os diagramas mostram claramente para traquidacitos teores mais elevados em Zr, quando comparados com riolitos, granitos, latito, dacito e basalto, este último com teores mais elevados em Fe_2O_3 e TiO_2. A correlação é positiva para os demais elementos e nota-se que, embora acorra dispersão das amostras, os *trends* são positivos, com os traquidacitos apresentando-se mais enriquecidos (Fig. 8).





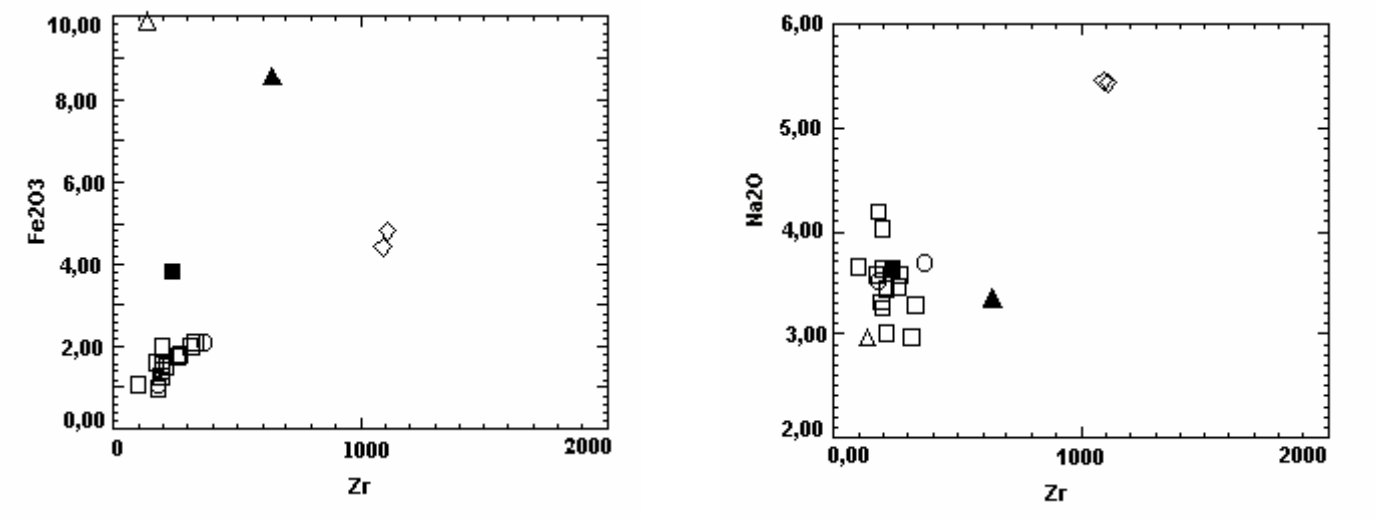
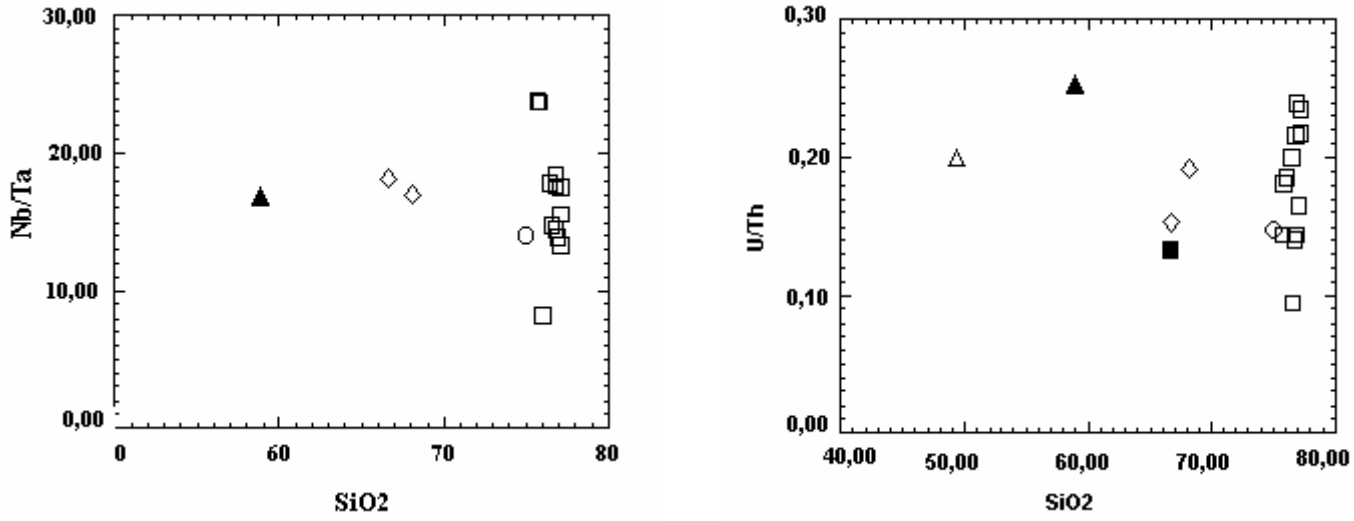
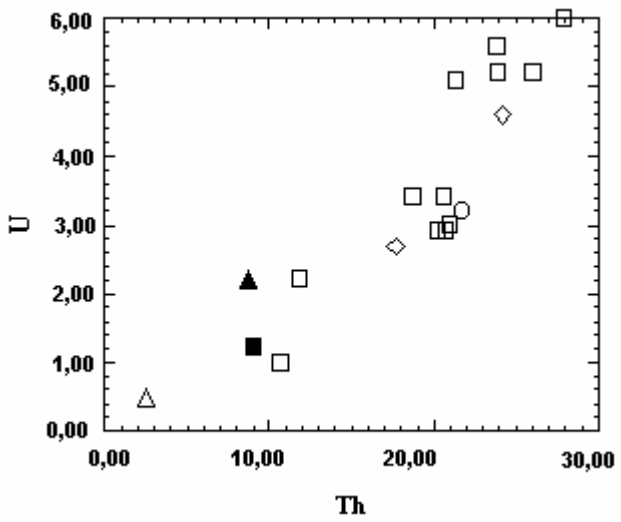


Figura 8. *Diagramas binários de variação de Zr (ppm) versus elementos maiores (%) e traços (ppm) dos diques ácidos, intermediário, básico e granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

Os diques estudados apresentam algumas diferenças que são também evidenciadas pelas razões envolvendo elementos traços como Nb/Ta (ppm) *versus* SiO_2 (%) e U/Th (ppm) *versus* P_2O_5 (%) e, também, entre Th (ppm) *versus* U (ppm) (Fig. 9). A dispersão das amostras nos diagramas é sugestiva de efeitos de contaminação crustal dos magmas predecessores dos diques, sendo isto também sugerido pelo decréscimo da razão U/Th (ppm) *versus* SiO_2 (%). A correlação linear positiva entre U (ppm) *versus* Th (ppm) mostra que ocorreu contaminação do magma ácido durante sua passagem pela crosta (Black *et al*. 1997).





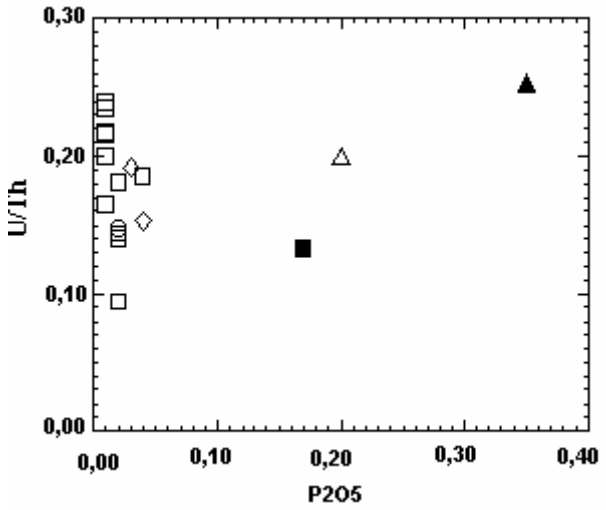


Figura 9. *Diagramas representativos das razões entre Nb/Th (ppm) e U/Th (ppm) versus SiO_2(%) e U/Th (ppm) versus. P_2O_5 (%); Th (ppm) versus U (ppm) (este último de Black et al. 1997) para os diques ácidos, intermediário, básico e granitos da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig. 3.*

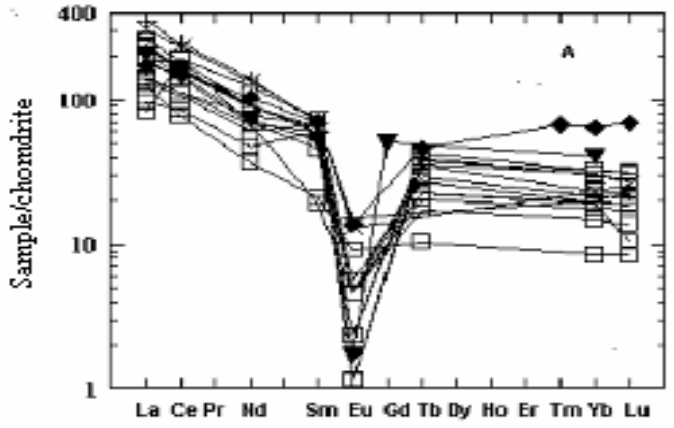
Os diagramas dos elementos terras raras (ETR) normalizados pelo condrito (Taylor & McLennan 1985), mostram padrões diferentes entre alguns grupos de rochas estudadas (Fig. 10A,B,C,D,E,F). Os riolitos, traquiadacitos e granitos mostram fortes anomalias negativas de Eu, teores elevados em ETR leves e teores baixos nos ETR pesados. Entretanto, observa-se que os riolitos mostram teores dos ETR leves mais baixos, quando comparados com os traquidacitos e granitos, estes dois últimos com padrão semelhante. O Eu, caracterizado pela presença de anomalia negativa, que aumenta acentuadamente nos termos mais diferenciados, é típico em rochas que fracionaram minerais como feldspato alcalino. O basalto apresenta padrão homogêneo, levemente horizontalizado e com leve anomalia negativa em Tb e valores baixos nos ETR pesados. O dacito apresenta um padrão semelhante ao basalto, entretanto, mostra-se mais verticalizado. O latito apresenta-se mais enriquecido ETR leves, teores mais elevados em La e Ce, forte anomalia negativa em Tb e empobrecimento em ETR pesados quando comparado com o basalto e o dacito.

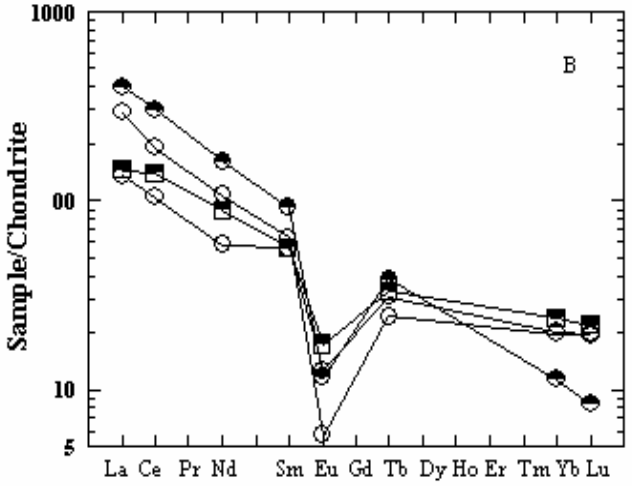
O comportamento dos elementos nos diagramas multi-elementares mostra padrões variáveis (Fig. 11, 12, 13,14,15,16). Os riolitos (Fig. 11) mostram anomalia negativa em Ba, Sr, Eu, Ti e forte em Ni, e anomalia positiva em Rb, Zr e Zn, sendo levemente enriquecido em Nb, K e Th. Os granitos (Fig. 12) apresentam anomalia negativa em Ba, Sr, Eu, Ti, Nb e Ni, com forte anomalia positiva em U e Rb.

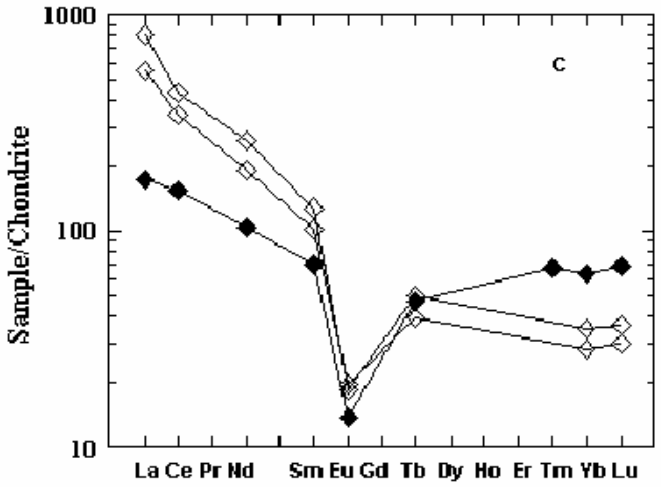
Os traquidacitos (Fig. 13) apresentam forte anomalia negativa em Sr, Pb, Eu, Ti, Ni e enriquecimento em K, Rb, Ba, La, Nb e anomalia positiva em Th e Tb. O latito (Fig. 14) apresenta anomalia positiva em Ba e leve enriquecimento em K, Rb, Th, La, Zr e Zn e anomalias negativas em Sr, Ti, Pb e Ni.

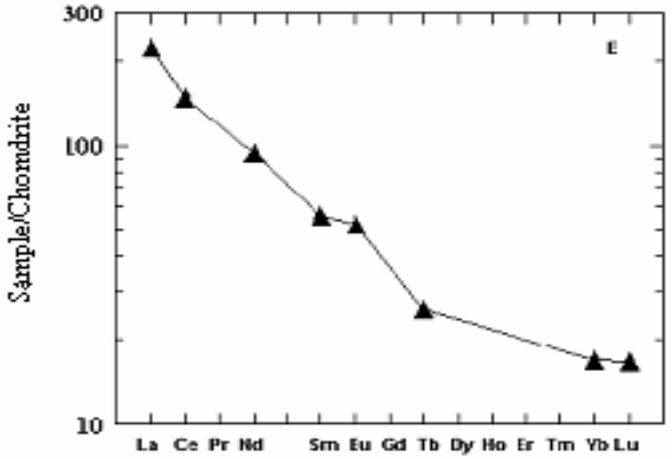
]

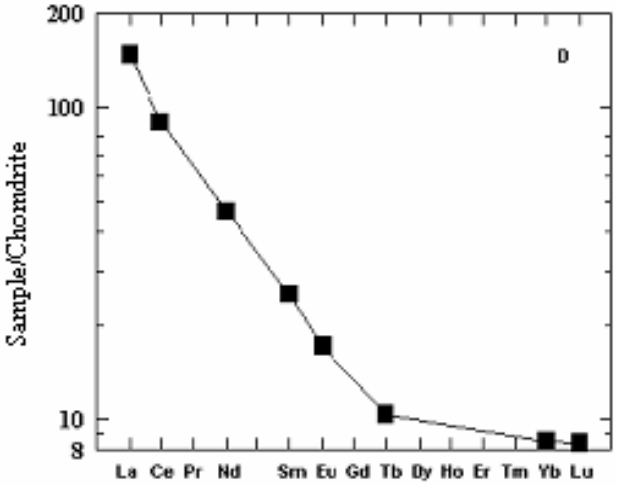
O dacito (Fig. 15) apresenta anomalia negativa em Ti e Nb e relativamente em Sr. Apresenta, também, anomalia positiva em Ba e La, sendo ainda enriquecido em K e Rb. O basalto (Fig. 16) exibe anomalias positivas em Th, Rb, La e Ba e anomalias negativas em Cs e Nb.


