

Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas

RUY PAULO PHILIPP¹ & ROBERTO SACKS DE CAMPOS²

¹ Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP: 91509-900, Porto Alegre, RS. e-mail: ruy.philipp@ufrgs.br

² Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP: 91509-900, Porto Alegre, RS.

(Recebido em 11/04. Aceito para publicação em 03/05)

Abstract – The Porto Alegre gneiss is a unit composed of granodioritic to monzogranitic gneisses, with subordinate tonalitic and dioritic rocks. The unit represents the basement intruded by several granitic plutons of Neoproterozoic age. The gneisses show an elongate form of NE-SW direction, and constitute a roof pendant. They have composite banding, which results of injection of dioritic and tonalitic melts, followed by a regional metamorphic event of medium to high grade. Three deformational phases are registered in the gneisses, the latest has a mylonitic nature. Their geochemical features are of medium to high-K, slightly peraluminous granodiorites of calc-alkaline affinity. Comparing the Porto Alegre gneisses with metagranitoids of Pinheiro Machado complex, there are several differences, such as the lower values of Al₂O₃, Na₂O and Sr, and higher values of FeO, MgO, MnO and Rb in the former. These differences indicate that there is no correlation between the Porto Alegre gneisses and Pinheiro Machado complex.

Keywords – orthogneiss, granodiorites, paleoproterozoic, Dom Feliciano Belt.

INTRODUÇÃO

Na região de Porto Alegre ocorrem excelentes exposições de granitos de idade Neoproterozóica e de septos do embasamento com evolução relacionada ao Paleoproterozóico. Estas unidades situam-se na parte leste do escudo Sul-rio-grandense, porção nordeste do Batólito Pelotas, Cinturão Dom Feliciano (Fig.1). Os granitos apresentam formas alongadas segundo a direção NE-SW e estão afetados por zonas de cisalhamento dúcteis, de forma localizada. A estruturação dos granitos, concordante com as principais estruturas regionais, indica que o posicionamento dos plútons está controlado pela tectônica brasileira (Fig. 2). Os granitóides podem ser subdivididos em três suítes principais: Viamão, Dom Feliciano e Itapuã (Oliveira *et al.* 2001), reconhecidas através de cinco unidades graníticas: Granitos Viamão (Philipp *et al.* 1998), Independência, Canta Galo, Ponta Grossa e Santana (Schneider *et al.* 1974).

Entre os granitos Independência, Viamão e Santana ocorre uma exposição quase contínua de

ortognaisses definidos como Gnaisses Porto Alegre (Philipp, 1998) (Fig. 3). Apesar de encoberto pela civilização urbana, os gnaisses podem ser observados nos altos da Avenida Protásio Alves, nas praças dos bairros Chácara das Pedras, Três Figueiras e Bom Jesus. Anteriormente estas rochas eram reconhecidas como migmatitos heterogêneos (Schneider *et al.* 1974). Mais recentemente, foram designados como Gnaisses Chácara das Pedras (Menegat *et al.* 1998; Oliveira *et al.* 2001).

Os gnaisses constituem um corpo com forma alongada segundo a direção NE-SW, estendendo seus limites para nordeste até as proximidades da cidade de Gravataí. No interior desta área mostram-se recortados por corpos tabulares, centimétricos a métricos, relacionados aos Granitos Independência e Santana, e também por enxames de diques riolíticos e dacitos subordinados. A presença de xenólitos de gnaisses também é observada no Granito Viamão, onde ocorrem com tamanhos centimétricos a decamétricos. Estes fragmentos apresentam vários estágios de assimilação pelo magma granítico, res-

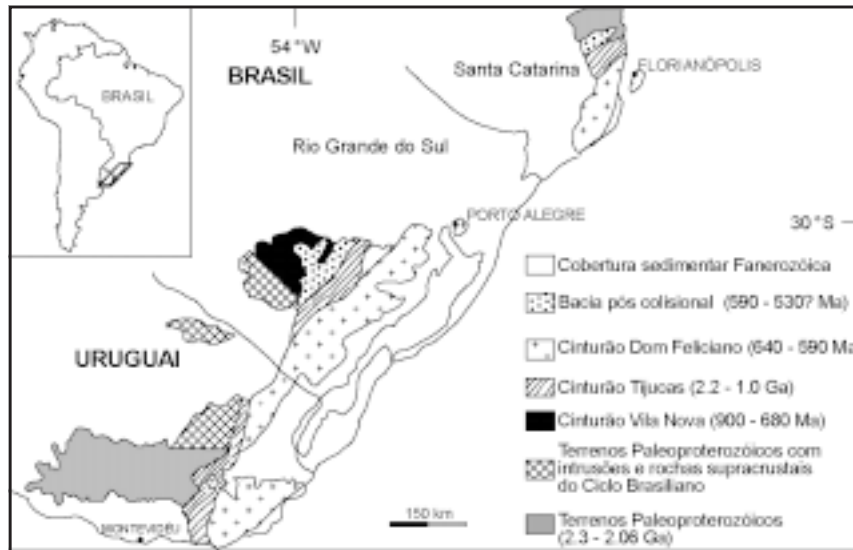


Figura 1 - Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. Legenda: a= Terreno Luis Alves, b= Terreno Florida, 1= Terreno Taquarembó, 2= Terreno Rivera, 3= Terreno Valentines. Modificado de Chemale Jr. (2000).

tando em casos extremos, enclaves *surmicaceous* com formas distorcidas e irregulares, composicionalmente ricos em biotita.

Apesar da superposição milonítica, os gnaisses ainda guardam registros de eventos de deformação associados a um metamorfismo regional orogênico. A geologia de campo, dados estruturais, petrográficos e geoquímicos indicam que esta unidade teve como protólitos rochas granitóides de composição granodiorítica a monzogranítica, com ocorrência subordinada de dioritos. O principal objetivo deste trabalho é apresentar a caracterização geológica dos Gnaisses Porto Alegre, reunindo elementos que permitam estabelecer a correlação desta unidade com as rochas do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos (Fernandes *et al.* 1992), situadas a sudoeste, e/ou com os metagranitóides do Complexo Pinheiro Machado, localizados ao sul.

GEOLOGIA DA REGIÃO DE PORTO ALEGRE

Os gnaisses estão em contato com os granitóides no extremo oeste, leste e sul, sendo recobertos na parte norte pelos sedimentos quaternários da bacia do Rio Gravataí (Fig. 3). A relação de contato dos Gnaisses Porto Alegre é observada diretamente com os Granitos Viamão, Independência e Santana. A unidade granítica mais antiga e dominante está representada pelo Granito Viamão, que se ca-

racteriza por sua cor cinzenta, composição monzogranítica e textura porfírica a heterogranular, com 20 a 40 % de megacristais tabulares, de 1 a 5 cm, de K-feldspato, imersos em uma matriz inequi-granular grossa com plagioclásio, quartzo, biotita e localmente anfíbólio. Como minerais acessórios contém esfero, zircão, apatita e minerais opacos. Apresenta estrutura magmática definida pela orientação dimensional de K-feldspato e biotita, orientação e alongamento de enclaves microdioríticos centimétricos e schlieren de biotita, principalmente em zonas de assimilação de xenólitos dos ortognaisses. Além das estruturas primárias, orientadas segundo a direção NE, apresentam de maneira concordante uma foliação tectônica marcada pela formação de subgrãos e recristalização de quartzo e K-feldspato, cristalização de epidoto sobre plagioclásio e biotita, cloritização de biotita e crescimento de sericita sobre K-feldspato e plagioclásio.

O Granito Independência tem forma pouco alongada segundo a direção NE-SW e mantém na sua porção leste, contato intrusivo com os Gnaisses Porto Alegre, contendo xenólitos subangulosos dos mesmos e/ou preenchendo um complexo padrão de fraturas na forma de diques e veios de espessuras centimétricas a métricas. O Granito Independência apresenta composição monzogranítica, cor esbranquiçada e textura equigranular média a grossa, contendo plagioclásio, K-feldspato (ortoclásio e micro-

