

## VARIAÇÃO REGIONAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS DA BACIA DO PARANÁ

por

*N.R. RüEGG*

*Departamento de Mineralogia e Petrologia*

e

*G. AMARAL*

*Departamento de Paleontologia e Estratigrafia*

### ABSTRACT

Based on a considerable number of chemical analyses of the Paraná Basin basaltic province in Southern Brazil, the regional variations of eight major elements are studied. The technique involved the definition of isochemical surfaces on maps by means of trend surface analyses, finding whatever anomalies may exist with respect to previously calculated regional averages for each of the eight major elements. The results indicate a well-defined regional pattern of geochemical variations. Four geochemical anomalies were found - with anomalies II and III very similar to each other, and therefore grouped together - located in at least three different geographical regions. The geographical boundaries of these regions, although ill - defined, are as follows: region one, covering the central-eastern State of Rio Grande do Sul (Anomaly I); region two, including both the central-western State of Paraná and the central-eastern State of São Paulo (Anomalies II and III); and the third region, restricted to the northern coastline of the State of São Paulo (Anomaly IV). Anomalies I and IV, in contrast to anomalies II and III, are characterized by high  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  contents; they differ from each other in Fe (total) and  $\text{TiO}_2$  figures and also in their relative alkali contents; anomaly I has a potassic tendency, while the other shows a sodic one. These geochemical trends

suggest that the whole province should be subdivided into at least three different subprovinces, each probably having a somewhat different igneous-tectonic regime. The nature and characteristics of these regimes still have to be defined by future work.

### RESUMO

Foram estudadas variações de caráter regional no teor de oito elementos químicos principais dosados em rochas basálticas da bacia do Paraná, com base em amplo repertório de dados levantados em amostras coletadas ao longo de toda a área de ocorrência no Brasil meridional. Utilizou-se, para isso, a técnica estatística da análise de superfícies de tendência, por meio da qual foram definidas, geograficamente, curvas de isoteores para os vários elementos. A análise das curvas demonstra que a variação geoquímica em área ocorre segundo padrões consistentes os quais isolam regiões que consistem verdadeiras anomalias em relação ao teor médio para a província de cada um dos elementos. Três regiões, pelo menos, puderam ser caracterizadas, embora não falem evidências de que ocorram em maior número. Elas abrangem, com limites mal definidos, o centro-leste riograndense (Anomalia I), o centro-oeste paranaense mais o centro-leste paulista (Anomalias II - III) e o litoral

norte do Estado de São Paulo (Anomalia IV). As regiões I e IV, em contraste com a II - III, caracterizam-se por altos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ , e por baixas concentrações de Fe-total, MgO e CaO. Distinguem-se por diferenças consideráveis no teor médio de Fe-total e  $\text{TiO}_2$ . Além disso, as rochas basálticas da região I possuem tendência potássica enquanto que as da região IV exibem tendência sódica. Uma vez que ocor-

rem na província basáltica da Bacia do Paraná regiões com fortes características geoquímicas específicas, sugere-se que ela seja tratada como sendo formada por pelo menos três subprovíncias. Estas retratariam, no domínio da grande sinéclise da bacia do Paraná, diferentes regimes ígneos-tectônicos do vulcanismo basáltico, regimes estes que cumpre ainda definir.

### VARIAÇÃO REGIONAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS DO PARANÁ.

#### Generalidades

Foram revistas recentemente, RÜEGG, 1975, 1976, com base em amplo repertório de análises químicas, as principais características de distribuição estatística do conteúdo de vários elementos principais dosados em rochas basálticas da Bacia do Paraná. Desses dados, pode ser facilmente inferido que tipos diferentes de rochas basálticas devem ocorrer na província, tipos estes que estariam definidos pelo conteúdo, variação e dispersão constatadas nas distribuições dos elementos analisados.

As causas das referidas variações, e conseqüentes tipos diferentes de rochas, podem ser de natureza diversa. Poderiam de um lado, ser o resultado de fenômenos localizados de diferenciação, fenômenos estes que se processaram em corpos isolados de rochas durante o resfriamento, por isso, geograficamente restritos. Seria o caso, por exemplo, das diferenciações observadas no lençol intrusivo concordante de diabásio de Laranjal Paulista, SP, descrita por RÜEGG e VANDOROS, 1965, ou ainda das que se observavam no dique da praia de Toninhas, no litoral norte do Estado de São Paulo, conforme descrito recentemente por GOMES E BERENHOLC, 1973. De outro lado, entretanto, tais variações poderiam resultar de fenômenos de maior amplitude, que operaram na província em escala

regional. Esta hipótese é cabível principalmente se considerarmos a extensão em área,  $1,2 \times 10^6 \text{ Km}^2$  - quase 1% das terras emersas do globo -, e volume segundo os quais ocorrem essas rochas, da ordem, segundo LEINZ *et al.*, 1966, de  $6,5 \times 10^5 \text{ km}^3$ . Homogeneidade regional de tal extensão e volume de uma mesma rocha, é fenômeno improvável.

Acrescente-se ainda que variações de caráter regional, entendidas estas como transicionais, numa mesma província ou entre províncias adjacentes, têm sido observadas e descritas por vários autores, particularmente em áreas de vulcanismo ativo do Recente, e devem ser mais conspícuas do que até agora registradas na literatura. São os casos, para citar apenas alguns exemplos, dos primeiros trabalhos a sublinhar esse aspecto: o de HUNAHASHI, 1943 (conforme citação de SUGIMURA, 1968), que descreve variações regionais de caráter transicional entre *suites* de rochas que ocorrem em alguns arquipélagos do Pacífico, e o de RITTMAN, 1953, que relata com precisão as variações regionais existentes no vulcanismo ativo da Indonésia e sua correlação com feições tectônicas da área. KUNO, 1965, na mesma linha de pesquisas, complementa as observações dos autores acima mencionados, relatando feições análogas que se observam ao longo de toda a costa pacífica do continente asiático; sublinha tam-

bém o fato de que essas variações não ocorrem ao acaso mas são laterais e transicionais; na região, caracterizam-se pela ocorrência de magmas menos alcalinos e mais siliciosos (*toleitos*) do lado oceânico, em oposição a magmas alcalinos e menos siliciosos (*olivina - basalto alcalino*) do lado continental; nas regiões de transição ocorrem basaltos hiperaluminosos ("high alumina basalts"). KUNO, 1965, no mesmo trabalho, alinha outros exemplos onde essa sequência se apresenta completa ou incompleta, que ocorrem na Nova Zelândia e costa pacífica dos Estados Unidos da América do Norte.

Os exemplos mencionados tratam de ocorrências associadas ao chamado Círculo de Fogo do Pacífico. Exemplos equivalentes, porém, tem sido descritos para as rochas basálticas que ocorrem no Oceano Atlântico. McBIRNEY e GASS, 1967, e AUMENTO, 1967, por exemplo, estudando a evolução magnética de basaltos oceânicos do Atlântico e suas relações espaciais, constataram que as variações químicas exibidas por essas rochas, ocorrem em função de suas respectivas distâncias da crista da cadeia submarina meso-atlântica. Variações regionais de mesma natureza, foram localizadas em pormenorizado trabalho petrológico do vulcanismo basáltico moderno da Islândia, por JAKOBSSON, 1972. A correlação geoquímica e o caráter provincial das *suites* basálticas e suas variações foram revistas em pormenor por SUGIMURA, 1968, trabalho em que o autor correlaciona, como o fizeram a maioria dos autores que o precederam, as variações regionais observadas ao ambiente geotectônico no qual os magmas foram gerados.

No que concerne às rochas da província basáltica do Brasil Meridional, condições equivalentes às descritas podem ocorrer e justificariam também, pelo menos em parte, a grande variação química intraprovíncia existente conforme demonstrado.

