

# LAJINHA, UMA INTRUSÃO TARDI-OROGÊNICA E PÓS-COLISIONAL NO EXTREMO OESTE DO COMPLEXO PARAÍBA DO SUL, MINAS GERAIS-ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Adolf Heinrich Horn(\*)

## ABSTRACT

This is an interpretation of geological, petrological and geochemical data of the Lajinha intrusion, which belongs to the Alto Capim Subsuite of the Espírito Santo Magmatic Suite. The Lajinha intrusion is a plutonic body of medium extensions (48km<sup>2</sup>) with diapiric structure and magmatic zoning. Two magmatic groups build up this body, one of granitic affinity and the other group of dioritic affinity. Between this two groups do not exist "commingling" but a chemical interaction (e. g.: "mixing" in the contact region). The acid rocks, that crop out in a ringlike form, can be observed in two distinct litological groups. The main group is coarse-grained, has a great number of big potassic feldspar-phenocrysts (up to 15cm), small part of matrix and it do not have a preferencial orientation. In some parts exist a flux orientation of the phenocrysts and at the contact with the host rock appears weak intrusive foliation. The other subordinate group is formed by a middle to coarse grained matrix, with isotropic appearance and with a very low content of K-feldspar phenocrystals. The separation of the two groups may be a result of "filter-pressing" and/or "gravity separation". The granites are constituted principally of quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite, accessory and opaque minerals. Their chemical composition ranges from alkaligranite to granodiorite. The basic rockgroup, which crops out in an oval formed elonged central nuclei, has a middle to coarse granulometry, homogeneous and isotropic appearance over all of the visited outcrops. This rock is built up by amphibole, biotite, plagioclase, small percentage of pyroxene, accessory and opaque minerals. The chemical composition vary between syeno-diorite, diorite and gabbrodiorite. The contact between the granitic rockgroup and the basic rockgroup is very well defined and shows only metasomatism effects and not "commingling". The host of the intrusion are para-rocks like migmatites, banded gneisses, quartzites, and ortho-rocks like an homogeneous gneisse (Galileia Intrusive Suite; Pocrane Complex) and amphibolitic. They are very strong foliated. The contact between the host and the intrusive rocks is normally formed by gradational evolution (transformation) and in some parts of the north western contact by faults. From the host towards the intrusion growth up the number of blasts and the distribuion of fusion effects. Pegmatitic veins cut the mainbody in the same direction as distension fractures (NE-SW). In the northeastern part this fractures are invaded by a fine grained alkaline basalt of probably cretaceous age. This veins cut the host and the granites of the intrusion, too. The observations make possible the idea of an intrusive process under late-orogeneus to post-collisional regime. The differentiation trends of the two rock groups are calco-alkaline (trondhjemitic to monzonitic), with peraluminous to metaluminous and alkaline to subalkaline tendency. This intrusion make part of the symetric body distribution within the Espírito Santo Magmatic Arc, beginning with late to post-collisional intrusion in the west and east and early to syn-collisional intrusions in the central region, the later influenced by compressional and transcorrent movements.

## INTRODUÇÃO

Desde os anos sessenta foram realizados muitos estudos sobre os Complexos Juiz de Fora e Costeiro, incluindo as suas intrusões Brasileiras. Estes estudos foram feitos principalmente por grupos de pesquisa das Universidades Federais do Rio de Janeiro (Wiedemann et al., 1987), Minas Gerais (Horn & Weber-Diefenbach, 1987; Horn & Paiva, 1994; Horn et al., 1996), estaduais como a USP e a UNESP, e da Universidade Ludwig Maximilian em Munique (Weber-Diefenbach et al., 1987). Foram investigadas as intrusões Brasileiras, relativamente à sua petrografia, composição química, idade e contexto regional (Barbosa et al., 1966; Almeida et al., 1976; Hasui & Oliveira 1976; Almeida, 1977; Almeida & Hasui, 1984; Hasui et al., 1984; Schobbenhaus et al., 1984).

A intrusão de Lajinha, tratada neste trabalho, faz parte deste conjunto denominado arco magmático (Wiedemann, 1993).

No Cinturão Móvel Ribeira ocorrem vários corpos intrusivos ácidos e/ou ácido-básicos, com um grau variado de deformação. As suas extensões variam entre 100m e 100km. Eles podem ser ligados aos diferentes estágios do desenvolvimento do Evento Brasileiro, formando um arco magmático. Existem intrusões com propriedades que indicam idades de posicionamento desde o pré-compressional até o pós colisional. A intrusão de Lajinha, objeto deste estudo, faz parte deste conjunto.

A intrusão de Lajinha situa-se na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, na prolongação da Serra do Caparaó ao norte da BR-262. É

margeada pela BR-262 e pela estrada que dá acesso à cidade de Lajinha (figura 1).

Reconhecem-se cinco suites magmáticas para o Evento Brasileiro e um grupo de intrusões transicionais atípicas relacionadas ao Evento Brasileiro na Faixa Ribeira (Fonseca & Campos, 1978; Bayer, 1987; Fonseca et al., 1978; Radambrasil, 1987; Vieira, 1993), as quais foram classificadas em suites compressivas e suites transcorrentes (Wiedemann et al., 1986, 1987;

migmatizados e/ou com anatexia. São considerados corpos como Aracá e Iconha (Offmann & Weber-Diefenbach, 1989). Esta suite é considerada sin- a pós tectônico (Wiedemann et al., 1986, 1987). A idade é de cerca de 600Ma (U/Pb em Zircão, Söllner et al., 1986, 1989, 1991). Ocorrem rochas de composição granítica a granodiorítica, sem participação de rochas máficas;

**c. Suite Santa Angélica:** Os corpos desta Suite mostram uma estrutura sempre complexa, normalmente

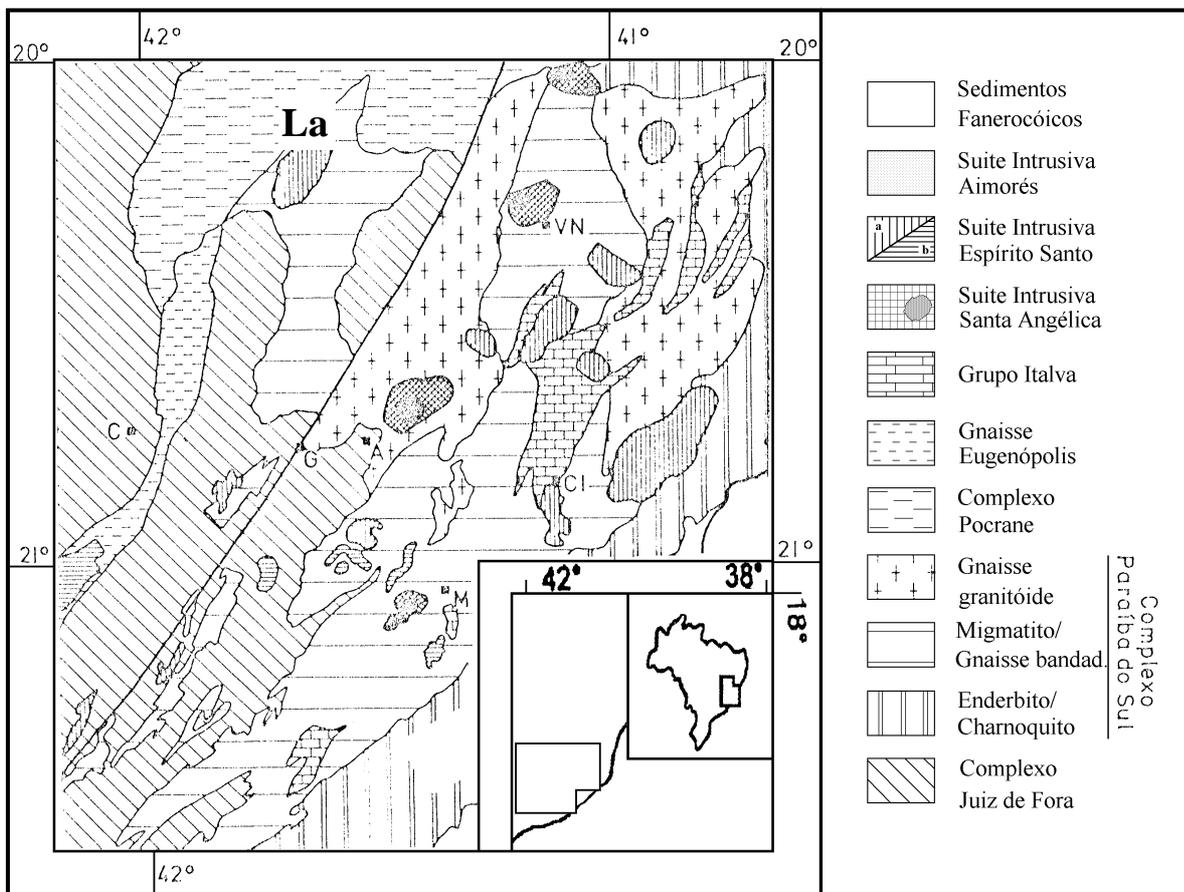


Figura 1: Mapa de localização e mapa geológico da área de interesse (segundo Bayer et al., 1986, 1987; Töpfer, 1996; IBGE, 1979; modificado). As suites magmáticas estão indicadas. A intrusão de Lajinha está marcada (La). Dados de vários trabalhos (modificado: Bayer et al., 1986; Wiedemann, 1993; Vieira, 1993).