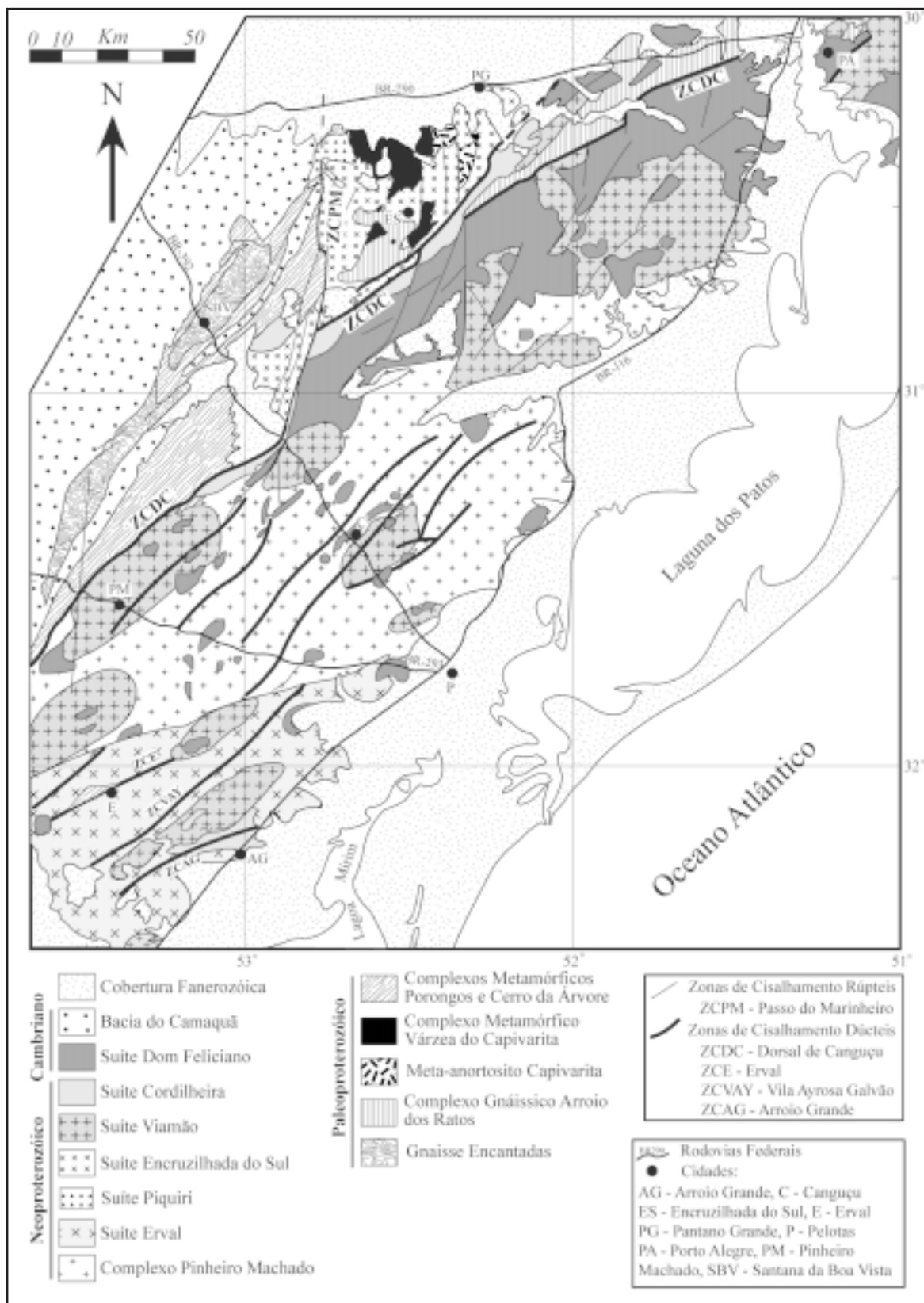


Figura 2 - Mapa geológico do Batólito Pelotas com a distribuição das suítes graníticas e das principais zonas de cisalhamento transcorrentes (Philipp, 1998).

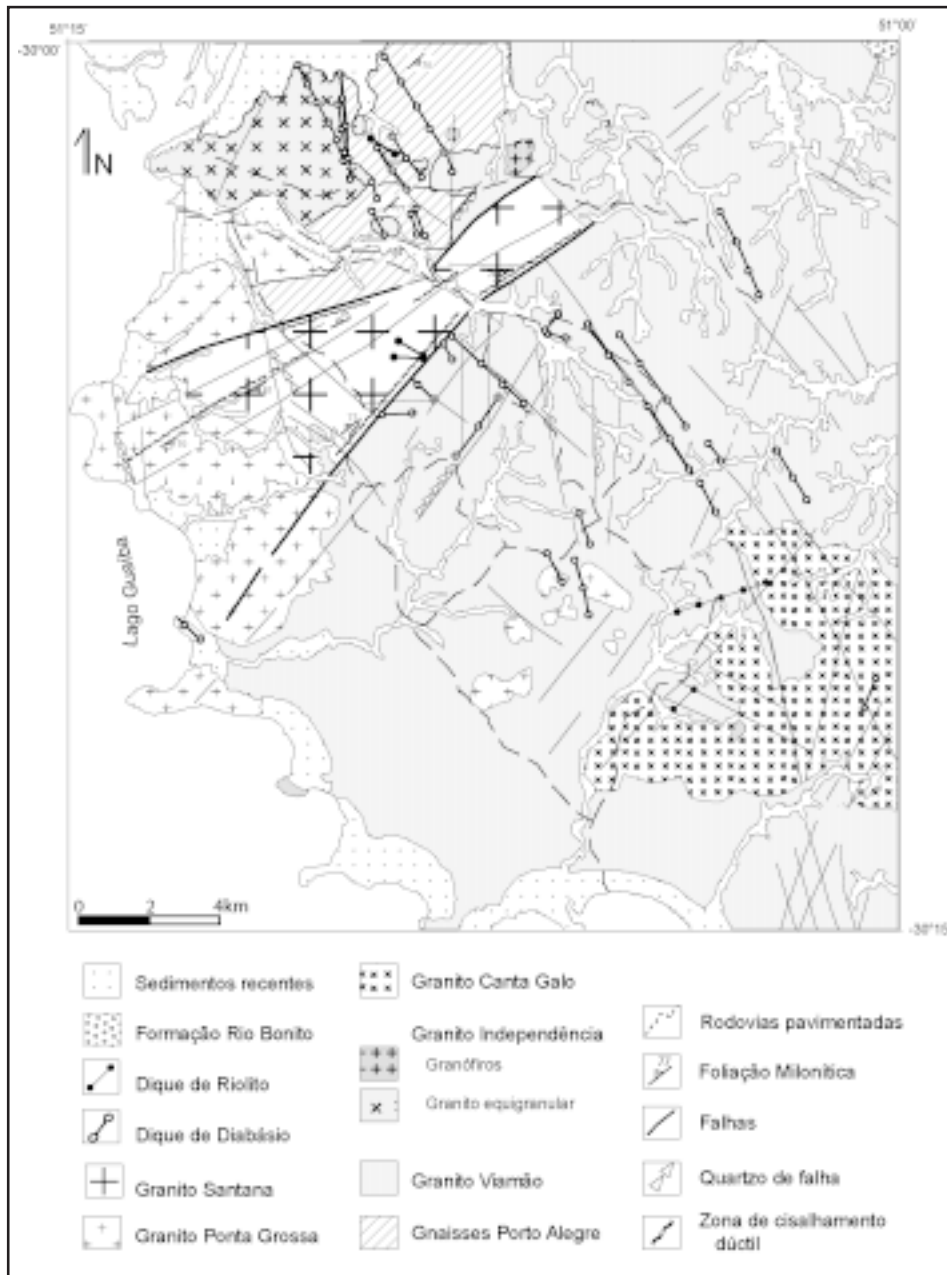


Figura 3 - Mapa geológico da região de Porto Alegre (modificado de Philipp *et al.* 1998).

clínio) e biotita, com alanita, esfeno, zircão e apatita como minerais acessórios. Possui comumente uma estrutura maciça, mas desenvolve foliação milonítica próximo ao contato com os Gnaisses Porto Alegre. O Granito Independência corta o Granito Viamão através da intrusão de dois corpos tabulares de monzogranitos equigranulares, correlacionáveis geoquímica e petrograficamente, como o Granito Independência (Philipp *et al.* 1998). Estes corpos estão direcionados para NE, com espessuras entre 2 e 8 metros, contendo

fragmentos subangulosos de monzogranitos porfiríticos, mostrando contatos nítidos, retilíneos a lobados.

As unidades seguintes se caracterizam por corpos circunscritos de leucogranitos com formas aproximadamente circulares a pouco alongadas segundo a direção N/NE e contatos intrusivos com as encaixantes. O Granito Canta Galo é composto por sienogranitos de cor avermelhada a rosada, textura equigranular a heterogranular média a grossa e estrutura maciça. O Granito Ponta Grossa mostra uma

composição sienogranítica, com textura equigranular, cor rosada e estrutura maciça. Ambas unidades mostram contatos intrusivos, retilíneos e bem definidos com o Granito Viamão.

O Granito Santana constitui um corpo alongado, limitado por zonas de cisalhamento dúcteis de direção N50°E, intrusivo nas rochas gnáissicas e no Granito Viamão. Apresenta textura equigranular grossa e comumente uma marcada orientação dimensional de cristais prismáticos de K-feldspato e alongamento do quartzo. Esta estrutura magmática está distribuída em todo o corpo, transicionando nos bordos para uma foliação protomilonítica marcada pela recrystalização de quartzo e biotita, com formação restrita de subgrãos em K-feldspato. Próximo aos contatos deste granito, as outras unidades apresentam uma superposição local da foliação tectônica gerada pelas zonas de cisalhamento, produzindo orientação e recrystalização de biotita e quartzo e, em casos extremos, faixas de milonitos com espessuras centimétricas. Associados espacialmente a este granito ocorrem diques ácidos dispostos, preferencialmente, segundo as direções N10-40°W. Os diques de composição riolítica, subordinadamente dacítica, possuem espessuras entre 5 e 20 metros e extensões de centenas de metros. Apresentam estrutura isótropa e textura porfirítica, em geral, com presença de 5 a 15 % de fenocristais de quartzo e K-feldspato imersos em uma matriz quartzo-feldspática afanítica.

GEOLOGIA DOS GNAISSES PORTO ALEGRE

Os Gnaisses Porto Alegre estão representados por gnaisses granodioríticos a monzograníticos, com presença restrita de gnaisses dioríticos (Fig. 4). Constituem uma área muito arrasada de relevo plano, localizando-se no extremo noroeste da folha Porto Alegre (SGE-SH.22-0-II-2). As relações de contato com os granitóides estão quase totalmente encoberta pela civilização, como indicado nos extremo noroeste da folha Porto Alegre. Ao norte, os gnaisses estão recobertos pelos sedimentitos paleozóicos da Bacia do Paraná e por sedimentos da Bacia do Rio Gravataí. Ao oeste, o contato com o Granito Independência é caracterizado pela presença de xenólitos angulosos dos gnaisses no interior deste granito, além de inúmeras injeções tabulares, apófises e outras formas irregulares de manifestações do granito cortando as rochas gnáissicas. Ao sudeste, o contato com o Granito Santana é tectônico, definido pela ocorrência de uma zona de

cisalhamento dúctil subvertical. Os poucos afloramentos dos gnaisses possuem alguns m², podendo ser encontrados nos bairros Chácara das Pedras, Três Figueiras e Petrópolis. Boas exposições, entretanto efêmeras, podem ser encontradas nas avenidas Protásio Alves, Antônio de Carvalho e na Vila Bom Jesus. Em Gravataí, a principal exposição encontra-se na BR-290. Outros pontos obtidos pelo autor devem-se a testemunhos de sondagens cedidos por empresas de construção civil.