A quantidade de dados químicos ora dis-

ponível, e suas respectivas localizações, permitem, em nível de reconhecimento, verificar tal hipótese, não totalmente desprovida de evidência a seu favor. O cuidadoso escrutínio das análises de elementos principais reunidas por RÜEGG, 1975, 1976, e sua correlação com os respectivos locais de ocorrência, mesmo ao exame superficial mostra, por exemplo, que a distribuição em área dos elementos não ocorrem ao acaso. Se num mapa forem lançados para cada amostra suas respectivas concentrações de determinado elemento, digamos de SiO<sub>2</sub>, verifica-se que a variação geográfica da sílica, entre as rochas da província, obedece a padrão que, embora não bem definido, sugere tendências geoquímicas de caráter regional. O mesmo ocorre com a maioria dos demais elementos.

Embora as respectivas curvas de isotores, lançadas ao longo da área de ocorrência, se ajustem segundo grande número de possibilidades, quaisquer que sejam essas possibilidades, a partir delas emergem tendências coerentes com as sugeridas pelas concentrações de SiO<sub>2</sub>.

A possibilidade pois, de que a grande variação observada na composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná não resultem apenas de processos de diferenciação localizados, como são em geral explícita ou implicitamente admitidos na literatura, configura-se de modo a estimular penetração em maior profundidade no problema, a fim de caracterizar possíveis áreas ou regiões distintas entre si.

Trabalho preliminar visando esse objetivo foi realizado por AMARAL e RÜEGG, 1970 *a* e *b*, utilizando a técnica estatística de análise de tendência de superfícies ("trend surface analysis"). Nesse trabalho foram utilizados os dados químicos reunidos por RÜEGG, 1969, 1970, que totalizavam cerca de 100 análises de elementos principais. Com base nos padrões de variação obtidos, um dos quais está ilustrado na Figura 1, o estudo demonstrou quadro muito uniforme de variação na composi-

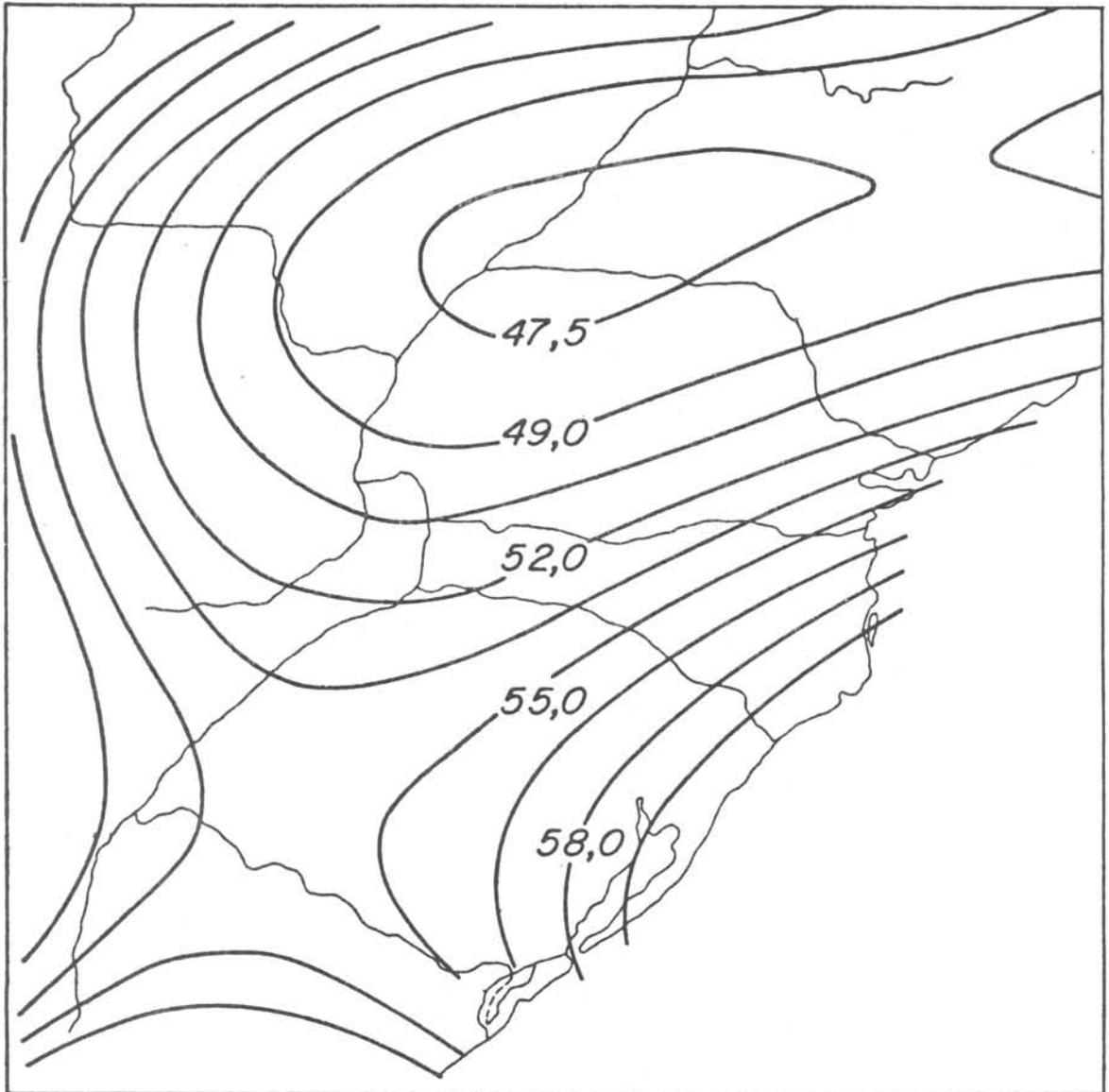


Figura 1 – Superfícies de tendência (3º grau) que representam a variação regional do teor de  $\text{SiO}_2$  ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná, segundo AMARAL E RÜEGG (1970 *a* e *b*). Os números representam porcentagem em peso. Mapa base deformado por problemas inerentes ao lançamento automático de dados.

ção química na área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. O quadro químico sugeria um foco menos diferenciado na parte brasileira do vale do rio Paraná, aumentando a diferenciação, gradativamente, a leste, em direção à linha de costa, e ao sul, em direção à bacia do rio Prata. O mesmo padrão foi obtido para a espessura dos derrames, variável também estu-

dada com base em informações fornecidas pela Petrobrás e “Asociación Nacional del Cemento Alcohol e Petroleo, A.N.C.A.P.” Uruguai, cujos resultados foram divulgados no mesmo trabalho.

Embora sugestivo, o trabalho de AMARAL e RÜEGG, 1970 *a* e *b* continha várias limitações. Entre elas vale a pena sublinhar o núme-

ro relativamente pequeno e a origem heterogênea das análises químicas. Deve ser acrescentado ainda, entre essas limitações o poder de resolução do procedimento estatístico então empregado, que fornecia superfícies de tendência de apenas até 3º grau, sem que o significado estatístico de superfícies de grau mais elevado pudesse ser verificado. Esse estudo é agora ampliado, seguindo-se o mesmo andamento, porém, superando-se as limitações mencionadas, conforme veremos a seguir.

## MÉTODO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados ora disponíveis totalizam 236 análises a partir das quais serão estudadas as variações de 8 elementos principais. Esses dados somam quase 1900 observações e com eles serão melhor definidas as possíveis tendências regionais de variação geoquímica na área de ocorrência das rochas em estudo.

Cumprir notar que, com o total mencionado de observações, é superado de duas formas qualitativamente diferentes, a limitação existente no trabalho de AMARAL e RÜEGG, 1970a e b, em relação ao número de dados então utilizados. De um lado, naturalmente, se situa o maior número de observações que agora serão processadas, cerca de 2,3 vezes o número de análises utilizado naquele estudo.