C: Carangola; A: Alegre; CI: Cachoeiro de Itapemirim; VN: Venda Nova; G: Guacuí; M: Mimoso do Sul;

Figure 1: Localization and geological map of the region of interest (after Bayer et al., 1986, 1987; Wiedemann, 1993; Vieira, 1993 modified). The rock suites are indicated. The Lajinha intrusion is marked (La) - Results of different works modified: Bayer et al., 1986; Wiedemann, 1993; Vieira, 1993).

Wiedemann, 1993; Campos Neto & Figueiredo, 1995):

**a. Suite Aimorés:** Granitos e Granitóides com orto- e clinopiroxênio (granitos hiperstênicos). Eles ocorrem com maior frequência na região do Vale do Rio Doce entre Governador Valadares e Colatina (Vieira et al., 1993; Vieira & Horn, 1994, Horn et al., 1996). A sua idade é em torno de 600Ma (Rb/Sr, Medeiros, 1993);

**b. Suite Espírito Santo:** Granitóides muito cataclados e recristalizados. Na maioria, corpos

bimodal, com um núcleo de rochas máficas (noritos e gabros) e um anel de granitos cálcio- alcalino, com alto teor em K e uma zona resultante de “commingling/mixing” entre estas rochas. (Horn, 1985; Bayer et al., 1986; Horn & Weber-Diefenbach, 1987);

**d. Gnaisses granitóides (Estrela Granitóide-Gnaiss e Granitóide Galileia):** Grandes corpos de composição granítica a diorítica, com fenocristais de plagioclásio, e por vezes, anfibólio. Os contatos com as

rochas encaixantes são ora gradacional, ora nítidos. A idade U/Pb deles, em Zircão é de cerca de 680Ma (Söllner et al., 1986, 1989, 1991, e Söllner & Weber-Diefenbach, 1987). Localmente, mostram influência de anatexia com formação de pequenos corpos graníticos secundários associados (Bayer et al., 1986, 1987; Geiger et al., 1988; Nalini et al., 1995).

e. Wiedemann et al. (1987) e Wiedemann (1993) separam ainda, além destas quatro, uma **Suíte Mimoso do Sul** com as intrusões Jacutinga-Torre, Conceição de Muqui e Venda Nova.

Além disto, existem nas três suítes (a, b, c) corpos que estão sendo classificados diferentemente por vários autores. Estes estão sendo incluídos numa sexta suite magmática:

**f. Intrusões atípicas:** Com um núcleo de rochas máficas fracamente desenvolvido (somente diorito), estreita faixa de “commingling e/ou mixing” e uma borda granitóide. O regime tectônico não está muito bem definido. A idade dos corpos incluídos nesta suite gira em torno de 600Ma (U/Pb) e de 600 a 540Ma (K/Ar; Rb/Sr; idade de fechamento, Söllner et al., 1986, 1989, 1991 e Söllner & Weber-Diefenbach, 1987).

A intrusão de Lajinha foi colocada na Suíte Intrusiva

Espírito Santo, Subsuíte Alto Capim (CPRM 1995; Wiedemann, 1993). Em decorrência de observações mencionadas neste trabalho, esta classificação pode ser questionada e uma colocação no grupo das intrusões atípicas parece mais evidente.

As datações acima referidas foram efetuadas por Delhal et al., 1969; Cordani et al., 1973; Besang et al., 1977; Cordani & Teixeira, 1979, Siga Jr. et al., 1982; Söllner et al., 1986, 1989, 1991; Söllner & Weber-Diefenbach et al., 1987.

#### Geologia da Intrusão:

O maciço de Lajinha tem a forma de uma gota com eixo maior orientado segundo NE-SW e o lado menor para norte. A intrusão é formada por um pequeno núcleo alongado de rochas diorítico-gabrodiorítico encaixadas num corpo volumoso de rochas graníticas-grandioríticas (figura 2) com quantidades variadas de matriz, de granulação média, e fenocristais orientados de feldspato alcalino. O corpo intrusivo está posicionado uma dobra regional invertida, observação muito comum nas intrusões do Evento Brasileiro. Veios pegmatíticos cortam a intrusão na parte central de sudoeste a noreste.

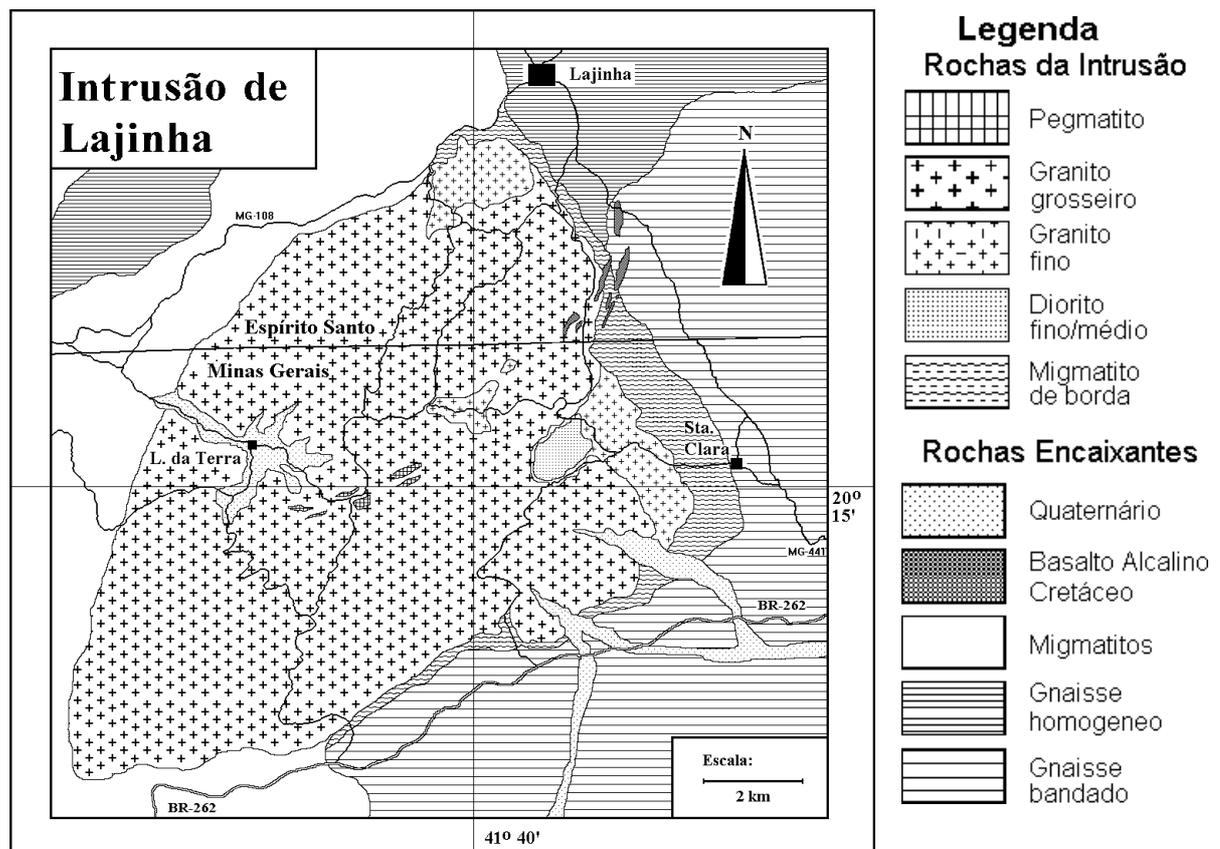


Figura 2: Mapa geológico da intrusão de Lajinha com as rochas intrusivas e suas encaixantes (Horn & Paiva 1994; CPRM 1995; modificado)

Figure 2: Geological map of the Lajinha Intrusion with the intrusive and host rocks (Horn & Paiva 1994; CPRM 1995; modified)

Esta direção é determinada por falhas de relaxamento conjugadas de NNW-SSE e NNE-SSW (Schobbenhaus et al., 1984), provavelmente de idade tardi-Brasilião.

Os contatos com as rochas encaixantes, que pertencem ao Complexo Granito-Gnáissico Espírito Santo (Silva et al., 1984; equivalente ao Complexo Costeiro e Complexo Pocrane de Söllner et al., 1989; 1991) e o Complexo Juiz de Fora, ambos formados por rochas pára e orto-derivadas são, na sua maioria, transicionais gradativas e seguem normalmente a direção regional (xistosidade N-S a NE-SW).

Nas partes marginais do corpo granítico encontram-se muitos enclaves centimétricos a decimétricos da rocha encaixante, “schollen” de calcisilicáticas e de anfibolitos e enclaves ovais, alongados de biotitito, restitos da anatexia.

Diques e sills de até 50m, de composição alcalibasáltico, de provável idade Cretácea, cortam as rochas encaixantes e a intrusão na mesma direção das fraturas de relaxamento.

Datação Rb/Sr em rochas intrusivas semelhantes mostram idades entre 480 e 450Ma (CPRM, 1995).

