

O FRATURAMENTO DOS MACIÇOS BASÁLTICOS JUNTO AO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DE CAPIVARA, RIO PARAPANEMA (SP/PR)



José Augusto Mioto, Dr., Geól.
Luis Carlos Ribotta, M.Sc., Geól.

Pesquisadores, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

RESUMO

Após o enchimento do reservatório da barragem de Capivara no rio Paranapanema (SP/PR), foram observadas diversas ocorrências sísmicas. Dentre elas, a de Iepê (SP), de 1991, foi estudada quanto à sua distribuição hipocentral, mostrando que as rupturas estão-se dando em torno de 0,2-1 km de profundidade, afetando as rochas basálticas e sedimentares da Bacia do Paraná. As direções das concentrações epicentrais são as mesmas das fraturas SW-NE e NW-SE dos basaltos em superfície, pressupondo-se mobilidade rochosa em suas vizinhanças e, possivelmente, reativação destas. Este raciocínio, levado às áreas de atividade sísmica de Primeiro de Maio (PR), Ibiaci (PR) e Cruzália (SP), significa movimentação não-desprezível de segmentos rochosos, com interesse ao quadro de esforços que atua na região e à análise de risco sísmico.

1. INTRODUÇÃO

Em 1976, com o enchimento do reservatório de Capivara, abalos sísmicos passaram a ser sentidos por habitantes da foz do rio Tibagi, de Primeiro de Maio e de Iepê. Tais eventos ocorreram a 30-40 km do eixo de barramento hidráulico e da parte mais profunda do reservatório. Eles se repetiram em 1977 e 1979, pelo que se verifica nos registros das estações sismográficas CAP3 e CAP6 instaladas na área.

De 1981, quando foi desativada a última estação sismográfica, até 1985, quando se sugeriu a instalação de nova estação, os abalos continuaram a ser percebidos no município de Iepê. Em outubro de 1988, com a instalação da estação CAP9, foi restabelecido o monitoramento sísmico local. A atividade passou a se concentrar em

Ibiaci, a sul de Primeiro de Maio; em 07.01.1989, ocorreu o sismo de magnitude $mR = 3,7$ e intensidade VI Mercalli Modificada (MM). Poucos sismos foram registrados em Iepê e nenhum em Primeiro de Maio até agosto de 1989, quando a atividade passou a se concentrar em Iepê. O registro do sismo de 07.01.1989 e de grande número de microsismos motivou a instalação da Rede Sismográfica de Capivara (Figura 1) em agosto de 1989 (CAP3, CAP9, CAP11 e CAP12).

Esta incidência temporal diversificada levou a se cogitar o progresso de reativação de fraturas de norte para sul, à margem esquerda do rio Tibagi.

A manutenção de duas áreas de maior atividade sísmica em Capivara (em Ibiaci e Iepê), também ocorreu em 1990, registrando-se alguns eventos isolados a mais de 15 km de ambas as áreas. Esta expansão de instabilidade e os enxames observados em Iepê e Ibiaci (407 eventos entre 24 e 26.09.1990) conduziram a reavaliação dos estudos de fraturamento executados pelo IPT em 1979, demonstrando uma concentração entre Primeiro de Maio e Ibiaci, e grande vazio em Iepê. Naquela oportunidade, também se recorreu a um modelo mais real de estrutura da crosta terrestre local para análise de propagação de ondas, empregando-se perfis de sondagens para petróleo executados nas proximidades e registro de detonações locais (modelo de duas camadas: de 0 a 5 km com 5,1 km/s e mais de 5 km com 6,5 km/s).