Além de maior número de dados apresentados, de outro lado, foi agora também ampliada e eficaz o método estatístico. O procedimento adotado para o tratamento dos dados, como já foi mencionado, é o da análise de tendências de superfícies. Esta consiste na definição de superfícies matematicamente definidas, que melhor se ajustem à variação de valores observados, quando a esses valores são atribuídos coordenadas e "cotas" (teores, espessura, coeficientes, etc.). As superfícies de tendência foram definidas por polinômios ortogonais, cujos coeficientes são obtidos por regressão li-

near múltipla pelo método dos mínimos quadrados. Para acharmos a equação da superfície de melhor ajuste para qualquer grau dado, os coeficientes apropriados da expressão polinomial necessitam ser determinados por meio de soluções de matrizes; os desvios (resíduos) dos valores observados e os correspondentes valores calculados, são minimizados pelo procedimento dos mínimos quadrados. Pormenores com relação às bases teóricas do método, e procedimentos para sua utilização, podem ser obtidos entre nós em FULFARO e AMARAL, 1970 b, e FULFARO, 1971 a e b, onde se encontra também bibliografia pertinente ao assunto.

As mencionadas operações de cálculo, são conduzidas em computador. O programa utilizado por AMARAL e RÜEGG, 1970 a e b, consistia no denominado DTREND, modificação de programa produzido no Departamento de Ciências Geológicas da Northwestern University, EUA, com adaptações para computador Burroughs 3 500, do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo; a adaptação foi realizada por um dos Autores (G.A.) e permitia o cálculo de superfície de até 3º grau.

O programa agora utilizado é ainda trabalho do mesmo Autor e consiste na ampliação e adaptação do acima referido. Ele é escrito em linguagem FORTRAN IV para computador Burroughs 6 700. O processamento para o presente trabalho foi totalmente realizado no Centro de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, SP, onde o programa tem o nome de PTREND. Fornece matrizes até 6º grau ( 28 coeficientes) e os resultados são gerados na forma de mapa de símbolos, sobre os quais podem ser traçados as linhas de contorno que traduzem diretamente os valores e a distribuição em área da variável em estudo. Os vários testes destinados a avaliar a "força" ou grau de ajuste das várias superfícies obtidas, na forma proposta por ALLEN E KRUMBEIN, 1962, e KRUMBEIN e GRAYBILL, 1965, ou seja, a soma dos resíduos

ao quadrado, a porcentagem da soma total dos quadrados, o coeficiente de determinação e o coeficiente de correlação, foram incorporados ao programa de forma a serem obtidos, de uma só vez, os mapas e os parâmetros de avaliação de suas características estatísticas.

Cumpre sublinhar que o método estatístico da análise de tendências de superfícies aplicado ao estudo, em nível de reconhecimento, da variação regional de parâmetros geoquímicos e outros, oferece maiores vantagens que o contorno manual de curvas de isotores, além do conforto de automatização e rapidez associado ao procedimento. Essas vantagens resultam do fato, bem salientado por FULFARO e AMARAL, 1970 *a*, de que o método, ao contrário do subjetivo ajuste manual, não é susceptível a valores discrepantes localizados que, dessa forma, não perturbam substancialmente o comportamento mais homogêneo das superfícies. Assim sendo, constitui instrumento muito adequado para avaliações, em nível de reconhecimento estratégico em escala regional, do comportamento de determinada variável, sem a interferência de valores de importância estritamente localizados ou erráticos. Permite também extrapolações mais seguras, dentro dos limites da estatística, quantificando tais extrapolações por meio de parâmetros que exprimem graus de confiança.

#### VARIAÇÃO REGIONAL DE TEOR DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS

Os resultados obtidos com o processamento de dados analíticos relativos aos elementos principais das rochas basálticas da Bacia do Paraná, encontram-se ilustrados na forma de mapas de isotores nas Figuras 2 a 5. Essas figuras representam a variação dos elementos principais das rochas basálticas na província, segundo superfícies de tendência de 6º grau, com exceção da distribuição do  $TiO_2$ , representada por superfície de 4º grau. As superfícies selecionadas foram escolhidas com base nos respecti-

vos parâmetros estatísticos, que indicaram para elas maior grau de ajuste, dentre as seis alternativas geradas para cada elemento. Esse grau de ajuste, a julgar, por exemplo, pelo coeficiente de correlação é grande para a distribuição de  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  e Fe-total pois, mostram para esse parâmetro, respectivamente, valores de 0,64, 0,63, e 0,61, numa escala que varia no intervalo de 0 a 1. São de "força" intermediária, julgando ainda pelo índice de correlação, as superfícies correspondentes ao  $MgO$  (0,53),  $CaO$  (0,54) e  $K_2O$  (0,50), sendo as superfícies de menor grau de ajuste as do  $Al_2O_3$  (0,41) e do  $Na_2O$  (0,44).

Selecionadas as superfícies de tendência mais significativas, elas foram transportadas para mapa base no qual estão delineadas as áreas de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná e alguns acidentes geográficos. Este procedimento permite correlacionar, rapidamente, as superfícies de tendência e as respectivas regiões na Bacia às quais elas se referem. Nos mapas das Figuras 2 a 5, encontram-se assinalados também os pontos de coletas de amostras, artifício que permite avaliar a densidade da amostragem em qualquer região da Bacia e conferir às superfícies de tendência que a elas se referem, maior ou menor significado. Para a identificação das amostras é necessário recorrer a RÜEGG, 1975, 1976.

Examinando-se comparativamente os mapas de tendência de superfície assim elaborado, -Figuras 2 a 5 - notam-se feições de considerável semelhança em suas configurações gerais. Essas feições se salientam particularmente, se compararmos entre si mapas de tendência de superfícies relativos à distribuição do  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$ . A semelhança resulta da disposição de conjuntos de superfícies de tendência ao longo da Bacia do Paraná, segundo configurações que obedecem a padrões equivalentes nos diversos mapas mencionados.

Se tomarmos por referência as superfícies de tendência correspondentes aos teores médios calculados por RÜEGG, 1975, 1976,

