

EVOLUÇÃO DAS UNIDADES MAGMÁTICAS DO COMPLEXO GRANITÓIDE ITAQUI (PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR), ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL: ASPECTOS GEOLÓGICOS, PETROGRÁFICOS E GEOQUÍMICOS (ELEMENTOS MAIORES)

EBERHARD WERNICK*, CLÁUDIO J. FERREIRA** e PAUL K. HÖRMANN***

ABSTRACT EVOLUTION OF IGGNEOUS UNITS OF ITAQUI GRANITOID COMPLEX (LATE PRE-CAMBRIAN), STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL: GEOLOGICAL, PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL (MAJOR ELEMENTS) ASPECTS. Chemical data from the 10 magmatic units which build up the calc-alkaline granodiorite/monzogranitic Itaqui complex (State of São Paulo, SE Brazil) are discussed. The late Precambrian granitoid is intrusive in the low grade metamorphic São Roque Group, but extensive contacts are done by the expressive Taxaquara transcurrent fault. The chemical data combined with mineralogical and textural ones as well as with the intrusion sequence of the magmatic units allowed the definition of two main magmatic cycles each subdivided in two subcycles. The cycles are separated by a phase of intrusion of melagranite monzonite dikes and the younger cycle is followed by the emplacement of tourmaline-muscovite monzogranitic aplites possibly related to the older cycle. Each cycle/subcycle has its own magmatic evolution trend defined by several cationic diagrams and involving the fractionation of mafic (hornblende/biotite), plagioclase and accessory minerals by different mechanisms.

Keywords: Calc-alkaline granite, geochemical evolution, multicationic diagrams, magmatic cycles, Itaqui complex.

RESUMO São discutidos dados químicos referentes às 10 unidades magmáticas que constituem o Complexo Cálcio-Alcalino Itaqui (SP, SE Brasil). O complexo associa-se à falha transcorrente de Taxaquara e sua arquitetura magmática resulta de quatro etapas de acreção magmática. Os dados químicos combinados com dados mineralógicos e texturais permitem a caracterização de dois ciclos magmáticos principais, cada um subdividido em dois subciclos. Os dois ciclos são separados temporalmente pela colocação de uma fase de diques de mela-quartzo monzonitos e são seguidos de turmalina-muscovita aplitos monzograníticos, possivelmente vinculados geneticamente ao primeiro ciclo magmático. Cada ciclo/subciclo apresenta evolução própria discutida em diferentes diagramas geoquímicos catiônicos e envolvem o fracionamento de minerais máficos, plagioclásio e acessórios.

Palavras-chave: Granito cálcio-alcalino, evolução geoquímica, diagramas multicatiônicos, ciclos magmáticos, complexo Itaqui.

INTRODUÇÃO O Complexo Granitóide Cálcio-Alcalino Itaqui (Ferreira 1991) é composto por 10 unidades magmáticas cuja acreção ocorreu em quatro etapas intrusivas principais, vinculadas a diversas fases de removimentação da Falha Transcorrente de Taxaquara (Wernick & Ferreira 1991). A caracterização da evolução deste magmatismo pelo exame conjunto de dados petrográficos e químicos (elementos maiores) é o objetivo do presente trabalho.

O COMPLEXO GRANITÓIDE ITAQUI Complexo Granitóide Itaqui, de idade pré-cambriana superior, situa-se nos arredores da cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, Sudeste do Brasil. Apresenta forma de gota, cujo eixo maior tem direção WNW-ESE, e área de 120 km². Sua porção norte é intrusiva nos metamorfitos de baixo grau do Grupo São Roque e seu contato sul é dado pela Falha Transcorrente Taxaquara (Fig. 1). A fase principal de intrusão ocorreu entre a segunda e a terceira das três fases de dobramento regional que afetaram as rochas encaixantes.

A arquitetura do complexo (Fig. 2) é dada por dez unidades magmáticas, listadas de acordo com sua sequência de colocação: 1. Granodiorito Barueri (BA); 2. Monzogranito Pedreira Cantareira (PC); 3. Monzogranito Torre (TO); 4. diques de mela-quartzo monzonitos porfiríticos (DMP) e 5. equigranulares (DME); 6. Quartzo Monzonito Cruz Preta

(CP); 7. Monzogranito Aldeia da Serra (AS); 8. Monzogranito Mutinga (MU); 9. Monzogranito Suru (SU); e 10. diques de turmalina-muscovita aplitos de monzogranitos (APL).

A arquitetura do Complexo Itaqui resulta de quatro fases de acreção. A ascensão magmática ocorre via propagação de diques ao longo de falhas e fraturas profundas que se associam às diferentes fases de movimentação da falha Taxaquara:

1. Fase de acreção principal por meio da colocação forçada de magmas em espaços gerados por movimentos *pull apart*, frutos da movimentação dextral da Falha Taxaquara. Resultam na colocação das Unidades Barueri (BA) e Pedreira Cantareira (PC). A intrusão forçada retrata-se na Unidade BA por intensas estruturas de fluxo, feições tipo *schlieren*, diques de megacristais etc.
2. Fase de acreção de espessos diques precoces (Unidades Torre, TO, diques máficos, DMP/DME e Cruz Preta, CP) em regime distensional.
3. Fase de acreção por esforços hidráulicos retratada pela colocação de *stocks* das Unidades Aldeia da Serra (AS) e Mutinga (MU).
4. Fase de acreção tardia, ainda em regime distensional com a colocação da Unidade Suru (SU), que constitui um fragmento de dique anelar marginal e dos turmalina-muscovita aplitos tardios (APL) (Fig. 2).

* Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Caixa Postal 178, CEP13506 970, Rio Claro, SP, Brasil, Fax (0195)249644

** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Avenida Miguel Stéfano, 3900, CEP 04301-903, São Paulo, SP, Fax (011) 276 8572

*** Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Ludwig-Meyn Strasse 10, W - 24098 Kiel 1, Alemanha

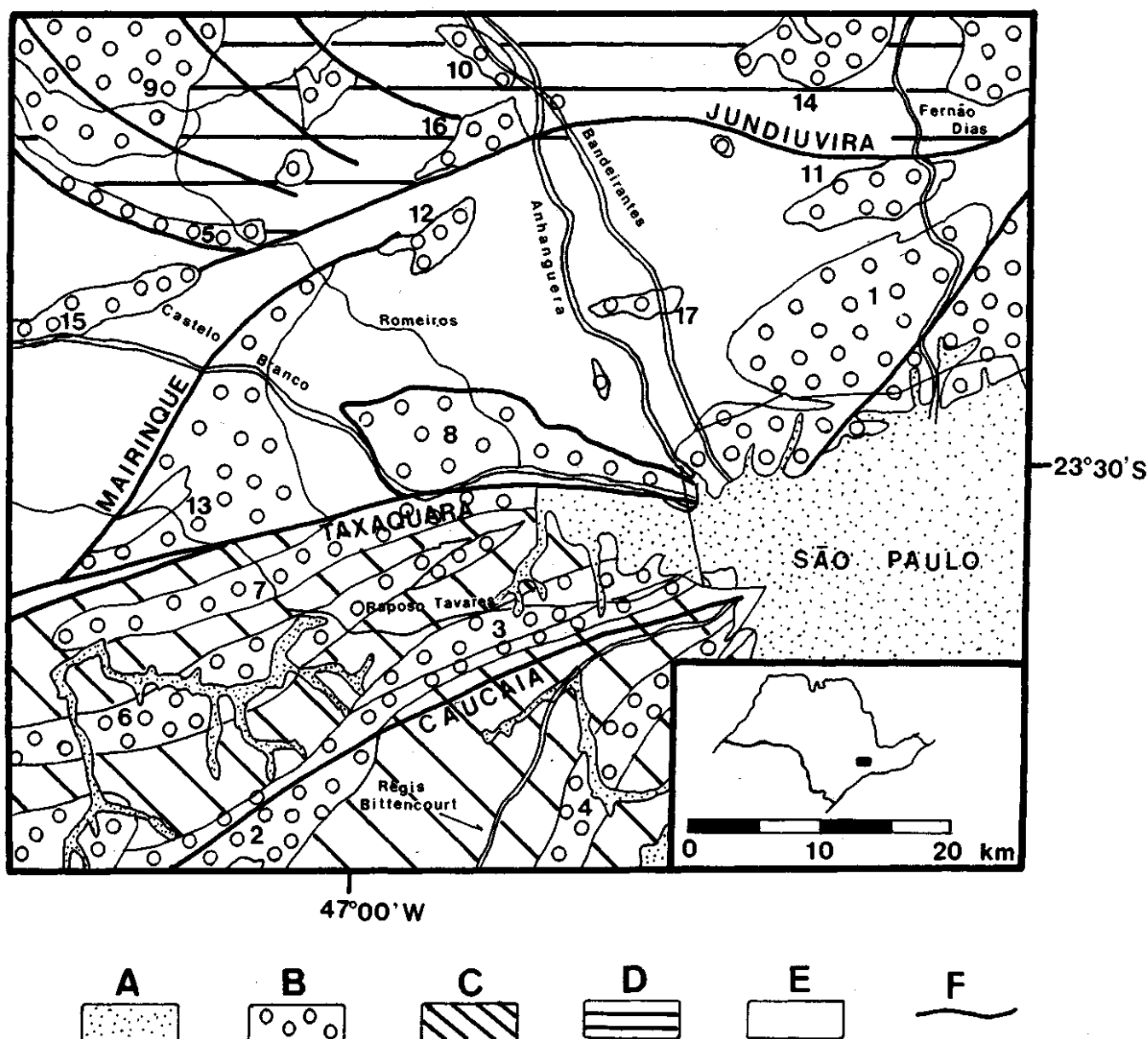


Figura 1 - Localização e situação geológica do Complexo Granitóide Itaquí. Convenções: A. sedimentos; B. granitóides; C. Complexo Embu; D. Complexo Amparo; E. Grupo São Roque; F. falhas transcorrentes. Compilado de Bistrichi et al (1981), Janasi et al. (1990) e Janasi & Ulbrich (1992)

Figure 1 - Geological setting of Itaquí granitoid complex. Key: A. sediments; B. granitoids; C. Embu complex; D. Amparo complex; E. São Roque group; F. transcurrent faults. After Bistrichi et al. (1981), Janasi et al. (1990) and Janasi & Ulbrich (1992)

DADOS QUÍMICOS Para a realização deste trabalho, os autores dispuseram de 48 análises químicas em fase de tratamento integrado (Ferreira, tese de doutoramento em andamento). Dessas análises, 26 foram tratadas sob aspecto de seus ETR em conexão com alguns elementos traços (Wernick et al 1991, 1992) e o total de amostras em conexão com sua tipologia de zircão (Ferreira et al. 1992). A listagem dos dados pode ser obtida por solicitação ao autor C. J. Ferreira.

DISCUSSÃO DOS DADOS A discussão dos dados será feita sob dois aspectos: a caracterização de ciclos magmáticos e a discussão de sua evolução magmática.

Ciclos magmáticos Neste trabalho, o conceito de ciclo magmático é tomado próximo ao de *super unit* de

Pitcher (1985). Um ciclo é integrado por um conjunto de unidades magmáticas consanguíneas que apresentam estreitas relações espaciais e temporais. Cada unidade (ou fácies) do ciclo é caracterizada por feições mineralógicas, texturais e químicas específicas e corresponde a um impulso magmático simples. A existência de vários ciclos magmáticos implica na geração de complexos múltiplos e compostos (Pitcher 1985).

Denomina-se de fase magmática a um conjunto de unidades cuja colocação ocorreu em condições tectônicas peculiares, retratada por tipos de jazimentos específicos (p. ex., a fase magmática de diques tardios). Um complexo múltiplo e composto desenvolve-se pela coalescência de sucessivos impulsos magmáticos reunidos em fases, que retratam a evolução tectônica do complexo, e em um ou mais ciclos magmáticos.