A
Sample/chondrite
400
100
10
1
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu


B
Sample/Chondrite
1000
00
10
5
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu


C
Sample/Chondrite
1000
100
10
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu


E
Sample/Chondrite
300
100
10
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu


D
Sample/Chondrite
200
100
10
8
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

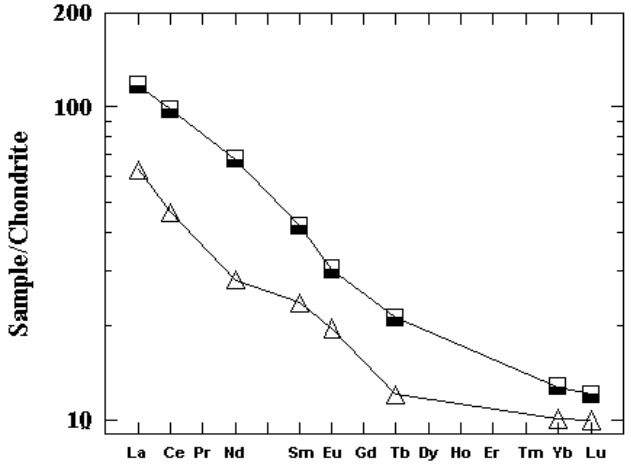

Sample/Chondrite
200
100
10
La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

Figura 10. *Diagramas com padrões dos elementos terras raras (A,B,C,D,E,F) snormalizados pelo condrito de Taylor & McLennan (1985). Legenda: A = riolitos; B = granito; C = traquidacito; D = dacito; E = latito; F = basalto.*

▲ = *Latito da região de Pinheiro Machado (deste trabalho)*
Δ = *Basalto da região de Pinheiro Machado (deste trabalho)*
□ = *Riolitos da região de Pinheiro Machado(deste trabalho)*
◊ = *Traquidacitos da região de Pinheiro Machado (deste trabalho)*
O = *Granitos da região de Pinheiro Machado (deste trabalho)*
■ = *dacito da região de Pinheiro Machado (deste trabalho)*
◀= ◨ = *Basalto (Platô Taquarembó (Wildner et al. 2002)*
+; x = *Riolitos Vila Nova- Região de Santuário (Matos et al, 2002)*
▼ = *Naivasha (Kenya Rift) (MacDonald et al., 1987 – extraído de Matos et al. 2002)*
♦ = *Snowdow Ryolites (Caledonite) (leat et al., 1986 – extraído de Matos et al. 2002)*
●= *Granito da Suíte Dom Feliciano (Philipp, 1998) ;◓ = Granito da Suíte Viamão*

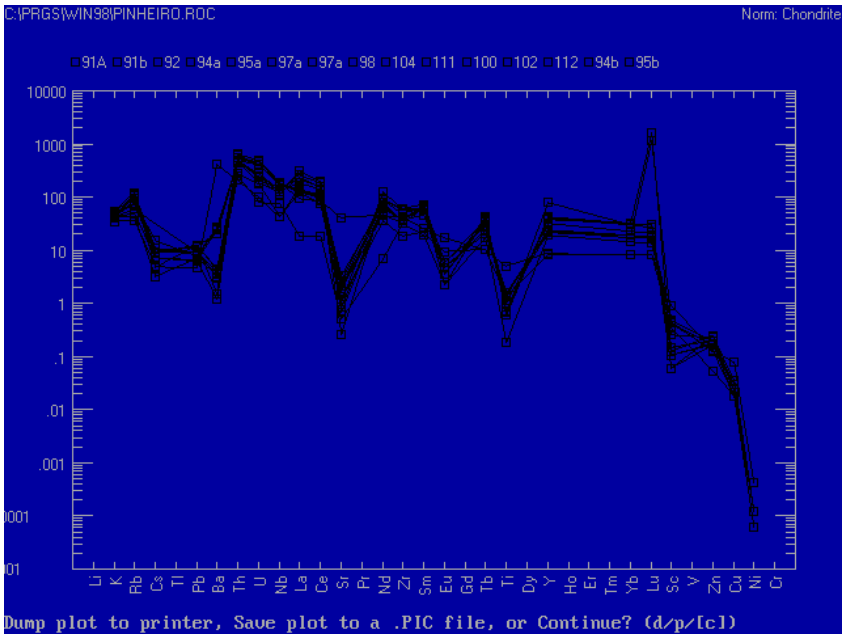


Figura 11. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para os riolitos da região de Pinheiro Machado, RS.*

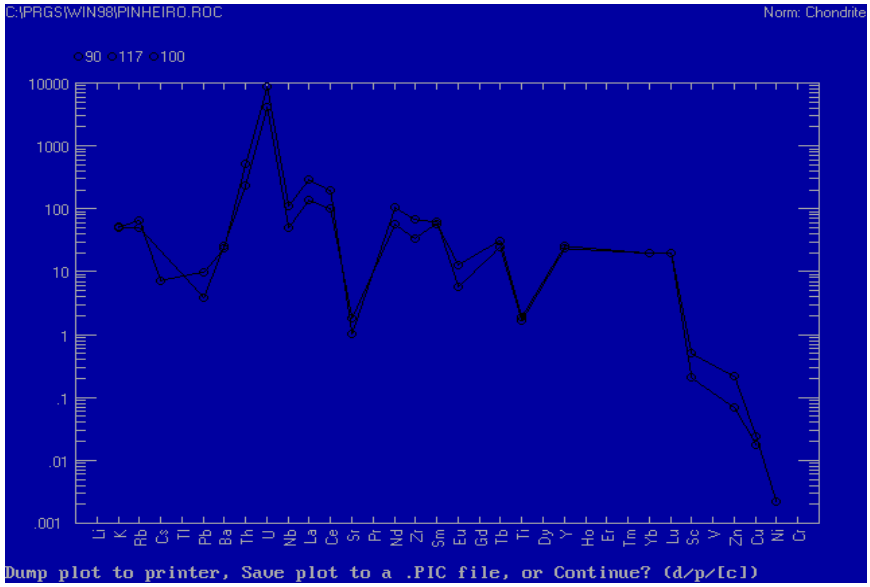


Figura 12. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para os granitos da região de Pinheiro Machado, RS.*

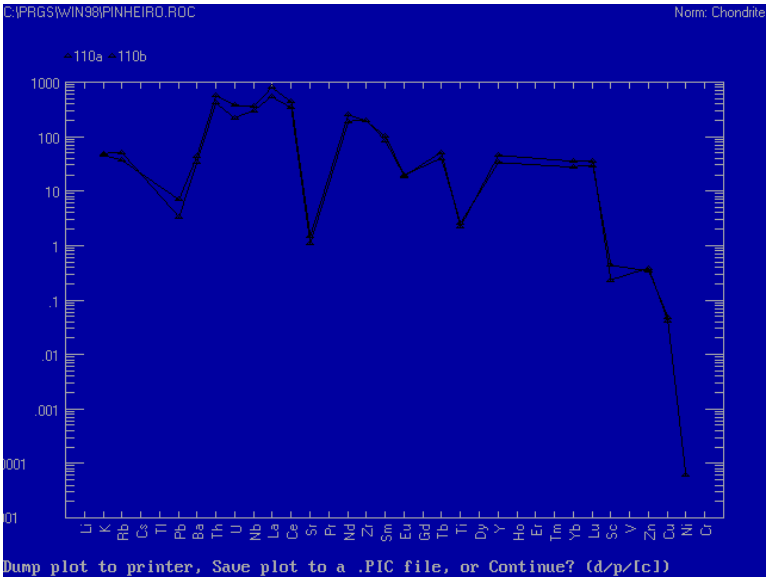


Figura 13. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para os traquidacitos da região de Pinheiro Machado, RS.*

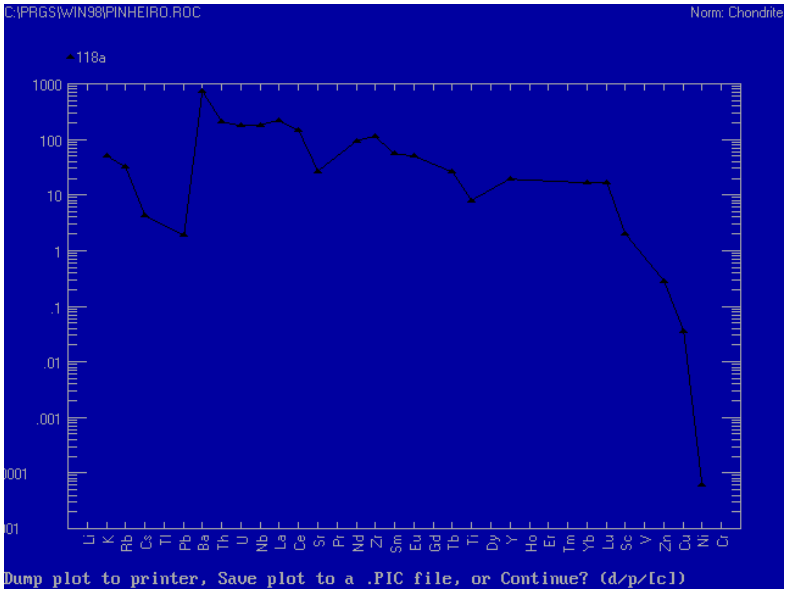


Figura 14. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para o latito da região de Pinheiro Machado, RS.*

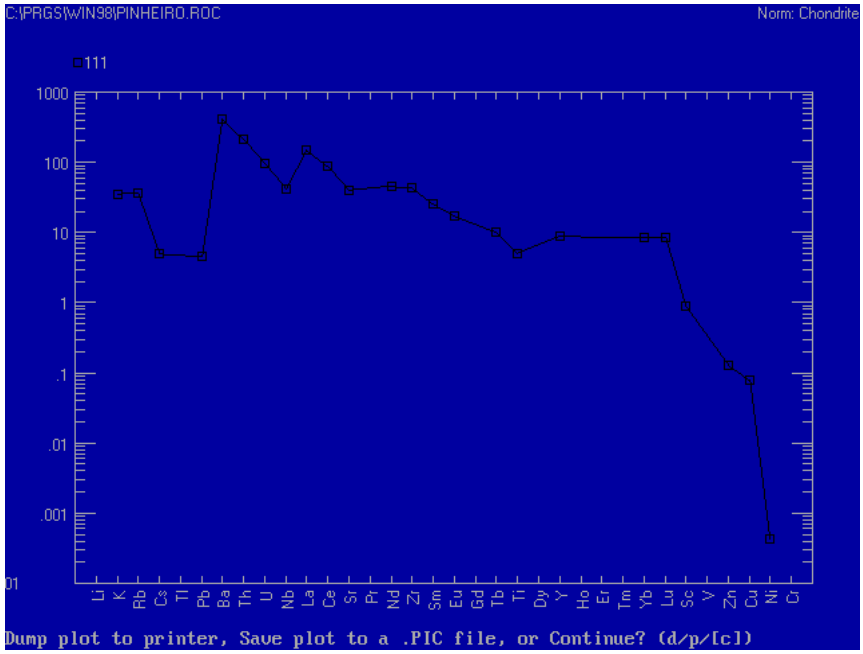


Figura 15. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para o dacito da região de Pinheiro Machado, RS.*

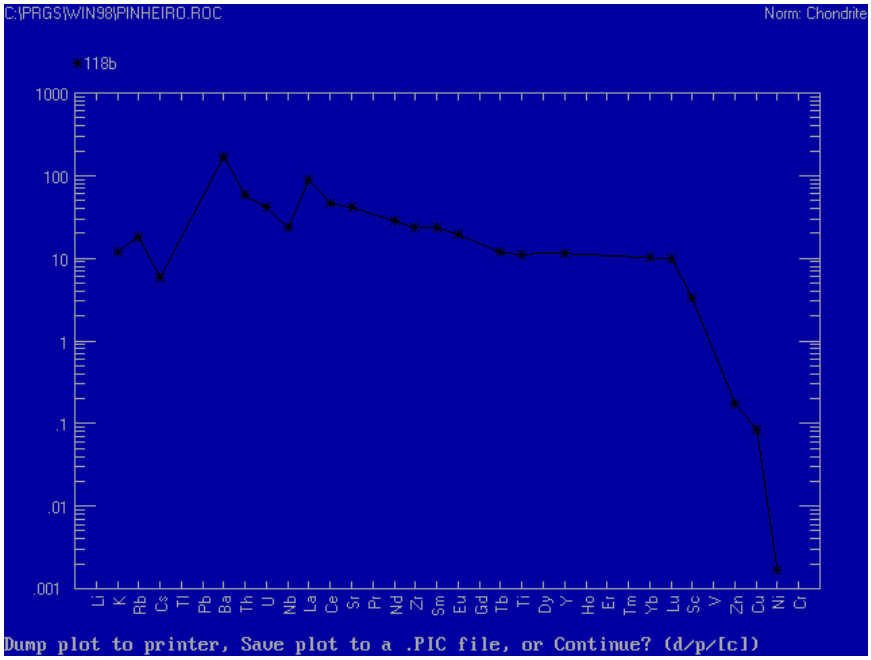


Figura 16. *Diagrama multi-elementar normalizado pelo condrito (Sun 1982) para o basalto da região de Pinheiro Machado, RS.*

No diagrama discriminante de ambiente tectônico, Rb (ppm) *versus* Y+Nb (ppm), utilizados para rochas graníticas (Pearce *et al.* 1984) os riolitos, traquidacitos, granitos e latito ocupam o campo dos granitos intraplaca. O basalto e dacito ocupam o campo de rochas de ambiente de arco vulcânico.

.

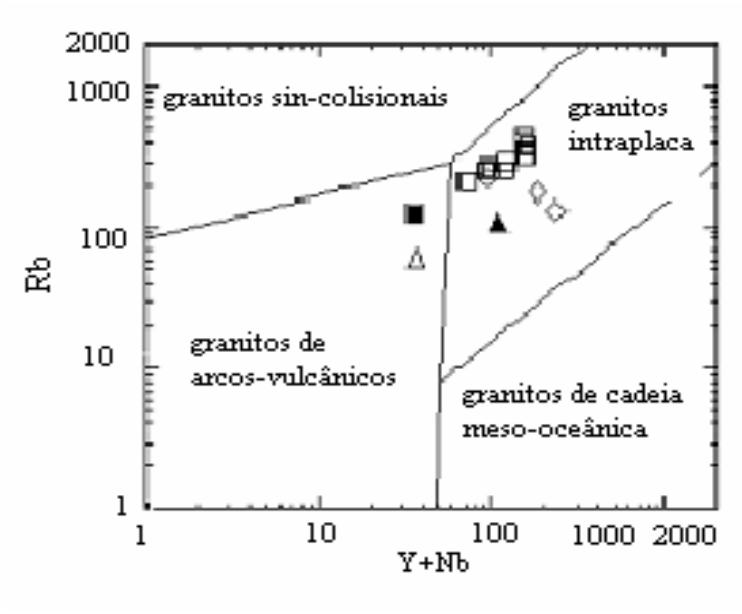


Figura 17. *Diagrama discriminante de ambiente tectônico Rb (ppm) versus Y+ Nb (ppm) (Pearce et al. 1984) para as rochas estudadas da região de Pinheiro Machado, RS. Simbologia: Idem fig.3.*

DISCUSSÃO Os enxames de diques sub-vulcânicos ou hipabissais, da região de Pinheiro Machado, caracterizados como riolitos, traquidacitos, dacito, latito e basalto, encontram-se encaixados em rochas graníticas do Batólito Pelotas pertencentes as Suítes Dom Feliciano e Viamão. Os estudos petrográficos e geoquímicos permitiram a caracterização dos diferentes minerais e texturas e da natureza do magmatismo.

O intercrescimento mirmequítico é mais comum nos granitos encaixantes, mas ocorre também nos diques intermediário e básico e é caracterizado pelo intercrescimento de plagioclásio e quartzo. Para Hibbard (1979, 1980), este tipo de feição envolve a participação de fluídos magmáticos tardios que cristalizam simultaneamente. O quartzo se apresenta como inclusões no plagioclásio sob duas formas: em forma de gotas na parte central e em forma de pequenas agulhas nas bordas. Este crescimento é considerado de natureza deutérica, resultante de reações entre cristais de plagioclásio com resíduos fluídos finais da cristalização da rocha e é freqüente a passagem da mirmequita para o feldspato potássico. De acordo com Guimarães (1960), a concentração de K^+ e SiO^-_2 e CO_2 no final da cristalização é responsável pela reação entre a fases líquida residual e sólida, tornando o plagioclásio instável e que será descalcificado e substituído em parte pelo quartzo e em parte pelo ortoclásio. A textura poiquilítica ocorre em todas as faciologias estudadas. Este tipo de textura é encontrado principalmente no feldspato alcalino (fenocristais) e caracteriza-se pela presença de inclusões de plagioclásio, máficos e acessórios. Segundo Bard (1980), isto se deve ao crescimento dos cristais a partir da nucleação heterogênea sobre a superfície do cristal hospedeiro. Por outro lado, para Vance (1969) e Vernon (1990), isto pode ser explicado também pelo "crescimento mais rápido do feldspato alcalino em relação ao plagioclásio, com o primeiro passando a incorporar o último". A forma como os cristais estão inclusos indica também o tipo de cristalização. A textura gráfica é mais freqüente nos diques ácidos e, em menor quantidade, nos granitos (exceto no sienogranito), sendo ausente nos diques intermediário e básico. Este tipo de textura reflete o intercrescimento entre o feldspato alcalino e o quartzo, onde este assume formas gráficas no FK com a mesma orientação ótica. Alguns autores admitem que este tipo de textura é o resultado da cristalização simultânea dos dois minerais. A grande quantidade de intercrescimento mirmequítico e gráfico observado nas rochas estudadas reflete

a circulação de um expressivo volume de líquidos pós-magmáticos enriquecidos em voláteis. Os zonamentos observados nos cristais de plagioclásio são do tipo normal e inverso e refletem mudanças rápidas das condições de cristalização. Vance (1962) postula que o zonamento normal está ligado à separação da fase volátil do líquido. A migração de novos voláteis gerados tenderia a agitar o líquido, tornando-o mais homogêneo, compensando a difusão de supersaturação do líquido próximo ao cristal de plagioclásio e favorecendo a sua contínua cristalização. Segundo o autor, o volume do núcleo de plagioclásio será maior do que nas bordas. Didier (1987) e Hibbard (1981) consideram este tipo de zonamento como relacionado com a mistura de magmas, pois, quando um magma ácido se mistura com um magma básico, os cristais de plagioclásio cálcicos podem apresentar uma borda sódica, ocorrendo também o contrário. A textura esferulítica é caracterizada pelo arranjo fibroradial de cristais de feldspato alcalino e quartzo, por vezes com um núcleo central bem delimitado de quartzo. Este é um processo que ocorre pela acumulação de H_2O e CO_2 na fase final da cristalização das lavas. Se o processo for muito acentuado, com a queda da temperatura, aumenta a instabilidade dos cristais de feldspato alcalino, dissolve-se o Ca e Na, e pode ocorrer a formação de zeolitas (que não foram observadas nas amostras) pela fixação da H_2O e OH^- e pode cristalizar-se quartzo, calcita e calcedônea. Lofgren (1971b) considera que a desvitrificação ocorre sob condições de temperatura de 700˚C, com subsaturação em água. Os hidrossilicatos ferro-magnesianos resultam da alteração dos piroxênios e anfibólios. A textura glomeroporfirítica felsofirica encontrada com mais freqüência nos diques ácidos é caracterizada pela presença de fenocristais euédricos de feldspato potássico e plagioclásio, dispostos em matriz microcristalina. A matriz microcristalina se faz presente na maioria dos diques estudados. De acordo com Matos *et al.* (2002), este tipo de textura se desenvolve em condições que favorecem plenamente a cristalização em zonas de temperaturas mais elevadas e de maior concentração de voláteis. Os autores consideram ainda que estas características tornam o meio menos viscoso, o que levaria a difusão iônica e favoreceria o crescimento dos cristais. Nas rochas estudadas foram identificadas três fases de cristalização dos minerais: magmática, tardi-magmática e pós-magmática e substituições no estado líquidus (magmáticos) e transformações no estado sólido ou sub-sólidus (tardi-magmáticos).