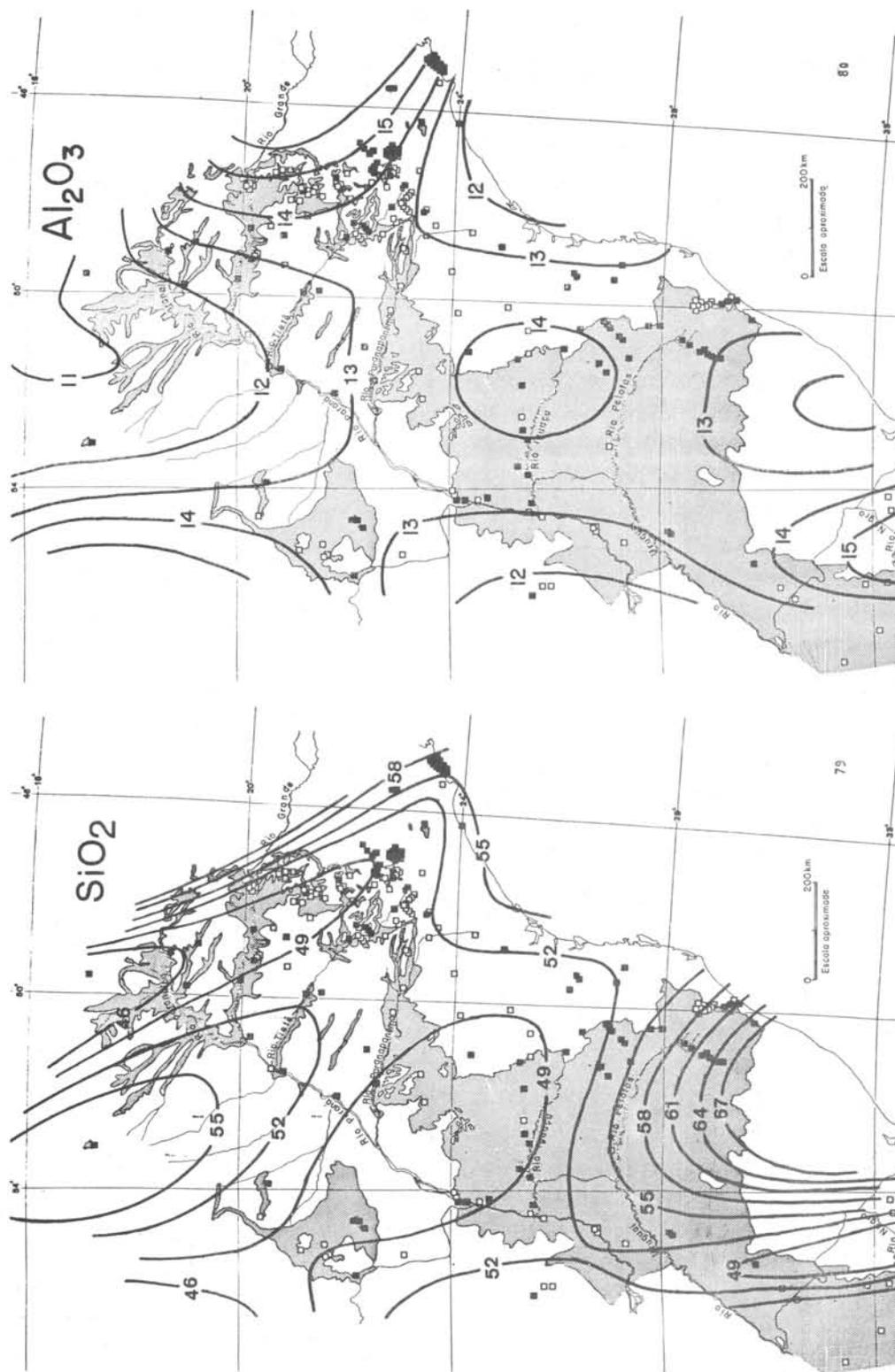


Figura 2 – Superfícies de tendência (60º grau) que representam a variação regional, ao longo de toda a área de ocorrência no Brasil Meridional, da concentração de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ , nas rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números expressam porcentagem em peso. Médias aritméticas de teor para as rochas basálticas da província, segundo RÜEGG (1975, 1976):  $SiO_2$  =51,3 %;  $Al_2O_3$  =13,4 %.

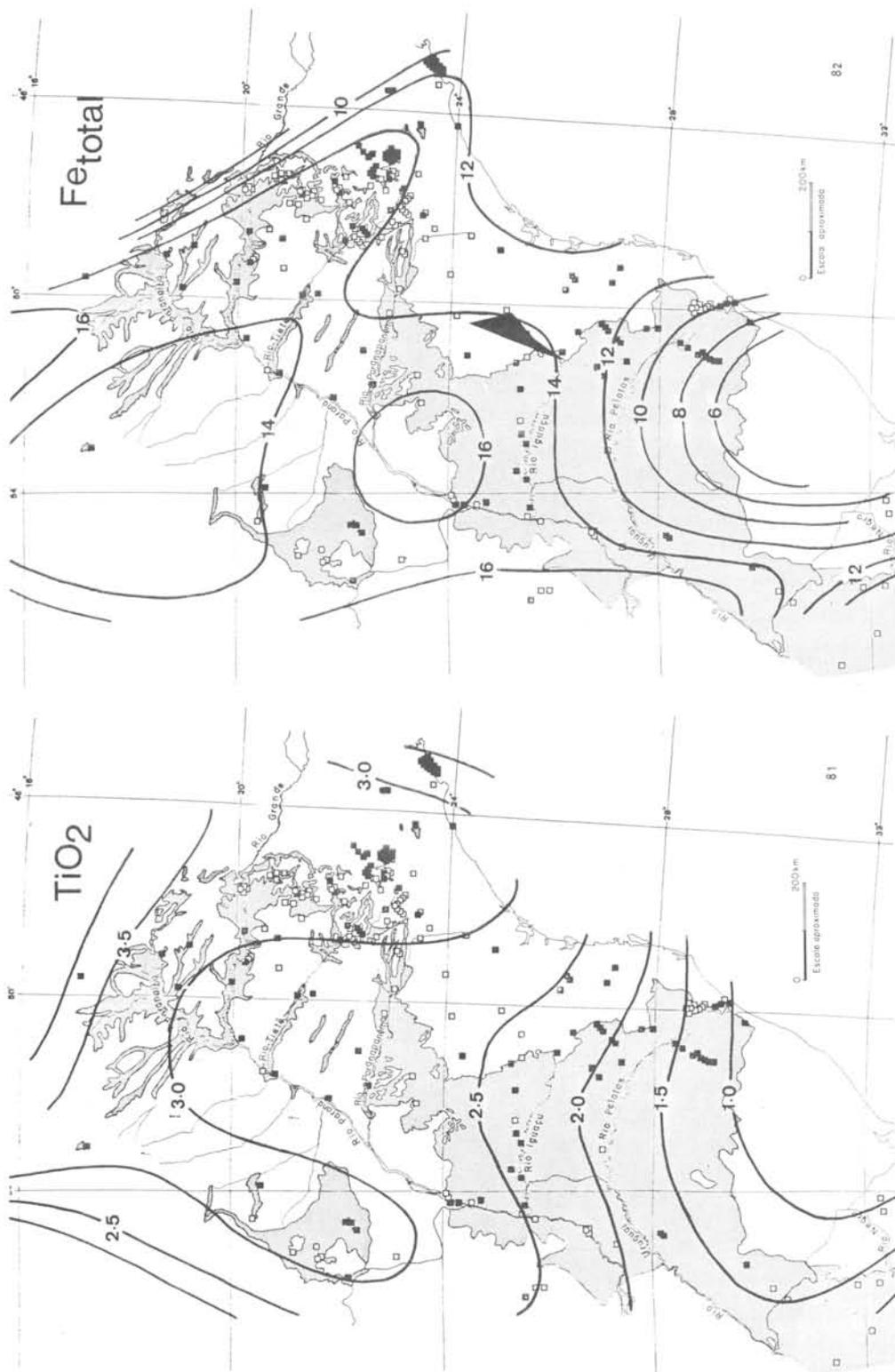


Figura 3 – Superfícies de tendência (respectivamente, 49 e 69 grau) que representam a variação regional ao longo de toda área de ocorrência no Brasil Meridional, da concentração de  $TiO_2$  e Fe-total nas rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números expressam porcentagem em peso. Médias aritméticas de teor para as rochas basálticas da província, segundo RüEGG (1975, 1976):  $TiO_2$  = 2,6%; Fe-total =13,4%.