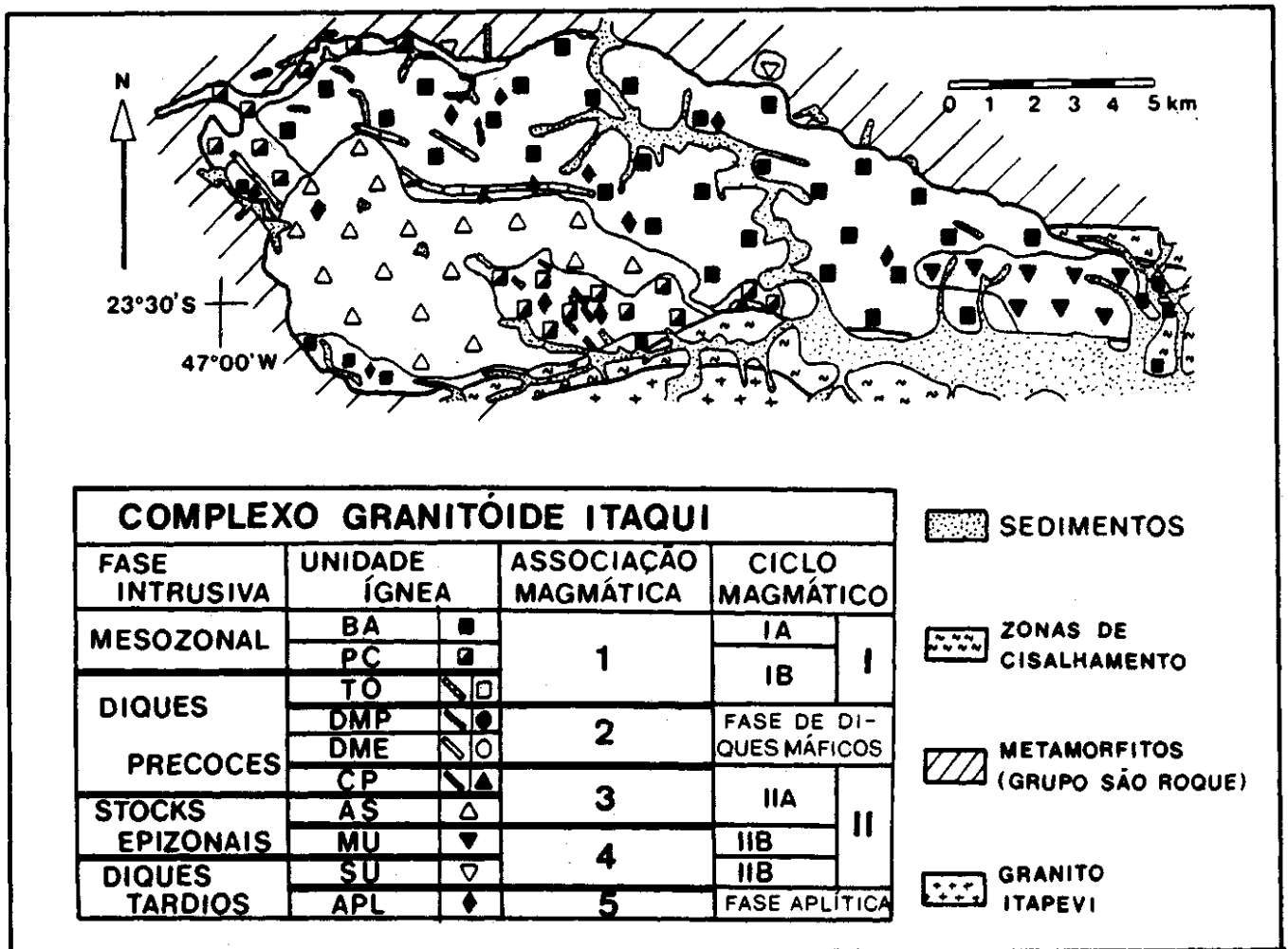


Figura 2 - Geologia do Complexo Granitóide Itaqui, SP. Modificado de Ferreira & Wernick (1989), Ferreira (1991) e Wernick & Ferreira (1991). Convenções: BA. Granodiorito Barueri; PC. Monzogranito Pedreira Cantareira; TO. Monzogranito Torre; DMP. dique de quartzo monzonito máfico porfirítico; DME. dique de quartzo monzonito máfico equigranular; CP. Quartzo Monzonito Cruz Preta; AS. Monzogranito Aldeia da Serra; MU. Monzogranito Mutinga; Su. Monzogranito Suru; e APL. aplitos

Figure 2 - Geology of Itaqui granitoid complex, SP. After Ferreira & Wernick (1989), Ferreira (1991) and Wernick & Ferreira (1991). Key: BA. Barueri granodiorite; PC. Pedreira Cantareira monzogranite; TO. Torre monzogranite; DMP. quartz monzonite mafic porphyritic dike; DME. quartz monzonite mafic even-grained dike; CP. Cruz Preta quartz monzonite; AS. Aldeia da Serra monzogranite; MU. Mutinga monzogranite; SU. Suru monzogranite; and APL. aplitite

Baseado nos elementos maiores, pode ser definida no Complexo Itaqui a presença de dois grandes ciclos magmáticos (ciclos I e II), conforme a figura 4.0 ciclo I, mais antigo, compreende as unidades BA, PC e TO, e o ciclo II as unidades CP, AS, MU e SU. Os dois ciclos são separados por uma fase de colocação de diques de mela-quartzo monzonitos (DMP e DME) e seguidos da fase de intrusão dos turmalina-muscovita aplitos (APL).

O ciclo I inicia-se com rochas porfiríoides (BA e PC) e termina com rochas equigranulares (TO) e compreende rochas com hornblenda e biotita (BA e PC) ou apenas portadoras de biotita (TO). A relação hornblenda/biotita na Unidade Barueri é maior do que a da Unidade Pedreira Cantareira. Sob aspectos dos ETR, o ciclo I caracteriza-se por razões La/Lu crescentes com a sequência de colocação de suas unidades magmáticas (Wernick *et al.* 1992).

O ciclo II inicia-se com rochas porfiríticas de matriz fina a média (unidade CP), passando para rochas porfiríticas

seriais e inequigranulares de granulação média (AS e MU) e termina com rochas equigranulares (SU). Todas as unidades contêm apenas biotita como mineral fênico. Em termos de ETR, o ciclo II caracteriza-se por razões La/Lu decrescentes com a sequência de colocação de suas unidades magmáticas (Wernick *et al.* 1992).

A variação composicional das diversas unidades dos dois ciclos é mais ou menos ampla. Enquanto uma variação composicional mais ampla pode ser atribuída a diferenciações *in situ*, após a colocação do magma ou do *mush* magmático, uma variação mais restrita sugere que uma câmara magmática estratificada é drenada nos seus diferentes níveis diferenciados. O predomínio de unidades com grande variação composicional no Complexo Itaqui (Fig. 4) sugere a operação de mecanismos de diferenciação *in situ* que agiram sobre impulsos magmáticos sucessivos. Estes impulsos são provenientes de uma fonte magmática com pelo menos dois estágios evolutivos com características bastante distintas (ciclos I e II).