Os gnaisses possuem cor cinza escura a preta e um bandamento fino pouco contínuo a contínuo, com boa regularidade, marcado pela alternância de níveis milimétricos de minerais félsicos e máficos. Em regiões muito deformadas, a espessura das bandas diminui e perdem a continuidade, resultando em um aspecto maciço, associado a um arranjo granoblástico muito fino (< 0.1 mm) e uma cor notadamente preta. Os níveis félsicos variam de 2 a 15 mm e estão constituídos por quartzo e feldspatos com textura granoblástica interlobada inequigranular média a fina (0,1 a 0,4 mm), com presença de porfiroclastos de feldspatos com formas de augen de 1 a 10 mm. Do volume aflorante, estas bandas constituem aproximadamente 15 a 35 % da rocha. Os níveis máficos apresentam-se contínuos, com espessuras entre 5 e 40 mm ou mais, mostrando uma constituição rica em biotita. Estes níveis também são compostos por quartzo e feldspato de grão muito pequeno (< 0.1-0,1 mm), que absorvem a luz, tornando a rocha escura. Os níveis máficos possuem textura lepidogranoblástica fina a média marcada pela orientação de biotita. Ocorrem ainda pequenas proporções de anfibólio, sendo este o mineral máfico principal dos corpos dioríticos, onde a orientação do anfibólio constitui a textura nematoblástica.

As observações de campo e petrográficas permitem o reconhecimento de 4 eventos de deformação regional caracterizados pela formação e do-

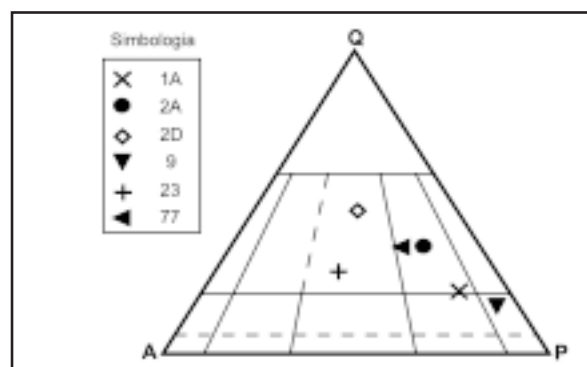


Figura 4 - Diagrama QAP de Streckeisen (1976) com a classificação petrográfica das amostras do Gnaiss Porto Alegre.

bramento de foliações metamórficas. A origem do bandamento é observada em área de baixa intensidade de deformação dos eventos D_2 e D_3 . Nestes locais identifica-se um bandamento composicional marcado pela injeção de corpos dioríticos e tonalíticos tabulares nas porções granodioríticas a monzograníticas dominantes. Sobre esta estrutura ígnea desenvolve-se um bandamento de segregação metamórfica (S_{b1}) que gera na rocha o aparecimento de bandas félsicas com textura granoblástica poligonal a interlobada, intercaladas com níveis máficos ricos em biotita em arranjo lepidoblástico. A evolução do bandamento passa, além da sua geração (D_1), por um complexo padrão deformacional, definido pela sua transposição (D_2), como indicado por dobras isoclinais (F_2) intrafoliais com e sem raiz (Fig. 5). Estas estruturas são submetidas a um terceiro evento deformacional (D_3), gerando dobras abertas a apertadas (F_3) com charneiras arredondadas e eixos mergulhantes predominantemente para sudoeste (Fig. 6). Este evento D_3 reorganiza espacialmente o bandamento transposto, estando vinculado a geração das zonas de cisalhamento dúcteis subverticais com orientação dominante para $N70-85^\circ E$, concordante com a superfície axial desta fase. (Fig. 7 e 8). A variação do mergulho dos eixos das dobras, caindo para SW e NE, pode estar relacionada ao fraturamento e intrusão dos corpos graníticos mais jovens ou então estar associada com uma fase F_4 de dobramentos, muito tardia e definida por dobras suaves com eixos direcionados para NW. A distribuição dos principais elementos estruturais e dos pontos amostrados pode ser observada na figura 9.

No contato sudeste, a presença de intrusões tabulares de leucosienogranitos com texturas equigranulares a pegmatóides de cor rosada está restrita às proximidades do contato com o Granito Santana, que está marcado por uma zona de cisalhamento dúctil subvertical. As intrusões estão aproximadamente subparalelas e mostram espessuras entre 5 e 30 centímetros, chegando até 1 a 2 metros. Os corpos cortam o bandamento mantendo mesmo nas zonas de alta deformação uma relação angular discordante de baixo valor (entre 10 a 20°). Os contatos são retilíneos a pouco curvos e nítidos. A grande maioria das intrusões está deformada, gerando dobras suaves e mostrando estiramento de quartzo e porfiroclastos K-feldspato.

PETROGRAFIA

A análise modal indicou uma composição granodiorítica a monzograníticas, com dioritos subordinados. Os valores modais e as principais caracte-

rísticas dos minerais constituintes desta unidade podem ser observados na tabela 1. No diagrama QAP de Lameyre & Bowden (1982) mostram uma tendência cálcico-alcálica conforme pode ser observado na Figura 4.

A ordem de cristalização, retirada a partir da análise petrográfica de amostras pouco afetadas pelo cisalhamento dúctil, prevê o crescimento inicial dos minerais acessórios como zircão, apatita e alanita, seguindo quase que contemporaneamente pela formação de hornblenda, biotita e esfeno. Posteriormente, de modo quase concomitante com a solidificação dos minerais máficos ocorre a formação do plagioclásio. Por fim, cristalizam-se o K-feldspato e o quartzo.

A estrutura gnáissica está marcada ao microscópio petrográfico por bandas descontínuas e definidas pela alternância de níveis ricos em biotita e hornblenda, com muito esfeno e epidoto associados e, níveis félsicos a base de plagioclásio e quartzo com baixos teores de K-feldspato e biotita (Fig. 10a).

As bandas félsicas possuem textura granoblástica irregular, variando de interlobada a poligonal, marcada por grãos de plagioclásio subidioblásticos e quartzo (Fig. 10b). Comumente, o quartzo está alongado e constitui grãos de 1 a 2 mm, intensamente fragmentados em subgrãos com limites serrilhados a lobados e forte extinção ondulante. Os níveis félsicos não apresentam orientação mineral dominante, sendo compostos, principalmente, por grãos equidimensionais de feldspato em um arranjo granoblástico inequigranular. Dentro destes níveis, a variação do tamanho dos feldspatos origina níveis com textura granoblástica grossa (0.5-2.0mm) em zonas de porfiroclastos de plagioclásio deformados e, níveis mais abundantes de textura granoblástica média (0.1-0.3mm) marcados por K-feldspato, plagioclásio e quartzo (Fig. 10c). Em amostras menos deformadas pelo cisalhamento dúctil ocorre preservação da textura granoblástica poligonal com plagioclásio+K-feldspato+qzo. Esta estrutura caracteriza um bandamento de segregação metamórfica de médio a alto grau relacionado a um evento de metamorfismo regional orogênico (Fig. 10d).

As bandas escuras têm biotita e hornblenda fortemente orientadas, gerando texturas lepidonematoblásticas. Os minerais máficos dominam, ocorrendo intersticialmente grãos de plagioclásio e quartzo, com a biotita transformada por finas trilhas de epidoto, clinozoizita, clorita, esfeno e opacos anédricos. Nestas bandas destacam-se os cristais idioblásticos a subidioblásticos de epidoto (0.1-0.7mm), por vezes, envolvendo núcleos de alanita de cor castanha.

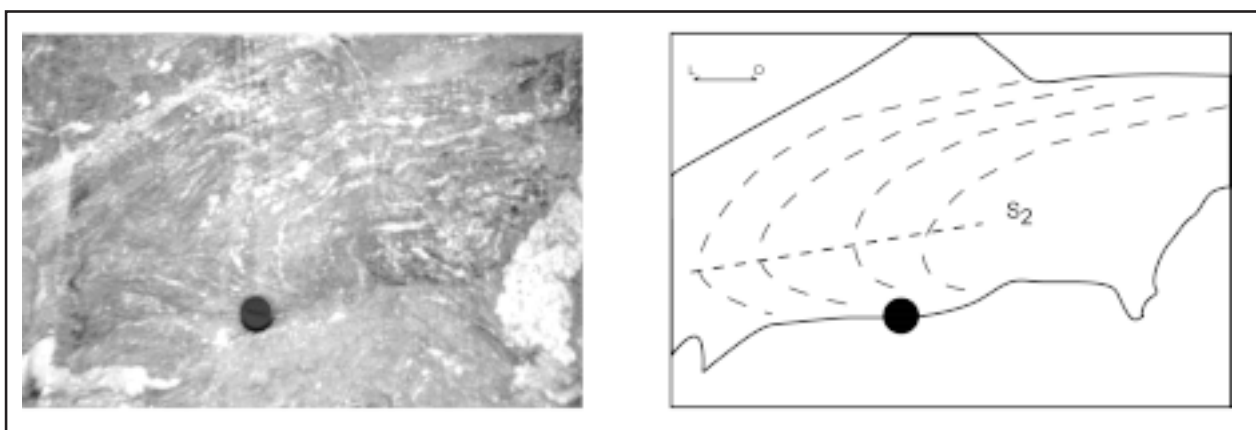


Figura 5 - Vista geral da transposição do bandamento metamórfico e formação de dobras isoclinais F_2 .