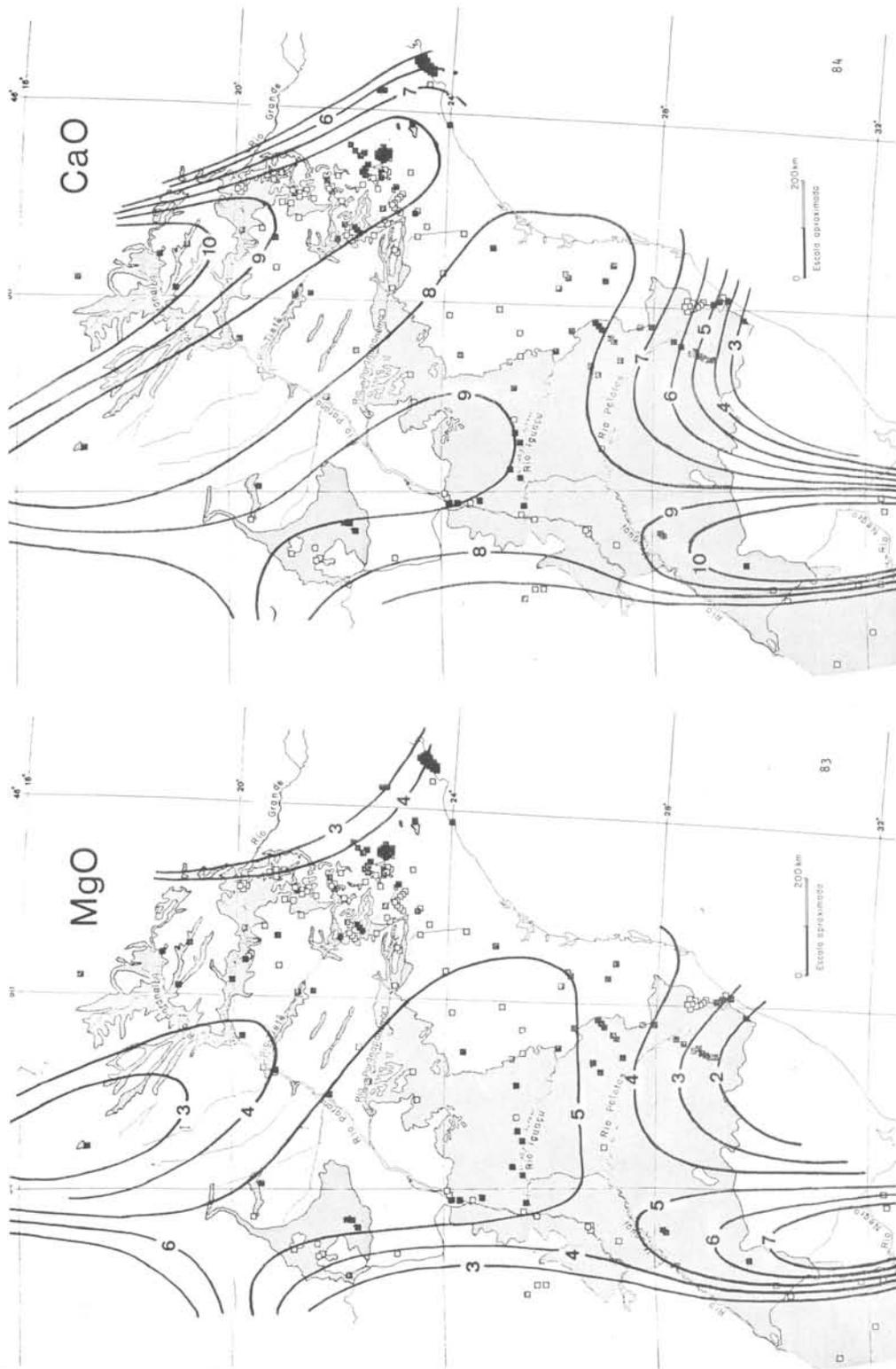


Figura 4 – Superfícies de tendência (6º grau) que representam a variação regional, ao longo de toda a área de ocorrência no Brasil Meridional, da concentração de MgO e CaO nas rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números expressam porcentagem em peso. Médias aritméticas de teor para as rochas basálticas da província, segundo RüEGG (1975, 1976): MgO = 5,0%; CaO = 8,0%.

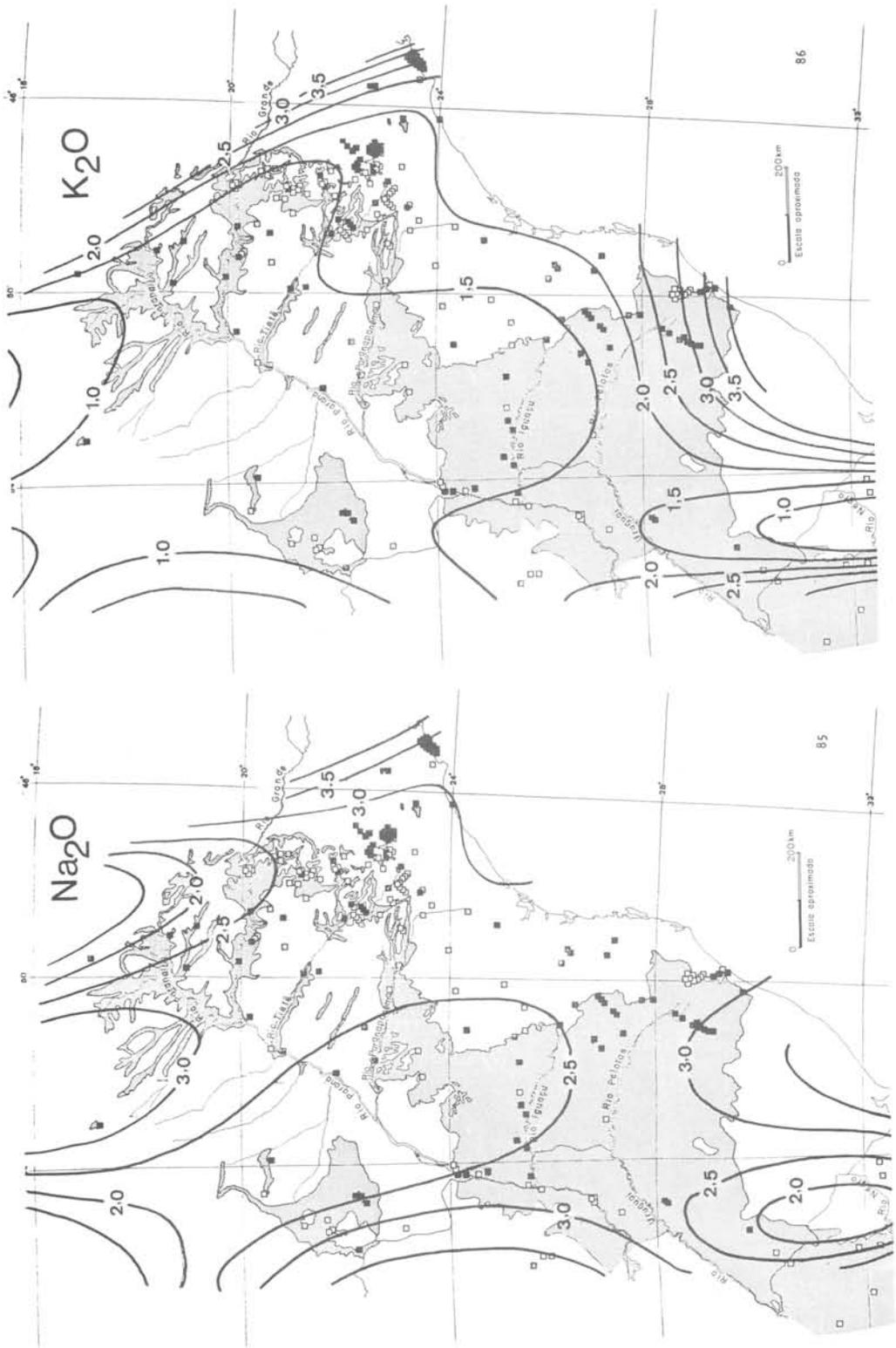


Figura 5 – Superfícies de tendência (6º grau) que representam a variação regional, ao longo de toda a área de ocorrência no Brasil Meridional, da concentração de Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O nas rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números expressam porcentagem em peso. Médias aritméticas de teor para as rochas basálticas da província, segundo RÜEGG (1975, 1976): Na<sub>2</sub>O = 2,7%; K<sub>2</sub>O = 1,7%.