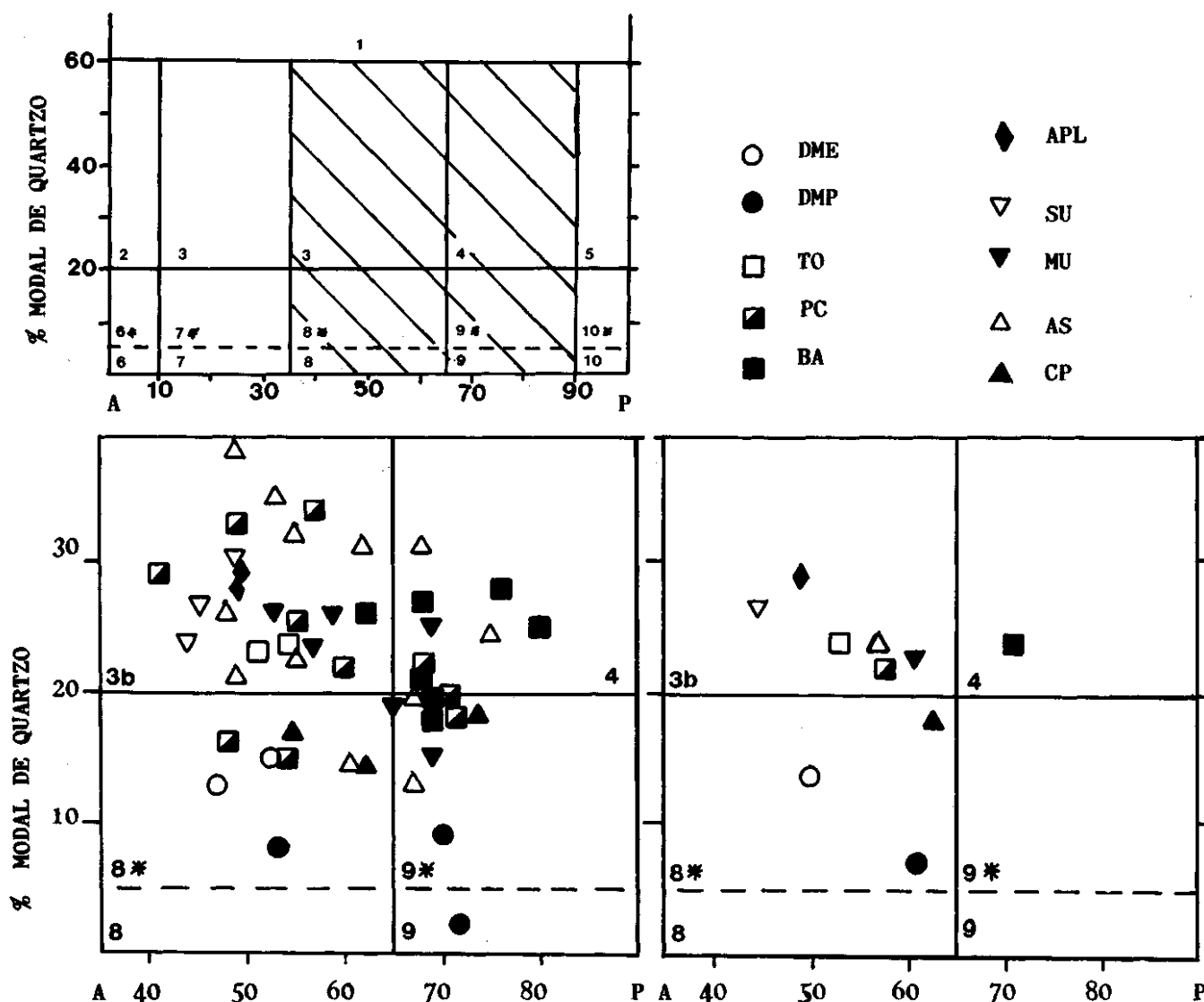


Figura 3 — Classificação modal no diagrama QAP retangular (Philpotts, 1990) das unidades ígneas do Complexo Granitóide Itaqui. Dados totais à esquerda e dados médios por unidade à direita. Símbolos segundo a figura 2. Segundo Ferreira (1991) e Ferreira & Wernick (1991)

Figure 3 - Modal QAP classification (after Philpotts, 1990) of igneous units of the Itaqui Complex. Ali data on the left, and averages on the right. Key as Figure 2. After Ferreira (1991) and Ferreira & Wernick (1991)

Dados de tipologia de zircão (Ferreira *et al.* 1992) indicam que as temperaturas de cristalização do ciclo I são menores que as do ciclo II, indicando um aquecimento gradual do protolito magmático com o decorrer do tempo (ou um aumento da temperatura dos processos magmatogênicos).

Os dois ciclos magmáticos mostram uma evolução regular em termos da sequência cronológica de suas unidades. Esta evolução é dada pela colocação sucessiva de magmas cada vez mais silicosos e claros (Fig. 4). O ciclo II inicia-se por uma unidade (CP) mais básica que a unidade inicial (BA) do ciclo I. Mas as rochas mais básicas do complexo são representadas pelos diques de mela-quartzos monzonitos (DMP/DME) que não puderam ser caracterizados como mais um ciclo magmático pelo número insuficiente de dados disponíveis.

A posição dos turmalina-muscovita aplitos (APL), em relação aos dois ciclos magmático é ainda duvidosa, quer sobre os elementos maiores quer em termos de seus ETR (Wernick *et al.* 1992), decorrente de sua mineralogia con-

trastante em relação às demais unidades magmáticas. Dados geológicos indicam uma maior vinculação com o ciclo I (ver Tab. I, coluna "Frequência de aplitos"), relação também sugerida por alguns dos diagramas geoquímicos. Fenômenos de turmalinização afetam em maior ou menor grau as fases magmáticas finais de todos os complexos granitóides intrusivos no Grupo São Roque independentemente de sua classificação serial (Artur *et al.* 1992) e atingem seu nível máximo no granito turmalinífero de Perus (Hasui 1963, Wernick 1983, Wernick *et al.* 1985, Dantas 1990), situado nas proximidades do complexo Itaqui.

Baseados em elementos maiores, principalmente K₂O e Na₂O, cada um dos ciclos pode ser subdividido em dois subciclos (Fig. 4). O ciclo I compreende os subciclos IA (Unidade Bameri) e IB (Unidades Pedreira Cantareira e Torre) e o ciclo II os subciclos IIA (Unidades Cruz Preta e Aldeia da Serra) e IIB (Unidades Mutinga e Suni). A validade destas subdivisões é ressaltada nos diagramas geoquímicos que serão discutidos a seguir.

Tabela 1 - Dados texturais e mineralógicos das unidades magmáticas do Complexo Itaqui. Convenções: *tr* - traços; **** - muito frequentes; *** - frequentes; ** - pouco frequentes; * - raros. Modificado de Ferreira (1991) e Ferreira & Wernick (1991)

Table 1 - Mineralogical and textural data for the igneous units of Itaqui Coraplex. Key: *tr* - trace; **** - very frequent; *** - frequent; ** - unusual; * - rare. After Ferreira (1991) and Ferreira & Wernick (1991)

UNIDADE ÍGNEA	TEXTURA CARACTERÍSTICAS	MEGACRISTAIS DE FK		MINERAIS MÁFICOS CARACTERÍSTICOS	FREQUÊNCIA DE APLITOS
		%	DIMENSÃO MÉDIA		
BARUERI	Porfiróide	12	2,5 cm	Biotita e hornblenda	Alta
PEDREIRA CANTAREIRA		3	3cm		Média
TORRE	Equigranular	—		Biotita	Média
DMP	Porfírica	0-3	2,5cm	Biotita e hornblenda	
DME	Equigranular	—		Biotita e hornblenda	Média
CRUZ PRETA	Porfírica	13	1cm	Biotita	
ALDEIA DA SERRA	Inequigranular serial a	3	1,5cm		
MUTINGA	porfírica	tr	1,5cm		Nula
SURU	Equigranular	—		Turmalina	Nula
APLITOS	Aplítica				—