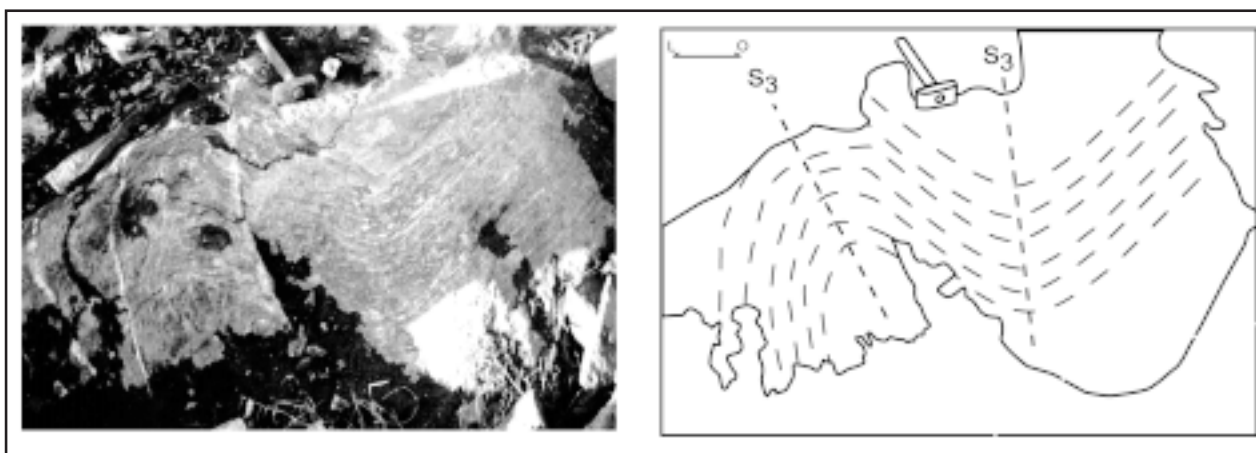


Figura 6 - Vista geral do padrão de dobramentos F_3 .

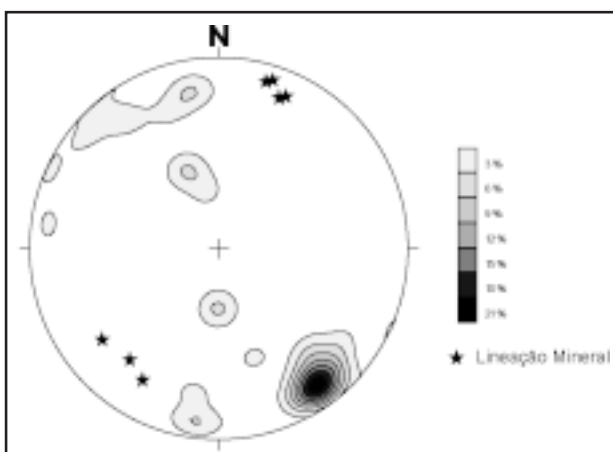


Figura 7 - Projeção estereográfica (hemisfério inferior) em rede de Schmidt-Lambert de igual área do bandamento metamórfico (35 pólos de planos) e da lineação de estiramento encontradas no Gnaiss Porto Alegre.

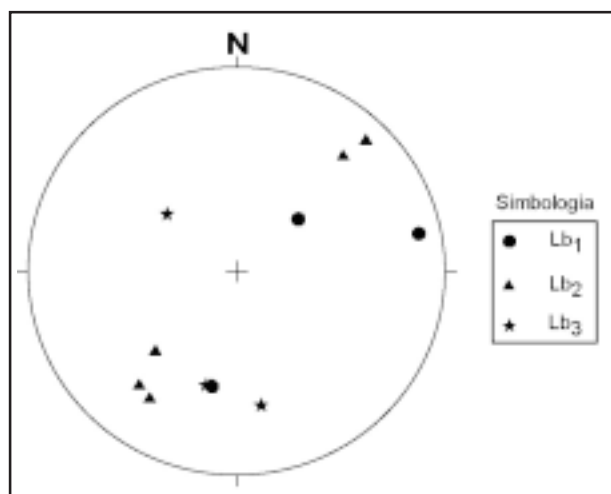


Figura 8 - Projeção estereográfica (hemisfério inferior) em rede de Schmidt-Lambert de igual área das lineações de eixos de dobras encontradas no Gnaiss Porto Alegre.

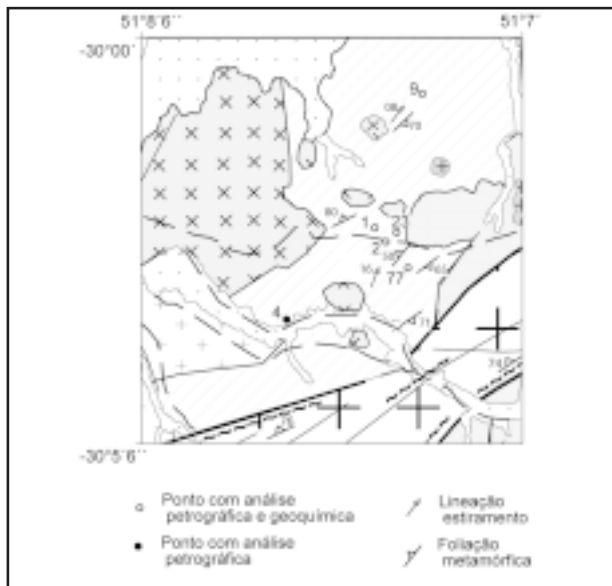


Figura 9 - Principais elementos estruturais e localização aproximada das amostras selecionadas para os estudos geoquímicos e petrogenéticos.

As microestruturas observadas indicam a geração de foliações em condições distintas de taxa de deformação e grau metamórfico. A formação do bandamento gnáissico esta relacionada com um evento de metamorfismo regional orogênico, gerando o crescimento orientado de biotita e hornblenda intercalado com o arranjo granoblástico poligonal a interlobado entre plagioclásio, K-feldspato e quartzo. Esta paragênese sugere uma recuperação em condições metamórficas mínimas de grau médio, na fácies anfibolito médio a superior.

A transposição deste bandamento está marcada pela transformação parcial da paragênese anterior e pelo estiramento e rompimento das bandas félsicas. Acompanha esta transformação o desequilíbrio da biotita, que passa a ser transformada nos bordos e ao longo das clivagens para trilhas com agregados finos de biotita fina+clorita+epidoto+esfeno+opacos e também de epidoto+clinozoizita+esfeno+opacos anédricos. Os minerais félsicos são cominuídos com geração de trilhas irregulares de textura granoblástica interlobada a serrilhada fina (0.1-0.2 mm), com forte deformação nos subgrãos. Estas trilhas tendem a se dispor de modo subparalelo ao bandamento. Sobre os cristais de plagioclásio é comum o crescimento de epidoto e a formação de arranjos mirmequíticos nos bordos e interior dos cristais. O K-feldspato apresenta formação de subgrãos, fraturas e extinção ondulante, localmente pode mostrar recuperação de porções de borda, com a formação de textura granoblástica inequigranular interlobada

Tabela 1 – Análises modais das amostras dos Gnaisses Porto Alegre.

Mineralogia	1A	2A	2D	23	9	77
Plagioclásio	50	40-50	15-20	25	41	38
K-Feldsp. (Mc)	5-10	15	15-20	35	3	19
Quartzo	15	30-35	30-40	20	8	32
Biotita	10	2	6-8	10	9	8
Hornblenda	4-6	---	---	---	18	---
Esfeno	1	1-2	2	Tr	Tr	Tr
Zircão	<<1	Tr	<<1	Tr	Tr	Tr
Apatita	<<1	<<1	<<1	1	Tr	---
Alanita	Tr	Tr	Tr	Tr	---	Tr
Opacos	---	---	---	Tr	Tr	Tr
Epidoto	3-5	4	5-7	4	Tr	2
Clorita	0,5	4	1	2	Tr	---
Clinozoizita	1	---	---	---	---	---
Opacos Anédricos	<1	1	---	Tr	Tr	Tr
Sericita	Tr	---	Tr	Tr	---	---
Classificação	Gn. Tonalítico	Gn. Grano-diorítico	Gn. Monzo-granítico	Gn. Monzo-granítico	Gn. Diorítico	Gn. Grano-diorítico

fina. O quartzo forma subgrãos estirados, com recristalização para mosaicos com textura granoblástica poligonal fina. Estas transformações sugerem condições de fácies xistos verdes superior a anfibolito, sendo que o estiramento de quartzo com a intensa cominuição dos feldspatos, principalmente o K-feldspato, indicam uma elevada intensidade de deformação vinculada a condições de baixo grau metamórfico e baixa pressão de fluídos.

LITOGEOQUÍMICA

A caracterização geoquímica dos Gnaisses Porto Alegre está fundamentada nos resultados analíticos de 5 amostras de rochas, sendo 4 amostras de granodioritos e um diorito. Os dados litoquímicos foram obtidos nos Laboratórios da Activations Laboratories Ltd., em Ontário, Canadá. Os elementos maiores e menores foram analisados através de Fusão-ICP (Inductive