para cada um desses elementos e transcritos nos respectivos mapas das Figuras 2 a 5, os afastamentos da média das demais superfícies de tendência são de tal ordem que constituem em conjunto, verdadeiras anomalias regionais em relação à média. A equivalência de forma e localização dessas anomalias, é notável conforme se verá a seguir:

#### I. *Anomalia do centro-leste riograndense.*

Na região sul do Brasil todos os mapas de variação, com exceção do correspondente à distribuição de  $TiO_2$ , exibem um conjunto de superfícies de tendência, que em planta têm forma semi-circular, de extensão variável conforme o elemento, porém, com a mesma localização em todos os mapas. Em três dimensões, as superfícies de tendência delineiam um "alto", com a forma de uma concha emborcada, ou seja, nessa região desenvolvem-se superfícies de tendência correspondente a isotores mais altos que a média, nos casos do  $SiO_2$ ,  $K_2O$  e  $Na_2O$ . Ao contrário, nos casos dos mapas correspondentes à distribuição do Fe-total,  $MgO$  e  $CaO$ , as superfícies de tendência determinam um "baixo" com a mesma forma, ou seja, de uma concha voltada para cima. No mapa de tendência do  $TiO_2$  essa feição também está presente, porém sendo superfície de ordem menor (4º grau) a anomalia tem forma mais ampla que as anteriores e correspondem a teores mais baixos que a média.

Vale a pena notar a coerência em oposição na variação, de um lado, da sílica e dos álcalis, e de outro, do ferro, magnésio e cálcio. A variação assim registrada corresponde a tipos muito diferenciados de rochas basálticas nessa região, cuja extensão máxima pode ser estimada utilizando-se, por exemplo, os mapas de variação do  $SiO_2$ , Fe-total e  $CaO$ . Para esses componentes, e anomalia ora traçada alcança a sua maior expressão. Cobre geograficamente quase todo o território do Rio Grande do Sul, sobretudo a região centro e leste, avançando ainda ao norte, em fração considerável do Estado de Santa Catarina.

#### II. *Anomalia do centro-oeste paranaense -*

Esta anomalia se delinea amplamente na parte central da Bacia do Paraná, atravessando-a em diagonal com direção aproximada NW-SE. Aparece nos mapas com a forma de uma língua, muito larga, por exemplo, no caso do  $SiO_2$  (Figura 2), e apenas sugerida, no mapa de variação do  $K_2O$  (Figura 5). Em três dimensões, a anomalia consiste em uma depressão rasa, ou seja, formada por superfícies de tendências correspondentes a teores situados ligeiramente abaixo da média, nos casos do  $SiO_2$ ,  $K_2O$  e  $Na_2O$ ; no caso do  $MgO$  e  $CaO$  (Figura 4), a anomalia é formada por superfícies de tendência que configuram um "alto" de teor. As superfícies correspondentes ao Fe-total não coincidem perfeitamente com o padrão descrito, porém, com ele não colide. Diferem das demais por constituírem superfície de tendência de gradiente muito mais acentuado e correspondentes a teores mais elevados.

A julgar pelo mapa de tendência de superfícies referente à variação de  $SiO_2$ , esta anomalia é a que isoladamente, cobre a maior área da Bacia do Paraná. Interessa toda região central e ocidental do Estado do Paraná, estendendo-se rumo noroeste pelo Estado de Mato Grosso. Cobre também pequeno segmento da região norte do Estado de Santa Catarina e do extremo oeste do Estado de São Paulo.

#### III. *Anomalia do centro-leste paulista -*

Esta anomalia situa-se a nordeste da Bacia. Cobre principalmente a região leste do Estado de São Paulo, estendendo-se porém, segundo direção aproximada NW-SE ao Estado de Minas Gerais e Goiás. A feição aparece particularmente desenvolvida nos mapas de variação do  $SiO_2$ , Fe-total e  $CaO$  (Figuras 2, 3 e 4). Nos demais, com exceção do  $TiO_2$ , ela se encontra também presente, porém de forma menos acentuada. Esta anomalia surge na região mais densamente amostrada em toda área de ocorrência das rochas em estudo. Engloba em seu núcleo quase todas as amostras provenientes de grande número de afloramentos de corpos basálticos intrusi-

vos de caráter hipoabissal que ocorrem entremeados aos sedimentos da chamada depressão Paleozóica do Estado de São Paulo. A esses exemplares somam-se amostras de rochas efusivas de derrame que afloram na borda norte e nordeste da Bacia.

IV. *Anomalia do litoral norte do Estado de São Paulo* - Nos mapas de tendência de superfícies é possível isolar ainda uma quarta área na qual se desenvolve forte anomalia em relação ao teor médio dos elementos principais. Trata-se da região litorânea situadas ao norte do Estado de São Paulo, onde ocorre grande número de intrusões basálticas, intraembasamento, na forma de diques, levantados por DAMASCENO, 1966 e amplamente amostradas para fins de estudos geocronológicos (AMARAL *et al.*, 1966; MINIOLI *et al.*, 1971). Nessa área os dados acusam grandes afastamentos dos correspondentes teores médios, circunstância que configura a anomalia, aparentemente uma das mais fortes entre as descritas.

Duas anomalias adicionais estão ainda presente na maioria das mapas de tendência, embora, cumpre notar, resultem de intervenção de número muito restrito de análises. Observando-se o mapa de variação do MgO (Figura 4), por exemplo, no qual se encontram bem delineadas, elas podem ser referidas da seguinte maneira. Uma delas, de forma elíptica com eixo norte-sul, localiza-se na região oeste do Rio Grande do Sul, penetrando, porém, em direção sul, em parte considerável de território uruguaio. Salienta-se particularmente, nos mapas de variação relativos ao CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O (Figuras 4 e 5), além do MgO já mencionado. Encontra-se apenas indicada no mapa do SiO<sub>2</sub> (Figura 2). A segunda dessas anomalias, observando-se ainda o mapa de MgO (Figura 4), situa-se ao norte da Bacia do Paraná cobrindo área considerável, situada a oeste do Rio Paranaíba. Sua configuração aparece bem delineada também no mapa do SiO<sub>2</sub> (Figura 2), e menos acentuada nos demais.

As regiões que se distinguem geoquimicamente entre si, conforme indicam os mapas de tendência de superfícies dos vários elementos principais já delineados, podem ser resumidas esquematicamente na forma ilustrada pela Figura 6. Esta figura resulta: (a) da superposição de padrões semelhantes nos mapas de tendências de superfícies de vários elementos: (b) do ajuste das superfícies de tendência correspondentes ao teor médio de cada um dos elementos, com exceção do TiO<sub>2</sub>, superfícies estas utilizadas como referência e que serviram para discriminar as várias regiões anômalas em relação a média. Utilizando-se estes dois procedimentos para combinar os mapas de superfícies de tendência, a área de ocorrência das rochas basálticas do Brasil Meridional divide-se em quatro regiões principais e duas subsidiárias, conforme ilustrado na Figura 6. Essas regiões estão separadas uma das outras por largas faixas de fronteiras que acomodam as variações de posição dos padrões em cada mapa das superfícies de tendência, correspondentes aos respectivos teores médios utilizados como referência. As faixas limítrofes acomodam as variações na extensão das áreas anômalas conforme o comportamento de cada um dos elementos, e, conseqüentemente, determinam a extensão mínima de cada uma das anomalias isoladamente. Assim isoladas, é possível caracterizá-las geoquimicamente com base nos dados analíticos de elementos principais, obtidos em exemplares que ocorrem *exclusivamente* no interior das áreas anômalas. Teores médios calculados a partir de análises assim catalogadas (RüEGG, 1975) encontram-se listados na Tabela 1.