UNIDADE ÍGNEA	BARUE-RI	PEDREIRA CANTAREIRA	TORRE	DMP	DME	CRUZ PRETA	MUTINGA	ALDEIA DA SERRA	SURU	APLITOS
PLAGIOGLÁSIO	41	40	37	35	33	45	43	37	32	33
FELDSPATO-K	17	32	33	22	33	26	27	28	39	34
QUARTZO	24	22	24	7	14	16	23	24	27	29
BIOTITA	13	6	4	25	15	11	7	9	2	*
HORBLENDAS	3	0,4	—	4	0,5	—	—	—	—	—
TITANITA	1	0,2	1	4	3	1	0,2	1	*	—
OPACOS	0,5	0,3	0,8	2	1,5	1	*	0,5	*	—
APATITA	0,5	0,1	0,2	1	0,3	0,5	*	0,3	*	*
ALLANITA	****	**	**	—	**	**	***	****	*	*
ZIRCÃO	**	**	*	*	*	*	**	*	*	*
EPIDOTO	**	**	—	**	**	**	*	*	—	—
MUSCOVITA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4
TURMALINA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**
RUTILO	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—

Evolução magmática A evolução magmática dos dois ciclos foi abordada em termos dos parâmetros catiônicos ($Na + K$), $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$, $B = (Fe + Mg + Ti)$, $P = K - (Na + Ca)$, $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe - Ti)$, $R_2 = (6Ca + 2Mg + Al)$, $(Al + Mg) - (K + Fe + 2Na)$ e $(Al + Fe) - (K + Mg + 4Ca)$ desenvolvidos por De la Roche (1978) e aplicados entre outros por De la Roche *et al.* (1980), Debon (1980), Debon *et al.* (1988) e Batchelor & Bowden (1985).

Os diagramas constam das figuras 5 (A, B, C), 6 e 7, nas quais os dados foram representados simultaneamente ora em sua totalidade ora pelas médias das diferentes unidades. Para a sua elaboração as unidades foram reunidas em cinco

associações: 1. Barueri - Pedreira Cantareira - Torre (ciclo I); 2. diques máficos porfírico e equigranular; 3. Cruz Preta • Aldeia da Serra (subciclo IIA); 4. Mutinga-Suru (subciclo IIB); e 5. turmalina-muscovita aplitos.

Diagramas relacionando parâmetros catiônicos têm principalmente as seguintes vantagens:

- são capazes de distinguir rochas quimicamente muito semelhantes, como exemplificado pelo sistema de classificação $R_1 \times R_2$;
- relacionam acuradamente o quimismo com a mineralogia das rochas tanto no caso de rochas em geral (De la Roche 1978, De la Roche *et al.* 1980) como para rochas granitóides em particular (Debon *et al.* 1988);

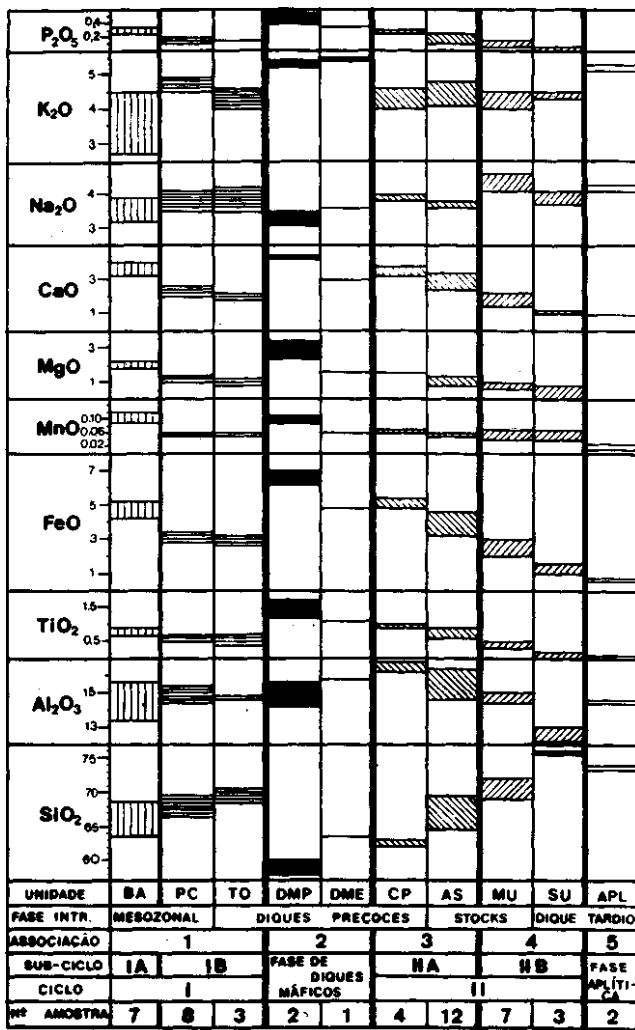


Figura 4 - Variação da composição química (em porcentagem de peso) das unidades magmáticas do Complexo Granitóide Itaqui. Símbolos conforme a figura 2. Segundo Wernick et al. (1993)

Figura 4 - Compositional variation (weight percent) of the igneous units of the Itaqui Complex. Symbols as in figure 2. After Wernick et al. (1993)

- permitem uma rápida compreensão do significado mineralógico de tendências evolutivas químicas (p. ex., Batchelor e Bowden 1985);
- não apresentam as distorções das tendências evolutivas que ocorrem em diagramas baseados em % de peso (Pearce 1969, Whitten 1975).

Diagrama P x B (Figura 5A) Este diagrama correlaciona o conteúdo em feldspato potássico (parâmetro P) com o índice de coloração (parâmetro B). A figura 5A mostra uma correlação inversa destes parâmetros para as associações 1-4, suas disposições subparalelas e a convergência das tendências evolutivas rumo à associação 5.

A dispersão dos dados individuais da associação I (BA + PC + TO) indica claramente que a colocação das unidades magmáticas do ciclo I reflete saltos composicionais na fonte magmatogênica (definindo os subciclos IA e IB) e que cada unidade sofreu diferenciação *in situ*. O diagrama define claramente os sub-ciclos IIA e IIB (associações 3 e 4), de disposição subparalela.