### Descrição de campo e microscópica das rochas da intrusão de Lajinha

#### Rochas encaixantes:

As rochas encaixantes são formadas por rochas para-derivadas como migmatitos, gnaisses granatíferos com ou sem enclaves de anfibolitos, quartzitos e calciosilicáticas e orto-derivadas como granitóides e gnaisses graníticos-granodioríticos. Aproximando-se do corpo intrusivo aumenta o grau de migmatização e aparecem porções de material fundido.

#### Migmatito de borda:

Em volta da intrusão formou-se uma faixa de migmatização progressiva da rocha encaixante em direção ao centro do corpo intrusivo.

Próximo ao corpo intrusivo, observa-se anatexia e aumento da deformação plástica, do número de bolsões e veios de material fundido e da frequência de blastos de feldspatos. Os enclaves calciosilicáticos e anfibolíticos mostram deformação dúctil-rúptil e às vezes crescimento de feldspatos nas fraturas e nas zonas de fraqueza.

#### Anel externo granítico-granodiorítico:

Dois tipos de rocha granitóide (s. l.) são separáveis macroscopicamente. Elas dominam o corpo magmático e ocorrem em porções separadas e também em quantidades variadas de mistura;

a. Granito grosseiro com megacristais de feldspato de até 10cm;

b. Granito fino a médio sem ou com megacristais pequenos até 2cm. Às vezes encontram-se alanita e titanita, e perto do contato com as rochas encaixantes, granada.

A formação dos dois tipos, provavelmente, é um resultado de processos como “filter-pressing” junto com separação gravitativa.

#### Núcleo diorítico:

É restrito à porção a sudeste da área e a sul da Vila Patrimônio de Lajinha. O núcleo é homogêneo, de granulação média a grossa sem maiores variações. Mistura mecânica (“mixing; commingling”) como nos corpos intrusivos das suítes Santa Angélica e Espírito Santo (Subsuíte B; figura 1) não foi observada. A interação química entre os dois tipos de magmas caracteriza essa intrusão, especialmente no contato entre as rochas ácidas e básicas. Localmente ocorreu uma re-injeção de magma granítico no corpo básico, seguindo fraturas ou zonas de fraqueza.

Os resultados da análise moda por contagem de pontos, lançados no diagrama de Streckeisen, 1976; permitem classificar as rochas ocorrentes na intrusão (figura 3). Reconhecem-se três grandes grupos de rochas: um, representado no campo A, que compreende quartzo-sienitos a quartzo-monzonitos; outro, delimitado pelo campo B, corresponde à composição dos granitos de fusão anatética, projetando-se nos campos dos monzo e sieno-granitos e, o terceiro, nomeado C, de composição básica é constituído por monzogabros.

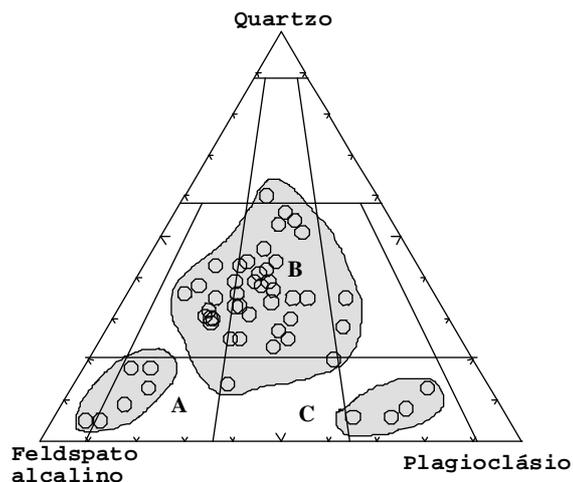


Figura 3: Diagrama triangular apresentando dados da contagem de pontos de várias amostras de rochas da Intrusão de Lajinha. Divisão segundo Streckeisen, 1976 e Le Maitre, 1976, 1984.

Figure 3: Ternary diagram shows point counter results of some samples from Lajinha Intrusive rocks. Division after Streckeisen (1976) and Le Maitre (1976, 1984).

A- Rochas como quartzo-sienito a quartzo-monzonito (Classificação de Streckeisen: 9, 9\*) para o núcleo e B. rochas como sieno/monzo-granito (3a, b) e alcali feldspato-granito (6), quartzo-alcalifeldspato sienito (6\*) até quartzo-sienito (7\*) para o grande corpo granitóide da intrusão.

Entre os tipos de rochas existem algumas amostras de interligação como pode ser visto também na figura 4. Ver os grupos A, B, C no texto.

De modo semelhante às rochas de Venda Nova (Horn, 1985; Töpfer, 1986; Petrick, 1987; Jaffé, 1987; Neumann, 1987) existem principalmente rochas de caracterização alcalina (figura 4), porém os membros mais básicos como gabro alcalino, cumulos de olivina, piroxênio estão ausentes.

Rochas básicas:

Principalmente compostas por plagioclásio, anfibólio, biotita, pouco quartzo, feldspato alcalino, minerais opacos, acessórios como zircão, titanita, apatita e magnetita além de minerais secundários de transformação como sericita e epidoto.

Rochas ácidas:

Macroscopicamente é possível separá-las em dois tipos, utilizando a mistura com ou sem fenocristais de feldspato alcalino.

A quantidade dos fenocristais de feldspato alcalino varia entre 0 e 96%. Eles estão distribuídos aleatoriamente, e em algumas regiões, orientados por fluxo e (sub-ordenadamente) nas margens do corpo por influência tectônica.

A composição mineral é feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio, biotita, anfibólio, acessórios e opacos como

zircão, titanita, allanita, granada, magnetita e pirita e minerais secundários como sericita e epidoto. Os minerais da matriz não mostram orientação.

Métodos analíticos:

Foram coletadas 85 amostras e preparadas para microscopia ótica e análise química.

A determinação dos elementos maiores, menores e traços foi feita com equipamento sequencial de dispersão de comprimento de onda de raios X da empresa Siemens. Utilizaram-se pastilhas de tetraborato de lítio (relação 1 : 3 =  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; amostra) fundidas num forno de indução por dois minutos. O equipamento pertence ao "Lehrstuhl für Mineralogie und Geochemie" da "Technische Universität München".

Descrição química:

No diagrama TAS "total alcalis X sílica, (Cox et al., 1979; figura 4) observa-se um espectro composicional que varia desde gabro-diorítico em direção ao monzonito-sienito e granodiorito a granítico. As amostras de Lajinha mostram um comportamento similar ao das amostras de Venda Nova (Horn, 1985; Petrick, 1987; Töpfer, 1986).

Diagramas do tipo Harker (figuras 5, 6; Cox et al., 1979; Floyd & Winchester, 1975; Pearce et al., 1984) mostram o comportamento de elementos maiores e traços selecionados contra  $\text{SiO}_2$ .

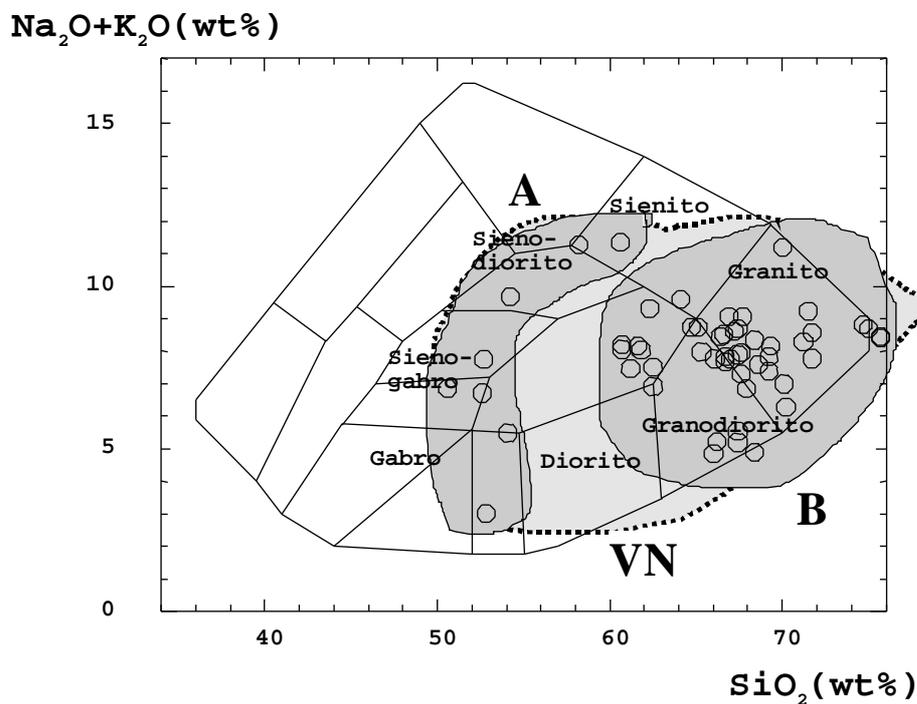


Figura 4: Diagrama TAS (Cox, et al., 1979) com as amostras da intrusão de Lajinha e as amostras da intrusão de Venda Nova para comparação. Os círculos indicam as amostras da intrusão de Lajinha. Campo de distribuição das rochas do núcleo máfico é designado com A e dos granitos com B. O campo designado VN (cinza-clara) mostra a distribuição das amostras de Venda Nova.