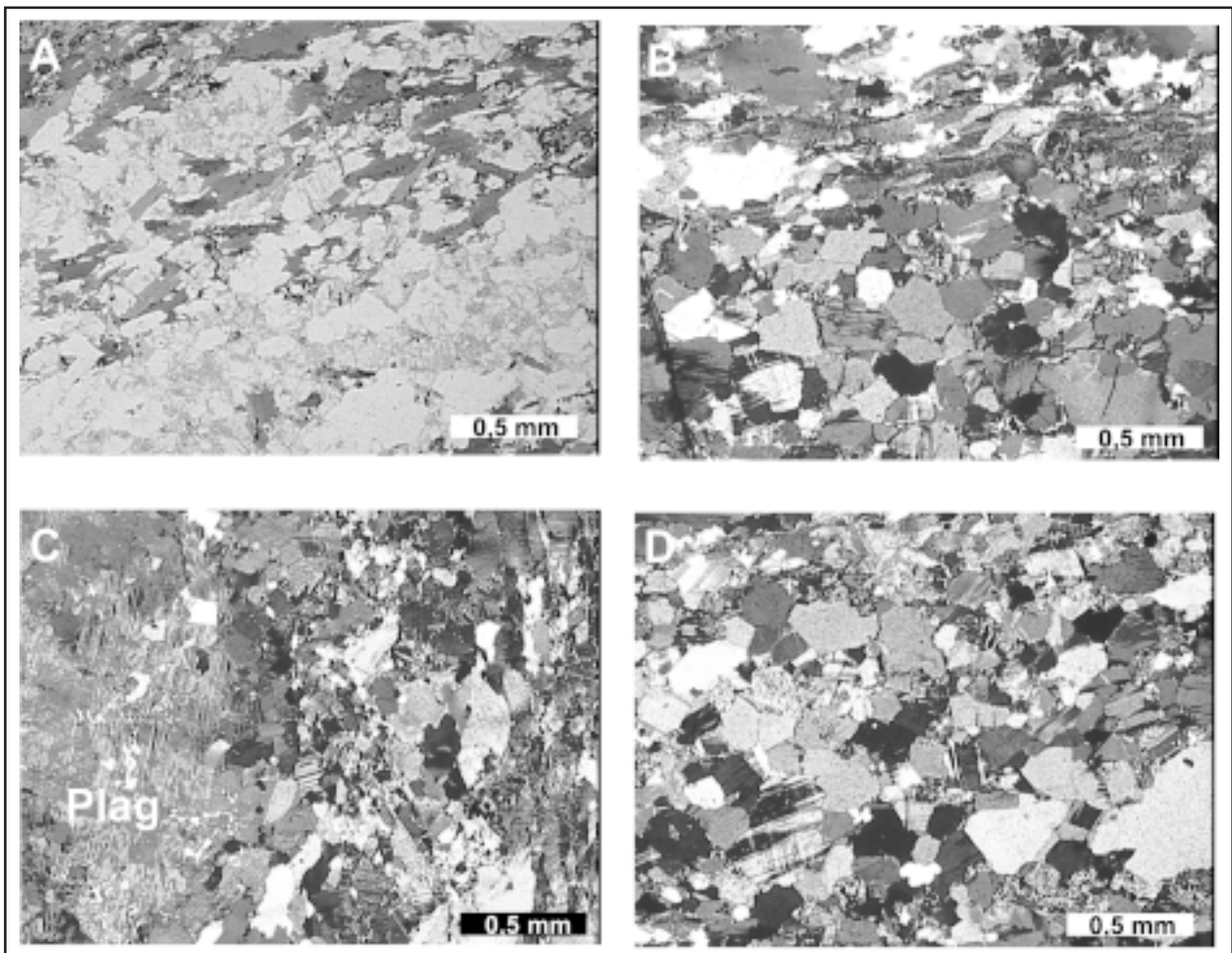


Figura 10 - Fotomicrografias de amostras dos Gnaisses Porto Alegre. 10a) Bandamento marcado pela alternância de níveis máficos ricos em biotita e níveis félsicos a base de quartzo e feldspato (luz natural), 10b) Alternância de bandas com textura lepidoblástica e granoblástica (luz polarizada), 10c) Porfiroclasto de plagioclásio envolto por matriz grano-lepidoblástica, 10d) Detalhe de nível félsico mostrando a textura granoblástica poligonal inequigranular média.

Coupled Plasma), com 29 elementos traços e 8 terras raras sendo analisados por ICP-MS (Inductive Coupled Plasma - Mass Spectrometry) (Tab. 2).

As rochas gnáissicas analisadas estão livres de fraturas ou veios e não apresentam indícios petrográficos de alteração hidrotermal, mostrando valores de perda ao fogo em geral inferior a 1%. Para avaliar o comportamento geoquímico das rochas estudadas, as amostras analisadas foram representadas em diagramas gerais de classificação química, de séries magmáticas e em diagramas de Harker, utilizando-se o teor em sílica como parâmetro de comparação principal. Além das amostras dos Gnaisses Porto Alegre, os granitóides do Complexo Pinheiro Machado (Philipp, 1998; Philipp *et al.* 2002) foram representados para fins de comparação, como será discutido adiante. Os granitóides deste complexo possuem composição predominantemente granodiorítica e uma estrutura caracterizada por um bandamento irregular e

descontínuo definido por *schlieren* de biotita. Os granitóides estão cortados por zonas de cisalhamento dúcteis, acentuando nestas áreas o bandamento primário, que adquire um aspecto gnáissico.

As litologias que compõem o Gnaiss Porto Alegre apresentam uma variação composicional caracterizada pela dominância de termos granodioríticos, com um diorito associado. O intervalo composicional demonstra uma variação no teor de SiO_2 definida entre 59.48 e 67.96%.

O comportamento dos elementos maiores nos diagramas de Harker apresenta uma boa correlação, definindo alinhamentos que indicam decréscimo nos teores de Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , $\text{FeO}t$, MgO , MnO e P_2O_5 , com aumento dos teores de Na_2O e K_2O (Fig. 11). Esta evolução geoquímica pode ser correlacionada, em parte, com a ordem de cristalização estabelecida nos estudos petrográficos, indicando o fracionamento inicial de biotita, plagioclásio,

magnetita e apatita. Este comportamento também é observado com relação aos elementos traços (Fig. 12). A correlação negativa do Sr, CaO e Al_2O_3 com a SiO_2 é indicativa do fracionamento de plagioclásio. O aumento do teor de Rb e de Ba com relação ao aumento do SiO_2 indica o fracionamento tardio de K-feldspato. O decréscimo pronunciado de V, Y e Zr, associado à correlação positiva entre FeOt-MgO e Sr-FeOt é sugestiva do fracionamento de biotita, óxido de ferro e zircão (Fig. 13).

A relação álcalis/alumina caracteriza os gnaisses como levemente peraluminosos como indicado pelos parâmetros de Shand (1963) (Fig. 14). Os parâmetros de cálcio-alcalinidade sugeridos pelo diagrama AFM, indicam que os protólitos do Gnaisse Porto Alegre têm um comportamento similar ao dos diferenciados cálcico-alcálicos (Fig. 15). A razão $FeO/FeO+MgO$ apresenta um intervalo de valores correlacionáveis com aqueles encontrados em granitóides cálcico-alcálicos, variando entre 0.72 a 0.75, mostrando um leve crescimento associado com o aumento do teor de SiO_2 (Fig. 16) A proporção de K_2O em relação à SiO_2 , conforme definido por Le Maitre (1989) para os termos mais diferenciados da série cálcico-alcálica, define o magmatismo representado pelo Gnaisse Porto Alegre como transicional entre as séries médias a alto K (Fig. 17).

As litologias do Gnaisse Porto Alegre, mostram padrões de elementos terras raras normalizados pelos valores condríticos (Sun, 1982) semelhantes aos dos granitos cálcico-alcálicos do tipo cordilheirano. Os padrões estão marcados pelo enriquecimento em terras raras leves em relação às terras raras pesadas, com pequenas anomalias negativas de Eu (Fig. 18a). Comparativamente, o Complexo Pinheiro Machado mostra um padrão muito semelhante, entretanto, com teores mais baixos para ETR pesados e anomalias negativas de Eu pouco pronunciada (Fig. 18b). O grau de fracionamento dos ETRP é pequeno.

A análise dos padrões de elementos traços das rochas gnáissicas, normalizados pelos valores do manto primitivo, ressalta a presença de pequenas anomalias positivas de Cs, Th, La, Nd e Zr, com pequenas anomalias negativas de Nb, Sr e Ti (Fig. 19a). A presença de baixas razões La/Nb é indicativa de magmatismo gerado em zonas de subducção como sugerido por Thompson *et al.* (1984) (Fig. 19b).

A disposição das amostras nos diagramas, caracterizados pelas relações entre Rb *versus* Y+Nb e Nb *versus* Y, é sugestiva da similaridade dos ortognaisses estudados com os granitos gerados em ambientes relacionados com arcos magmáticos ou pós-colisionais (Pearce, 1996) (Fig. 20).

Tabela 2 – Análises químicas de amostras de rocha dos Gnaisses Porto Alegre.

Amostra	01	02A	09	23	77
SiO2	65.38	66.64	59.48	67.16	67.96
TiO2	0.70	0.60	0.90	0.57	0.55
Al2O3	14.98	14.36	15.07	13.84	14.06
Fe2O3t	6.08	5.53	6.56	5.60	4.78
MnO	0.09	0.09	0.16	0.11	0.08
MgO	2.17	1.63	4.06	1.83	1.58
CaO	3.70	3.64	5.59	3.35	2.52
Na2O	1.90	2.43	1.63	2.01	2.02
K2O	3.69	2.74	2.14	3.13	4.45
P2O5	0.19	0.20	0.14	0.14	0.04
P.F.*	0.82	1.32	1.10	1.33	1.17
TOTAL	99.70	99.19	98.84	99.06	99.21
Rb	258	224	150	310	266
Ba	891	729	434	587	762
Sr	175	188	162	141	132
Nb	16	14	13	16	16
Zr	225	216	171	219	188
Y	17	33	23	26	17
V	96	81	150	75	69
Ni	22	13	30	19	19
Cr	77	57	110	69	76
Co	15	11	56	13	12
La	42.8	39.5	22.1	30.8	40.7
Ce	80	75	44	61	77
Nd	39	40	25	29	34
Sm	6.5	7.2	3.9	5.5	5.8
Eu	1.2	1.6	1.1	1.3	1.0
Tb	1.1	1.2	0.7	0.5	0.4
Yb	2.7	3.0	2.6	2.4	1.9
Lu	0.40	0.45	0.41	0.36	0.28