A partir dos dados de química mineral, foram realizados estudos de geotermometria nos plagioclásios. As fórmulas utilizadas, bem como a determinação das temperaturas dos estágios de cristalização dos plagioclásios, foram com base nos geotermômetros de Kudo & Weill (1970) e Mathez (1973), assumindo condições anidras. Nos diques ácidos, a temperatura média é de 1181ºC (núcleo) e 1086ºC (borda), pelo método de Kudo e Weill (1970), e de 1137ºC (núcleo) e 1070ºC (borda), pelo método de Mathez (1973). A amostra de dique básico apresenta temperatura de 1384ºC (núcleo) e 1222ºC (borda), pelo método de Kudo e Weill (1970), e de 1335ºC (núcleo) e 1197ºC (borda), pelo método de Mathez (1973).

Dados de geoquímica apontam para a região estudada magmatismo do tipo cálcio-alcalino, moderadamente alcalino e transicional (entre alcalino e sub-alcalino). No diagrama de Le Maitre (2002), os diques ácidos, os granitos e o dique intermediário posicionam-se no campo alto-K e o dique básico no campo baixo-K (Fig. 4). De acordo com Winchester & Floyd (1976), os elementos Ti, Zr, Y, Nb, Ce, Ga e Sc, em rochas vulcânicas, podem ser usados para diferenciar magmatismo sub-alcalino e alcalino, pois estes elementos permanecem imóveis durante os processos de alteração e pós-consolidação. Grande parte das rochas riolíticas, granitos e dacito caracterizam magmatismo do tipo cálcio-alcalino. Os traquidacitos e latito mostram magmatismo moderadamente alcalino enquanto o basalto mostra características transicionais (entre alcalina e sub-alcalina) (Fig. 5). Este último mostra-se fortemente metaluminoso (Fig. 6). Com a progressiva diferenciação do magma básico, a razão Zr/TiO_2 aumenta com o declínio do TiO_2 nas rochas ácidas. O aumento da razão Zr/TiO_2 ocorre em muitas séries alcalinas, refletindo a forte concentração do Zr nas mesmas (Winchester & Floyd 1976). Os traquidacitos aqui estudados mostram altos teores em Zr (1090 a 1110 ppm), seguido do latito (643 ppm). As altas razões de Nb/Y refletem geralmente características de suítes alcalinas. Os traquidacitos e o latito, comparados com as demais

litologias estudadas, apresentam também estas características. Além disso, as amostras de traquidacitos (Fig. 5) ocupam o campo dos comenditos/pantaleritos, indicando sua afinidade alcalina. De acordo com alguns autores, as rochas comendíticas/panteleritícas são representativas de magmas peralcalinos. Entretanto, os traquidacitos e latito aqui estudados, apresentam índice agpaítico (IAG) inferior a 0,44 (%) abaixo do valor proposto por Le Maitre (2002) (> 1) e não apresentam anfibólio sódico. Por outro lado, estas rochas mostram comportamento geoquímico diferenciado. Nos diagramas dos ETR e multi-elementares apresentam padrões semelhantes com rochas de afinidades alcalinas próximas das peralcalinas, como por exemplo, com, os riolitos alcalinos de Santuário (Matos *et al*. 2002) e do Snowdow Rhyolites (Leat *et al*. 1986), típicas de associações pós-orogênicas.

O IAG dos diques ácidos é entre 0,31-0,54 (%) para o dique intermediário, 0,42 (%) para os granitos, entre 0,49-0,52 (%) enquanto no dique básico este índice é mais baixo (0,13 %). O conjunto de rochas estudadas apresenta IAG menor que 1,0 %, consideradas rochas alcalinas miaskíticas (Fujimori, 1990). No diagrama da figura 3, os granitos analisados ocorrem associados aos riolitos. Grande parte dos granitos da região foram analisados

geoquimicamente em trabalhos anteriores. Para esta discussão, utilizaram-se dados obtidos de Philipp (1998). De acordo com o autor, os granitos da Suíte Dom Feliciano (principais rochas encaixantes dos diques) apresentam magmatismo alto-K com variações em SiO_2 entre 71,50-77,60 (%), IAG entre 0,69-1,01 (%) e caráter levemente peraluminoso. Por outro lado, os granitos da Suíte Viamão, possuem, conteúdos em SiO_2 no intervalo de 62,78-73,84 (%), com IAG entre 0,52-0,86, mostrando-se levemente peraluminosos. Apresentam filiação magmática cálcio-alcalina, médio a alto-K. Os granitóides da Suíte Pinheiro Machado, devido a sua ampla variedade composicional, mostram intervalos em SiO_2 entre 51,0 – 71,29 (%) e IAG entre 0,33 - 0,76, e caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, com magmatismo cálcio alcalino. Nota-se que existe um quimismo semelhante entre os riolitos aqui estudados e as rochas graníticas, preferencialmente da Suíte Viamão.

Os diques ácidos apresentam valores de mg# entre 0,001 – 0,26; intermediário de 0,09; o básico 0,42, e os granitos, entre 0,02 a 0,12. Este índice mostra maior grau de evolução dos diques ácidos, granitos e diques intermediários em relação ao dique básico. Nos diagramas de Harker, observa-se que a diferenciação nestes diques é acompanhada pelo aumento em P e Ba, com forte decréscimo em Mg, Ti e Fe, mostrando o efeito da cristalização dos minerais ferromagnesianos.

As razões Zr/Nb dos diques de Pinheiro Machado variam entre 2,8 e 8,0 (%), indicando tratar-se de rochas vulcânicas relacionadas a *rifts* continentais e margens continentais ativas (MacDonald 1974).

A principal diferença entre rochas cálcio alcalinas de arcos de ilhas com rochas cálcio-alcalinas de margem continental é a geração de grande abundância de membros mais silicosos nesta última, onde os riolitos e dacitos são mais comuns, mais alto em K e mais enriquecidos (Baker 1982). De acordo com o autor, magmas cálcio-alcalinos são derivados de partes profundas da zona de subdcção, com fusão parcial sendo proveniente da reação de magmas silicosos e material mantélico, favorecendo a cristalização fracionada em níveis mais profundos. Rochas de margem continental, comparadas com as de arcos de ilhas (Jakes & White 1972), apresentam maiores teores em K, moderado em Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U, razão K_2O/Na_2O e Fe/Mg mais elevada e razão K/Rb mais baixa. As rochas ácidas aqui estudadas (exceto o traquidacito) apresentam características semelhantes com as rochas de ambiente de margem continental.

Basaltos alcalinos (Baker 1982) podem estar associados com lavas cálcio-alcalinas, contudo, elas são formadas em zonas separadas, envolvidas na região de *back-arc,* conectadas com a zona de subducção, apresentando afinidades com basaltos de ilhas oceânicas. No New México (Baker & Ridley 1970), nas ilhas Granada e na Lesser Antilles (Arculus & Curran 1972) elas são associadas a rochas alcalinas e cálcio-alcalinas. Rochas alcalinas têm baixos teores em SiO_2 (44-47%), teores relativos em Na_2O e teores mais elevados em Mg, Ba, Nb,

Zr, Sr, Rb, Ni e Cr que as rochas cálcio-alcalinas. O basalto aqui estudado apresenta características compatíveis com magmatismo alcalino (Tab 1 e 2) Entretanto, apresenta teores relativos em Nb, Zr e Rb e é mais enriquecido em Ni e Cr. Em termos de elementos terras raras, representa uma fusão parcial do manto superior originado de uma fonte peridotítica (Arculus 1976). É sugerido que as suítes cálcio-alcalinas podem ter sido derivadas de margens continentais alcalinas (Arculus & Curran 1972).

Nos diagramas das figuras 10F e 16 os padrões dos elementos terras raras e multi-elementares do basalto aqui estudado são semelhantes ao padrão do basalto alcalino do Platô de Taquarembó (Wildener *et al.* 2002).

CONCLUSÕES O enxame de diques da região de Pinheiro Machado (RS) caracteriza-se, em termos petrográficos e geoquímicos, por rochas de composições distintas, incluindo riolitos, traquidacitos, dacito, latito e basalto. Trata-se de um magmatismo de natureza cálcio-alcalina alto-K (riolitos e granitos), alcalina com tendência peralcalina (traquidacitos e latito) e transicional (basalto) (entre alcalino e sub-alcalino). Apesar do pequeno número de amostras aqui analisadas, os dados obtidos são similares ao do magmatismo caracterizado em outras regiões do escudo-sul-riograndense (Lima 1995, Wildner *et al.* 1994 e 2002, Matos *et al.* 2002, dentre outros) e também do mundo (Baker & Ridley 1970, Jakes & White 1972, Arculus & Curran 1972, Baker 1982, dentre outros).

Os diques ácidos apresentam composição homogênea, com reduzido intervalo de SiO_2 %. A grande variação dos teores dos elementos maiores e menores, em relação a variação dos teores de sílica, sugere que estas rochas foram geradas por fusão parcial de rochas crustais continentais.

A presença de anomalias negativas em Eu nos diques de riolitos, traquidacitos e granitos, traduzem a importância do fracionamento do feldspato durante a cristalização magmática. O fracionamento dos elementos terras raras leves sugere cristalização precoce de minerais acessórios como apatita, zircão e epídoto, confirmando assim os dados petrográficos. Por outro lado, o padrão fracionado do dacito, latito e basalto, é compatível com o fracionamento produzido por minerais ferromagnesianos.

A semelhança nos, diagramas multi-elementares entre os padrões dos riolitos e granitos sugere afinidades magmaticas entre eles, apesar dos últimos serem mais enriquecidos em Ba. Situação similar ocorre também com o basalto e o latito, apesar do primeiro caracterizar-se como transicional, e o último, como moderadamente alcalino. Verifica-se, também, que o basalto é semelhante ao vulcanismo alcalino do Platô Taquarembó (Matos *et al.* 2002). Por outro lado, o padrão dos traquidacitos é semelhante ao das lavas ácidas da região de Santuário, sugerindo tratar-se igualmente de magmatismo alcalino com características peralcalinas (Matos *et al.* 2002).

Finalmente, a provável correlação dos diques ácidos aqui estudados com as suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas sugere tratar-se de um magmatismo com características tectônicas tardi-a pós-colisional ao ciclo brasiliano, conforme postulado por vários autores (Bitencourt & Nardi 1993 e 2000, Philipp *et al*. 2002). Isto é reforçado pela disposição das rochas aqui estudadas no campo de granitos intra-placas de Pearce *et al.* (1984).

Agradecimentos: Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 94/5952-7), pelo suporte financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de campo, ao CNPq (Proc. 300423/82-9, de R. Machado), pela concessão de uma bolsa de Produtividade em Pesquisa, e a CAPES (Celi Zanon), pela concessão de uma bolsa de doutorado.

Amostra↓	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	∑Total	*P.F.%*	*IAG*	*fe#*	*mg#*	*Ba*	Sr	Y	Zr	Be	V
Ácidos																					
RC-91A	75,91	12,53	1,56	0,04	0,08	0,57	3,25	4,93	0,12	0,02	99,91	0,90	0,48	0,95	0,05	89	28	48	201	7,0	N.d.*
RC-91B	75,98	12,61	1,99	0,02	0,06	0,29	4,02	4,53	0,17	0,02	100,11	0,40	0,45	0,97	0,03	82	20	52	340	4,0	7,0
RC-92	76,52	12,34	1,49	0,03	0,01	0,49	3,44	5,13	0,08	0,01	100,13	0,59	0,51	0,99	0,01	13	25	92	216	8,0	N.d.*
RC-94A	75,77	12,28	2,10	0,04	0,04	0,34	3,28	5,31	0,17	0,02	99,97	0,62	0,52	0,98	0,02	91	13	55	333	2,0	N.d.*
RC-95A	76,99	11,84	1,57	0,03	0,02	0,45	3,57	4,38	0,07	0,01	99,57	0,62	0,46	0,99	0,01	11	22	87	179	30	N.d.*
RC-100	76,85	11,77	1,78	0,04	0,01	0,59	3,57	4,61	0,11	0,02	100,14	0,78	0,49	0,99	0,01	7,0	6,0	67	271	7,0	N.d.*
RC-102	77,13	11,55	1,74	0,08	0,02	0,45	3,45	4,49	0,11	0,01	99,98	0,94	0,47	0,99	0,01	4,0	3,0	71	268	6,0	N.d.*
RC-112	76,67	12,88	0,99	0,04	0,02	0,65	4,18	4,18	0,02	0,02	100,10	0,44	0,42	0,98	0,02	10	6,0	43	82	2,0	N.d.*
RC-94B	76,79	11,46	1,98	0,04	0,04	0,71	2,96	4,77	0,15	0,02	99,89	0,97	0,49	0,98	0,02	70	31	51	319	5,0	N.d.*
RC-95B	77,16	11,42	1,27	0,03	0,02	0,49	3,30	4,72	0,07	0,01	99,03	0,55	0,50	0,98	0,02	14	40	99	197	5,0	N.d.*
RC-97A	76,85	11,91	1,50	0,04	0,02	0,45	3,00	5,48	0,08	0,01	99,98	0,64	0,55	0,99	0,01	5,0	8,0	87	217	7,0	N.d.*
RC-98	77,17	11,81	1,42	0,03	0,01	0,49	3,62	4,78	0,07	0,01	100,02	0,61	0,49	1,01	0,01	15	10	89	201	9,0	N.d.*
RC-104	76,10	12,93	1,04	0,04	0,17	0,88	3,65	4,43	0,15	0,04	99,85	0,42	0,43	0,86	0,14	120	143	19	104	2,0	N.d.*
RC-110A	68,14	14,94	4,42	0,12	0,01	0,94	5,45	4,77	0,24	0,03	100,09	1,01	0,43	0,99	0,01	147	8,0	101	1090	8,0	N.d.*
RC-110B	66,69	15,20	4,81	0,12	0,04	1,09	5,44	4,97	0,28	0,04	99,32	0,65	0,44	0,99	0,01	118	13	75	1110	6,0	N.d.*
RC-111	66,71	15,42	3,81	0,07	1,35	3,31	3,62	3,60	0,55	0,17	99,23	0,61	0,31	0,74	0,26	1424	477	20	239	2,0	65
Inter.*																					
RC-118A	58,89	15,51	8,57	0,19	0,87	2,95	3,35	5,24	0,87	0,35	99,99	3,21	0,42	0,91	0,09	2461	311	44	643	4,0	N.d.*
Básico																					
RC-118B	49,38	16,50	9,88	0,16	7,07	7,94	2,97	1,25	1,22	0,20	100,25	3,68	0,13	0,58	0,42	586	493	26	132	1,0	198
Granitos																					
RC-90	75,10	12,73	2,08	0,03	0,05	0,42	3,68	5,15	0,18	0,02	100,12	0,67	0,49	0,98	0,02	80	12	53	369	4,0	N.d.*
RC-117	75,77	12,66	1,06	0,05	0,14	0,59	3,50	5,43	0,21	0,03	100,04	0,61	0,52	0,88	0,12	88	22	58	183	2,0	N.d.*

Inter.* = dique intermediário; N.d* = Não determinado; IAG = índice agpaítico ($Na_2O + K_2O/Al_2O_3$) molar; fe# =$FeO_t/(FeO_t + MgO)$; mg# = $MgO/(MgO+FeO_t)$; P.F.= perda ao fogo

Tabela 1. Analises de geoquímica dos elementos maiores (%), terra raras e traços (ppm) dos diques ácidos, intermediário, básico e granitos da região de Pinheiro Machado, RS.