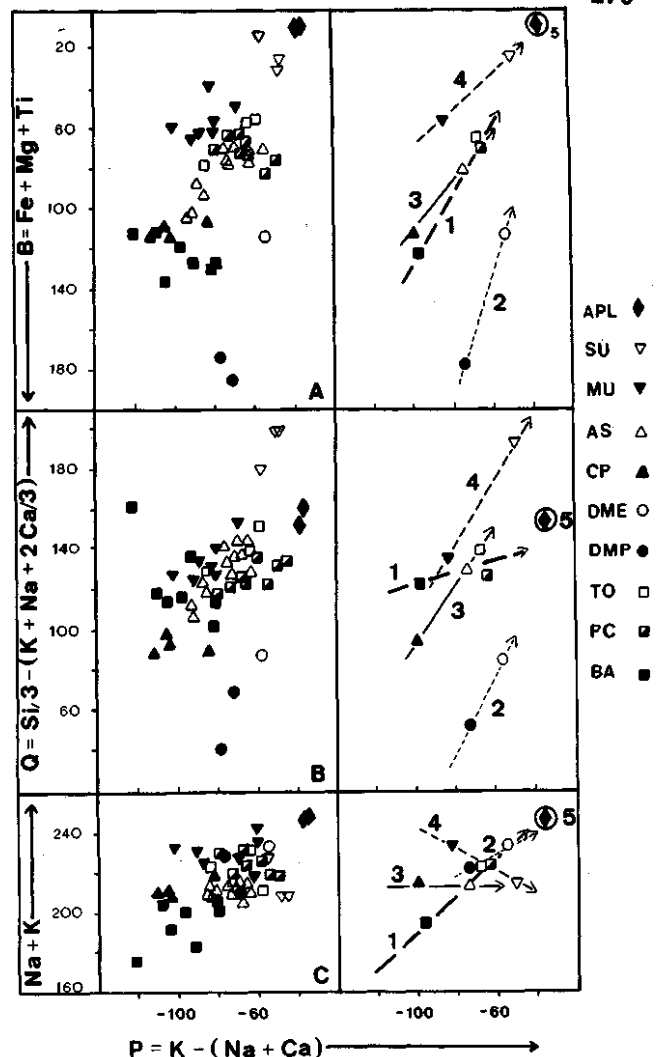


Figura 5 - Distribuição das unidades ígneas do Complexo Itaqui nos diagramas multicatiônicos P versus B (5A), Q versus B (5B) e Na + K versus B (5C). A esquerda estão representados os dados totais e a direita as médias por unidade magmática e suas tendências evolutivas. Símbolos segundo a figura 2

Diagrama PxQ (Fig. 5B) Este diagrama correlaciona o conteúdo em feldspato potássico (índice P) com o conteúdo em quartzo (índice Q). Neste gráfico o ciclo I distingue-se claramente dos subciclos IIA e IIB (de disposição subparalela) por um ganho mais rápido no teor de feldspato potássico em relação ao incremento no teor de quartzo. Dada a natureza porfiróide das unidades BA e PC, este aspecto parece indicar a concentração de feldspato potássico pela aglutinação de megacristais por fluxo magmático e/ou filtragem sob compressão. As numerosas concentrações de megacristais de microclina com formas alongadas, irregulares e tabulares (ver figuras 16 e 20 em Ferreira 1991), que ocorrem na unidade Barueri sustentam esta interpretação.

O diagrama sugere ainda uma vinculação entre o ciclo I (associação 1) e os aplitos (associação 5) e destaca-se novamente o paralelismo das tendências evolutivas dos subciclos IIA (associação 3) e IIB (associação 4).

Diagrama P x (Na + K) (Figura 5C) Trata-se de um diagrama complementar ao anterior, colocando em evidência a alcalinidade das rochas (parâmetro Na + K) na depen-

dência do seu teor em feldspato potássico. Aqui, é interessante ressaltar o comportamento diferencial das associações 1, 3 e 4, nas quais, respectivamente, o teor de álcalis cresce, permanece constante e decresce com o aumento do índice P. O diagrama sugere, à semelhança do diagrama P x Q, uma possível vinculação genética entre as rochas do ciclo I com os aplitos da associação 5. Finalmente, como todos os diagramas precedentes, aponta à convergência composicional entre as unidades magmáticas terminais do ciclo I (Unidades Pedreira Cantareira e Torre) e do subciclo IIA (unidade Aldeia da Serra).

Diagrama R1 x R2 (Figura 6) Este diagrama correlaciona, em rochas granitóides, basicamente quatro aspectos da evolução magmática, das quais três têm o sentido de sua variação assinalados na figura 6: 1. teor em anortita no plagioclásio; 2. teor em quartzo; 3. relação feldspato alcalino/plagioclásio; e 4. a cristalização sucessiva de clinopiroxênios, anfibólios e biotitas.

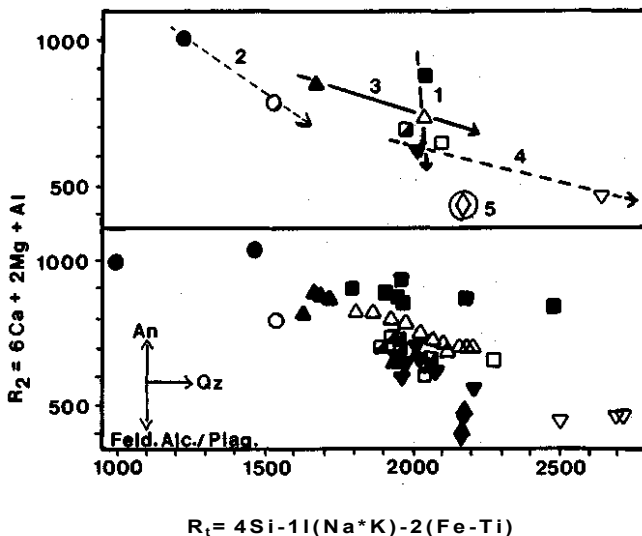


Figura 6 - Distribuição das unidades ígneas do Complexo Itaqui no diagrama multicatiônico R_1R_2 . Dados totais na parte inferior e médias por unidades e suas tendências evolutivas na parte superior. Símbolos segundo a figura 2
Figure 6 - Distribution of igneous units of Itaqui complex in the multicationic diagram R_1R_2 . All data below, averages for each unit and their evolutionary trends above. Key as figure 2

As diferenças nas tendências evolutivas médias globais entre as associações 1, 3 e 4 confirmam as evoluções parciais discutidas nas figuras 5A, 5B e 5C, destacando a diferença entre os ciclos I e II, o paralelismo evolutivo dos subciclos IIA e IIB e a vinculação genética dos aplitos com o ciclo I.

Finalmente, sobre as amostras individuais, destacam-se nítidas diferenças evolutivas quando são comparadas unidades quimicamente expandidas do ciclo I (Unidade Barueri) com R_2 aproximadamente constante e do ciclo II (Unidade Aldeia da Serra) com R_2 decrescente.