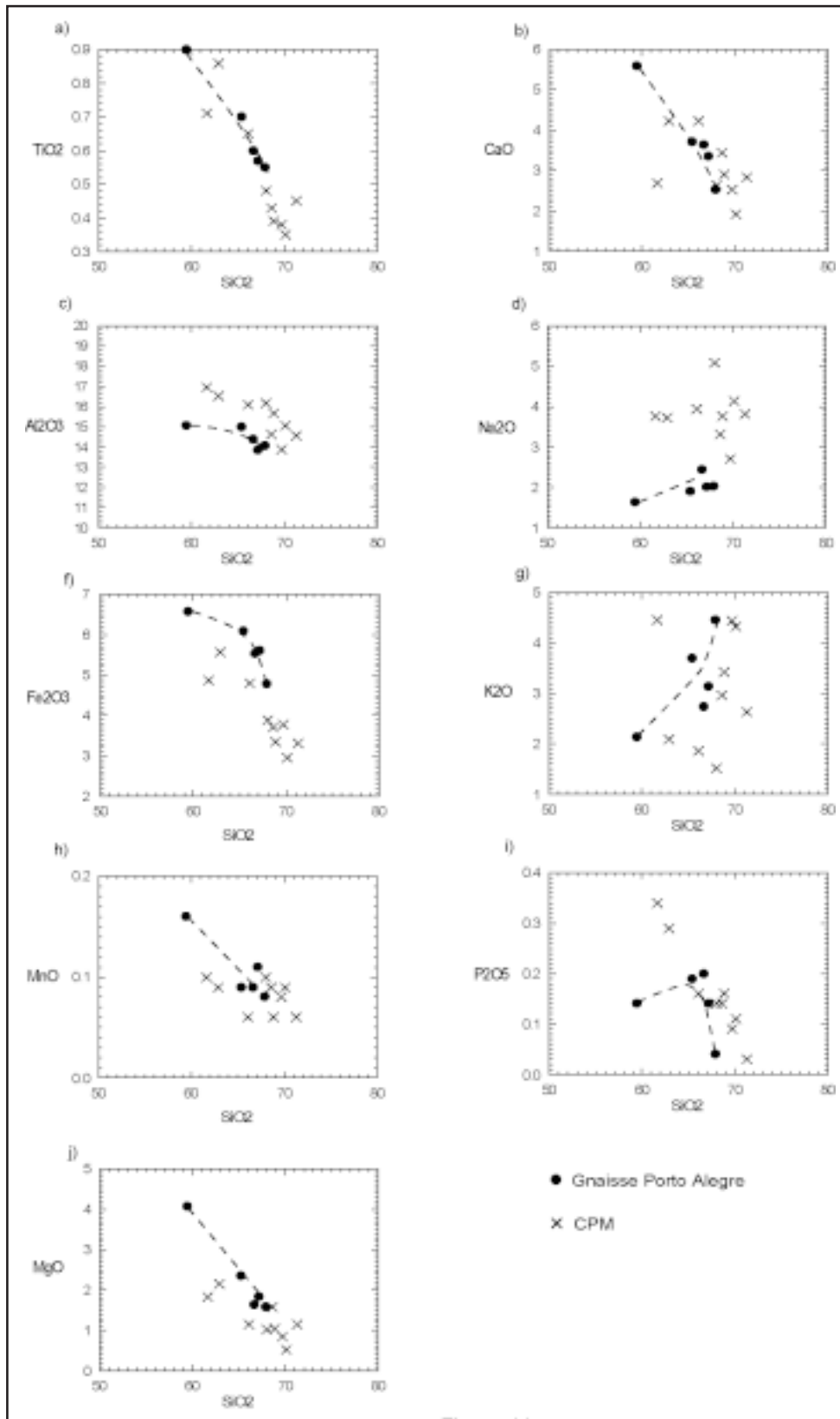


Figura 11 - Diagramas de Harker para as rochas gnáissicas e para os metagranitóides do Complexo Pinheiro Machado (Philipp, 1998) mostrando a variação dos elementos maiores usando a SiO₂ como índice de diferenciação.

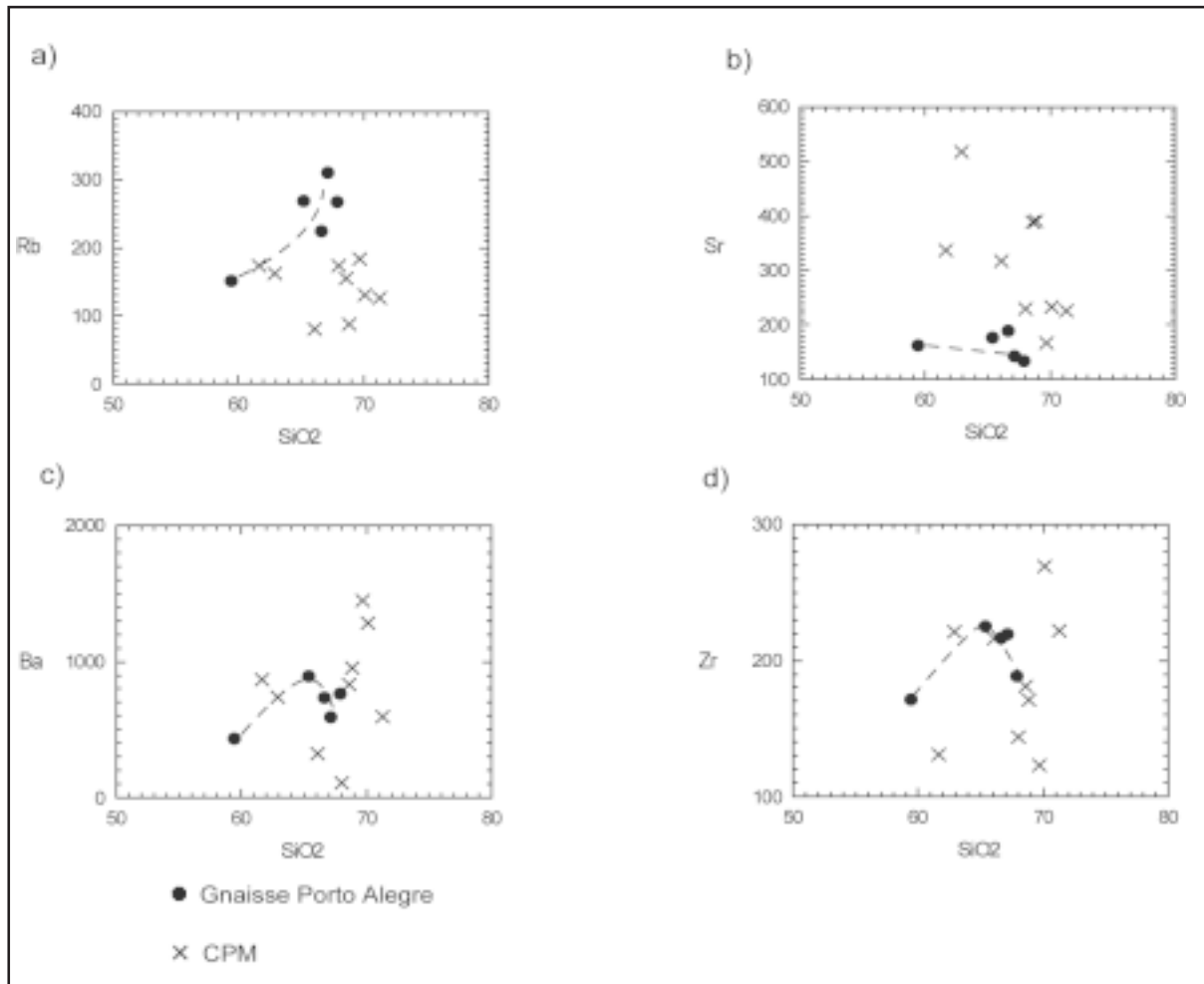


Figura 12 - Diagramas de variação de Rb, Ba, Sr e Zr utilizando a SiO₂ como índice de variação.

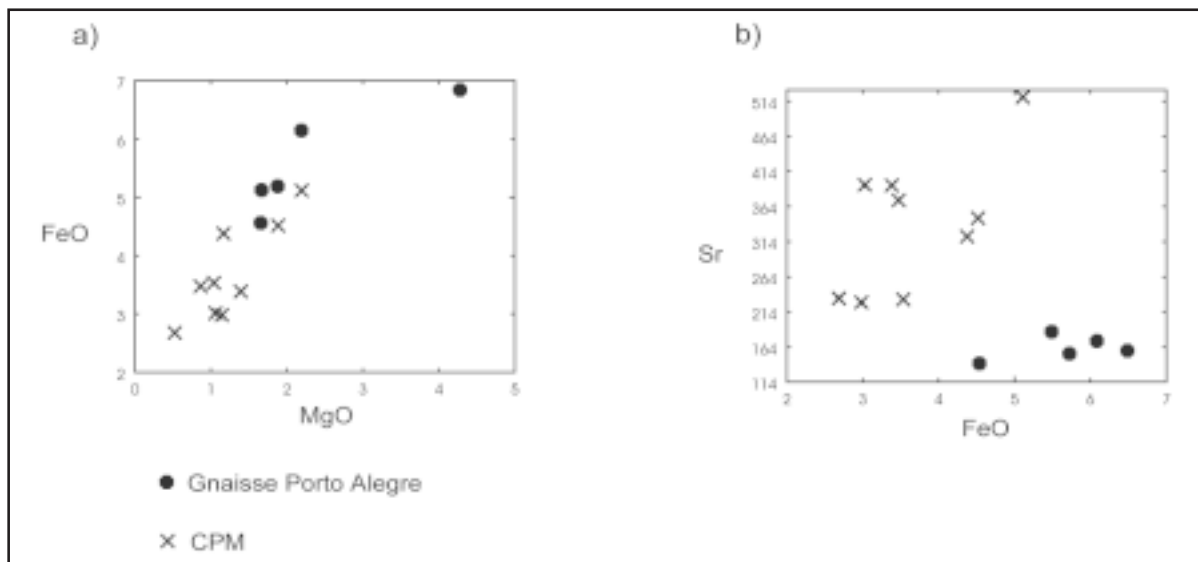


Figura 13 - Diagrama de variação entre os teores de FeO vs. MgO e Sr vs. FeO.

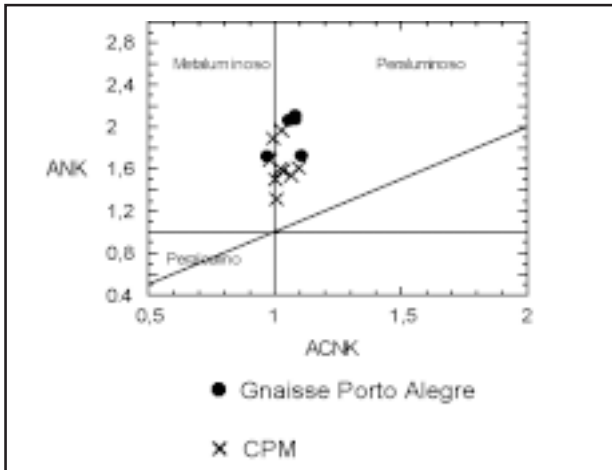


Figura 14 – Diagrama de Shand para as amostras dos Gnaisses Porto Alegre e Complexo Pinheiro Machado.