Elementos→ Amostras↓	As	Cr	Cs	Cu	Hf	Rb	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Nb	Pb	Zn	Ni
Ácidos																						
RC-91A	3,0	N.d*	4,4	6,0	6,2	260	2,3	2,0	18,8	3,4	68,1	136	50	10,6	0,4	1,3	4,7	0,71	47,2	28	109	2,0
RC-91B	2,0	N.d*	2,1	3,0	8,1	168	3,9	2,0	19,8	2,3	96,3	179	64	13,7	0,4	1,2	4,4	0,67	47,6	24	56	1,0
RC-92	N.d*	N.d*	3,0	4,0	8,3	367	0,9	4,0	26,1	5,2	48,4	103	43	15,6	0,1	2,3	7,6	1,04	70,8	33	76	2,0
RC-94A	N.d*	N.d*	3,0	5,0	8,5	252	4,1	2,0	21	3,0	115	186	88	16,9	0,5	1,6	4,8	0,71	47,6	31	88	2,0
RC-95A	N.d*	N.d*	2,6	3,0	7,3	332	0,5	5,0	21,4	5,1	35,4	81	34	14	0,2	2,1	7,7	1,05	68,6	33	78	2,0
RC-100	N.d*	N.d*	2,0	4,0	8,5	254	1,3	3,0	20,3	2,9	86	151	64	14,9	0,3	1,7	5,3	0,81	55,1	25	111	1,0
RC-102	N.d*	N.d*	2,1	4,0	8,0	289	1,3	3,0	20,6	3,4	83,3	149	63	14,9	0,4	2,0	5,8	0,84	52,3	23	88	2,0
RC-112	N.d*	N.d*	N.d*	4,0	4,4	211	3,7	2,0	10,7	1,0	6,7	18	5,0	4,4	0,3	1,0	3,6	0,52	29,2	34	77	2,0
RC-94B	N.d*	N.d*	2,4	5,0	8,8	251	3,8	3,0	20,8	2,9	88,1	155	68	13,3	0,4	1,3	4,8	0,72	43,3	43	59	2,0
RC-95B	N.d*	N.d*	2,5	4,0	7,7	324	0,9	4,0	24	5,2	50,3	107	56	15,1	0,2	2,5	8,1	1,2	62,1	45	82	2,0
RC-97A	N.d*	N.d.*	2,6	4,0	8,9	420	1,1	4,0	27,9	6,0	50,8	108	48	14,4	0,4	2,2	8,1	1,19	70,0	43	111	1,0
RC-98	N.d*	N.d*	1,3	4,0	8,4	391	0,5	5,0	23,9	5,6	45,3	97	52	13,6	0,5	2,5	8,2	1,17	66,3	45	106	2,0
RC-104	N.d*	N.d*	0,9	3,0	3,7	147	2,9	2,0	11,9	2,2	45,4	74	26	4,9	0,8	0,6	2,1	0,32	16,1	26	25	2,0
RC-110A	N.d*	N.d*	N.d*	7,0	21	131	2,0	8,0	24,1	4,6	295	421	184	29,2	1,6	2,9	8,7	1,38	136	26	175	1,0
RC-110B	N.d*	10	N.d*	8,0	19,7	175	3,9	6,0	17,7	2,7	204	325	134	23,4	1,7	2,3	7.0	1,13	109	12	157	1,0
RC-111	N.d*	10	1,4	13	5,5	125	7,6	N.d*	9,1	1,2	54	85	33	5,8	1,5	0,6	2,1	0,32	15,7	17	59	7,0
Inter.*																						
RC-118A	N.d*	N.d*	1,2	6,0	12,7	109	17,8	4,0	8,7	2,2	81,8	141	67	12,9	4,5	1,5	4,2	0,64	67,5	7,0	128	1,0
Básico																						
RC-118B	3,0	73	1,6	14	2,9	62	28	N.d*	2,5	0,5	23,1	44	20	5,5	1,7	0,7	2,5	0,38	9,0	N.d*	78	28
Granitos																						
RC-90	3,0	6,0	2,0	4,0	9,0	221	4,4	3,0	21,7	3,2	106	185	76	14,7	0,5	1,4	4,9	0,74	42,1	36	99	36
RC-117	3,0	5,0	N.d*	3,0	4,8	173	1,8	2,0	19,9	2,7	50,1	99	41	13	1,1	1,8	5	0,75	18,4	14	32	N.d.*

Inter. = dique intermediáris; N.d.* = Não determinado*

Tabela 2. *Analises de geoquímica dos elementos terras raras e traços (ppm) dos diques ácidos, intermediário, básico e granitos, região de Pinheiro Machado, RS.*

Amostra	V. Nova*	S .rhyolite	K. Riff	Sienogranito	Monzogranito	Platô T ♠	Platô T ♠
SiO_2	72,89	76,77	75,84	71,51	72,64	48,83	49,07
Al_2O_3	12,43	11,19	12,21	14,02	13,93	14,36	13,53
Fe_2O_3	2,38	3,06	1,82	2,53	2,78	11,81	13,02
MnO	0,05	0,04	0,04	0,10	0,11	0,16	0,21
MgO	0,19	1,70	0,07	0,18	0,53	5,90	6,65
CaO	0,37	0,10	0,44	0,94	1,27	8,80	10,81
Na_2O	3,96	3,05	4,63	3,98	4,13	2,83	2,18
K_2O	5,13	3,72	4,77	5,01	4,16	1,50	0,49
TiO_2	0,23	0,32	0,17	0,21	0,41	2,00	1,18
P_2O_5	0,03	0,05	n,d,	0,04	0,12	0,74	0,14
Ba	434	142	13	707	1630	889	139
Sr	21	31	6,0	57	121	398	181
Y	55	129	109	23	63	41	28
Zr	650	1127	443	276	235	266	98
Rb	104	100	292	103	210	24	8,4
Ta	1,60	4,58	14	n,d,	-	0,63	0,4
Nb	45	54	201	18	7,0	10	6,4
Hf	15	27	n.d.	n.d.	-	5,6	2,8
Ti	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	-	-	-
Th	12	29	n.d.	n.d.	-	1,87	2,0
La	114	63.86	74.63	81.0	52,8	43,2	9,8
Ce	224	145,41	143,21	162	132	93,7	21,5
Nd	95	73,62	52,45	76	62	48,2	13,8
Sm	17,05	16,17	12,40	11	13	9,61	3,91
Eu	1,15	1,19	0,15	1,6	1,5	2,62	1,36
Gd	n.d.	n.d.	15,73	n.d.	-	8,35	4,52
Tb	n.d.	2,72	n.d.	0,4	1,9	1,23	0,86
Dy	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	6,92	5,26
Tm	n.d.	2,37	n.d.	n.d.	-	0,52	0,48
Yb	5,88	15,86	10,19	1,8	5,9	3,15	3,01
Lu	0,98	2,60	n.d.	0,34	0,82	0,46	0,46

- = não determinado;
** = lavas ácidas; ♠ = lavas básicas do Platô Taquarembó*
Tabela 3-Tabela com a comparação média de outras lavas ácidas e básicas. Legenda: V. Nova (+) = riolitos da região Santuário (Matos et al, 2002); Snowdon Rhyolites (Caledonites) (◆); Naivasha Rhyolites -Kenya Rift (▼); Granito da Suíte Dom Feliciano (●) (Phillip, 1998); Granito da Suíte Viamão (◓) (Philipp, 1998)
Amostras de lavas básicas = Platô Taquarembó (Wildner, 2002).

Referências

Arculus, R. J. (1976). Geology and geochemistry of the alkali basalt-andesite association of Grenada, Lesser Antilles island arc. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **87**, 612-624.

Arculus, R. J & Curran, E. B. (1972). The genesis of the calc-alkaline rock suíte. *Earth planet, Sci. Letters* **15**, 255-262.

Babinski, M., Chemale, Jr. F.,Van Schmus, W. R., Hartmann, L. A. & Silva, L. C. (1997). U-Pb and Sm-Nd Geochronology of the Neoproterozoic Granit Gnaisse D. Feliciano Belt, *Journal of Scouth America Earth Siences,* **10,** (3-4):263 – 274.

Baker, E. P. (1982). *Evolution and classification of orogenic volcanic rocks. University of Notlingham.* University Park, Notlingham N672RD, Uk.

Bard, J. P. (1980). Microtexturas of igneous and metamorphic rocks. *Americam Geological Institute*, pg.192.

Bitencourt, M. F. & Nardi, L. S. V. (1993). Late to pos-collisional Brasiliano Magmatism in the Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **65**: 3-16.

Bitencourt, M. F. & Nardi, L. V. S. (2000). Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt, *Rev. Bras. Geoc.*, **30**:184-187.

Black, S., Macdonald, R. & Kelly, M. R. (1997). Crustal origin for peralkaline rhyolites from Kenya: eviedence from U-Series Disequilibria and Th-Isotopes. *J. Petrol*. **38**: 277-297.

Bonin, B. (1982). *Ring Complex Granites and Anorogenic Magmatism.* Department of Petrology. Paris: Université Pierre et Marie Curie/ North Oxford Academic. 189p.

Bonin, B. (1987). From orogenic to anorogenic magmatism: a petrological model for the transition calc-alkaline-alkaline complexes. *Revista Brasileira de Geociências***, 17**(4): 366-371.

Bonin, B., Azzouni-Sekkal, A. & Bussy, F. Ferrag, S. (1998). Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constrains and geodynamic settings. *Lithos*., **45**: 45-70.

Chemale, Jr. F. (2000). Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. In: Holz. M.; De Ros, L. F. (eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CIGO – EFRGS. P.13-52

Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R. & Chappell, B.W. (1982). Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contribuition to Mineralogy and Petrology***, 80**: 189-200.

Didier, J. (1987). Contribution of enclaves studies to the understanding of origin and evolution of granitic magmas. *Geologische Rundschau,* **76**:41-50.

Fernandes, L. A., Tommasi, A. & Porcher, C. C. (1992). Deformation patters in the southern Brazilian brach of the Dom felicano Belt; a reappraisal. *Journal of South American Earth Science,* **5**, n.1 p.77-96.

Fujimori, S. (1990). Composição química de rochas e suas aplicações. Salvador. Centro Editorial e Didático da UFBA, 306p.

Fragoso, César A R. (1991). *Tectônica da Placas no Ciclo Brasiliano: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutoramento na Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

Guimarães, D. (1960). Fundamentos de Petrologia e as Rochas Ígneas do Brasil. *Boletim Número* **107,** Rio de Janeiro, 408pg.

Hadj-Kaddour, Z., Liégeois, P., Demaiffe, D. & Caby, R. (1998). The alkaline-peralkaline granitic post-collisional Tin Zebane dyke swarm (Pan-African Tuareg shield, Algeria): prevalent mantle signature and late agpaitic difrentiation., *Lithos*, **45**: 223-244.

Harker, A. (1909). *The Natural History of Igneous Rocks. Methuen and Co*., London.

Hibbard M. J. 1979. Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous fhase saturation in granitie systems. *Geol. Soc. Am. Bull***., 90**: 1047-1062.

Hibbard, M. J. (1980). Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous fhase saturation in granitie systems: Discussion and reply. *Geol. Soc. Am. Bull.,* **91**:673-674.

Hibbard, M. J. (1981). The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral Petrol.,* **76:** 158-170.

Koester, E., Soliani, Jr., E., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Santos, J.O.S. & Oliveira, L. D. (2001). SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences,* **14**: 91-99.

Jakes, P. & White, A. J. R. (1972). Major and trace element abundance in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull*. **83**, 29-40.

Kuno, H. (1968). *Differentiation of basalt magma*. 2. ed. New York, John Wiley, pp. 623-688.

Leat, P.T., Jackson, S.E., Thorpe, R.S. & Stillman, C.J. (1986). Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralcaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. *Geological Society of London*, **143**: 259-273.

Le Maitre, R. W. (2002). *A Classicacion of Igneous Rocks and Glossary of Terme.* Cambridge University Press. 2ª edição.

Liégeois, G.P. (1998). Post-collisional magmatism. *Lithos*, **45**: XV-XVII.

Lofgren, G. (1971b). Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glasses. *Bull. Geol.Soc. Am.,* **82**:111-112

May, G. E. (1990). *Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil, Ph.D.* Thesis, Open University, Milton Keynes, UK, 343p.

Matos, D. F., Lima, E. F. de, Sommer, C. A., Nardi, L. V. S., Liz, J. D., Figueiredo, A.M. G., Pierosan, R. & Waichel, B. L. (2002). Riolitos Neoproterozóicos Pós-Colisionais na Área do Santuário, Sul do Brasil: Litoquímica, Química Mineral e Origem das Heterogeneidades Texturais. *Rev. Bras. Geoc*., **32** (2): 255-266.

MacDonald, R. (1974). Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. In: D.K. Bailey, F. Barbieri, R. MacDonald (eds.). Oversaturated Peralkaline Volcanic Rocks, *Bulletin of Volcanology*. (Special Issue), **38**: 498-516.

MacDonal, R., Davies, G. R., Bliss, C. M., Leat, P. T., Bailey, D. K. & Smith, R. L. (1987). Geochemistry of high-silica peralkaline rhyolites, Naivasha, Kenya Rift Valley. *Journal of Petrology,* **28**:979-1008.

Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A.G. (1984). Trace elements discrimination diagrams for the tectonics interpretations of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**:956-983.

Philipp, R.P., Mesquita, M.J., Gomes, M.E.B. & Almeida, D.P.M. (1993). Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasilianos da região de Pelotas, RS. *Pesquisas*, **20** (1):3-13.

Philipp, R. P. (1998). *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.

Philipp, R. P. & Machado, R. (2001). Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Rev. Bras. Geoc*., **31** (3): 257-266.

Philipp, R. P., Machado, R., Nardi, L. V. S. & Lafon, J. M. (2002). O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brazil: Novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, **32** (2):277-290.

Philipp, R. P., Machado, R. & Chemale, F. Jr. (2003). Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do sul: Implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento. *Rev.Inst. Geoc., USP, Sér. Cient*., São Paulo, **3:**71-84

Silva, L. C., Hartmann, L. A., Mc Naughton, N. J. & Fletcher, I. R. (1999). U-Pb zircon dating of Neoproterozoic granite magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. *Intern. Geol. Review*, **41**:531-551.

Shand, S.J. (1951). *Eruptive rocks,* New York, Jonh Wiley, 233p.

Soliani, Jr., (1986). *Os dados Geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e Suas Implicações de Ordem Geotectônica.* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutoramento, 425p.

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**:245-254.

Taylor, S. & McLennan, S. (1985). *The continental crust: its composition and evolution.* Blackwell, Oxford, 312pg.

Thompson, R. N., Morrison, M. A., Hendry, G.L. & Parcy, S. J. (1984). An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach – *Phil. Treens. R. Soc.Lend.,* **A310**;549-590-Printed in Great Britein.

Vance, J. A. (1962). Zoning in igneous plagioclase: normal and oscillatory zoning. *Am. J. Sci.,* **260**:745-760.

Vance, J. A. (1969). On Synneusis. *Contr. Mineral. And Petrol*., **24**:7-29.

Vernon, R. H. (1990). Crystalization and hybridism in micrograntoid enclave magmas. Microstructural evidence. *Journal of Geophysical Research,* **95**: 17849-17859.

Waight, T.E., Weaver, S.D. & Muir, R.J. (1998). Mid-Cretaceous magmatism during the transition from subduction to extension in southern New Zealand: a chemical and tectonic synthesis. *Lithos*, **45**: 469-482.

Whalen, J.B. & Currie, K.L. 1990. The Topsails igneous suite, western Newfoundland; fractionation and magma mixing in a "orogenic" A-type granite suite. *Geological Society of America,* Special Paper, **246**: 287-299.

Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1976. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol*. **20**:325-343.

Wildner, W., Sander, A, Loper, R.C. (2004). Estudo petrológico e litogeoquímico de uma parcela do vulcanismo ácido Cambriano do Rio Grande do Sul – Formação Acampamento Velho. *Pesquisas*, **21** (1): 47-57.

Wildner, W. & Nardi, L. V. S. (2002). Caracteristicas Geoquímicas e de Posicionamento Tectônico do Magmatismo Neoproterozóico Aflorante no Platô do Taquarembó –RS. *Revista Brasileira de Geociências*, **32** (2) 169-184.

Wildner, W., Nardi, L. V. S. & Lima, E. F. de. (1999). Post-collisional Alkaline Magmatism on the Taquarembó Plateau: a well Preserved Neoproterozoic-Cambrian Plutono-vulcanic Assocition in Southern Brazil. Int. *Geol. Review,* **41**:1082-1098.

Wilson, M. (1989). *Igneous Petrology*. London, Unwin and Hyman, 466p.

Wilson, M. (1993). Magmatic differentiation. Journal of the Geological Society, London, **150**:611-624.

CAPÍTULO IX

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

IX. Discussão

O estudo petrográfico de química mineral e geoquímica do diques ácido, intermediário e básico, rochas encaixantes e enclave das regiões de Piratini e Pinheiro Machado, RS, permitiram caracterizar a natureza do magmatismo que será discutida aqui neste capítulo.

IX.1. *Dados petrográficos dos diques, granitos encaixantes e enclaves*

Estudos petrográficos revelaram a existência de composições *sienograníticas, monzograníticas* e *granodioríticas* para as rochas encaixantes das regiões de Piratini e Pinheiro Machado. Os enclaves apresentam composições micro-monzogranitos, micro-sienogranito e álcali-feldspato granito. Mostram aspectos texturais que variam de porfiríticos inequigranular com leve orientação magmática a equigranular homogêneos (monzogranitos e sienogranitos). Os granodioritos mostram-se inequigranular com estrutura por vezes levemente foliada. Pelas características apresentadas em campo e por apresentar xenólitos de septos metamórficos sugerem ser as rochas mais antigas da área. Os monzogranitos apresentam textura porfirítica a inequigranular, concordantes com às zonas de cisalhamento, com estrutura magmática bem definida pelo alinhamento de megacristais de feldspato alcalino e lamelas de biotita. As relações de campo apresentadas por estes granitos sugerem posicionamento sin a tardi-cinemático ao evento D_2. Os sienogranitos apresentam homogeneidade composicional e estrutural, equigranulares e por vezes apresentam enclaves de micro-monzogranitos a micro-sienogranitos. Estas características sugerem que estes granitos representem a fase magmática plutônica mais tardia do batólito Pelotas.

Os diques da região de Piratini foram classificados como *riolitos, traquitos* e *basaltos* e os da região de Pinheiro Machado como *riolitos, traquidacitos, dacitos, latito* e *basalto*. Nos diques ácidos (riolitos, traquito, traquidacito e dacito) a paragênese principal é representada por feldspato alcalino + quartzo. Estes se fazem acompanhar por acessórios como plagioclásio + biotita + titanita + minerais opacos + zircão + epídoto + apatita + anfibólio, que podem não ocorrer ou aparecem como traços nas lâminas estudadas. Nos diques básicos (basaltos) a paragênese principal é composta por plagioclásio + piroxênio + matriz e como acessórios apatita + minerais opacos + biotita + feldspato alcalino. O dique intermediário(latito) apresenta paragênese com feldspato alcalino + plagioclásio + quartzo e como acessórios anfibólio, clinopiroxênio, biotita, apatita, titanita, minerais opacos e zircão. Os minerais de alteração são caulinita, carbonatos, saussurita, muscovita, sericita e clorita. A matriz dos diques varia preferencialmente de porfirítica com fenocristais de feldspato alcalino e quartzo, a afanítica (nos ácidos) e microcristalina afanítica nos diques básico e intermediário.