Figure 4: TAS Diagram (Cox, et al., 1979) with samples from Lajinha and Venda Nova intrusions for comparison. The circles indicates Lajinha samples. The distribution of the samples from the mafic center are marked by A and the granitic field by B. The gray field marks the Venda Nova samples.

O diagrama P.F.xSiO<sub>2</sub> mostra uma concentração das amostras entre 0.2 a 2.6% P.F. As amostras com teores acima desses valores são consideradas amostras alteradas. Mas mostrou-se que a utilização de todos as amostras não altera as conclusões nos diagramas.

No diagrama Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>xSiO<sub>2</sub> pode ser observado os altos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13-19%) para o granito, teores de 13 a 21% para o diorito. Foi observado um “gap” entre 70-75% SiO<sub>2</sub>. O “trend” para as amostras do granito segue, tipicamente, com valores menores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para SiO<sub>2</sub> baixo e a seguir para valores mais altos, e depois declina novamente para teores altos de SiO<sub>2</sub>.

Os diagramas Álcalis X Silica e CaOxSiO<sub>2</sub> mostram bem a grande dispersão na composição do granito. Provavelmente, este é um indício de uma fonte heterogênea do granito, como também de efeitos de interação com a rocha encaixantes.

Nos diagramas Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>xSiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>xSiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>xSiO<sub>2</sub> é bem visível a direção diferente dos trends de evolução para as rochas graníticas do anel (mergulho suave da curva de regressão; cerca de 0.4 para 5 declínio) e as amostras do núcleo máfico (mergulho forte da curva de regressão; cerca de 1 para 2 declínio).

Nos diagramas TraçosxSiO<sub>2</sub> (figura 6) é bem visível as diferentes concentrações entre as amostras do anel e do núcleo. Observa-se um enriquecimento das amostras na região de contato entre os dois tipos de rochas. Nota-se uma pequena interação química nas amostras próximas do contato entre os dois grupos (amostras entre 63 e 66% SiO<sub>2</sub> aproximadamente).

As concentrações iniciais, quer de elementos maiores, quer de traços, são muito semelhantes para sustentar a ideia do diorito como fonte para a diferenciação do granito. Mas percebe-se uma certa interação química entre os dois magmas.

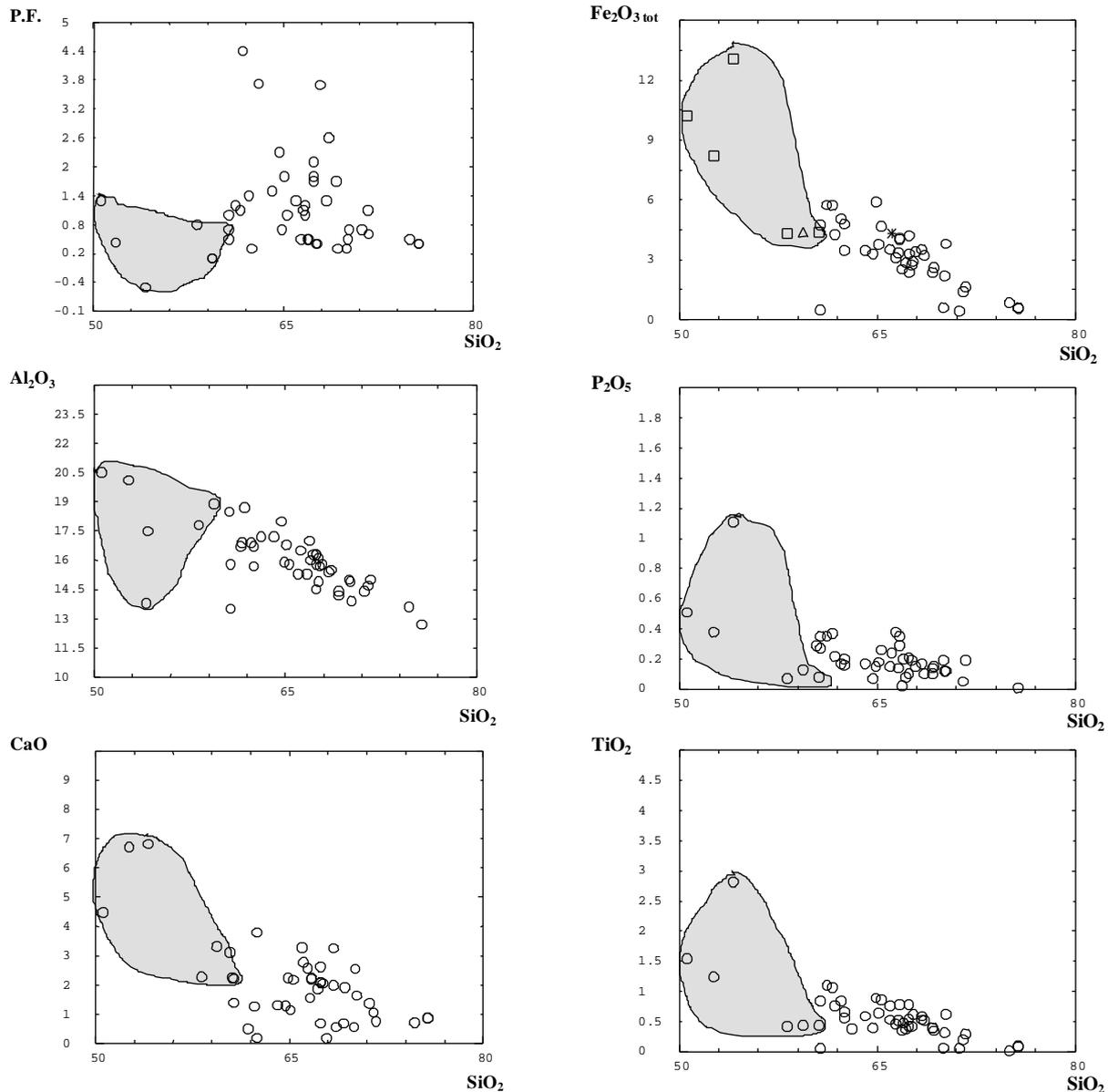
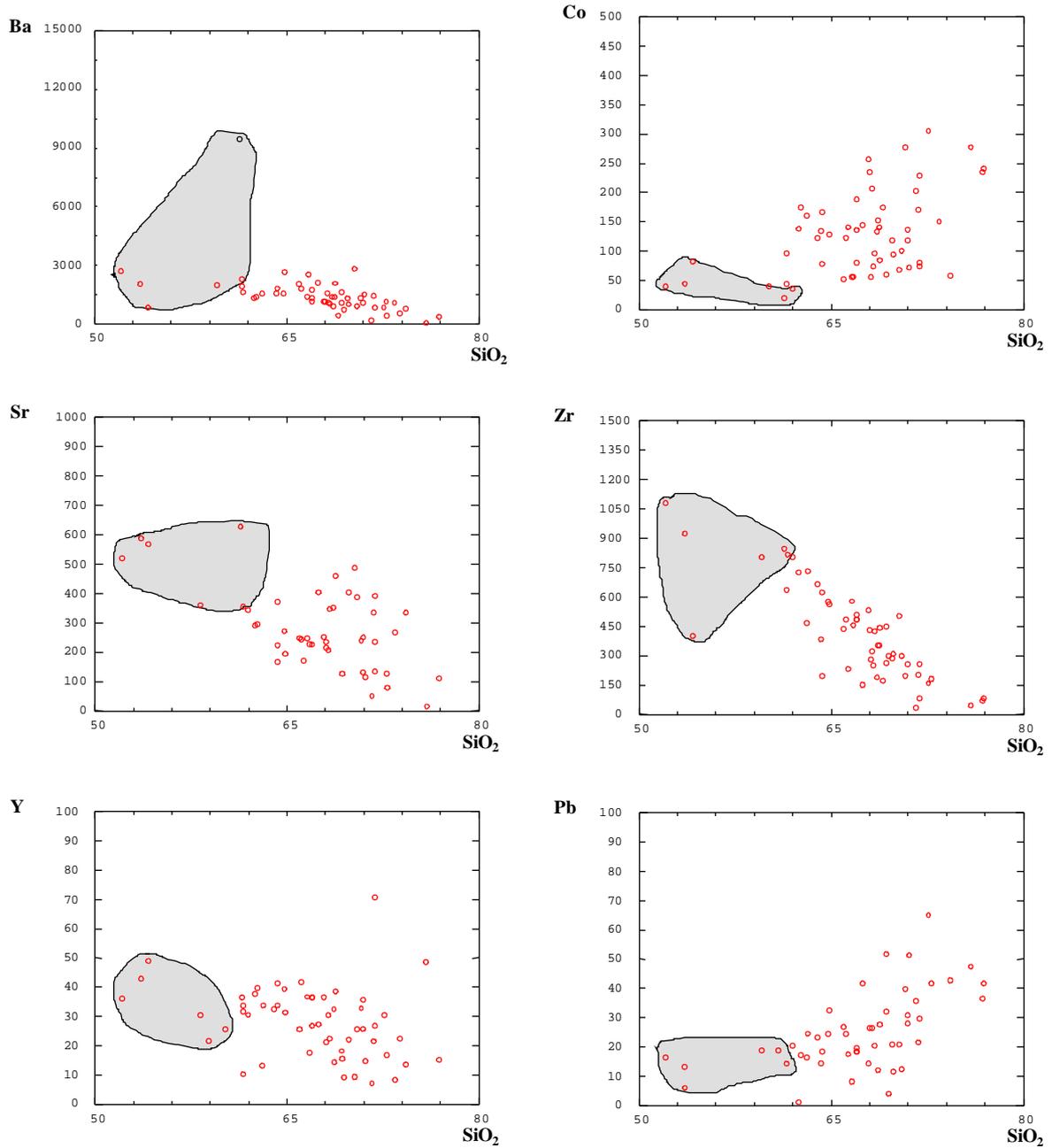


Figura 5: Diagramas tipo Harker para elementos maiores selecionados da Intrusão de Lajinha. O campo acinzentado mostra a distribuição das amostras do núcleo diorítico.