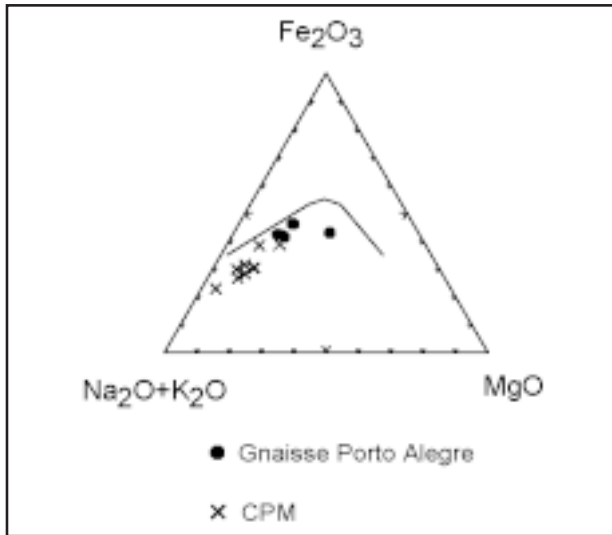


Figura 15 – Representação das amostras dos Gnaisses Porto Alegre e do Complexo Pinheiro Machado no diagrama A:F:M.

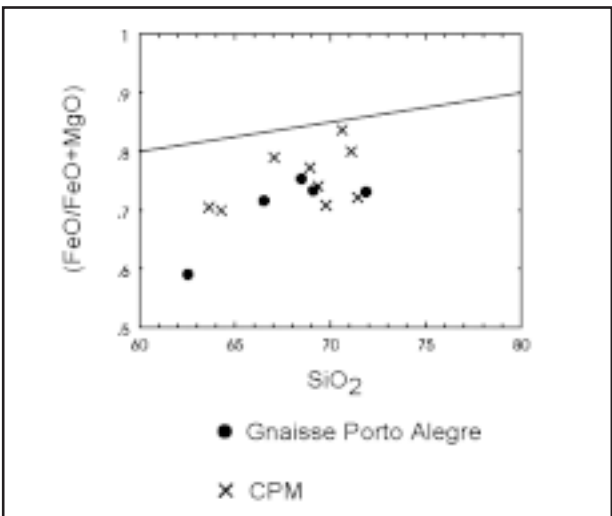


Figura 16 – Comportamento da razão $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ com relação ao aumento da diferenciação para as litologias estudadas.

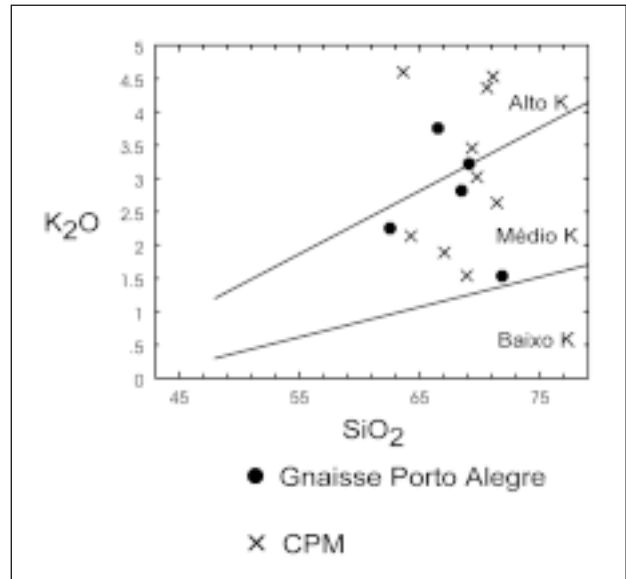


Figura 17 – Diagrama $\text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Le Maitre, 1989) para a classificação das suítes de afinidade cálcico-alcálicas do Batólito Pelotas.

ORIGEM DO PROTÓLITO DOS GNAISSES PORTO ALEGRE

As principais evidências de campo para a análise da seqüência pré-metamórfica desta unidade são a sua homogeneidade composicional e textural, a presença de textura blastoequigranular média (1-2mm), marcada pela presença de porfiroclastos de 10-20 mm de plagioclásio e, menos freqüente, de K-feldspato, e pela textura blastopoiquilitica, definida pela presença comum de inclusões euédricas de apatita e zircão em plagioclásio; biotita e zircão em K-feldspato. Apesar das rochas gnáissicas apresentarem um forte registro deformacional vinculado a formação de zonas de cisalhamento dúcteis, as evidências de campo sugerem um protólito de natureza plutônica.

Ao microscópio, a mineralogia essencial é constituída por plagioclásio, K-feldspato e quartzo, com biotita e hornblenda como minerais máficos e, esfeno, zircão, apatita, alanita e opacos como minerais acessórios. Apresentam uma composição petrográfica e litogeoquímica dominada por termos granodioríticos e monzograníticos com dioritos subordinados.

CONSIDERAÇÕES GEOTECTÔNICAS

A disposição espacial e os dados geofísicos apresentados por Fernandes *et al.* (1995) possibilitam a correlação do Gnaisses Porto Alegre com as litologias do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos (Tomasi, 1991), supondo desta maneira que estes

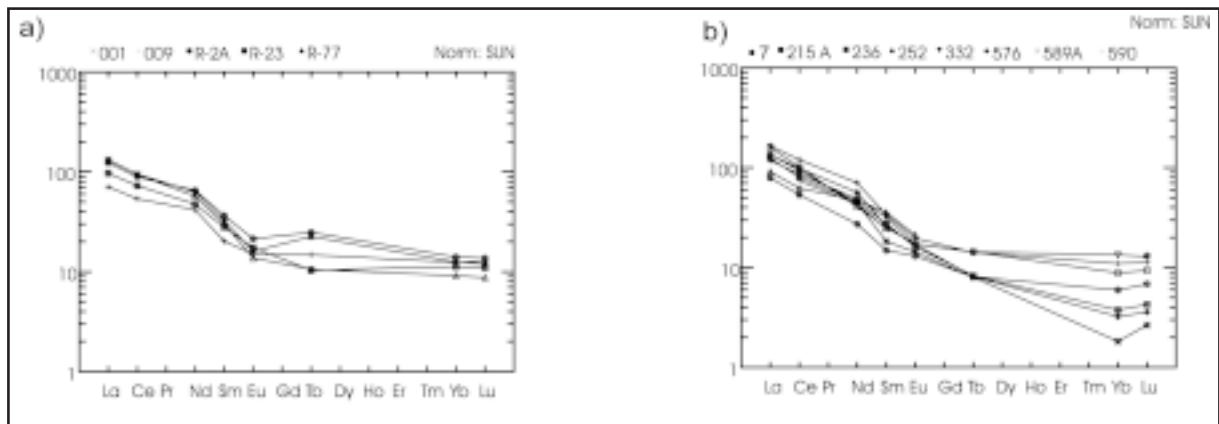


Figura 18 – Padrões de ETR para os Gnaisses Porto Alegre (a) e CPM (b).

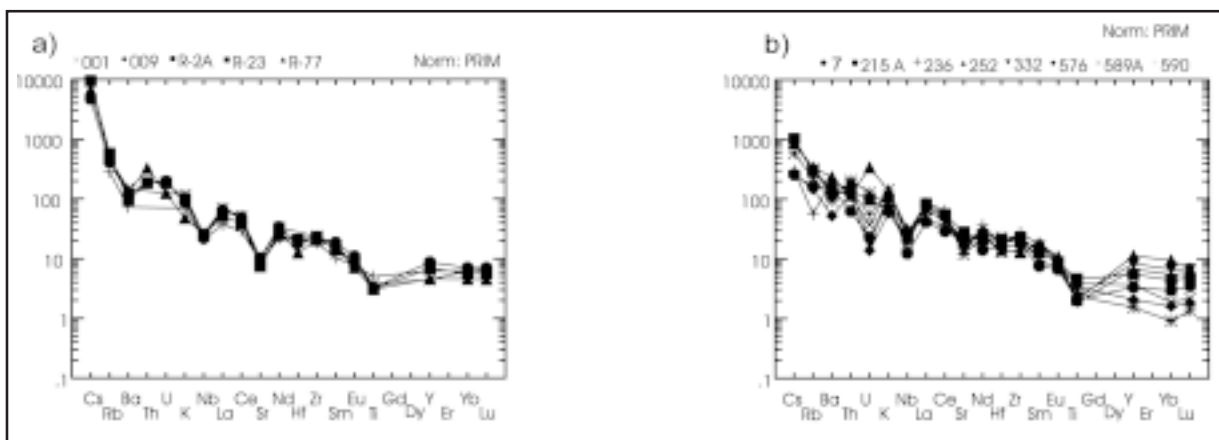


Figura 19 - Aranhograma representando os principais elementos traços dos gnaisses estudados (a) e CPM (b).