Os aspectos e relações texturais descritos em lâmina delgada, permitiram a identificação das paragêneses mineralógicas e diferentes fases de cristalização magmáticas. O intercrescimento mirmequítico é mais comum nos granitos encaixantes, mas ocorre também nos diques intermediário e básico e é caracterizado pelo intercrescimento de plagioclásio e quartzo. Para Hibbard (1979, 1980), este tipo de feição envolve a participação de fluídos magmáticos tardios que cristalizam simultaneamente. O quartzo se apresenta como inclusões no plagioclásio sob duas formas: uma em forma de gotas na parte central do cristal e outra em forma de pequenas agulhas nas bordas. Este crescimento é considerado de natureza deutérica, resultante de reações entre cristais de plagioclásio com resíduos fluídos finais da cristalização da rocha e é freqüente a passagem da mirmequita para o feldspato potássico. De acordo com Guimarães (1960), a concentração de K^+ e SiO^-_2 e CO_2 no final da cristalização é responsável pela reação entre a fase líquida residual e sólida, tornando o plagioclásio instável e que será descalcificado e substituído, em parte, pelo quartzo, e em parte, pelo ortoclásio. A textura poiquilítica ocorre em todas as faciologias estudadas. Este tipo de textura é encontrada principalmente no feldspato

alcalino (fenocristais) e caracteriza-se pela presença de inclusões de plagioclásio, máficos e acessórios. Segundo Bard (1980), esta feição se deve ao crescimento dos cristais a partir da nucleação heterogênea sobre a superfície do cristal hospedeiro. Por outro lado, Vance (1969) e Vernon (1990) consideram que isto pode ser explicado pelo "crescimento mais rápido do feldspato alcalino em relação ao plagioclásio, com o primeiro passando a incorporar o último". A forma como os cristais estão inclusos também indica o tipo de cristalização. A textura micrográfica é mais freqüente nos diques ácidos (riolitos e traquidacitos) da região de Pinheiro Machado, sendo mais rara nos diques da região de Piratini, e ausente nos diques básicos e intermediários. Esta textura observa-se também nos granitos (exceto no sienogranito) de ambas às regiões, embora em menor quantidade. Este tipo de textura reflete o intercrescimento entre o feldspato alcalino e o quartzo onde o este último assume formas gráficas e ocorre como partículas inclusas no feldspato alcalino com a mesma orientação ótica. Alguns autores admitem que este tipo de textura é resultado da cristalização simultânea dos dois minerais (Guimarães, 1960). A grande quantidade de intercrescimento mirmequítico e gráfico observado nas rochas estudadas reflete a circulação de um expressivo volume de líquidos pós-magmáticos enriquecidos em voláteis. Zonamentos observados nos cristais de plagioclásio das rochas estudadas são do tipo normal e inverso e refletem mudanças rápidas das condições de cristalização. Vance (1962) postula que o zonamento normal está ligado à separação da fase volátil do líquido. A migração de novos voláteis gerados tenderia a agitar o líquido, tornando-o mais homogêneo, compensando a difusão de supersaturação do líquido próximo ao cristal de plagioclásio e favorecendo a sua contínua cristalização. Segundo o autor, o volume do núcleo de plagioclásio será maior do que nas bordas. Didier (1987) e Hibbard (1981) consideram este tipo de zonamento como relacionado com a mistura de magmas, pois quando um magma ácido se mistura com um magma básico, os cristais de plagioclásio cálcicos podem apresentar uma borda sódica, podendo também ocorrer o contrário. Cristais zonados de plagioclásio das rochas estudadas possibilitaram calcular a temperatura de cristalização das mesmas utilizando o método de Kuno (1970) e Mathez (1973).

Os diques ácidos de ambas às regiões apresentam textura esferulítica (radiada) (ausente nas demais rochas) que é caracterizada pelo arranjo fibroradial de cristais de feldspato alcalino e quartzo, por vezes com um núcleo central bem definido de quartzo. Este é um processo que ocorre pela acumulação de H_2O e CO_2 na fase final da cristalização de lavas. Se o processo for muito acentuado, com a queda da temperatura aumenta a instabilidade dos cristais de feldspato alcalino, dissolve-se o Ca e Na, com a formação inclusive de zeolitas (que não foram observadas nas amostras) pela fixação da H_2O e OH^-, podendo cristalizar quartzo, calcita e calcedônea. Lofgren (1971b) considera que ocorre desvitrificação sob condições de temperatura de 700˚C, com subsaturação em água. Os hidrossilicatos ferro-magnésianos se formam a partir da hidro alteração dos piroxênios e anfibólios, formando cloritas. A textura glomeroporfirítica felsofirica, encontrada com mais freqüência nos diques ácidos, é caracterizada pela presença de fenocristais euédricos de feldspato potássico e plagioclásio, dispostos em matriz microcristalina.

O mineral acessório mais comum dos diques básicos é a apatita, e em geral, ocorre sob duas formas: uma em forma de agulhas, cortando cristais de piroxênio e plagioclásio e outra idiomórficas inclusas em piroxênios, plagioclásio e na biotita, sugerindo deste modo duas gerações de apatita: uma mais precoce (primária), representada pelas inclusões e, outra, tardia (secundária), representada pelos cristais discordantes.

A matriz microcristalina se faz presente na maioria dos diques estudados. De acordo com Matos *et al.* (2002), este tipo de textura se desenvolve em condições que favorecem plenamente a cristalização em zonas de temperaturas mais elevadas e de maior concentração de voláteis. Consideram ainda que estas características tornam o meio menos viscoso, o que levaria a formação da difusão iônica e torna favorável o crescimento dos cristais.

Nas rochas estudadas foram identificadas três fases de cristalização dos minerais: magmática, tardi-magmática e pós-magmática e também substituições no estado líquidus (magmáticos) e transformações no estado sólido ou sub-sólidus (tardi-magmáticos).

Nas rochas estudadas (granitos e diques) cristais de feldspato alcalino sugerem três estágios de evolução das rochas ígneas: crescimento magmático, transformações no estado sub-sólidus e alteração deutérica. As rochas graníticas estudadas apresentam uma história evolutiva que teve início na fase magmática, onde o feldspato cristalizou na forma de uma solução sólida da série ortoclásio-albita sob condições de baixa temperatura e a presença de geminações mostra condições de cristalização com resfriamento mais lento. Por outro lado, a presença de minerais de alteração a partir dos feldspatos e plagioclásios (carbonatos, caulinita, sericita e saussurita) sugere a presença de uma fase fluída durante o estágio pós-magmático.

De acordo como Vlach (1998) cristais de feldspatos alcalinos homogêneos cristalizam em temperatura relativamente elevada (±750ºC).

Alguns cristais de feldspato alcalino das rochas estudadas apresentam desmistura (exsoluções), o que impossibilitou o cálculo da temperatura de cristalização destes minerais. Entretanto, esta desmistura ocorre no estado-sólido (ou sub-sólidus) representado pelo intercrescimento pertítico originado por processos de exsolução ou de substituição em condições sub-sólidus de plagioclásio por feldspato potássico ou de feldspato potássico por albita revela cristalização em baixa temperatura. A textura microcristalina nos diques revela temperatura elevada (700°C) (Lofgren 1971b). Entretanto, dados de geotermometria obtidos dos núcleos dos cristais de plagioclásio revelam que o magma (ácido e máfico) atingiu temperaturas em torno de 1147°C (ácidos) e 1329°C (básico) (Piratini) e 1181°C (ácidos) a 1384°C (básicos) (Pinheiro Machado) pelo método de Kuno & Weill (1970). Pelo método Mathez (1973) as temperaturas são mais baixas.

IX.1.2. *Química Mineral*

IX.1.2.3. *Granitos Encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado*

Cristais de *feldspato alcalino* do sienogranito, monzogranito e granodiorito (encaixantes) de ambas as regiões apresentam teores na molécula do ortoclásio no intervalo de 97 a 91, com teores mais baixos no granodiorito. As análises ocupam o campo próximo ao pólo ortoclásio no diagrama Or-Ab-An (Figs. 8 e 71). Trocas catiônicas mostram substituição do tipo simples K-Na.

O plagioclásio apresenta composições do tipo albita, oligoclásio e andesina, sendo esta última presente em amostras de granodiorito e monzogranito e ausente no sienogranito.

Estas diferenças na composição química do plagioclásio dos diferentes granitos mostram que dos três tipos, o sienogranito é que aponta para um magmatismo com o liquido mais enriquecido em álcalis, seguido do monzogranito, enquanto que o plagioclásio do granodiorito e dos enclaves sugere cristalização em um líquido com teores de anortita mais elevados. Observa-se que a evolução magmática aponta para um magmatismo final mais evoluído e mais enriquecido em álcalis.

Os vários tipos de zonamentos existentes nos cristais analisados sugerem a ausência de equilíbrio químico entre os sistemas. Entretanto, no sienogranito, predominam zonamento oscilatório normal, o mesmo ocorrendo com o enclave, enquanto que no granodiorito é oscilatório inverso. Isto evidencia a ocorrência de um claro desequilíbrio operante no processo de cristalização magmática.

A *biotita* dos sienogranitos e monzogranitos da região de Piratini apresenta composição intermediária, entre annita e siderofilita, e ocupa o centro do campo destinado às biotitas verdadeiras (Deer *et al.* 1978), com média de fe# = 0,56 e mg# = 0,44. Entretanto, o mg# da biotita dos monzogranitos são superiores ao dos sienogranitos, sugerindo evolução magmática

nos termos mais diferenciados nos últimos. A biotita analisada apresenta algumas substituições catiônicas, entre elas Si por Al^{IV}. De acordo com Stussi & Cuney (1996) substituição do tipo Si por Al^{IV} no sítio tetraédrico é típico de biotita de rochas de associações cálcio-alcalina. No diagrama de caracterização de séries magmáticas e no diagrama discriminante de biotita primária de secundária (Naschit *et al*. 1986), as biotitas estudadas ocupam o campo cálcio-alcalino e campo das biotitas primárias.

A *biotita* dos granitos da região de Pinheiro Machado apresenta um *trend* em direção a annita com a biotita do granodiorito situando-se mais ao centro do diagrama (Fig. 75). A média de fe# dos sienogranitos é 0,91 (intervalos entre 0,89 a 0,92); dos monzogranito é 0,77 (intervalos entre 0,76 a 0,78); dos granodioritos é 0,90 (intervalos entre 0,898 a 0,92). Conteúdos de fe# diferenciados nos granitos mostra claramente que o sienogranito é mais evoluído, seguido do monzogranito e do granodiorito.

Apesar da biotita destes granitos apresentar troca catiônica entre Si e Al^{IV} no sítio tetraédrico, indicativo de associações cálcio-alcalinas, quando plotadas em diagramas de Abdel-Rahman (1994) discriminantes de séries magmáticas, as mesmas situam-se entre os limites dos campos cálcio-alcalino, alcalino e peraluminosos (Fig. 78). De acordo com os conteúdos de TiO_2, FeO+MgO e MgO (Naschit *et al.* 1986) a biotita analisada caracteriza-se como primária.

As *biotitas* dos micro-monzogranito e micro-sienogranito (enclave) mostram teores de biotita verdadeira (Deer *et al.* 1978). As razões Fe/(Fe+Mg) das referidas amostras apresentam uma média de 0,49 (RC-88) e 0,57 (RC-77). O mg# apresenta uma média de 0,50 (RC-88) e 0,43 (RC-77), mostrando caráter mais diferenciado para esta última. Estes teores estão muito próximos dos teores obtidos nos granitos da região de Piratini. No diagrama de Naschit *et al.* (1985) situam-se principalmente no campo das séries magmáticas cálcio-alcalinas, com algumas delas dispondo-se no campo sub-alcalino (Naschit *et al.* 1985) (Fig. 32). No diagrama da figura 33 a biotita analisada ocupa o campo da biotita primária.

Os cristais de zircão analisados em sienogranitos, monzogranitos e granodioritos da região de Piratini, apresentam leve zonamento, evidenciado, sobretudo pela presença de auréolas pleocróicas, representando prováveis zonas de crescimento. Entre os tipos graníticos, o sienogranito apresenta teores mais elevados em Y_2O_3 e terras raras. Os zonamentos sugerem que seja o resultado das mudanças de conteúdos em zircônio no liquido durante o período de cristalização, além das mudanças de condições termodinâmicas (Watson 1979).

A apatita *dos granitos encaixantes de dos enclaves na região de Piratini é fluorapatita, com F no intervalo de 1,87 a 2,65 (%) para os granitos e, no intervalo entre 1,76 a 2,84 (%) nos enclaves. O Na_2O apesar de ser um componente com % baixa, os teores são mais elevados nos enclaves, situando-se no intervalo entre 0,01 a 0,19 %, enquanto nos granitos é entre 0,00 a 0,08 %. Uma diferença significativa entre as apatitas dos granitos e dos enclaves é os teores de Y_2O_3. Nos termos graníticos os teores de $Y_2O_3 < 0,32$ (%) são significativamente inferiores aos dos enclaves ($Y_2O_3 < 0,75$ %). Observa-se que os monzogranitos apresentam teores mais elevados em Y_2O_3, Ce_2O_3 e La_2O_3 do que os granodioritos. Os sienogranitos são mais empobrecidos nestes elementos. Por outro lado, o micro-monzogranito é mais enriquecido nestes elementos quando comparado com o micro-sienogranito.*

IX.1.2.4. Diques Ácidos da Região de Piratini e Pinheiro Machado

Dados analíticos de cristais de *feldspato alcalino* dos diques da região de Piratini e Pinheiro Machado mostram composição que varia de ortoclásio, sanidina e anortoclásio, com os resultados das análises situam-se ao longo da linha Ab-Or (Figs. 36 e 80), entretanto o teor da molécula de Or é mais elevado no feldspato alcalino dos diques ácidos da região de Piratini

quando comparados com os diques da região de Pinheiro Machado. Os cristais menores de sanidina devem representar a cristalização dos primeiros feldspatos no liquido magmático.

De acordo com Deer *et al.* (1995), a variação nos teores das moléculas Or-Ab-An e o posicionamento das análises ao longo da linha Or-Ab é um comportamento característico de minerais de rochas vulcânicas que foram envolvidos por processos de reequilíbrio durante a cristalização magmática. Os diagramas de trocas catiônicas mostram substituição do tipo simples albita-ortoclásio.

O diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%) (Figs. 37 e 81) mostra correlação positiva, onde os riolitos mostram-se mais evoluídos quando comparados com o traquito e traquiandesito. As trocas catiônicas ocorrem entre K e Na (*a.f.u.*) e sugerem substituição do tipo simples entre o Na e K no sítio M (Figs. 38 e 82).

Os perfis realizados entre núcleo e borda dos cristais mostram que a medida que ocorre a cristalização destes minerais, o líquido magmático torna-se mais enriquecido na componente ortoclásio.

Alguns fenocristais de ortoclásio com bordas de reação (riolitos de Piratini) sugerem ter sido caputurados das encaixantes, durante o percurso da ascensão do magma. Isto sugere a existência de processos de contaminação por assimilação e interação entre líquidos, promovendo assim modificações da composição química primária do magma gerador dos diques ácidos. Entretanto, a evolução magmática ocorrida durante a cristalização dos feldspatos pode ser também observada em análises realizadas no centro, porção intermediária e borda de alguns fenocristais, conforme sugerido pelo zonamento exibido pelos cristais. Os mesmos mostram o aumento no teor da componente ortoclásio em direção às bordas sugerindo enriquecimento em potássio no liquido durante a cristalização destes cristais.

Selecionaram-se cristais de plagioclásio de matriz possíveis de serem analisados quimicamente, fazendo-se perfis entre centro e borda. Os diques rioliticos da região de Piratini apresentam teores na composição da molécula de anortita no intervalo de $An_{2,28}$ a $An_{12,72}$ e caracterizam plagioclásio do tipo albita e oligoclásio (Fig. 39), enquanto que os diques ácidos da região de Pinheiro Machado apresentam conteúdos de anortita de composição do tipo albita ($A_{1,0-10}$) como principal plagioclásio (Fig. 74).

O zonamento predominante do plagioclásio nos diques ácidos de Piratini é do tipo normal, ocorrendo entretanto, zonamento inverso subordinado (Tab. 32). O plagioclásio dos diques ácidos de Pinheiro Machado apresenta zonamento normal. Observa-se que a componente Ab do plagioclásio torna-se mais enriquecida à medida que ocorre o crescimento do cristal, sugerindo cristalização num meio mais alcalino, conforme apontam os óxidos de Ca e Na. A troca catiônica ocorre entre a molécula de Ca por Na, no sítio M.

Cristais de *biotita* foram analisados apenas nos diques ácidos da região de Piratini. Estes cristais formam um *trend* entre os pólos da annita e siderofilita e mostram composição intermediária entre estas duas componentes. A média de fe# é 0,95 (%) (entre 0,89-0,99); a média do mg# é 0,11 (%) (entre 0,002-0,09). O baixo índice de magnésio evidencia caráter mais evoluído para este grupo, comparado com as demais biotitas analisadas. O diagrama mg# *versus* fe# (Fig. 44) mostra uma correlação negativa, refletindo magmas mais evoluídos. E, no diagrama de Abdel-Rahman (1994) a biotita analisada das amostras de traquito e riolito ocupa os campos das suítes alcalina e peraluminosa (Fig. 46). Observa-se que a biotita dos diques ácidos de Piratini mostra quimismo diferente da biotita dos granitos encaixantes da mesma região, porém muito próximo do quimismo da biotita da região de Pinheiro Machado.

O diagrama triangular 10* TiO_2 – FeO+MnO – MgO (%) (Naschit *et al.* 1986) mostra a existência de uma evolução completa entre as biotitas, com a presença de biotitas primárias e secundárias (Fig. 47).

A análise de centro e borda de dois cristais de *zircão* de traquito e riolito (região de Piratini) mostra que os conteúdos de Sm, Nd, Gd e Yb são mais elevados nas bordas dos cristais

evidenciando que os líquidos tardios mostram-se mais enriquecidos em elementos terras raras (Watson 1979).

IX.1.2.5. Diques Básicos e Intermediários da Região de Piratini e Pinheiro Machado

Nos diques básicos, embora o feldspato alcalino seja raro, foi possível analisar quimicamente em amostras de basalto de Piratini e na amostra de latito (intermediário) de Pinheiro Machado.

Foram analisados núcleo, porção intermediária e borda dos cristais de ambas as rochas (Tabs.35 e 63). Nos diagramas das figuras 48 e 84, os cristais de feldspato alcalino plotam ao longo da linha Ab-Or e mostram a existência de pequenas exsoluções sódicas no interior de porções mais potássicas. Este tipo de comportamento é também observado no feldspato alcalino dos diques ácidos descritos anteriormente. Neste caso, sugere-se mudanças nas condições do magma ou de suas condições físico-químicas durante a cristalização dos mesmos (Deer et al. 1995). De acordo com Spear (1993) isto pode proporcionar substituições na estrutura do cristal do tipo simples – KNa_{-1}= ortoclásio-albita ou dupla – $NaSiCa_{-1}Mg_{-1}$ = albita – anortita.