Figure 5: Figure 5: Harker diagrams of the major element distribution in selected samples from the Lajinha intrusive body. The grey field indicates the distribution of the samples from the mafic center.



*Figura 6: Diagramas de distribuição de elementos traços x SiO<sub>2</sub> - O campo acinzentado mostra a distribuição das amostras do núcleo diorítico.*

*Figure 6: Distribution diagrams for trace elements against SiO<sub>2</sub>. The grey field indicates the distribution of the samples from the mafic center.*

No diagrama R1 x R2 (Batchelor & Bowden, 1985; De la Roche, 1978; De la Roche et al., 1980; figura 7) as amostras de Lajinha plotam nos campos tardi-orogênico a pós-orogênico. As rochas mostram uma distribuição semelhante às rochas da Suite Espírito Santo (CPRM, 1995; Wiedemann et al., 1986, 1987; Wiedemann, 1993) e Venda Nova (Horn, 1985; Töpfner, 1986). As áreas escuras mostram a distribuição das rochas de Lajinha e a área mais clara a distribuição das rochas de Venda Nova e parte das intrusões da Suite Espírito Santo.

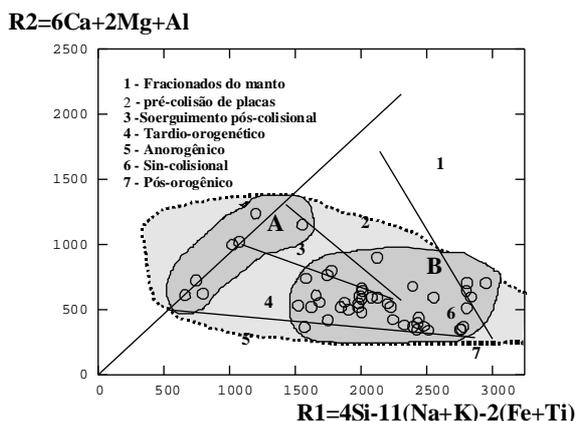


Figura 7: Diagrama R1xR2 (Batchelor & Bowden, 1985) das amostras de rocha do maciço de Lajinha.

O campo cinza claro mostra a distribuição das amostras com hiperstênio de Venda Nova para uma comparação.

Figure 7: R1-R2 diagram (Batchelor & Bowden, 1985) showing the samples of the Lajinha massif. The light grey field shows the distribution of the Venda Nova samples.

No diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971; figura 8) vê-se, nitidamente, uma tendência cálcio-alcálica com uma leve superposição de, provavelmente, dois trends na região entre 70-80% álcalis e 90-100% FeO\*. Algumas amostras mais básicas plotam separadamente no centro do triângulo.

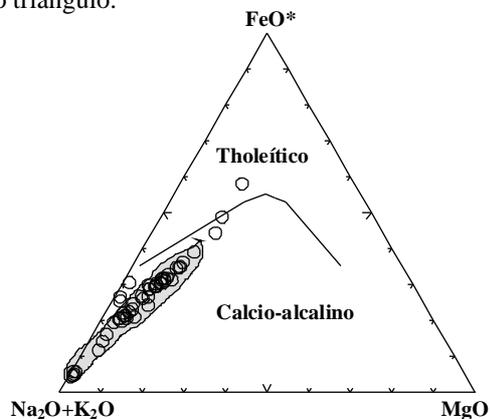


Figura 8: Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971). O campo cinzento mostra a distribuição de amostras ácidas-intermediárias com hiperstênio de Venda Nova.

Figure 8: AFM-diagram (Irvine e Bagaga, r 1971). The grey field shows the distribution of acid to intermediate hyperstene rich.

No diagrama  $Al_2O_3/álcalis$  x  $Al_2O_3/álcalis+CaO$  (figura 9) o caráter é principalmente metaluminoso a peraluminoso. Todas as rochas analisadas das suites magmáticas são peraluminosas a metaluminosas. Não se viu nenhuma amostra projetada no campo peralcalino.

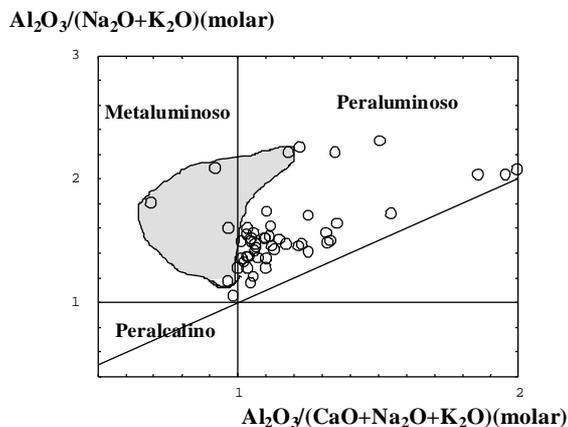


Figura 9: Diagrama de saturação de alumínio. O campo cinzento demonstra a distribuição das amostras do núcleo.

Figure 9: Al-saturation diagram. The grey field indicates the distribution of the center part of Lajinha intrusion.

O diagrama para determinar a alcalinidade (Irvine & Baragar, 1971; figura 10) mostra para as rochas máficas uma distribuição entre alcalina e subalcalina e para as amostras do granito somente um pequeno conjunto com afinidade alcalina e as demais com afinidade subalcalina. Todas as outras suites ocupam a parte mais básica, isto é, o campo estritamente alcalino. Os granitos projetam-se como subalcalinos a alcalinos, muitas vezes, dependendo da fonte do magma ou da assimilação durante a ascensão. Mais uma vez a distribuição é muito semelhante à das rochas de Venda Nova (cinza clara).

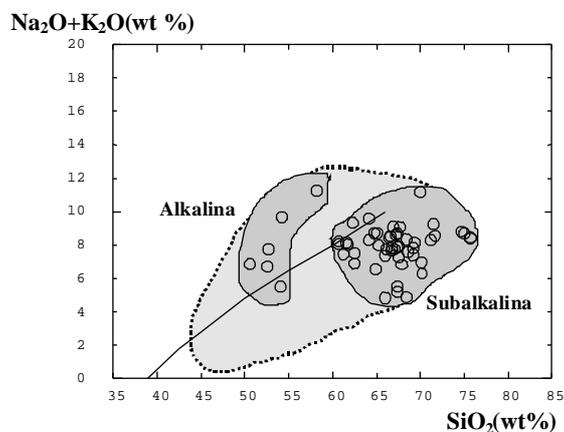


Figura 10: Diagrama de Irvine & Baragar (1971) para a determinação de alcalinidade. As rochas de Lajinha em cinza escuro e as rochas de Venda Nova em cinza claro.

Figure 10: Diagram after Irvine & Baragar (1971) for the classification of alkalinity. The samples of Lajinha are indicated in dark grey and those of Venda Nova in light grey.

No diagrama de El Bouseily & El Sockary, 1975; figura 11 os granitos ocupam os campos de granitos anormais e a bastante diferenciados. As amostras do núcleo são

distribuídas nos campos de granitos anormais e granodioritos/quartzodioritos.

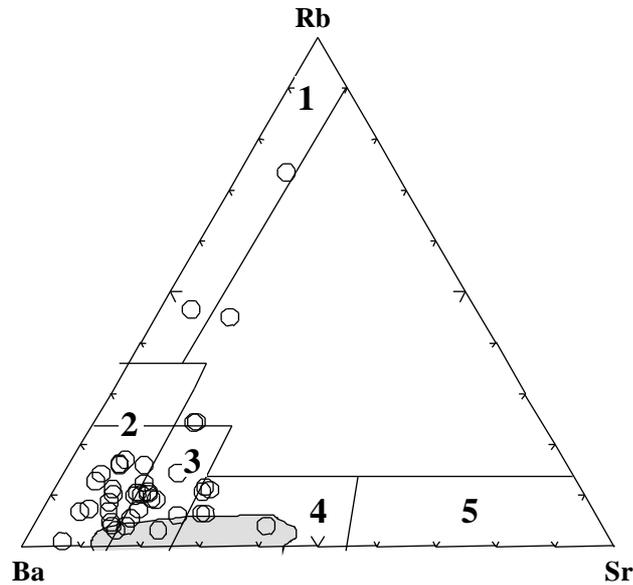


Figura 11: Diagrama Rb-Sr-Ba (El Bouseily & El Sockary, 1975) para a determinação do desenvolvimento do granito. O campo cinzento mostra a distribuição das amostras do núcleo.

1: granitos altamente diferenciados; 2: granitos normais; 3: granitos anormais;  
4: granodioritos e quartzodioritos; 5: dioritos.