Diagrama $Al + Mg - (K + Fe + 2Na) \times Al + Fe - (K + Mg + 4Ca)$ (Figura 7) Este diagrama representa a função do plano $2F = x + y$ no sistema xy , onde $x = (Al - K) - (Fe - Mg) - 2Na$ e $y = (Al - K) + (Fe - Mg) - 4Ca$ (De la Roche, 1978). Quando $2F = 0$, o plano contém os principais minerais das rochas graníticas: quartzo, albita, anortita, feldspato potássico e biotita. Rochas situadas acima deste plano (cuja projeção no diagrama é dada pela diagonal da Fig. 7) são peraluminosas e as situadas abaixo tendem a ser portadoras de hornblenda (rochas metaluminosas). O diagrama reflete as variações nos conteúdos de Ga e Na e das relações

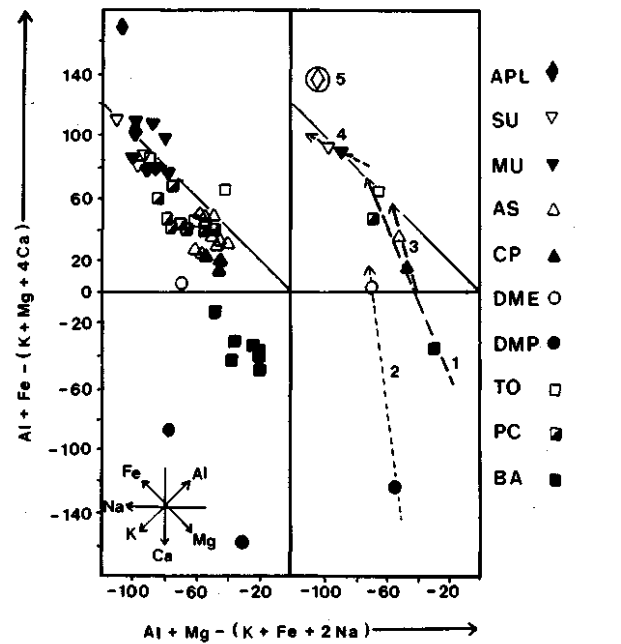


Figura 7 - Distribuição das unidades ígneas do Complexo Itaqui no diagrama multicatiônico $Al + Mg - (K + Fe + 2Na) \times Al + Fe - (K + Mg + 4Ca)$. A esquerda estão representados os dados totais e a direita as médias por unidade magmática e suas tendências evolutivas. Símbolos segundo a figura 2

Figure 7 - Distribution of igneous units of Itaqui complex in the multicationic diagram $Al + Mg - (K + Fe + 2Na) \times Al + Fe - (K + Mg + 4Ca)$. All data on the left, averages for each unit and their evolutionary trends. Key as figure 2

Fe/Mg e Al/K. Com exceção da associação 5 (rochas com turmalina e muscovita), as demais situam-se sobre ou abaixo do plano $2F = 0$.

A diminuição da relação hornblenda/biotita na Unidade Pedreira Cantareira (PC) em relação à Unidade Barueri (BA) e a presença apenas de biotita na Unidade Torre (TO), que caracteriza a mineralogia fêmica do ciclo I, acha-se muito bem definida na figura 7, refletindo que seu processo evolutivo é acompanhado por um aumento das relações Fe/Mg, Al/K e no teor em Na e por perdas no teor em Ca (o que implica em plagioclásios cada vez mais sódicos). Já, a associação 4, contendo apenas biotita, evoluiu sobre o plano $2F = 0$ pelo fracionamento de biotita e plagioclásio.

A evolução do subciclo IIA é semelhante a do ciclo I resultando na já mencionada convergência composicional entre as Unidades Pedreira Cantareira, Torre e Aldeia da Serra (o que pode sugerir a ocorrência esporádica de hornblenda na Unidade Cruz Preta). Finalmente, a figura 7 sugere novamente a vinculação entre os aplitos e a evolução do ciclo I.

CONCLUSÕES 1. O complexo granitóide cálcio-alcalino Itaqui, associado à Falha Transcorrente Taxaquara, é constituído por dez unidades magmáticas reunidas em quatro episódios de acreção, que se relacionam com fases de removimentação da falha que num dos seus estágios finais de evolução secciona o complexo no seu sentido longitudinal. 2. As dez unidades são representadas essencialmente por granodioritos e monzogranitos com textura porfiróide, porfirítica, inequigranular e equigranular com variável índice de coloração e contendo tanto hornblenda e biotita quanto apenas biotita. Os aplitos de colocação final são portadores de turmalina e muscovita.

3. Sete unidades foram reunidas em dois ciclos magmáticos maiores. O ciclo I compreende as Unidades Barueri, Pedreira Cantareira e Torre e o ciclo II as Unidades Cruz Preta, Aldeia da Serra, Mutinga e Suru. Características comuns aos dois ciclos são a seqüenciación temporal das unidades de um pólo mais básico para um mais ácido e a variação textural na qual as unidades iniciais são porfiróides ou porfiríticas e as finais equigranulares. Entretanto, os dois ciclos distinguem-se sob o aspecto mineralógico qualitativo e quantitativo e ao nível de seus elementos químicos maiores. Destaca-se, ainda, que o ciclo II inicia-se com um magmatismo mais básico que o magmatismo inicial do ciclo I.
4. Os dois ciclos são separados por uma fase de colocação de diques de mela-quartzo monzonitos reunidos em duas unidades magmáticas. Não existem dados químicos suficientes para caracterizá-los como um ciclo magmático independente, mas os dados preliminares apontam nessa direção.
5. A última manifestação magmática do complexo é dada por turmalina-muscovita apfíticos. Geograficamente, a sua ocorrência coincide essencialmente com a área de exposição das rochas do ciclo I. Vários diagramas geoquímicos sugerem sua vinculação com esse ciclo, apesar de sua mineralogia anômala em termos dos minerais fêmicos relacionados às demais unidades do complexo.
6. Cada ciclo pode ser subdividido em dois subciclos, tendo por base vários critérios químicos.
7. Cada ciclo (ou subciclo) mostra tendência evolutiva distinta, ressaltada em diversos diagramas catiônicos. Entretanto, na maioria dos casos, estes assinalam a mesma

tendência para os subciclos HA e UB. A evolução faz-se por uma combinação de fracionamento de minerais máficos, plagioclásio e acessórios. Na Unidade Barueri, este processo é sustentado pela presença de enclaves cognatos muito enriquecidos em minerais fêmicos e acessórios. Adicionalmente, para o ciclo I, os dados químicos são sugestivos para a operação de processos de fracionamento por fluxo magmático e/ou filtração por compressão.