O diagrama SiO_2 *versus* Al_2O_3 (%), para o feldspato alcalino, mostra uma correlação fortemente positiva (Fig. 85). O diagrama de troca catiônica entre Na e K (Fig. 86) revela substituição da componente Na pelo K no sítio M. Os perfis realizados em fenocristais de feldspatos alcalinos sugerem que à medida que ocorre a cristalização, o líquido magmático tornava-se mais enriquecido na componente K (Tab. 63).

O *plagioclásio* do basalto de Piratini caracteriza-se como andesina, labradorita e albita (este último disposto na matriz), enquanto que o basalto de Pinheiro Machado, além destes citados, também ocorre oligoclásio. O que os diferencia do plagioclásio dos granitos, são os altos teores na molécula de anortita. As composições de anortita no intervalo de 42,97-58,50 (%) podem representar o início da cristalização magmática. Este tipo de cristalização mostra claramente que à medida que ocorre a formação do plagioclásio, o magma vai se empobrecendo em cálcio com um leve enriquecimento em sódio que pode ser observado com a presença da albita. Observa-se, entretanto, que ocorrem zonamentos do tipo inverso. Neste caso, devemos considerar que deve ter ocorrido desequilíbrio nas condições operantes de temperatura durante a cristalização, sugerindo temperaturas mais elevadas ou mais baixas, dependendo dos teores de anortita situados nos núcleos dos cristais em relação às suas bordas. O principal tipo de substituição nos plagioclásio destes diques é do tipo albita-anortita no sítio M.

Com base nos conteúdos de anortita e ortoclásio em cristais de plagioclásio de basaltos que cristalizaram precocemente, de acordo com Corwin *et al.* (1986), é possível correlacionar com teores de K_2O do líquido basáltico (Petrini *et al*. 1987*)* para se obter informações sobre a contaminação crustal. O diagrama da figura 97-A apresenta correlação negativa para o plagioclásio que cristalizou mais cedo, enquanto no diagrama 97-B a correlação é levemente positiva. De acordo com os autores, este tipo de comportamento nos diagramas, é sugestivo que ocorreu contaminação crustal por componentes graníticas e, que está contaminação ocorreu em menor parte antes da cristalização do plagioclásio.

Foi analisada *biotita* do dique intermediário (latito) e a mesma ocupa o campo das biotitas verdadeiras (Deer *et al.* 1978). A média do índice de magnésio e índice de ferro é: mg# = 0,54 (%) e fe# = 0,43 (%). O mg# da biotita apresenta intervalo de 0,53 a 0,56 (%); e o intervalo do fe# é 0,44 a 0,47 (%). A biotita analisada apresenta característica peraluminosa e cálcio-alcalina e mostra uma evolução completa, com a formação de biotita magmática e tardi-magmática (Fig. 92). Observa-se que o quimismo da biotita do latito está próximo do quimismo da biotita dos granitos da mesma região (Pinheiro Machado).

Foram analisados cristais de *piroxênio* de basalto somente da região de Piratini, e o mesmo apresenta composição clinopiroxênio augita. As análises em cristais mostram a

diminuição dos teores de TiO_2 do centro para as bordas dos cristais. Esta variação química sugere cristalização do piroxênio em um líquido magmático substaurado em sílica e sob condições progressivamente mais evoluídas. Os teores elevados de Al_2O_3 (entre 1,55-6,48 %) e de TiO_2 (entre 0,70-3,28 %) são características de associações magmáticas alcalinas (Kushiro1960). As substituições catiônicas dos cristais de piroxênio estudados sugerem ser do tipo tschermakita (Spear 1993).

Foram analisados cristais de *anfibólio* de basalto da região de Piratini e do latito (intermediário) da região de Pinheiro Machado. O primeiro ocupa preferencialmente o campo *ferro-hornblenda,* anfibólio essencialmente cálcico, e o segundo apresenta composição magnésio-hornblenda e tschermakita.

O *anfibólio* do basalto apresenta conteúdos de Ca e Ti *(a.f.u.)* inferiores do anfibólio do latito. Estas características, em ambas as rochas, sugerem fases de cristalização em condições de baixa fO_2 (Helz 1982). No diagrama proposto por Leake (1971) o anfibólio do basalto ocupa o limite entre o campo magmático e não magmático, enquanto que o anfibólio do latito mostra característica magmática.

Os cristais de apatita dos basaltos de Piratini apresentam composições de fluorapatita, com teores de F entre 1,15-2,23 (%), que são inferiores aos dos termos graníticos e dos enclaves. O Na_2O apresenta teores abaixo de 0,47%, mostrando-se, entretanto, mais elevado que os demais litotipos estudados. O Y_2O_3 apresenta teores entre 0,04 – 0,22 %, e os elementos terras raras (ETR) Ce_2O_3 e La_2O_3 entre 0,07 – 0,58 % e 0,37 %, respectivamente, com este último mostrando-se mais elevado dos demais litotipos. Sugere-se que o decrescimento em CaO % e o aumento em teores de ETR na estrutura da apatita durante a cristalização (observado nas apatitas mais tardias) resulta do excesso de Ce_2O_3 e La_2O_3 no líquido e a carência de minerais de coordenação compatível para associar-se com os mesmos (como titanita, zircão, epídoto) que ocorrem como minerais primários. Ou ainda a interação do magma máfico durante a ascensão resultando na incorporação dos elementos terras raras vindos da dissolução de magmas das encaixantes (Chapman et al. 1996).

A tabela 70 apresenta os minerais analisados quimicamente nas rochas estudadas.

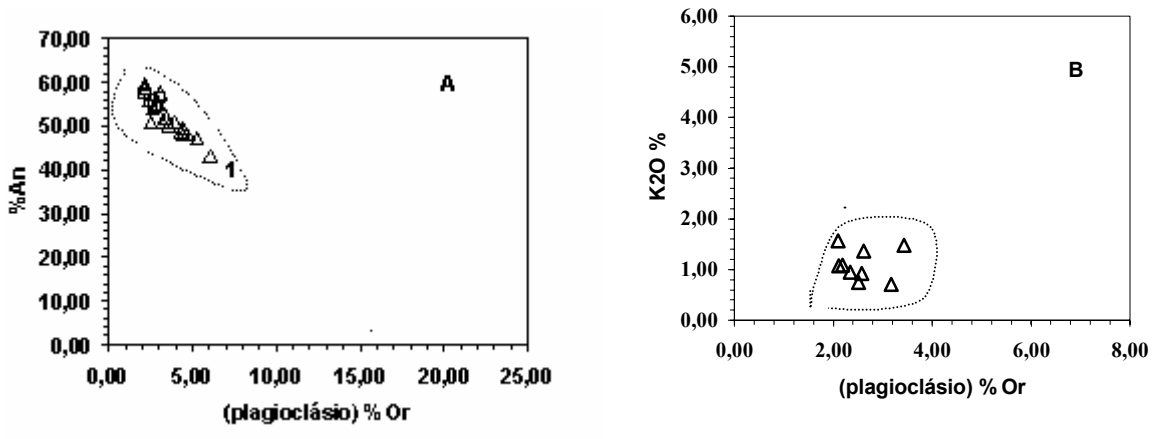


Figura 97. Diagrama % de ortoclásio no plagioclásio versus % An para a cristalização do plagioclásio dos diques básicos (A) e % de ortoclásio no plagioclásio versus K_2O de rocha total (%) (B) da região de Piratini, RS. Simbologia: Δ = basaltos.

Minerais→ Rochas↓	Feld.alcalino	Plagioclásio	Piroxênio	Anfibólio	Micas	Apatita	Zircão
*Granodiorito	Ortoclásio	Albita, oligoclásio e andesina	---		Biotita	Fluorapatita	zircão
*Monzogranito	Ortoclásio	Albita, oligoclásio eAndesina	---		Biotita	Fluorapatita	zircão
*Sienogranito	Ortoclásio	Albita, oligoclásio	----		Biotita	Fluorapatita	zircão
Enclaves (P.)		Oligoclásio e andesina			Biotita	Fluorapatita	
Basalto (P.)		Albita, andesina e labradorita	Augita	Ferro-hornblenda		Fluorapatita	
Latito (P. M.)	Ortoclásio e anortoclásio			Magnésio-hornblenda e tschermakita	Biotita		
Basalto (P.M.)		Albita, oligoclásio, andesina e labradorita					
*Riolito, traquito, traquidacito e dacito	Ortoclásio, sanidina e anortoclásio	Albita e oligoclásio					zircão

Tabela 70. Minerais das rochas analisados quimicamente.

P. = Piratini; * =Pinheiro Machado e Piratini; P.M.= Pinheiro Machado

IX.1.3. Geoquímica das Rochas Estudadas

São aqui discutidos os resultado das análises químicas de rocha total preferencialmente dos diques (ácidos, básico e intermediário) de ambas as áreas estudadas. São considerados também os dados geoquímicos dos granitos encaixantes.

IX.1.3.4. Diques Ácidos e Granitos Encaixantes da Região de Piratini e Pinheiro Machado

Os dados de geoquímica mostram a existência de magmatismo diferente para os diques ácidos da região de Piratini e de Pinheiro Machado. Os riolitos e traquitos da região de Piratini apresentam características de filiação magmática de tendência alcalina, enquanto que os diques ácidos de Pinheiro Machado (riolitos e dacito) representam magmatismo cálcio-alcalino alto-K com o traquidacito moderadamente alcalino. Os granitos encaixantes de ambas as áreas, apresentam magmatismo do tipo cálcio-alcalino, subordinados de alto-K e caráter fracamente metaluminoso a levemente peraluminoso. O intervalo do índice agapaítico (IGA#) dos diques

ácidos de Piratini (0,57 a 0,67 %) mostra-se superiores aos ácidos de Pinheiro Machado (0,31 a 0,54 %).

No diagrama de Winchester & Floyd (1976) os diques ácidos de Piratini ocupam o campo dos comenditos e de acordo com Le Maitre (2002) é uma variedade de riolito peralcalino. Entretanto, o mesmo autor considera que o termo peralcalino é usado para rochas que tenham quantidades moleculares de $Na_2O + K_2O$ maior que Al_2O_3 e IGA# em torno de 1. Embora os diques estudados não apresentam estas características, o autor considera que variedades comendíticas ocupam no TAS o campo dos riolitos e apresentam $Al_2O_3 > 1.33$ x FeO total. Os riolitos de Piratini apresentam estas características.

Na busca de características distintivas entre as rochas estudadas utilizou-se diagramas de variação química. Considerando-se mg# das rochas, os diques ácidos de Piratini apresentam teores entre 0,01 a 0,13 (%) e os ácidos de Pinheiro Machado de teores entre 0,01 a 0,14 (%). De acordo com Jaques & Greem (1979) e Takahaski & Kushiro (1983) magmas mais evoluídos apresentam conteúdos máximo de mg# de 0,50, e magmas basálticos primários derivados de peridotitos mantélicos, apresentam conteúdos entre 0,74 - 0,80 de mg#. As rochas graníticas de Pinheiro Machado apresentam mg# entre 0,02 a 0,12 (%) mostrando-se mais evoluídas se comparadas com as graníticas de Piratini. Em síntese, o mg# que corresponde ao termo ácido mais evoluído, é representado pelos diques de Piratini.

Os diagramas dos ETR, para as rochas da região de Piratini, foram normalizados para os valores do condrito conforme Haskin *et al*. (1984) e mostram padrões dos granitos encaixantes muito similares aos dos diques ácidos, exibindo forte anomalia negativa de Eu e mesmo comportamento de ETR leves. Nota-se, entretanto, conteúdos ligeiramente mais elevados nos ETR pesados dos diques ácidos. Observa-se uma diminuição significativa nos teores de ETR leves para os diques ácidos mais ricos em SiO_2 e a anomalia negativa do Eu aumenta acentuadamente nos termos mais diferenciados. Os padrões de ETR dos diques ácidos são semelhantes aos encontrados em associações comendíticas descritas em diferentes partes do mundo. Nestas regiões, os autores propõem que a assinatura dos ETR esteja relacionada aos processos de fracionamento mineral, principalmente de feldspatos (Parker 1983, Civetta *et al.* 1998).

Os elementos terras raras dos diques ácidos e dos granitos encaixantes da região de Pinheiro Machado foram normalizados pelo condrito de Taylor & McLennan 1985 e mostram padrão de ETR semelhantes ao de Piratini embora com algumas variações. A presença de anomalias negativas em Eu nos diques riolitos, traquidacitos e granitos (de ambas as regiões) traduzem a importância do fracionamento de feldspato durante a cristalização magmática. O fracionamento dos ETR leves nestas litologias sugere cristalização precoce de minerais acessórios como apatita, zircão e epídoto, confirmando assim os dados petrográficos. Por outro lado, o padrão fracionado do diorito é compatível com o fracionamento produzido por minerais ferromagnesianos.

Os diagramas multi-elementares com a distribuição dos elementos incompatíveis mostram padrão semelhante para os diques ácidos e granitos de ambas regiões estudadas.

O dacito apresenta anomalia negativa em Ti, Nb e levemente em Sr. Anomalia positiva em Ba e La e mostram-se enriquecidos em K e Rb.

A semelhança nos diagramas multi-elementares entre os padrões dos riolitos e granitos da região de Pinheiro Machado sugerem algumas afinidades magmaticas entre eles, apesar dos últimos serem mais enriquecidos em Ba. Por outro lado, o padrão dos traquidacitos é semelhante ao das lavas ácidas de Piratini, sugerindo tratar-se igualmente de magmatismo alcalino com características peralcalinas.

IX.1.3.5. Diques Básicos e Intermediários da Região de Piratini e Pinheiro Machado

Os basaltos da região de Piratini e de Pinheiro Machado apresentam características de magmatismo de filiação transicional (alcalina e cálcio-alcalina) e ambos possuem caráter fortemente metaluminoso. O dique intermediário (latito) de Pinheiro Machado apresenta magmatismo moderadamente alcalino.

O mg# dos basaltos de Piratini apresentam intervalo entre 0,17 e 0,24 (%) e o basalto e o latito de Pinheiro Machado apresentam mg# de 0,42 e 0,01 (%).

Nos diagramas dos ETR normalizados pelo condrito (Taylor & McLennan 1985) os basaltos apresenta padrão homogêneo, levemente horizontalizado e leve anomalia negativa em Tb com valores baixos nos ETR pesados. O latito apresenta-se mais enriquecido nos ETR leves e teores mais elevados em La e Ce, forte anomalia negativa em Tb e empobrecida ETR pesadas quando comparado com o basalto e o dacito.

Diagramas multi-elementares (Sun 1982) mostra para o basalto anomalia positiva em Ba, Ti, Sr, Eu e La e levemente enriquecido, em relação ao condrito, em K, Nd e Zr. A anomalia positiva em Eu pode ser pela presença do anfibólio (Hanson 1978).

IX.2. Conclusões

Os resultados obtidos dos estudos realizados neste trabalho podem ser sintetizados conforme as seguintes considerações:

✳ Os conjuntos de diques das duas regiões, de um modo geral, preenchem fraturas extensionais de direção N10-40°W e N-S (diques de Piratini) e direção N35-40°W e N20-32°E (diques de Pinheiro Machado). Encontra-se alojados em monzogranitos, sienogranitos e granodioritos preferencialmente das Suítes Dom Feliciano e Viamão. Apresentam espessuras variadas, desde decimétrica a métrica e extensão até quilométrica.

✳A região de Piratini é composta por dois grupos distintos de diques, um de caráter ácido e outro básico, caracterizando magmatismo do tipo bimodal com um *gap* em SiO_2 entre 48 a 63 (%). Os diques ácidos são classificados como riolitos e traquitos e são constituídos essencialmente por quartzo+feldspato alcalino. Apresentam matriz porfirítica e microcristalina. As principais texturas são glomeroporfirítica felsofírica e esferulítica. Os diques básicos são classificados de basaltos e são constituídos essencialmente por plagioclásio+piroxênio em matriz geralmente microcristalina com texturas ofítica, subofítica, mirmequitíca e intersertal.

✳ A região de Pinheiro Machado apresenta diques dominantemente de caráter ácido compostos por riolitos, e amostras subordinadas de traquidacitos e dacito. Dique básico é representado por uma amostra de basalto e dique intermediário, por latito. Os diques ácidos são constituídos essencialmente por quartzo+feldspato alcalino+plagioclásio e as principais texturas são esferulítica e micrográfica. O basalto é composto por plagioclásio+piroxênio e apresenta texturas do tipo ofítica e subofítica. O latito é composto por feldspato alcalino+plagioclásio e textura glomeroporfíritica felsofírica e matriz microcristalina.

✳ Os dados de composição química dos piroxênios dos basaltos de Piratini permitiram classifica-los como augita. De acordo com Kushiro (1960) teores elevados de Al_2O_3 (entre 1,55-6,48 %) e de TiO_2 (intervalos de 0,70-3,28 %) são característicos de associações magmáticas

alcalinas. O plagioclásio apresenta composição de albita, andesina e labradorita**.** A temperatura obtida para a cristalização do plagioclásio dos basaltos admite que a lava máfica atingiu temperaturas no núcleo na ordem de 1329°C (Kudo e Weill 1970) a 1284°C (Mathez 1973). A química mineral permite classificar o anfibólio como ferro-hornblenda e o mesmo apresenta características magmáticas, tardi ou pós-magmáticas. Os teores de Ca e conteúdos em Ti *(a.f.u)*, de acordo com Helz (1982), anfibólios com estas características sugerem fases de cristalização em condições de baixa fO_2.

A temperatura obtida para a lava ácida dos diques de Piratini é de 1147°C (núcleo) (Kuno e Weill 1970) e 1122°C (núcleo) (Mathez 1973).

✳A composição química do plagioclásio do basalto da região de Pinheiro Machado classifica como albita, oligoclásio, andesina e labradorita. A temperatura de cristalização no núcleo dos cristais de plagioclásio é de 1384°C (núcleo –Kudo e Weill 1970) e 1335°C (núcleo – Mathez 1973). O anfibólio analisado no dique intermediário (latito) apresenta composição química de magnésio-hornblenda e tschermakita. Teores de Ca e os conteúdos em Ti (a.f.u.) caracteriza fases de cristalização em condições de baixa fO_2 (Helz 1982).