Figure 11: Rb-Sr-Ba diagram (El Bouseily & Sockary, 1975) for granite evolution. The grey field shows the distribution of the samples from the center part of Lajinha.

1. Highly differentiated granites; 2. Normal granites; 3. Abnormal granites; 4. Granodiorites and Qz-diorites; 5. diorites.

No tetraedro Qu-Ab-An-Kf (figura 12) os granitos plotam no campo para granitos de fusão mínima (ver

triângulo Ab-Qu-Or). Vê-se bem a variação de composição dos feldspatos das rochas da intrusão, no triângulo Ab-An-Or.

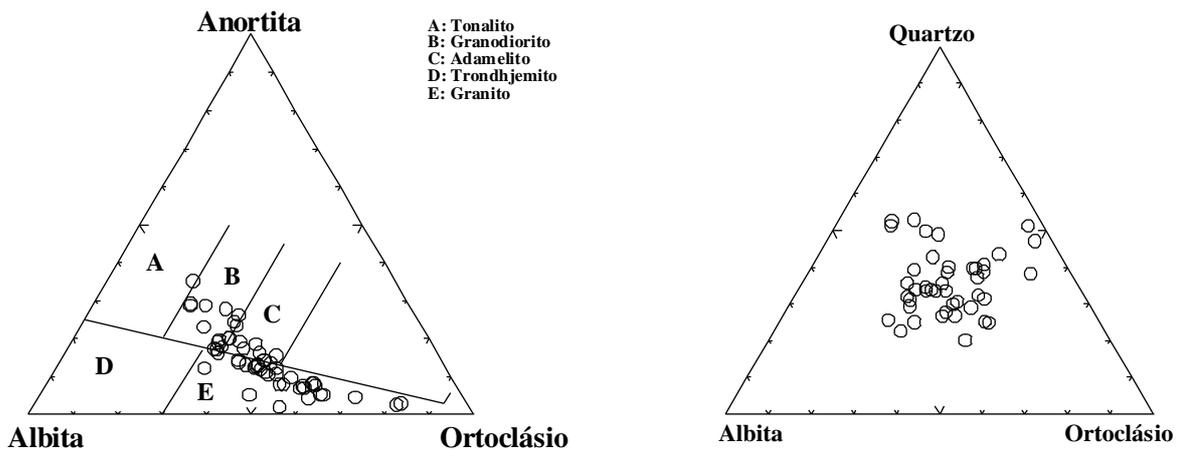


Figura 12: Cortes do tetraedro Qu-Ab-An-Or para a determinação do tipo de fusão.  
Figure 12: Sections of the Qu-Ab-An-Or tetrahedron for the determination of fusion processes.

No diagrama QAP (Quartzo-feldspato alcalino-plagioclásio; figura 13; Streckeisen & Le Maitre, 1978; Le Maitre, 1976, 1984) construídos a partir da composição normativa e com a indicação de “trends” de desenvolvimento (Lameyre & Bowden, 1982) mostra-se um variação desde um trend calcioalcali-monzonítico a um trend alcaligranítico-trondhjemítico para as rochas estudadas.

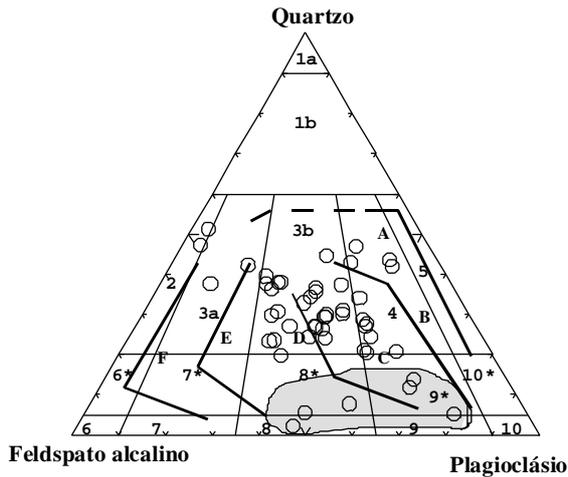


Figura 13: Diagrama QAP (Lameyre & Bowden, 1982) para a determinação do trend de fracionamento da rocha. O campo cinzento mostra a distribuição das amostras do núcleo.

A: Trend (T) toleítico; B: T. calcio-alcalina (K baixo); C: T. calcio-alcalina trondhjemítico; D: T. calcio-alcalino monzonítico; E: Al-granitos em regiões alcalinas; F: Granitos alcalinos a peralcalinos.

Figure 13: QAP-diagram (pathways: Lameyre & Bowden, 1982) for the investigation of fractionation of melts. The grey field indicates the distribution of the samples from the central part of Lajinha Intrusion.

Os arcnogramas (figura 14) resultantes da projeção dos dados das rochas da intrusão de Lajinha, normalizadas contra condrito, mostram uma certa homogeneidade entre os granitos e o mesmo para as rochas máficas. As amostras da região do contato entre os granitos e dioritos mostram uma certa interação. Elas sugerem distribuição normal para o tipo de rochas com indicações para processos de fusão e fracionamento.

Cada grupo (a e b) mostra uma variação dos elementos típico de diferenciação. As rochas encaixantes são muito semelhantes aos granitos, porém em geral, são mais ricas em elementos incompatíveis e mais pobres nos compatíveis.

A distribuição em geral mostra uma formação a parte dos dois magmas principais. O granito da intrusão pode ter se formado através de uma anatexia de rochas crustais com assimilação das rochas encaixantes durante a ascensão.

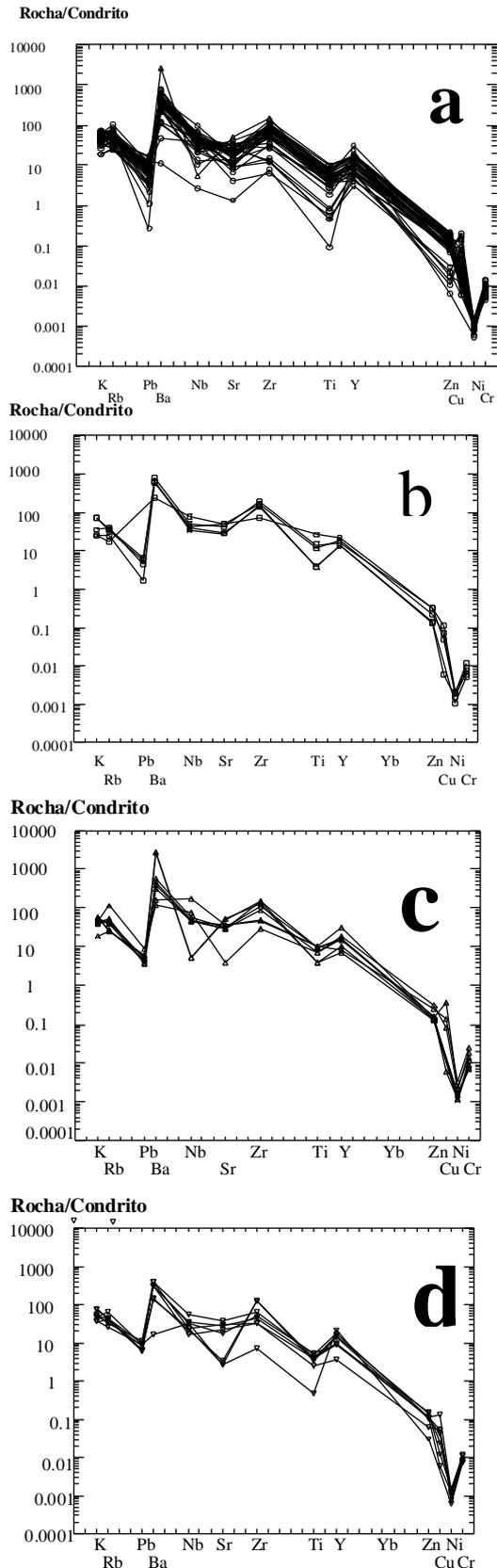


Figura 14: Arcnogramas para as rochas do maciço Lajinha. Normalizados contra condrito.

a: granitos do anel externo; b: amostras do núcleo máfico; c: migmatitos de borda; d: rochas encaixantes.

Figure 14: Arcnograms for the rock-samples of Lajinha Massif. Normalized against condrites.

a: granites of the external ring; b: samples of the mafic center; c: migmatites of the border; d: host rocks.

Os pontos relativos à intrusão de Lajinha distribuem-se, nos diagramas para determinação do regime tectônico (Pearce et al., 1984; Pearce & Norry, 1979; figura 15), entre os campos VAG, syn-COLG com uma

leve tendência para WPG; o que é compatível com o cenário do final do Brasiliano, após a colisão, e também com caráter pós-orogênico das rochas estudadas.