8. A caracterização de ciclos e subciclos magmáticos no Granito Itaqui implica na sua definição como complexo múltiplo e composto.

9. O término dos subciclos BB, HA e UB transgride o limite da fase intrusiva na qual se iniciaram. O subciclo IB inicia-se na fase intrusiva mesozonal (Unidade Pedreira Cantareira) e termina na fase de colocação dos diques precoces (Unidade Torre). O subciclo HA inicia-se nesta fase (Unidade Cruz Preta) e termina na fase de colocação dos *stocks* (Unidade Aldeia da Serra). O subciclo HB inicia-se nesta fase (Unidade Mutinga) e termina na fase intrusiva de colocação dos diques tardios (Unidade Suru). Esse aspecto indica a existência de uma defasagem temporal entre as mudanças nas condições tectônicas e as mudanças nas condições magmatogênicas refletidas pela geração de um novo subciclo magmático.

Agradecimentos O autor E.W. agradece ao CNPq (processo 500459/90-8) e à FINEP (processo 4.3.90.0315.00), e o autor C.J.F. à FAPESP (processo 92/1333-5) pelo suporte dado à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; ANDRADE, F.R.D. 1992. Turmalina granitos dos Grupos São Roque e Açungui, Estado de São Paulo. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 354-355.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48:43-55.
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONCANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D. P.; MELO, M.S.; CREMONINI, O.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, 1:500.000*. São Paulo, IPT.
- DANTAS, A.S.L. 1990. *Geologia da Faixa São Roque e Intrusivas Associadas na Região Entre São Paulo e Mairiporã, Norte de São Paulo, SP*. São Paulo, 199 p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- DEBON, F. 1980. Génesis of three concentrically-zoned granitoid Plutons of Causerets-Panticosa (French and Spanish Western Pyrenees). *Geol. Rundsch.*, 69:107-130.
- DEBON, F.; LÉ FORT, P.; SABATÉ, P. 1988. Uma classificação química-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. *Rev. Bras. Geoc.*, 18(2):122-133.
- DE LA ROCHE, H. 1978. La chimie des roches présentée et interprétée d'après la structure de leur faciès mineral dans l'espace des variables chimiques: fonctions spécifiques et diagrammes qui s'en déduisent - application aux roches ignées. *Chem. Geol.*, 21:63-87.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using RjRi-diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29:183-210.
- FERREIRA, C.J. 1991. *Geologia, Petrografia e Topologia de Zircão da Suíte Intrusiva Itaqui, Barueri (SP)*. Rio Claro, 253 p. (Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP).
- FERREIRA, C.J. & WERNICK, E. 1989. Granito Itaqui (SP): caracterização das fácies e relações temporais. In: SIMP. REG. GEOL., 1. Rio de Janeiro, 1989. *Atas...* Rio de Janeiro, SBG, p. 171-172.
- FERREIRA, C.J. & WERNICK, E. 1991. Petrografia da Suíte Intrusiva Itaqui (SP). In: SIMP. REG. GEOL., 2. São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo, SBG, p. 121-130.
- FERREIRA, C.J.; WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K. 1992. Evolução magmática e tipologia de zircão no Complexo Granitóide Itaqui, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 330-331.
- HASUI, Y. 1963. Sobre os granitos turmaliníferos de Perus, São Paulo (SP). *Boi. Soe. Bras. Geol.*, 12:37-108.
- JANASI, V.A. & ULBRICH, H.H.G.J. 1992. Inventário bibliográfico de granitos do Estado de São Paulo. *Boi. IG-USP, Publ. Esp.*, 11:1-253.
- JANASI, V.A.; VASCONCELLOS, A.C.B.C.; VLACH, S.R.F.; MOTI-DOME, M.J. 1990. Granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Piedade (SP): faciologia e contexto tectônico. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais...* SBG, Natal, 4:1925-1935.
- PEARCE, T.H. 1969. A contribution to the theory of variation diagrams. *Contrib. Mineral Petrol.*, 19:142-157.
- PHILPOTTS, A.R. 1990. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 498 p.
- PITCHER, W.S. 1985. A multiple and composite batholith. In: PITCHER, W.S.; ATHERTON, M.P.; COBBING, E.J. eds. *Magmaism at a Plate Edge*. New York, Wiley & Sons, p. 93-101.
- WERNICK, E. 1983. Granitos na região da Grande São Paulo. In: SIMP. REG. GEOL., 4. São Paulo, 1983. *Guia de Excursão...* São Paulo, SBG, 21 p.
- WERNICK, E. & FERREIRA, C.J. 1987. Um expressivo dique sinintrusivo no Granito Itaqui, arredores de São Paulo. In: SIMP. REG. GEOL., 6. Rio Claro, 1987. *Atas...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 135-148.
- WERNICK, E. & FERREIRA, C.J. 1993. Estrutura, arquitetura e evolução do Complexo Granitóide Itaqui, SP. *Geociências*, 12(1):89-109.
- WERNICK, E.; HORMANN, P.K.; FERREIRA, C.J. 1991. Processos de evolução magmática no Complexo Granitóide Itaqui, SP, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOQ., 3, e CONGR. GEOQ. DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1. São Paulo, 1991. *Boletim de Resumos...* São Paulo, SBGq, p. 271-275.
- WERNICK, E.; HORMANN, P.K.; FERREIRA, C.J. 1992. Viscosidade e evolução de magmas granitóides cálcio-alcalinos: uma abordagem através de ETR. *Rev. Bras. Geoc.*, 23(2):
- WERNICK, E.; FERREIRA, C.J.; HORMANN, P.K. 1993. Evolução das unidades magmáticas do Complexo Granitóide Itaqui (Pré-Cambriano Superior), Estado de São Paulo, Brasil: aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos. In: SIMP. INTERNACIONAL DEL NEOPROTEROZOICO - CAMBRICO DE LA CUENCA DEL PLATA, 1. Uruguai, 1993. *Boletim de Resumos...* Montevideo, DI.NA.MI.GE. 6 p.
- WERNICK, E.; WEBER-DIENFENBACH, K.; CORREIA, P.R.; CERQUEIRA, L.C.C. 1985. Os Granitos Mairiporã, Cantareira e Perus, arredores de São Paulo: dados químicos, tipologia de zircão e uma interpretação preliminar. In: SIMP. REG. GEOL., 5. São Paulo, 1985. *Atas...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 3-18.
- WHITTEN, E.H.T. 1975. Appropriate units for expressing Chemical composition of igneous rocks. In: WHITTEN, E.H.T. ed. *Quantitative Studies in the Geological Science. Geol. Soe. Am. Mem.*, 142:283-308.

Manuscrito A785

Recebido em 31 de agosto de 1993

Revisão do autor em 23 de fevereiro de 1994

Revisão aceita em 23 de fevereiro de 1994