Comparando-se os teores médios correspondentes a cada uma das anomalias conforme os valores apostos na Tabela 1, verifica-se, de imediato, o forte contraste existente entre a composição química característica das rochas que ocorrem de um lado, no centro-leste rio-grandense (Anomalia I) e no litoral norte paulista (Anomalia IV) quando comparadas, de outro lado, com as Anomalias II e III. As re-

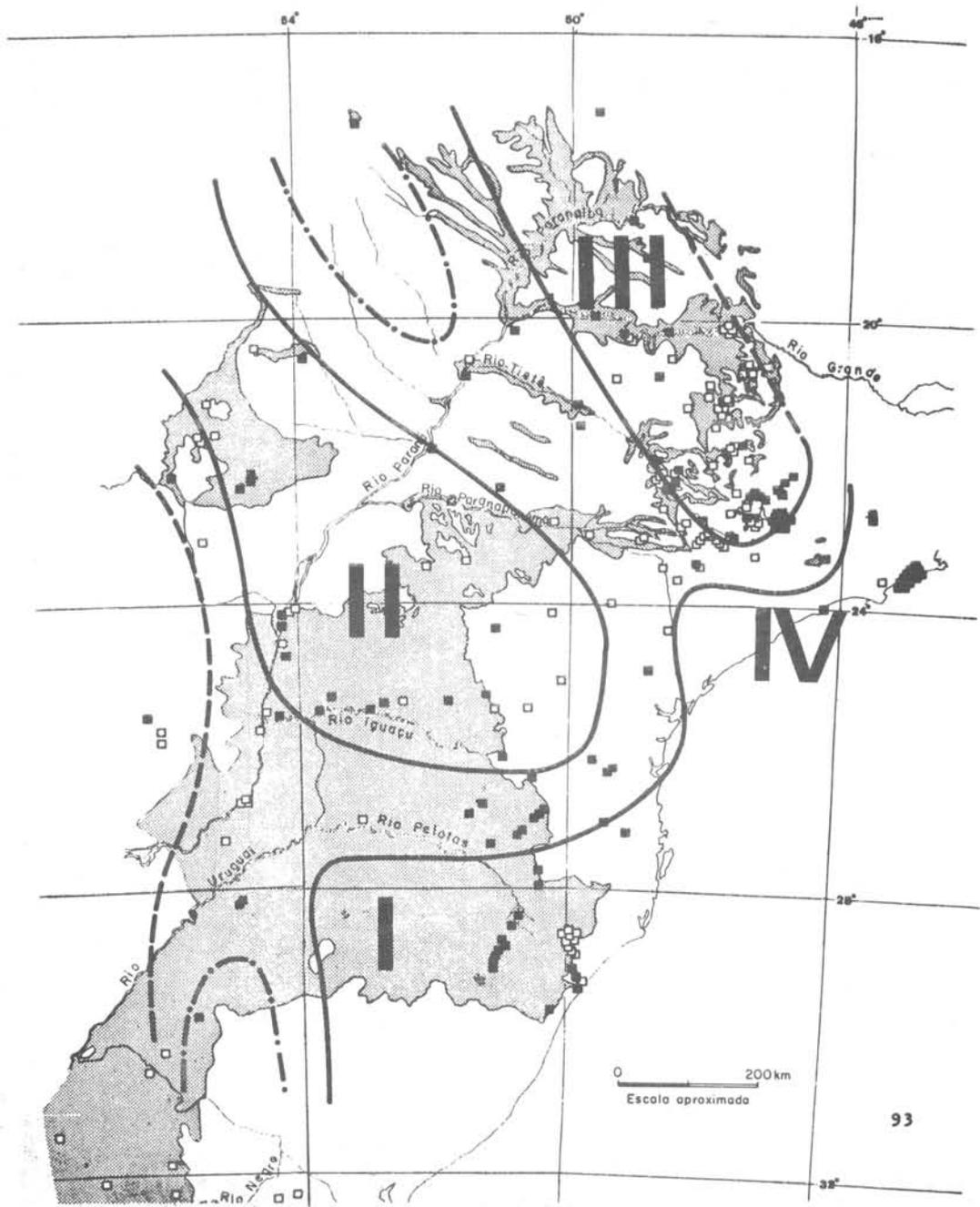


Figura 6 – As quatro regiões principais que se distinguem entre si na área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná, conforme indicado pelos padrões fornecidos pelos mapas de tendências de superfícies (6º grau) de elementos principais. As faixas traçadas contêm as superfícies de tendência correspondentes à composição médias de quase todos elementos principais. Áreas delimitadas por traço-ponto constituem possível anomalias subsidiárias. Linhas tracejadas representam limites aproximados de extrapolação dos dados.

giões I e IV, caracterizam-se por altos teores de sílica e álcalis e por baixas concentrações de Fe-total, magnésio e cal. Distinguem-se entre si por diferenças consideráveis no teor médio de

Fe-total e titânia, e ainda pela natureza do teor em álcalis. As rochas basálticas da Anomalia I possuem tendência potássica enquanto que as da Anomalia IV são mais sódicas.

TABELA 1

Composição média, elementos principais, calculada a partir de análises das amostras que se situam exclusivamente no interior das anomalias ilustradas na Figura 6.

	N	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
I	25	54,94	1,44	13,06	9,22	0,15	2,88	5,60	2,89	2,69
II	25	48,96	2,78	13,19	15,38	0,20	5,47	8,29	2,32	1,26
III	54	49,18	3,17	13,34	14,61	0,22	4,63	8,47	2,70	1,40
IV	13	53,76	2,94	13,91	12,15	0,18	3,31	6,36	3,25	2,53

As características químicas das Anomalias I e IV refletem, naturalmente, composições e variedades de rochas basálticas muito diferentes das que ocorrem nas Anomalias II e III. De fato, as rochas basálticas que aparecem na parte central da Bacia do Paraná (Anomalia II) e no centro leste do Estado de São Paulo (Anomalia III), caracterizam-se quimicamente por teores de sílica e álcalis, iguais ou inferiores à média da província; os demais elementos variam coerentemente em oposição, exibindo teores mais elevados, com exceção do teor médio de magnésia nas rochas da Anomalia III, ligeiramente inferior à média geral da província (Tabela 1). As rochas de anomalias II e III, em termos de teores médios, diferem pouco entre si. Entretanto, além da diferença na concentração de magnésia, já mencionada, vale a pena ainda assinalar que as rochas da parte central da Bacia, quando comparadas com a do centro-leste paulista, exibem teores consideravelmente mais baixos de álcalis, acrescidas de outras diferenças, porém, pouco significativas.

As médias correspondentes às anomalias

subsidiárias anteriormente mencionadas não foram listadas na Tabela 1 e serão negligenciadas por terem surgido nos mapas de tendência de superfícies com base em número muito restrito de dados. Apenas para registro, entretanto, observa-se que suas características químicas são contrastantes. As variações que se verificam na anomalia subsidiária sul, no oeste riograndense, assemelham-se às características das Anomalias II e III, enquanto que a anomalia subsidiária, situada ao norte da Bacia do Paraná é ao contrário, particularmente rica em SiO<sub>2</sub> e Na<sub>2</sub>O. Apresenta entretanto incoerentemente, teores mais baixos de K<sub>2</sub>O do que a média da província; é pobre em MgO e as concentrações de Fe-total e do CaO variam ao redor da média.