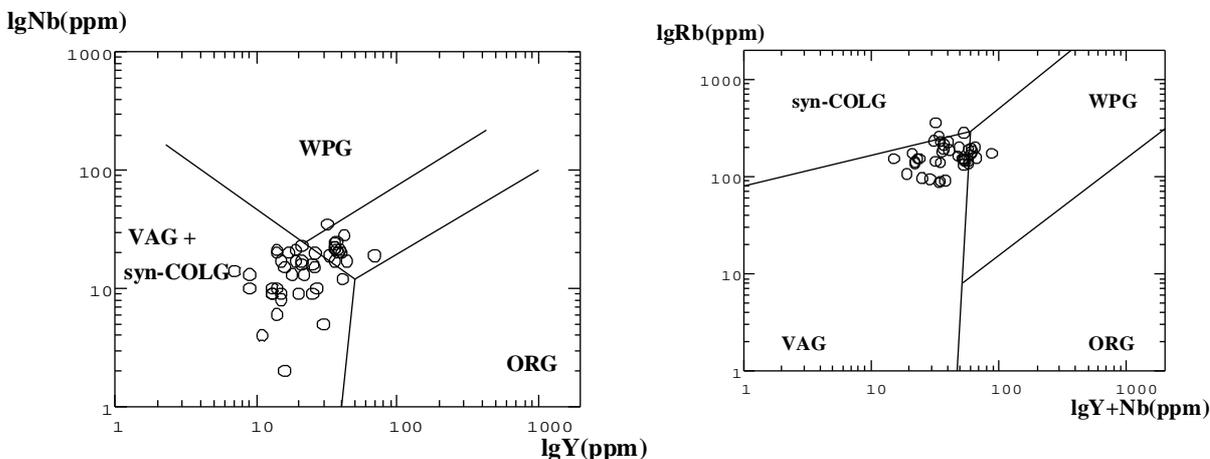


Figura 15: Diagramas para a determinação do sistema tectônico (Pearce & Cann 1973; Pearce & Norrr, 1979; Pearce et al., 1984; Pearce, 1986).

Figure 15: Diagram of tectonic systems (Pearce & Cann, 1973; Pearce & Norry, 1979; Pearce et al., 1984; Pearce, 1986).

## CONCLUSÕES

Os dados obtidos até o momento permitem chegar às seguintes conclusões:

1. esta intrusão não sofreu compressão dominante durante a intrusão, nem forte influência transcorrente;

2. existe no interior do corpo uma orientação dos fenocristais de feldspato segundo o fluxo. Esta orientação não pode ser observada nos minerais da matriz. Uma leve orientação (foliação) das margens em sentido regional pode ser explicada como uma foliação de intrusão, como em Sta. Angélica (mais forte), Castelo (mais fraca) e outros corpos (Horn 1985, Schmidt-Thomé 1986);

3. quase não existe uma zona de mistura mecânica entre as rochas do núcleo e do granito principal da intrusão. Os contatos são razoavelmente, nítidos;

4. pela composição química o granito é do tipo anatótico, o que explica também as diferenças composicionais entre os lados leste e oeste, devido às rochas encaixantes diferentes;

5. a separação entre um tipo com grandes fenocristais de feldspato potássico e pouca matriz, e um outro tipo quase puramente de granulação média pode ser explicado por processos como “filter-pressing” ou separação gravitativa, levando a separação e acumulação dos feldspatos potássicos no topo da câmara magmática. Uma circulação termal provocou uma certo “mixing” entre estes dois tipos (Horn, 1985; Horn & Weber-Diefenbach, 1987);

6. uma mistura puramente química é a mais importante entre o núcleo diorítico e o anel das rochas graníticas.

Estes processos de troca de elementos na interface e troca de íons no estado sólido ocorrem em ambientes de alta viscosidade. A ausência de “commingling” revela o caráter tardio da intrusão em relação à colisão das placas no Evento Brasiliano e a pequena influência de compressão e transcorrência;

7. interessante nesta intrusão é o posicionamento geográfico em relação aos outros corpos intrusivos na Faixa Móvel Ribeira. Observa-se uma certa simetria na colocação destes corpos:

- a oeste e a leste ocorrem intrusões pós-colisionais, talvez num regime dominado entre transcorrência final e dilatação;

- na região central existem intrusões pré- a sin-colisional, corpos largos, granitóides e sin- a tardi-tectônicas, corpos redondos a ovais, de pequena extensão e com ou sem rochas máficas, onde os eixos variam segundo o campo de tensão durante a intrusão, como já foi observado por Horn (1985), Bayer (1987), Lammerer (1987), Wiedemann et al. (1986; 1987), Geiger et al. (1988), Vieira et al. (1993) e Wiedemann (1993) entre outros.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Morteani e seus colaboradores da Universidade Técnica de Munique (TUM) pelas análises químicas, ao Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa pelo suporte logístico e à bolsista (IC) Paiva pela ajuda no trabalho de campo e no tratamento estatístico dos dados.

A pesquisa foi financiada por: PRPq, FAPEMIG e CNPq. Agradecemos também aos revisores deste texto.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.* 7(4): 349-364.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y. 1984. O Precambriano do Brasil, Editora Blücher, São Paulo: 378p.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Univ. São Paulo, Bol. IG-USP* 7: 45-80.
- BARBOSA, A.L., GROSSI SAD, J.H., TORRES, N. & MELO, M.T.V. (1966) Descrição do mapa geológico preliminar do médio rio Doce. SBG, Núcleo Rio de Janeiro, Anais..., 2: 10p.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicational parameters. *Chem. Geol.* 48: 45-55.
- BAYER, P. 1987. Strukturgeologische Untersuchungen im brasilianischen Küsten Mobile Belt, südliches Espírito Santo, unter besonderer Berücksichtigung der Brasiliano-Intrusionen. Tese de Doutorado, Universidade de Munique, Münch. Geowiss. Abhdl. Serie B2: 79p.
- BAYER, P., HORN, H.A., LAMMERER, B., SCHMIDT-THOMÉ, R., WEBER-DIEFENBACH, K. & WIEDEMANN, C. M. 1986. Plutonite von Espírito Santo. Bericht (WE 809/3-1) zum DFG Forschungsvorhaben (inédito).
- BAYER, P., HORN, H.A., LAMMERER, B., WEBER-DIEFENBACH, K. & WIEDEMANN, C. M. 1987. Complex concentric granitoid intrusions in the Coastal Mobile Belt, Espírito Santo, Brazil: The Santa Angelica Pluton., *Geol. Rdsch.*, 76: 357-372.
- BESANG, C., EBERLE, W.G., LAHNER, L., LENZ, H., MOLLAT, H., MÜLLER, P. & PAULSEN, S. 1977. Radiometrische Altersbestimmungen an Gesteinen aus Minas Gerais und Espírito Santo. *Geol. Jb.*, 24: 149-179.
- CAMPOS NETO, M.C. & FIGUEIREDO, M.C.H. 1995. The Rio Doce orogeny. *Southeastern Brazil. J. South Am. Earth Sci.* 8(2): 143-162.
- CORDANI, U., DELHAL, J. & LEDENT, D. 1973. Orogeneses superposées dans le precambrian du Brésil sud-oriental (etats de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Rev. Bras. Geoc.*, 3: 1-22.
- CORDANI, U. & TEIXEIRA, W. 1979. Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das Folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguapé. In: Folhas Rio de Janeiro/ Vitória (Iguapé SF23/24/SG 23. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Texto explicativo. DNPM, Brasília.
- COX, K.H., BELL, J.D. & PUNKHURST, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. G. Allen & Unwin, London: 450p.
- CPRM 1995. Programas de levantamentos geológicos básicos do Brasil. 1:250.000. Folha SF.24-V-A. Cachoeiro de Itapemirim. Belo Horizonte.
- DE LA ROCHE, H. 1978. La chimie des roches presentes et interpretée d'après la structure de leur facies mineral dans l'espace des variables chimiques; fonctions specifiques et diagramas que s'en deduisent: application aux rochas ignees. *Chem. Geol.*, 21: 63-87.
- DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 and major element analyses. Its relationship with current Nomenclature. *Chem. Geol.* 29:183-210.
- DELHAL, J., LEDENT, D. & CORDANI, U. 1969. Ages Pb/U et Ar/K de formations metamorphiques et granitiques du sud-est du Bresil (etats de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *An. Soc. Geol. Belg.*, 92: 271-283.
- EBERT, H. 1957. Beitrag zur Gliederung des Präkambriums in Minas Gerais. *Geol. Rdsch.*, 45: 457-519.
- EL BOUSELLY, A.M. & EL SOCCARY, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba, and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.* 16: 207-219.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A. 1975. Magma type and tectonic setting discriminant using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28: 459-469. 16: 207-219.
- FONSECA, M.J.G. & CAMPOS, A.D. 1978. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Rio de Janeiro/Vitória/Iguapé SF.23/SF.24/ SG. 23. MME/DNPM, Brasília.
- FONSECA, M.J.G., DA SILVA, Z.C.G., DE ALMEIDA CAMPOS, D. & TOSATTO, P. 1978. Folhas Rio de Janeiro, Vitória, Iguapé, SF23, SF24, SG23. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Texto explicativo. DNPM, Brasília.
- GEIGER, A., FRITZER, T., LAMMERER, B. & SEIDENSTICKER, U. 1988. Examples to the structural evolution of the Ribeira Mobile Belt/Brazil. Abstract, 11. Lateinamerika Koll., Hannover.
- GERKEN SOBRINHO, J.H. & CORDANI, U.G. 1964. Determinações preliminares de idades K-Ar em biotitas de rochas graníticas do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: Barbosa et al.: 10p.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. 1976. Província Mantiqueira, Setor Central. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y.: O Precambriano do Brasil. Ed. Blücher, São Paulo: 308-344.
- HASUI, Y., FONSECA, M.J.G. & RAMALHO, R. 1984. A parte central de dobramentos sudeste e o maciço de Guaxupé. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Derse, G.R. & Asmus: *Geologia do Brasil*. DNPM, Brasília: 307-328.
- HORN, H.A. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1987. Geochemical and Genetic Studies of three invers zoned intrusive Bodies of both Alkaline and Calcalkaline Composition in the Ribeira Mobile Belt (Espírito Santo, Brazil). *Rev. Bras. Geocienc.* 17/4: 488-497.
- HORN, H.A. 1985. Plutonite in Espírito Santo. *Geochemische Untersuchungen an Intrusivkomplexen des Brasiliano im Küstengürtel von Espírito Santo, Brasilien*. Tese de doutoramento, Ludwig-Maximilians Universität München, München: 308p.
- HORN, A.H. & PAIVA, C.T. 1994. O Complexo Intrusivo de Lajinha, estados de Minas Gerais e Espírito Santo, Brasil. 38º Cong. Bras. Geol., Camburiú, Anais...: 122-123.
- HORN, H.A., GIRET, A., BILAL, E. & CORREIA NEVES, J.M. 1996. O Complexo intrusivo Ibituba-Itapina, noroeste do Estado de Espírito Santo - Resultados e caracterização preliminar. XXXIX. Cong. Geol. Bras., Anais...: 375-377.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8: 523-548.
- JAFFÉ, P. 1987. Geologische Bearbeitung des nordwestlichen Teilgebietes des Venda Nova Plutons, Espírito Santo, Brasilien sowie geochemische Untersuchungen am Venda nova Pluton, Espírito Santo, Brasilien. Unveröff. Diplomarbeit, Ludwig Maximilians-Universität München: 155p.
- LAMMERER, B. 1987. Short notes on a structural section through the Ribeira Mobile Belt (Minas Gerais and Espírito Santo, Brazil). *Zbl. Geol. Paläont.*, I, H 7/8: 719-728.
- LE MAITRE, R.W. 1976. The chemical variability of some common igneous rocks. *J. Petrol.* 17: 589-637.
- LE MAITRE, R.W. 1984. A proposal by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks, based on the total alkali-silica (TAS) diagram. *Austral. J. Earth Sci.*, 31: 243-255.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic Rock Type Series: Discrimination of various Granitoid Series and related Rocks. *J. Vulcanol. Geotherm. Res.*, 14: 169-186.
- MEDEIROS, S.R. de 1993. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre - ES. Trabalho de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, inédito: 143p.
- NALINI JR., H.A., BILAL, E. & CORREIA NEVES, J.M. 1995. Considerações preliminares sobre as condições de pressão e temperatura de cristalização dos granitóides da região de Galileia, Minas Gerais. 8º Simp. Geol. Minas Gerais, Diamantina, Anais...Bol.: 13: 77-78.
- NEUMANN, R. 1987. Kartierung des südwestlichen Teilgebietes des Venda Nova Plutons im südlichen Espírito Santo, Brasilien und petrografische und geochemische Bearbeitung seiner Rahmengesteine. Unveröff. Diplomarbeit, Ludwig Maximilians-Universität München: 119p.
- OFFMANN, R.A. & WEBER-DIEFENBACH, K.W. 1989. Two Zoned Complexes in the Iconha Region, Espírito Santo, Brazil: A Geochemical Characterization of an Intrusive Series. *Zbl. Geol. Paläont.*, 5/6Teil 1: 903-916.
- PEARCE, J. & CANN, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis.