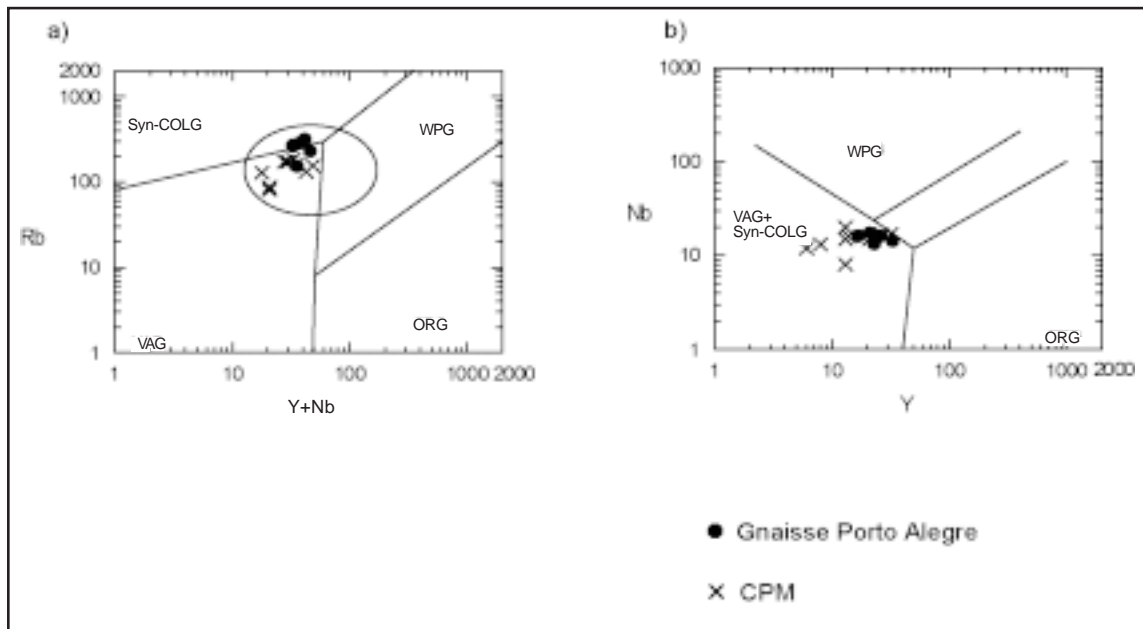


Figura 20 - Disposição das rochas granitóides das suítes estudadas no diagrama Rb x Y+Nb e Nb x Y (Pearce, et al., 1984).

últimos caracterizam a continuidade física deste complexo para nordeste. A grande semelhança na composição petrográfica e estrutural entre as litologias do Gnaiss Porto Alegre e os metagranitóides do Complexo Pinheiro Machado, permitiu supor também, uma possível correlação entre estas unidades (Philipp, 1998). Entretanto, a comparação geoquímica de amostras de um mesmo intervalo de SiO₂ entre estas unidades mostrou diferenças composicionais significativas, como teores mais elevados de Al₂O₃, Na₂O e Sr, e teores mais baixos de FeO, MgO e Rb dos granitóides do CPM em relação aos Gnaisses Porto Alegre. O conteúdo geral de terras raras também mostrou valores em geral mais elevados de ETR leves e mais baixos de ETR pesados para o CPM. Nos diagramas multi-elementares, embora mostrem padrões muito semelhantes, ocorrem diferenças significativas nos teores de elementos traços, em geral mais elevados para o CMP.

A variação composicional do Gnaiss Porto Alegre, bem como as relações de contato discordantes apresentadas pelas rochas graníticas desta região, levantam a possibilidade dos gnaisses terem servido como fonte do magmatismo granítico brasileiro tardi a pós-colisional como sugerido por Philipp *et al.* (1998) e Oliveira *et al.* (2001).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bandamento observado nos gnaisses é composto, com sua componente magmática caracterizada pela injeção de corpos dioríticos e granodioríticos-monzograníticos. A deformação e o metamorfismo regional orogênico são responsáveis pela formação de um bandamento de segregação metamórfica, gerado em condições de temperatura elevada, compatível com as da fácies anfíbolito médio a superior. O redobramento do bandamento ocasiona o estiramento e rompimento das bandas félsicas, com estes fenômenos estando correlacionados com as elevadas taxas de deformação dúctil associadas com as fases de deformação subseqüentes.

A ausência de estruturas bandadas geradas pelo metamorfismo regional orogênico e as diferenças entre as composições geoquímicas indicam que as litologias do CPM não podem ser correlacionadas com os Gnaisses Porto Alegre. Novos levantamentos estratigráficos e geoquímicos dos gnaisses do Complexo Arroio dos Ratos permitirão a correlação definitiva desta unidade com os gnaisses aflorantes em Porto Alegre.

Agradecimentos - Os autores agradecem a FAPERGS (processo N° 99/19759) e a FAPESP (processo N° 1999/10207-2) pelo suporte financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de campo e laboratório, ao CNPq (processo N° 309232/2003-1, de Ruy Paulo Philipp) pela concessão de bolsa de produtividade e a Dra. Maria José Maluf de Mesquita pela revisão do texto e sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bitencourt, M. F.; Nardi, L. S. V. 1993. Late- to post-collisional Brazilian Magmatism in the Southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **65**: 3-16.
- Chemale Jr. F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.13-54.
- Davies, J. H.; Von Blanckenburg, F. 1995. Slab breakoff: a model lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. **Earth and Planetary Science Letters**, **129**: 85-102.
- Fernandes, L. A.; Tommasi, A. & C. C. Porcher. 1992. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. **Journal of South American Earth Science**, **5**(1): 77-96.
- Fernandes, L. A. D.; Menegat, R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G. E. & E. Camozzato. 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**, **25**(4): 375-384.
- Kay, R. W.; Mahlburg-Kay, S. 1991. Creation and destruction of lower continental crust. **Geologisches in Rundschau**, **80**:259-278.
- Lameyre, J. & P. Bowden. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoids series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **14**: 169-186.
- Le Maitre, R. W. 1989. **A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms**. Oxford, Blackwell, 193p.
- Menegat, R.; Fernandes, L. A. D.; Koester, E.; Scherer, C. M. S. 1998. Porto Alegre antes do Homem: evolução geológica. In: R. Menegat; M. L. Porto; C. C. Carraro; Fernandes, L. A. D. (eds.) **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.11-24.
- Oliveira, L. D.; Koester, E.; Soliani Jr., E. 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. **Geochimica Brasiliensis**, **15**(2): 65-92.
- Patiño-Douce, A. E.; Humphreys, E. D.; Johnson, A. D. 1990. Anatexis and metamorphism in tectonically thickened continental crust exemplified by the Sevier hinterland, western North America. **Earth Planetary Science Letters**, **97**: 290-315.
- Pearce, J. A.; Harris, N. B. W.; Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonics interpretations of granitic rocks. **Journal of Petrology**, **25**: 956-983.
- Pearce, J. A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. **Episodes**, **19**(4): 120-125.
- Philipp, R. P. 1995. Condições de posicionamento do plutonismo da Suíte Dom Feliciano na região de Porto Alegre, RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, Gramado, 1995, **Boletim de Resumos Expandidos**, Gramado, SBG, p. 207-209.
- Philipp, R. P. 1998. **A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas, RS**. São Paulo. 371 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Philipp, R. P.; Rego, I. T. S. F.; Siviero, R. 1994. Geologia das rochas granitóides da região de Porto Alegre, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, **Anais...**, Camboriú, SBG, 1: 98-99.

- Philipp, R. P.; Nardi, L. V. S.; Machado, R. 1998. O magmatismo granítico Neoproterozóico tardio a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. In: Conceição, H. (ed.). **Contribuição ao Estudo de Granitos e Rochas Correlatas**, Salvador, SBG-Núcleo Bahia-Sergipe, Publicação Especial, 5: 129-152.
- Philipp, R. P.; Machado, R.; Nardi, L. V. S.; Lafon, J. M. 2002. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Revista Brasileira de Geociências**, **32** (2): 277-290.
- Ramgrab, G. E.; Wildner, W.; Camozzato, E. 1996. **Mapa Geológico da Folha Porto Alegre SH.22-Y-B**, Porto Alegre, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, CPRM, Brasília, 144p.
- Shand, S. J. 1963. **Eruptive rocks**. John Wiley, New York, 233p.
- Schneider, A. W.; Loss, E. L.; Pinto, J. F. 1974. **Mapa geológico da Folha Porto Alegre, RS, escala 1:50.000**, Porto Alegre, CNPq, mapa.
- Streckeisen, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Review**, **12**: 1-33.
- Sun, S. S. 1982. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **46**: 179-192.
- Sylvester, P. J. 1989. Post-collisional alkaline granites. **Journal of Geology**, **97**: 261-280.
- Thompson, R. N.; Morrison, M. A.; Hendry, G. L. & S. J. Parry. 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an element approach. **Philosophical Transactions of Royal Society of London**, **A310**: 549-590.
- Tommasi, A. 1991. **Evolução cinemática do Cinturão Dom Feliciano durante o Ciclo Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, 207p., Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Whalen, J. B.; Currie, K. L.; Chappell, B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contribution to Mineralogy and Petrology**, **95**: 407-419.



Núcleo de Editoração e Criação – Gráfica UFRGS

Editoração: Matheus Pessel & Janaína Horn

GRÁFICA UFRGS – Rua Ramiro Barcelos, 2705 – 90035-007 – Porto Alegre – RS – Telefones: (0xx51) 3316 5083 / 3316 5078 – Fax: (0xx51) 3316 5088 – E-mail: grafica@ufrgs.br/graficadaufrgs@yahoo.com.br
· *Direção:* Luciane Delani · *Núcleo de Editoração e Criação:* Junia Machado Saedt (Coordenadora), Joice Conde Contes (Revisão), Cristiano Muniz, Marina Guerra, Janaína Horn, Natali Bittencourt, Rodrigo Barbosa Pinto, Raquel Mattos, Huanri Lin, Bruna Severo, Francielle Peixoto (Bolsistas) · *Relações Públicas:* Joseane Ranzolin · *Projeto Teses e Dissertações:* João Alberto Vargas · *Impressão Digital:* Jeferson Lhul Bandeira · *Impressão Off-Set:* Clarissa da Silva Sandoval, Eliezer Felipe da Silva, Valério de Almeida Vieira · *Acabamento:* Nilton Schergl da Silva (Coordenador), Daniel Costa, Eron Feijó, Faustino Machado de Freitas, Paulo Rocha · *Administração:* Lylían Olinto (Coordenadora), Alfredo de Freitas Lima (Orçamento) · *Apoio:* Dinair Oliveira.