#### SUBPROVÍNCIAS BASÁLTICAS NO BRASIL MERIDIONAL.

De acordo com a Figura 6, quatro compartimentos geoquímicos diferentes emergem na área alcançada pelo vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná e adjacências. Os referidos compartimentos ocorrem na condição de ano-

malias em relação à média de teor dos vários elementos e foram denominados de Anomalias I, II, III e IV. Estas distinguem-se entre si de maneira variada, seja em termos de teor em elementos principais (Tabela 1), seja em termos de elementos traços (RüEGG, 1975). Embora sejam quatro os compartimentos geoquímicos indicados pela análise de tendência de superfícies, diferenças químicas significativas em termos de elementos principais e traços entre as várias anomalias, entretanto, ocorrem apenas, de um lado, entre Anomalia I e Anomalia IV, e de outro, entre estas e Anomalia II e Anomalia III. Assim sendo, pode-se admitir que na província coexistam pelo menos três regiões distintas — a correspondente a Anomalia I, a Anomalia IV e as Anomalias II - III — sendo que não faltam indicações da existência de número maior de regiões anômalas (as próprias Anomalias II e III, discriminadamente, e anomalias subsidiárias — Figura 6).

Província petrográfica é conceito que se define para rochas comagmáticas desde que: (1) elas ocorram num espaço geográfico limitado, (2) nesse espaço, elas se formem num determinado período de tempo e (3) elas exibam certa comunhão de caracteres geológicos ou petrográficos com variações regulares e seriadas. Em virtude das consistentes variações observadas ligadas a determinadas regiões na área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia

do Paraná, o seu enquadramento como uma única província magmática (WALTHER, 1927; GUIMARÃES, 1933) fica, em certa extensão, prejudicada.

Uma vez que, de acordo com o exposto, ocorrem intraprovincia no Brasil Meridional, regiões com fortes características geoquímicas específicas, é válido que ela seja tratada como sendo formada por, pelo menos, três subprovíncias basálticas, definidas geoquimicamente, a exemplo do que ocorrem em outras províncias equivalentes, caso das rochas basálticas do Karroo, conforme descrito por COX *et al.*, 1971

Nesse caso, os fatores geológicos que intervieram na gênese dessas subprovíncias, devem ser procurados no regime ígneo-tectônico, de acordo com modelos geológicos modernos que explica, entre outros fenômenos, a ruptura do continente do Gondwana e a deriva que se seguiu, ou mais restritamente, no tectonismo associado a grande sinéclise da Bacia do Paraná, que a compartimentaliza de várias maneiras, influenciando nos episódios magmáticos a ela associada, a exemplo do que descreveram RHODES e KROHNE, 1972, para a província do Karroo. Esses aspectos, no que concerne a província basáltica do Brasil Meridional, será analisado em outro contexto.

---

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, P. e KRUMBEIN, W.C. - 1962 — *Secondary trend components in the top Ashdown pebble bed, a case history*. J. Geol., 70; 507-508.
- AMARAL, G., CORDANI, U.G. KAWASHITA, K., REYNOLDS, J.H. - 1966. *Potassium-argon dates of basaltic rocks from South-*

*ern Brazil*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 30: 159 - 189.

- AMARAL, G. e RüEGG, N.R. - 1970. *Trend surface analysis, aplicado ao estudo da diferenciação regional das rochas basálticas da Bacia do Paraná*. XXIX Congr. Bras. Geologia, Brasília, Bol. 1: 352 - 353.

- AMARAL, G. e RÜEGG, N.R. - 1970. *Diferenciación regional de las rocas basálticas de la cuenca del Parana mediante analisis de la tendencia de superficies*. Simpósio del Manto Superior, Buenos Aires, Argentina: 351 - 352.
- AUMENTO, F. - 1967. *Magmatic evolution on the Mid Atlantic Ridge*. Earth and Planet. Sci. Lett., 2: 225 - 230.
- COX, K.G., MACDONALD, R. e HORNING, G. - 1971. *Geochemical and petrographic provinces in the Karroo basalts of southern Africa*. Amer. Miner. 52: 1451 - 1474.
- DAMASCENO, E.C. - 1966. *Estudo preliminar dos diques de rochas básicas e ultrabásicas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo*. An. Acad. Bras. Ci., 38 (2): 293 - 304
- FULFARO, V.J. e AMARAL, G. - 1970 a. *Aplicações da "Trend Surface Analysis" a problemas geológicos*. XXIV Congr. Bras. Geologia, Brasília, Bol. Esp. 1: 51-54.
- FULFARO, V.J. e AMARAL, G. - 1970 b. *"Trend Surface Analysis" das areias da Praia do Tenório, Ubatuba, SP*. Anais XXIV Congr. Bras. Geologia, Soc. Bras. Geologia, p. 299 - 305, Brasília.
- FULFARO, V.J. - 1971. *A evolução tectônica e paleográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo "Trend Surface Analysis"*. Esc. Eng. S. Carlos, USP. Gol. 14: 112 pgs.
- GOMES, C.B. e BERENHOLC, M. - 1973. *Some geochemical features of the Toninhas dike, Ubatuba, State of São Paulo, Brazil*. II Congr. Latinoamericano de Geologia, Caracas, Venezuela.
- HUNAHASHI, M. - 1943. *Petrology of the Inner Pacific archipelagoes: Japan. Assoc. Mineralogist, Petrologist, Petrologist and Econ. Geologist Jow.*, 29: 128 - 145 (em Japonês).
- JAKOBSSON, S.P. - 1972. *Chemistry and distribution pattern of Recent basaltic rocks in Iceland*. Lithos, 5 (4): 365 - 386.
- KRUMBEIN, W.C. e GRAYBILL, F.A. - 1965. *An introduction to statistical models in Geology*. McGraw-Hill Book Co, 412 p.
- KUNO, H. - 1965. *Lateral variation of basalt magma accross continental margins and island arcs*. Intern. Upper Mantle Project, Report of Symposium, Ottawa, Canada, Sept., 1965, 317 - 336.
- LEINZ, V., BARTORELLI, A., SADOWSKI, G.R. e ISOTTA, C.A.L. - 1966. *Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da Bacia do Paraná*. Bol. Soc. Bras. Geol., 15 (4): 79 - 91.
- McBIRNEY, A.R. e GASS, I.G. - 1967. *Relations of oceanic volcanic rocks to mid oceanic rises and heat flow*. Earth and Planet. Sci. Lett., 2: 265 - 276.
- MINIOLI, B., PONÇANO, W.L. e de OLIVEIRA, S.M. B. - 1971. *Extensão geográfica do vulcanismo basáltico do Brasil Meridional*. An. Acad. Bras. Ciênc., 43 (2): 433 - 437.
- RHODES, R.C. e KROHN, D.H. - 1972. *Tectonic control over regional geochemical variation in the Karroo basaltic province of Southern Africa*. Trans. Geol. Soc. S. Africa, 75 (1): 11 - 21.
- RITTMAN, A. - 1953. *Magmatic character and tectonic position of the Indonesian volcancs*. Bull. vulcanologique, serv. 2, 14: 45 - 58.

- RüEGG, N.R. e VANDOROS, P. - 1965. *O diabásio de Laranjal Paulista, SP*. Reunião Soc.Bras. Progr. Ci., Ciência e Cultura 17 (2): 128- 129.
- RüEGG, N.R. - 1969. *Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado. Fac. Filos. Ci. Letras USP, S.Paulo, 172 p.
- RüEGG, N.R. - 1970. *A composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná (América do Sul) e de outras províncias basálticas gonduânicas equivalentes*. Memórias e Notícias, 70: 26 - 85, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra e do Centro de Estudos Geológicos, Coimbra, Portugal.
- RüEGG, N.R. - 1975. *Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional*. Tese de Concurso de Livre-Docência. Depto. de Mineralogia e Petrologia. Instituto de Geociências, USP, 2 V., 309 pags.
- RüEGG, N.R. - 1976. *Características de distribuição de teor de elementos principais em rochas basálticas da Bacia do Paraná*. Bol. IG. Instituto de Geociências, USP, V.7: 81-106.
- SUGIMURA, A. - 1968. *Spatial Relations of Basaltic Magmas in Inland Arcs*. in Basalts, The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition, 2: 537 - 571.