- Earth. Planet. Sci. Lett., 19: 290-300.
- PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69: 33-47.
- PEARCE, J.A. & HARRIS, N.B.W., TINDLE, A.D. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25/4: 956-983.
- PEARCE, J.A. 1986. A contribution to the theory of variation diagrams. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 19: 142.
- PETRICK, F. 1987. Der Venda Nova Pluton im südlichen Espírito Santo, Brasilien. Geologische Kartierung des nördlichen Teilgebietes, sowie geochemisch-petrografische Bearbeitung der Mischgesteinszone von Syenomonzonit und Gabbro. Unveröff. Diplomarbeit, Ludwig Maximilians-Universität München: 79p.
- SCHOBHENHAUS, C., ALMEIDA CAMPOS, D., DERZE, G.R. & ASMUS, H.E. 1984. Geologia do Brasil. Mapa Geológico do Brasil 1: 2.500.000. MME/DNPM: 505p.
- SCHMIDT-THOMÉ, R. 1986. Geologie und Petrographie der Intrusion von Santa angelica und ihrer Nebengesteine im brasilianischen Küsten-Mobile-Belt., Espírito Santo, Brasilien. Tese de doutorado, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- SEIDENSTICKER, U. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1990. Untersuchungen an fluiden Einschlüssen in unterkrustalen granulitfazialen Gesteinen im Südwesten des Bundesstaates Espírito Santo/Brasilien. Abstract, 12. Lateinamerika Koll., München.
- SIGA JUNIOR, O., TEIXEIRA, W., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. & DELHAL, J. 1982. O padrão Geológico-geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da Faixa Ribeira a Norte do Rio de Janeiro, Brasil. Quinto Congr. Latinam. Geol. Argentina, Atas ... I: 349-357.
- RADAMBRASIL 1987. Folha SE.24-Rio Doce. Rio de Janeiro; Levantamento de recursos naturais, 34: 544p.
- SÖLLNER, F., LAMMERER, B., WEBER-DIEFENBACH, K. & HANSEN, B. T. 1986. Neue Altersdaten zur Brasilianischen Orogenese im Küstengebiet von Espírito Santo, Brasilien. In: Giese: Berl. Geowiss. Abhldg., Lateinamerika Kolloquium, Berlin, A/10: 10.
- SÖLLNER, F. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1987. Neue Altersbestimmungen zur Brasilianischen Orogenese im Küstengebiet von Espírito Santo, Brasilien. *Z. Geol. Pal.*
- SÖLLNER, F., LAMMERER, B. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1989. Brasiliano Age of a Charnofiderbitic Rock Suite in the Complexo Costeiro (Ribeira Mobile Belt), Espírito Santo/Brazil: Evidence from U-Pb Geochronology on Zircons. *Zbl. Geol. Paläont.*, 5/6 Teil 1: 1-14.
- SÖLLNER, F.; LAMMERER, B. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1991. Die Krustenentwicklung in der Küstenregion nördlich von Rio de Janeiro/Brasilien. *Münch. Geol. Hefte*. 4: 100p.
- STRECKEISEN, A. L. & LE MAITRE, R. W. 1978. A chemical approximation to the modal QAPF-classification of the igneous rocks. *N. Jb. Miner. Abh.*, 136: 169-206.
- STRECKEISEN, A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth. Sci. Rev.*, 12: 1-33.
- TÖPFNER, C. 1986. Der Venda Nova Pluton im südlichen Espírito Santo, Brasilien. Geologische Kartierung des südöstlichen Teilgebietes, sowie geochemisch-petrografische Bearbeitung des charnockitischen Gesteinsgürtels. Unveröff. Diplomarbeit, Ludwig Maximilians-Universität München: 131p.
- TÖPFNER, C. 1996. Brasiliano Granitoide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien.-Eine vergleichende Studie. *Münch. Geol. Hft.e A17*: 258p.
- VIEIRA, V.S. (org) 1993. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Escala 1:100.000. DNPM/CPRM. Brasília: 204p.
- VIEIRA, W.S., RAPOSA, F.O. & DELGADO I. DE M. (1993) A Granitogênese Brasileira na Evolução do Cinturão Móvel Costeiro (Cinturão Móvel Ribeira) em Áreas dos Estados do Espírito Santo e Minas Gerais.
- VIEIRA, V.S. & HORN, A.H. 1994. Novos aspectos da geologia, petrografia e litoquímica do maciço Lagoa Preta, Minas Gerais, Espírito Santo, Brasil. 38o Cong. Bras. Geol. Camburiú, Anais...:91-92.
- WEBER-DIEFENBACH, K., LAMMERER, B. & SÖLLNER, F. 1987. Altersbestimmungen an Gesteinen des "Complexo Alegre" (Ribeira Mobile Belt), südliches Espírito Santo, Brasilien. DFG-Abschlussbericht, Projekt We 809/4-1 und 2 (inédito).
- WIEDEMANN, C., BAYER, P., HORN, A.H., LAMMERER, B., LUDKA, I.P., SCHMIDT-THOMÉ, R. & WEBER-DIEFENBACH, K. 1986. Maciços intrusivos do Sul do Estado do Espírito Santo e seu contexto regional. *Rev. Bras. Geol.* 16(1): 24-37.
- WIEDEMANN, C., WEBER-DIEFENBACH, K. & LAMMERER, B. 1987. Zoned diapirs within the late Precambrian Ribeira Belt. *Int. Simp. Gran. Assoc. Min. - ISGAM -*, Salvador, Ext. Abstracts: 47-50.
- WIEDEMANN, C. 1993. The Evoluton of the Early Paleozoic Magmatic Arc of the Coastal Belt in the State of Espírito Santo, Eastern Brazil. *An Acad. Bras. Sci. - Workshop: Magmatismo granítico e mineralizações associadas. - Resumos*: 50-51.