✳ A biotita quando utilizada em diagramas de classificação de séries magmáticas caracteriza os seguintes tipos de magmatismo:

- granitos de Piratini: cálcio-alcalino (biotita primária)
- enclaves: cálcio-alcalino e sub-alcalina (biotita primária)
- diques ácidos de Piratini: suíte alcalina e peraluminoso (biotita primária e secundária).
- granitos de Pinheiro Machado: suíte peraluminosa e alcalina (biotita primária)
- dique intermediário (latito) de Pinheiro Machado: suíte alcalina e cálcio-alcalina (biotitas primária e secundária)

✳ Quanto à evolução, o índice de magnésio (mg#) revela basicamente dois conjuntos de rochas:

- Os diques ácidos de Piratini mostram-se mais evoluídos, com teores do mg# entre 0,009 a 0,13 (%) e os teores do mg# dos básicos entre 0,25 a 0,42 (%).
- Os diques ácidos de Pinheiro Machado mostram teores de mg# de 0,01 a 0,26 (%), o intermediário de 0,09 (%) e o básico de 0,42 (%) representando o grupo de diques menos evoluído.
- Granitos de Piratini mostram mg# de 0,17 a 0,24 (%) e os de Pinheiro Machado entre 0,02 a 0,12 (%), estes últimos mostrando-se mais evoluídos.

✳ Quanto ao teor de alcalinidade (índice agpaítico) as rochas apresentam o seguinte comportamento:

- Diques ácidos de Piratini apresentam IGA no intervalo 0,57 a 0,67 (%) e os básicos de 0,23 a 0,35 (%).
- Diques ácidos de Pinheiro Machado apresentam IGA no intervalo 0,31 a 0,55 (%) o intermediário 0,42 (%) e o básico de 0,13 (%).
- Granitos de Piratini mostram IGA de 0,43 a 0,64 (%) e os de Pinheiro Machado de 0,50 a 0,52 (%).
- De acordo com os teores do IGA, os diques e granitos de Piratini apontam para um magmatismo mais alcalino.

✳ Dados de geoquímica (ETR) caracterizam anomalias negativas em Eu nos granitos e diques ácidos (menos o dacito) de Piratini e Pinheiro Machado e traduzem a importância do fracionamento de feldspato durante a cristalização magmática. O fracionamento dos ETR leves sugere cristalização precoce de minerais acessórios como apatita, zircão e epídoto, confirmando assim os dados petrográficos. Por outro lado, o padrão fracionado do dacito, latito e diques básicos, é compatível com o fracionamento produzido por minerais ferromagnesianos.

✳ Dados de geoquímica dos diques ácidos de Piratini caracteriza magmatismo de natureza alcalina (comendítica), corroborando com a química mineral das biotitas, que apresenta magmatismo alcalino e peraluminoso. Os basaltos caracterizam-se com magmatismo transicional.

✳ Entretanto, dados geoquímicos da região de Pinheiro Machado caracterizam magmatismo de natureza cálcio-alcalino alto-K (riolitos e granitos), alcalina com tendência peralcalina (traquidacitos e latito) e transicional (basalto), entre alcalina e sub-alcalina. Apesar do pequeno número de amostras aqui analisado, os dados obtidos são similares ao do magmatismo caracterizado em outras regiões do escudo-sul-riograndense.

✳ Granitos e diques ácidos de ambas as regiões representam um conjunto relativamente homogêneo com relação aos conteúdos dos ETR mostrando conteúdos mais acentuados de ETRL, anomalias fortemente negativas de Eu e valores muito baixos de ETR pesados.

✳ O comportamento geoquímico dos elementos nos diagramas multi-elementares pode ser comparado com padrão semelhante aos basaltos de ilhas oceânicas (IOB).

Os diagramas multi-elementares com a distribuição dos elementos incompatíveis para os diques ácidos, básicos e granitos, normalizados pelo condrito (Sun 1982) mostram as seguintes diferenças:

O padrão dos diques ácidos e dos granitos mostra-se similar, com anomalias negativas em Ba, Sr, Eu, Ti, Sc e Ni e mostram-se enriquecidos, em relação ao condrito, em K, Rb, Zr, Y e Tb.

O padrão dos diques básicos apresenta anomalias positivas em Ba, Ti, Sr, Eu e La e levemente enriquecido, em relação ao condrito, em K, Nd e Zr. A anomalia positiva em Eu pode ser pela presença do anfibólio (Hanson 1978).

✳A grande variação dos teores dos elementos maiores e menores com relação a variação dos teores de sílica sugere que estas rochas foram geradas por fusão parcial de rochas crustais continentais.

✳Finalmente, a provável correlação dos diques ácidos aqui estudados com as suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas sugere tratar-se de um magmatismo com características tectônicas tardi-a pós-colisional ao ciclo brasiliano. Isto é reforçado pela disposição das rochas aqui estudadas no campo de granitos intra-placas de Pearce *et al.* (1984).

Referências Bibliográficas

ABDEL-RAHMAN A. F. M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *J. Petrol.,* v. 35, p. 525-541, 1994.

ANDERSON, J. L.; BENDER, E. E. Nature and origin of proterozoic A-type granitic magmatism in the south Western USA. *Lithos*, v. 23, p. 19-52, 1989.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR. F.; VAN SCHMUS W. R.; HARTMANN, L. A.; SILVA L. C. U-Pb and Sm-Nd Geochronology of the Neoproterozoic Granit Gnaisse D. Feliciano Belt, *Journal of Scouth America Earth Siences*, v. 10, p. 263 – 274, 1997.

BAKER, D. R. Granitic melt viscosity and dike formation. *J. Struct. Geol.*, v. 20, p. 1395-1404. 1998.

BAKER, D. R. & VAILLANCOURT, J. The low viscosities of F + H_2O-bearing granitic melts and implications for melt extraction and transport. Earth Planet. *Sci. Let*. V. 132, p. 199-211. 1995.

BARBARIN, B. A review of the relationships between granitoi types, their origins and their geodynamic enviroments. *Lithos,* 43, n. 3, p.605-626, 1999.

BARBARIN, B. & DIDIER, J. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. Transactions of Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences*, v. 83, p. 145-153. 1992.

BARD, J. P. Microtexturas of igneous and metamorphic rocks. Americam Geological Institute, 1980.192p.

BARKER, D. Composition of granophyre, myrmekite, and graphic granite. *Geol. Soc. América Bull,* v. 81, p. 3334-3350, 1970.

BARKER C. E.; BOSTICK, N. H. Igneous and metamorphic- petrology. *Geology (Boulder),* v. 11, p. 384, 1983.

BARNES C. G.; BARNES M. A.; KISTLER W. Petrology of the Caribou Mountain Pluton, Klamath Mountains, California. *Journal of Petrology,* v. 33, Part 1, p. 95-124, 1992.

BARNES S. J. & SAWUER G. W. An alternative model for the Damara Modile Belt. Ocean crust subdction and continental convergence. *Precambrian Resarch,* v.13, n. 4, p. 297-336, 1980.

BITENCOUT M. F.; GASTAL M. C. P.; KIRCHEIN, R. E.; COSTA K. B.; TOLEDO F. A. L. Reavaliação preliminary das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DEL NEOPROTEROZÓICO CAMBRIANO DE LA CUENCA DEL PLATA. I., LAS PALOMAS. 1993. Minas, *Boletim de Resumos Expandidos*, v. 2, n. 34, p.6, 1993.

BLACK R.; LIÉGEOIS J.P. Cratons, mobile belts, alkaline rocks and continental lithospheric mantle: the Pan-African testimony. *Journal Geological Society of London*, v. 150, p. 89-98, 1993.

BLACK S.; MACDONALD R.; KELLY, M.R. Crustal origin for peralkaline rhyolites from Kenya: a eviedence from U-Series Disequilibria and Th-isotopes. *Journal of Petrology*, v. 38, p. 277-297, 1997.

BONIN B. From orogenic to anorogenic magmatism: a petrological model for the transition calc-alkaline-alkaline complexes. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 17, n. 4, p. 366-371, 1987.

BONIN B.; AZZOUNI-SEKKAL A.; BUSSY F. FERRAG S. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constrains and geodynamic settings., *Lithos*, v. 45, p. 45-70, 1998.

BOULLIER A.M.; LIÉGEOIS J.P.; BLACK R., FABRE J.; SAUVAGE M.; BERTRAND J.M. Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction-related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adras des Iforas, Mali). *Tectonophysics*, v. 132. p. 233-246, 1986.

BROWN W. L.; PARSON I. Feldspar in Igneous rocks. In: Parson, I. (ed.), Feldspar and their reactions, NATO ASI Series, klumer academic publishers, London, 449-499. 1994.

CHAPMAN & HALL. Rare earth minerals. Chemistry, origin and ore deposits. *The Mineralogical Society Series*, v. 7, 1996.

CIVETTA L.; D'ANTÔNIO M.; ORSI G.; TILTON G. R. The geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Island, Silicy, Channel: petrogenesis and characteristics of the mantle source region. *Journal of Petrology*. v. 39, p. 1453-1491,1998.

COLLINS, W.J.; BEAMS, S.D.; WHITE, A.J.R.; CHAPPELL, B.W. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contribuition to Mineralogy and Petrology*, v. 80, p. 189-200, 1982.

CORDANI, U. G.; HALPEM M.; BERENHOLC M. Comentários sobre as determinações geocronológicas da folha Porto Alegre. In: Carta Geológica do Brasil ao milionésimo, folha Porto Alegre (SH-22) e folha Lagoa Mirim (SI-22), Brasília, DNPM, Ministério das Minas e Energia, p. 70-84. 1974.

CORWIN, C.C.; FODOR, R. V.; ROISENBERG, A. Silicate-phases compositions in the Serra Geral (Paraná) continental flood-basalt province, southern Brazil. *Neues Jahr. Miner. Abh.,* v. 154, p. 57-73, 1986.

DALL'AGNOL, R; MACAMBIRA, M. J. B. Titanita-biotita granites do baixo rio Uaupés, província Rio Negro, Amazonas. Parte I: geologia, petrografia e geocronologia. *Revista Brasileira de Geociências.* v. 22, n. 1, p. 3-14, 1992.

DEBON, F.; LE FORT, P. A chimical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences,* v. 73, n. 1, p. 135-149, 1983.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMANN, J. *An Introduction of the Rocks-Forming Minerals.* Second Edition. London. Longman, 1995. 560p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMANN, J. *An Introduction of Rocks-Forming Minerals.* Second Edition. Longman Scientific & Tecnical, 1978. 696p.

DIDIER, J. Contribution of enclaves studies to the understanding of origin and evolution of granitic magmas. *Geologische Rundschau,* v. 76, p. 41-50, 1987.

DIDIER, J.; BARBARIN, B. The different types of enclaves in granites - Nomenclature. In: Didier, J. & Barbarin, B. (Eds) Enclaves and Granite Petrology. *Elsevier, Amesterdam,* p. 19-23, 1991.

DROOP, G. T. R. A general equation for estimating Fe^{+3} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine,* v. 51, p. 431-435, 1987.

EBY, G.N. The A-type granitoids: a rewiew of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis, *Lithos,* v. 26, p. 115-134, 1990.

FERNANDES, L. A.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Esboço estrutural de parte do Batólito Pelotas, região de Quitéria- Capivarita. *Acta Geológica Leopoldensia.* v. 30, p. 117-138, 1990.

FERNANDES, L. A.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Deformation patters in the southern Brazilian brach of the Dom Felicano Belt; a reappraisal. *Journal of South American Earth Science*, v. 5, n.1 p. 77-96, 1992.

FIGUEIREDO, M. C. H.; FRAGOSO-CESAR, A. R.; KRONBERG, S. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36.; Natal, 1990b. v. 4, p. 1623-1738.

FOSTER, H.J.; TISCHENDORF, G.; TRUMBULL, R.B. An evaluation of the Rb vs. (Y+Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of the silicic igneous rocks. *Lithos*, v. 40, p. 261-293, 1997.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FIGUEIREDO, M. C. H.; SOLIANI, E.; FACCINI, U. F. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986. Goiânia, v. 3, p. 1322-1343.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Tectônica de Placas no Ciclo Brasiliano: as Orogênias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 1991. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

FRANTZ, J. C.; LIMA, E. F.; NAUMANN, M. Contribuição a geologia de Encruzilhada do Sul – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. Rio de Janeiro. Anais. V. 5, p. 2407-2416.

FRANTZ, J. C.; REMUS, M. V. D. Geologia da região de Canguçu-Torrinhas, RS: Caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986. Goiânia, Anais, v. 2, p. 931-947.

FUJIMORI, S. *Composição Química de Rochas e suas Aplicações*. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1990. 306p.

GUIMARÃES, D. *Fundamentos de Petrologia e as Rochas Ígneas do Brasil.* Boletim número 107, Rio de Janeiro. 1960. 408p.

HADJ-KADDOUR, Z.; LIÉGEOIS, P.; DEMAIFFE, D.; CABY, R. The alkaline-peralkaline granitic post-collisional Tin Zebane dyke swarm (Pan-African Tuareg shield, Algeria): prevalent mantle signature and late agpaitic diffrentiation., *Lithos*, v. 45, p. 223-244, 1998.

HART, S.R. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies. *Earth Planetary Science Letters*, v. 90, p. 273-296, 1988.

HELZ, R. T. Phase relations and compositions of amfhiboles produced in studies of melting behavior of rocks. *Min. Soc. Am. Rev. Min.,* v. 9 (B), p. 279-346, 1982.

HILDRETH. Gradients in silicic magma chambers: implication for lithospheric magmatism. *Journal Geophysical Research*, v. 86, p. 153-192, 1981.

HIBBARD, M. J.; WATTERS, R. S. Fracturing and diking in incompletely Crystallized Granitic Plutons. *Lithos,* v. 18, p.1-12, 1985.

HIBBARD, M. J. Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous fhase saturation in granitie systems. *Geol. Soc. Am. Bull*., 90, p. 1047-1062, 1979.

HIBBARD, M. J. Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous fhase saturation in granitie systems: Discussion and reply. *Geol. Soc. Am. Bull*., v. 91, p. 673-674, 1980.

HIBBARD, M. J. The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral Petrol.,* v. 76, p. 158-170, 1981.

HOGAN, J.P.; GILBERT, M.C. The A-type Mount Scott Granite Sheet: importance of crustal magmas traps. *Journal of Geophysical Research.,* v. 100(B8), p. 15779-15792, 1995.

HOWEL WILLIANS; FRANCIS J. TURNER & CHARLS. Uma introdução ao estudo das rochas em secção delgadas, 1970.

HUGHES, C. J. Igneous Petrology. In: *Developments in Petrology*. *Elsevier*, Amsterdam, v. 7, p. 551, 1982.

HUPPERT, H.E.; SPARKS, R.S. The fluids dynamics of crustal melting by injection of basaltic sills. *Transactions of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences,* v. 79, p. 237-243, 1988.

IRVINE, T. N.; BARAGAR, W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* v. 8, p. 523-548, 1971.

IUGS – Internacional Union of Geological Sciences (IUGS). *Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks.*

ISSLER, R. S. Evento Geológico Brasiliano-Fechamento de Oceano e Colisão Continental dos Crátons Rio de La Plata e D. Feliciano: granitos a duas micas e ofiolitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 321, 1982. Salvador, v. 1, p. 24-35.

JANIKIAN L.; ALMEIDA R.P.; FRAGOSO-CESAR A.R.S.; FAMBRINI G.L. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua Área-Tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Rev. Bras. Geoc*., v. 33, n. 4, p. 347-360, 2003.

JAQUES, A. L.; GREEN, D. H. Determination of liquid compositions in high-pressure melting of peridotite. *American Mineralogist*, v. 64, p. 1312-1321, 1979.

JOHNSON, C.M.; CZAMANSKE, G.K.; LIPMAN, P.W. Geochemistry of the intrusive rocks associated with Latir volcanic field, New Mexico, and contrasts between evolution of plutonic and volcanic rocks. *Contribution to Mineralogy and Petrology*., v. 103, p. 90-109, 1989.

KAY, R.W.; MPODOZIS, C.; RAMOS, V.A.; F. Munizaga. Magma source variations for Mid-Late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and thickening crust in the Cenral Andes (28° to 33° S). In: Andean Magmatism and its Tectonic Setting, *Geological Society of America*, Special Paper, v. 265, p. 113-138, 1991.

KAY, R.W.; MAHLBURG-KAY, S. Creation and destruction of lower continental crust. *Geologische Rundschau,* v. 80, n. 2, p. 259-278, 1991.

KOHN MATTHEW J.; RAKOVAN JOHN; HUGHES, M. J. Phosphates: Geochemical, Geobiological and Materials Importance. *Reviws in Mineralogy & Gochemistry. Mineralogical Society of America,* Washington, v. 48, 2002.

KUNO, H. *Differentiation of basalt magma*. 2. ed. New York, John Wiley, p. 623-688, 1968.

KOESTER, E.; KRAEMER, G.; FERNANDES, L. A. D.; NARDI, L. V. S. Evolução Geocronológica do Magmatismo Sintectônico da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, RS. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camburiú, 1994, v. 2, p. 383-384.

KOESTER, E. *Petrologia e Geocronologia dos Granitóides Sintectônicos à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu.* 1995. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

KUDO, A. M.; WEILL, D. F. An igneous plagioclase geotermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* Berlin, v. 25, p. 52-65, 1970.

KUSHIRO, I. Effect of water on the composition of magmas formed at high pressures. *Journal of Petrology,* v. 13, p.311-334. 1971.

LAMEYRE, J.; BOWDEN, P. Plutoni rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volc. Geoth Res.*, v. 14, p. 169-186, 1982.

LANDERBERGER, B.; COLLINS, W. J. Derivation of A-type granites from a dehydrated charnockitic lower crust: evidence from the Chaelundi Complex, Eastern Australia. *Journal of Petrolgy.*, v. 37, n. 1, p. 145-170, 1996.

LEAKE, B. E. On aluminous edenitic and hornblendes. *Mineral. Mag.,* v. 42, p. 389-407, 1971.

LEAKE, B. E. On aluminous edenitic and hornblendes. *Mineral. Mag.*, v. 38, p. 389-407, 1971.

LEAKE, B. E.; WOOLEY, A. R.; ARPS, C. E. S.; BIRCH W. D.; GILBERT M. C.; GRICE J. D.; HAWTHORNE, C.; KATO, A.; KISCH, H. J.; KRIVOVICHEV, V. G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.; MARESCH, W. V.; NICKEL, E. H.; ROCK, N. M. S. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association. Commission on New Minerals and Mineral Names. *J. Mineral*. v. 9, p. 623-651, 1997.

LEAT P.T.; JACKSON, S.E.; THORPE, R.S.; STILLMAN, C.J. Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralcaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. *Geological Society of London*, v. 143, p. 259-273, 1986.

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total álcali-silica diagram. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 745-750, 1986.

LE MAITRE, R. W. *A Classicacion of Igneous Rocks and Glossary of Terme*. Cambridge University Press. 2ª edição. 2002.

LIÉGEOIS, G.P. Post-collisional magmatism. *Lithos*, v. 45, p. xv-xvii, 1998.

LEINZ, V.; PINAGEL, H. Estanho e Tungstênio no Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro. *Boletim da Divisão de Fomento a Produção Mineral,* v. 70, p. 1-80, 1945.

MACDONALD, R.,;DAVIES G. R.; BLISS, C. M.; LEAT P.T.; BAILEY D. K.; SMITH R. L. Geochemistry of high-silica peralkaline rhyolites, Naivasha, Kenya Rift Valley. *J. Petrol.,* v. 28, p. 979:1008, 1987.

MACDONALD, R. Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. In: D.K. Bailey, F. Barbieri, R. MacDonald (eds.). Oversaturated Peralkaline Volcanic Rocks, *Bulletin of Volcanology*. (Special Issue) v. 38, p. 498-516, 1974.

MACDONALD, R.; BAILEY, D.K. The chemistry of the peralkaline oversaturated obsidians, *U.S.G.S. Prof. Paper*, v. 440, n. 1, p.1-37, 1973.

MATHEZ, E.A. Refinement of the Kudo-Weill plagioclase thermometer and its application to basaltic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Berlin, v. 41, p. 61-72, 1973.

MAY, G. E. Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil, Ph.D. Thesis, Open University, Milton Keynes, UK, p. 343,1990.

MACKENZIE, D. The extraction of magma from the crust and mantle. *Earth planet. Sci. Let*. v. 74, p. 81-91, 1985.

MACKENZIE, W. S.; DONALDSON, C. H.; GUILFORD, C. *Atlas of igneous rocks and their textures.* 1982.

MATOS, D. F.; LIMA, E. F. DE; SOMMER, C. A ; NARDI, L. V. S.; LIZ, J. D. DE; FIGUEIREDO, A. M. G.; PIEROSAN, R.; WAICHEL, B. L. Riolitos Neoproterozóicos Pós-colisionais na Área do Santuário, Sul do Brasil: litoquímica, Química Mineral e origem das Heterogeneidades Texturais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 2, p. 255-266, 2002.

MIDDLEMOST. E. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Rewiews,* v. 37, p. 215-224, 1994.

MORIMOTO, N. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, v. 52, p. 535-550, 1988.

NASCHIT, H.; RAZAFIMAHEFA, N.; STUSSI, J. M.; CARRON, J. P. Composition Chimique des biotites et typologie magmatique des granitöides. *C. R. Acad. Sci. Paris,* v. 301 (II), n. 11, p. 813-818, 1985.

NASCHIT, H. *Contribition à l'étude analytique et das biotitas des granitoides; applications typologiques*. Thése de doctorat. Brast, p. 93, 1986.

NARDI, L.V.S. Caracterização petrográfica e geoquímica dos granitos metaluminosos da associação alcalina: uma revisão. *Pesquisas,* Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 44-57, 1991.

NARDI, L. V. S.; FRANTZ, J. C. The Cordilheira Intrusive Suíte: Late Proterozoic peraluminous granitoids from the Southern Brazil *Journal of South Americam Earth Sciences,* v. 8, n. 1, p. 55-63, 1995.

NARDI, L.V.S.; BONIN, B. Post-orogenic and Non-orogenic alkaline granite association: the Saibro Intrusive Suite, southern Brazil. A case study. *Chemical Geology,* v. 92, p. 197-213, 1990.

O`CONNOR, J. T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar rations. U. S. *Geol. Surv.* Prof. Pap., v. 525-B, p. 79-84, 1965.

PARKER, D.F. Origin of the trachyte-quartz, trachyte-peralkalic rhyolite suite of the Oligocene Paisano volcano, Trans-pecos Texas. *Bulletin G.S.A.*, v. 94, p. 614-629, 1983.

PEARCE, J.A. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes,* v. 19, n. 4, p. 120-125, 1996.

PEARCE, J.A; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonics interpretations of granitic rocks. *Journal of Petrology,* v. 25, p. 956-983, 1984.

PETRINI, R.; CIVETTA, L.; PICCIRILLO, E. M.; BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J., Mantle heterogeneity and crustal contamination in the genesis of low-Ti continental flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): Sr-Nd isotope and geochemical evidence. *J.Petrology,* v. 28, p. 1-26, 1987.

PICADA, R. S. Ocorrências de migmatitos, granitos e gnaisses controlados por fraturas regionais. Encruzilhada do Sul, RS. *Boletim da Escola de Geologia da UFRGS*. Porto Alegre, RS., v. 14, p. 7-59, 1965.

PICADA, R. S. Faixa de granitos sincinemáticos no escudo Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, n. 86, 1969, Salvador. *Resumos das Comunicações.*

PICADA. Ensaio sobre a Tectônica do Escudo Sul-riograndense. Caracterização dos sistemas de Falhas. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971, v. 1, p. 167-191.

PHILIPP, R. P. *Geologia e petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS.* 1990. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

PHILIPP, R. P. Geologia dos Granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas (RS): uma contribuição ao reconhecimento estratigráfico do Setor Oriental do Escudo Sul-Riograndense. *Acta Geológica. Leopoldensia.,* v. XIV, n. 33, p. 71-128, 1991.

PHILIPP, R. P. *A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.* 1998. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo.

PHILIPP, R.P.; NARDI, L.V.S.; MACHADO, R. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. *Contribuição ao Estudo dos Granitos e Rochas Correlatas.* Bahia, Publicação Especial n°5, *Sociedade Brasileira de Geologia*, Núcleo Bahia-Sergipe, p.129-152. 1998.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R. Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências,* v. 31, n. 3, p. 257-266, 2001.

PHILIPP, R.P.; SCOPEL, R. Avaliação Tecnológica e Aproveitamento dos granitos e sienitos da região de Encruzilhada do Sul e Cachoeira do Sul, RS – Brasil. *Pesquisas,* v. 28, n. 1, p. 107-120, 2002.

PHILIPP, R. P.; MESQUITA, M. J.; GOMES, M. E. B.; ALMEIDA, D. P. M. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos granitóides Brasilianos da região de Pelotas, RS. *Pesquisas*, v. 20, p. 3-13, 1993.

PHILIPP, R.P.; NARDI, L.V.S.; BITTENCOURT, M.F. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: *Geologia do Rio Grande do Sul*, Editores: M. HOLZ & L.F. DE ROS, Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, *Instituto de Geociências,* UFRGS, p.133-160, 2000.

PHILIPP R. P.; MACHADO R.; NARDI L. V. S; LAFON J. M. O magmatismo Granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia Refional. *Revista Brasileira de Geociências* v. 32, n. 2, p. 277-290, 2002.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; CHEMALE JR., F. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. *Geologia USP, Série Científica,* São Paulo, v. 3, p.71-84, 2003.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R. The Neoproterozoic to Cambrian Granitic Magmatism of Pelotas Batholith, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Science* (no prelo). 2004.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R. Ocorrência e Significado dos Septos do Embasamento encontrados nas Suítes Graníticas do Batólito Pelotas, RS. *Pesquisas,* v. 29, n. 1, p. 43-60, 2002.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências,* v. 32, n. 2, p. 277-290, 2002.

PHILLIPS, E. R. Myrmekite one hundred yars later. *Lithos,* v. 7, p. 181-194, 1974.

PHILLIPS, E. R. Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous phase saturation in granitic systems: Discussion and reply. Discussion. *Geol. Soc. Am.* Bull., v. 91, p. 672-673, 1980.

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; CAMAZZATO, E. Mapa Geológico da Folha de Porto Alegre SH22-Y-B Brasília. CPRM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos. 144p. 1996.

REID, M.R. Processes of mantle enrichment and magmatic differentiation in the Eastern Snake River Plain: Th isotope evidence. *Earth Planetary Science Letters*, v. 131, p. 239-254, 1995.

RIBBE, H. P.; VEBLEN, R. D. Amphiboles: Petrology and Experimental Phase Relations. *Mineralogical Society of America*, v. 9B, 1982.

RIBEIRO. Mapa Geológico da Quadrícula de Piratini, RS. Fund. Zoobt. Est. R. G. Sul, Publ. Esp. Número 2, Esc. 1:50 000. Porto Alegre. 1977.

RIEDER, M. (chairman). Nomenclature of the micas. *Minerl. Mag.*, v. 63, n. 2, p. 267-279, 1999.

ROGERS, J.J.W.; J.K. GREENBERG. Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: distintion by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *The Journal of Geology,* v. 98, n. 3, p. 291-308, 1990.

SCHNEIDER, A. W.; LOSS, E. L.; PINTO, J. F. Mapa Geológico da Folha Porto Alegre, RS. Porto Alegre, CNPq. 1974.

SCHUMACHER, J. C. The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. In: Leake, B. E. (1997) Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Eur. J. Mineral.,* v. 9, p. 623-651, 1997.

SHAND, S.J. Eruptive rocks*,* New York, Jonh Wiley, 233p. 1951.

SIMPSON, E.S. W. On the graphical representation of differentiations trends in igneous rocks*, Geol. Mag., Cambridge*, v. 91, p. 238-244, 1954.

SMITH, I.E.M.; CHAPPELL, B.W.; WARD, G.W.; FREEMAN, R.S. Peralkaline rhyolites associated with andesitic arcs of the southwest Pacific. *EPLS.*, v. 37, p. 230-236, 1977.

SOLIANI JR. E. *Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e suas implicações de ordem geotectônica*. 1986. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOMMER, C. A; LIMA, E. F.; NARDI, L. V. S. Evolução do vulcanismo alcalino na porção sul do Platô do Taquarembó, Dom Pedriot – RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, p. 245-254, 1999.

SPEER, J. A. Zircon, In: Ortho-silicates (Edited by Ribbe, D. H.). *Reviws in Mineralogy* v. 5, p. 113-124, 1980.

SPEEAR, F. S. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure – Temperature – Time Paths. Michigan, Chelsea, 799p. 1993.

SUN, S. S. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. *Geochemical et Cosmochemical Acta,* v. 46, p. 179-192, 1982.

STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, v. 12, p. 1-33, 1976.

STUSSI, J. M.; CUNEY, M. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas by Abdel-Fattah M. Abdel-Rahman: A Comment. *Journal of Petrology*, v. 37, n. 5, p. 1025-1029, 1996.

TAKAHASHI, E.; KUSHIRO, I. Melting of dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist,* v. 68, p. 859-879, 1983.

TAYLOR S.; MCLENNAN S. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p. 1985.

TEIXEIRA, W. Folhas SH.22 – Porto Alegre, SI.22 – Lagoa Mirim e SH.21 – Uruguaiana. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica, Florianópolis, Projeto RADAMBRASIL, Relatório Interno. 1982.

TESSARI, R. I.; PICADA, R. S. Geologia da Quadrícula de encruzilhada do Sul, RS. Boletim do DNPM/DFPM. 124:1-147. 1966.

TESSARI, R.; GIFFONI, L. E. Geologia da região de Piratini, Pinheiro Machado e Bagé, R. G. Sul. Bol. Div. Geol., DNPM, número 246 - Rio de Janeiro. 1970.

THOMPSON, R.N.; DICKIN, A.P.; GIBSON, I.L.; MORRISON, M.A. Elemental fingerprints of isotopic contamination of Hebridean Palaeocene mantle-derived magmas by Archean sial. *Contrib. Mineral.Petrology,* v. 79, p. 159-168, 1982.

THOMPSON, R. N.; MORRISON, M. A.; HENDRY, G.L.; PARCY, S. J. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach – *Phil. Treens. R. Soc.Lend.* A.310, p. 549-590*, Printed in Great Britein,* 1984.

THORPE, R.S.; FRANCIS, P.W. Petrogenetic relationships of volcanic and intrusive rocks of the Andes, in: *Origin of granite batholiths: geochemical evidence.* Ed. M.P. Atherton & J. Tarney, Shiva Publishing Limited, Exeter, UK, p.65-75, 1979.

TICKYJ, H.; HARTMANN, L.A.; VASCONCELLOS, M.; PHILIPP, R.P.; REMUS, M.V.D. Electron-microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Science* (no prelo), 2004.

TRAININI, D. R. Projeto Mapas Metalogenéticos e de previsão de recursos minerais. Folhas SI-22 Jaquarão- Rio Grande. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 2 vol. 1987.

TOLEDO, M. C. M.; PEREIRA, V. P. A viabilidade de composição da Apatita associada a carbonatitos. *Revista do Instituto Geológico,* São Paulo, v. 22 (1/2), p. 27-64, 2001.

UFRGS. Mapeamento Geológico 1:25.000. 1989.

UFRGS. Mapeamento Geológico 1:25.000 da Folha Arroio da Bica, RS. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Trabalho de graduação do Curso de Geologia. 1995.

VANCE, J. A. Zoning in igneous plagioclase: normal and oscillatory zoning. *Am. J. Sci.,* v. 260, p. 745-760, 1962.

VANCE, J. A. Zoning in igneous plagioclase: patchy zoning. *J. Geol*., v. 73, p. 636-651, 1965.

VANCE, J. A. On Synneusis. *Contr. Mineral. And Petrol*. v. 24, p. 7-29, 1969.

VASQUEZ, M. L. *Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul – RS.* 1997. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

VLACH, R. F. S. Tectossilicatos - Guia geral da teoria e exercício - Instituto de Geociências - Departamento de mineralogia e petrologia - GMP-220 - Mineralogia. Universidade de São Paulo-SP. 1998.

VLACH, S.R.F.; GUALDA, G.A.R. Microprobe monazite dating and the ages of some granitic and metamorphic rocks from southeasthem, Brazil - *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n.1, p. 214-218, 2000.

VIEIRA JR., N.; PILLAR, D. M.; PAIN, P. C. Petrologia e Geoquímica do Vulcanismo Eo-Paleozóico nas Bacias de Santa Bárbara e Camaquã. *Acta Geológica Leopoldensia,* v. 30, p. 117-138, 1990.

WAIGHT, T. E.; WEAVER, S. D.; MUIR, R. J. Mid-Cretaceous magmatism during the transition from subduction to extension in southern New Zealand: a chemical and tectonic synthesis. *Lithos*, v. 45, p. 469-482, 1998.

WALKER, J. A.; WILLIAMS, S. N.; KALAMARIDES, R. I.; FIERGSON, M. D. Shallow open-sistem evolution of basaltic magmas beneath a subduction zone volcano: the Masaya Caldera Complex, Nicaragua. *Journal of Volcanol. Geoth. Res.*, v. 56, p. 379-400, 1993.

WATSON, E. B. Zircon saturation in felsic liquids: experimental results and applications to trace element geochemistry. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, v. 70, p. 407-419, 1979.

WEAVER, S. D.; GIBSON, I.L.; HOUGHTON, B. F.; WILSON, C. J. N. Mobility of rare earth and others elements during crystallization of peralkaline silicic lavas. *Journ. Volcan. Geoth. Res.*, v. 43, p. 57-70, 1990.

WHALEN, J. B.; CURRIE, K. L. The Topsails igneous suite, western Newfoundland; fractionation and magma mixing in a "orogenic" A-type granite suite. *Geological Society of America,* special paper, v. 246, p. 287-299, 1990.

WHALEN, J. B.; JENNER, G.A.; LONGSTAFFE, F. J.; ROBERT, F.; C. GARIÉPY. Geochemical and isotopic (O, Nd, Pb and Sr) constrains on A-type granite petrogenesis based on the Topsails Igneous Suite, Newfoundland Appalachians. *Journal of Petrology,* v. 37, n. 6, p. 1463-1489, 1996.

WILDNER, W.; NARDI, L.V.S. Características geoquímicas e de posicionamento tectônico do magmatismo Neoproterozóico aflorante no Platô do Taquarembó, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 2, p. 169-184, 2002.

WILDNER W.; NARDI L. V. S.; LIMA, E. F. DE. Post-collisional Alkaline Magmatism on the Taquarembó Plateau: a well Preserved Neoproterozoic-Cambrian Plutono-vulcanic Assocition in Southern Brazil. Int. *Geol. Review,* v. 41, p. 1082-1098, 1999.

WILSON, M. *Igneous Petrology*. London, Unwin and Hyman. 1989. 466p.

WILSON, M. Magmatic differentiation. *Journal of the Geological Society,* London, v. 150, p. 611-624, 1993.

WINCHESTER, J. A.; FLOYD, P. A. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chemical Geology*, v. 21, p. 291-306, 1977.

WILLIANS, H. Petrology na Introduction to the Study of Rocks in This Section. 1970. 424p.

WOOD, D.A.; TARNEY, J.; WEAVER, B.L. Trace element variation in Atlantic ocean basalts and Proterozoic dykes from northwest Scotland: their bearing upon the nature and geochemical evolution of the upper mantle. *Tectonophysics,* v. 75, p. 91-112, 1981.