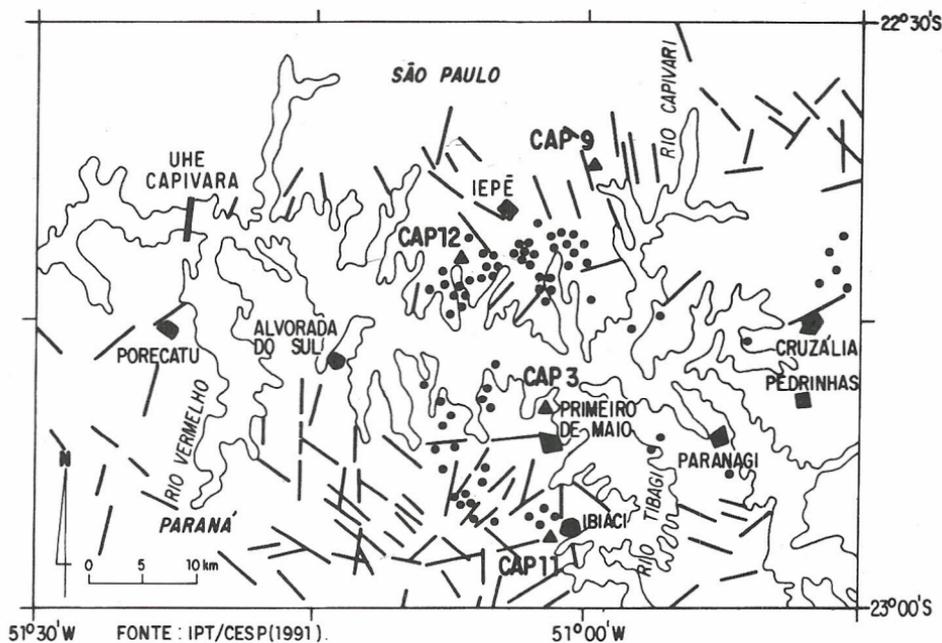
Com os dados instrumentais e o modelo crustal adotado em 1990, foi possível estabelecer a profundidade dos sismos com predomínio nos basaltos e, secundariamente, nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná sotopostas a eles.

Estudos de fraturamento em superfície realizados próximos de Primeiro de Maio e Ibiaci revelaram maior concentração de fraturas e muitas falhas (estrias de movimento com alto e baixo ângulos), indicando movimentos em fraturas preexistentes nas rochas basálticas. Isto é, a maioria acompanha muitas direções de fraturas decorrentes do processo de resfriamento dos derrames de lavas basálticas. As fraturas compõem "zonas de deslocamentos cruzadas com direções N35-55W, N10-20E, N55-65E e N85W/N75E" muito extensas, cujos movimentos foram admitidos até a deposição dos sedimentos quaternários. A ausência de sismos antes e a ocorrência deles após o enchimento do reservatório demonstra que sua presença teve influência na estabilidade regional, favorecendo ajustamentos de blocos locais, antes submetidos apenas a condições de alívio de carga pelos processos erosivos.

Em Iepê, e até à margem do reservatório, o grau de fraturamento nos basaltos tem menor densidade. As direções SW-NE (junto ao reservatório) e NW-SE (junto a Iepê) são as mesmas obtidas da interpretação da distribuição epicentral, indicando, no mínimo, mobilidade contemporânea em suas proximidades.

2. SISMICIDADE EM CAPIVARA

A incidência dos sismos nas proximidades do reservatório de Capivara é registrada desde 1976. Ela tem características muito particulares, dentre as quais se destacam a intermitência e a migração epicentral: no ano de 1978 não houve quaisquer indicações de abalos e, entre 1980 e 1988, somente foram reportados pequenos tremores junto a Iepê; a expansão da área de instabilidade de Primeiro de Maio/Iepê para Ibiaci, entre 1979 e 1988, favoreceu a



-  RESERVATÓRIO DE CAPIVARA
-  CIDADE
-  FRATURAS NOS BASALTOS
-  EPICENTRO SÍSMICO
-  ESTAÇÃO SISMOGRÁFICA

FIGURA 1 - MAPA DAS ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E DA SISMICIDADE JUNTO AO RESERVATÓRIO DE CAPIVARA, ENTRE 1990 E 1993.

interpretação de fraturamento progressivo de norte para sul, à margem esquerda do rio Tibagi.

O término repentino da ocorrência de sismos induzidos nos anos 70, não é comum em reservatórios de barragens. Talvez o caso de Capivara se equipare, no Brasil, ao de Porto Colômbia/Volta Grande, no rio Grande (SP/MG). A mobilidade das áreas de instabilidade, observada, desde 1990 até 1993 preserva-se, ainda hoje, entre Iepê (7.630 eventos) e Ibiaci (869 eventos), 5 a 8 km das áreas inicialmente definidas (488 eventos); porém, outros epicentros passaram a ser notados fora dela, destacando-se os recentes (1991) de Cruzália, 60 km distante da barragem.

A localização das instabilidades, preferencialmente junto ao rio Tibagi, 30-40 km distante da área mais profunda do reservatório, relaciona-se ao fraturamento marcado por zonas de pequenos deslocamentos subverticais (acompanhando fraturas preexistentes nos basaltos) e sub-horizonta (acompanhando fraturas mobilizadas no processo de alívio de carga pela erosão). Nesta área, é comum verificar-se a tendência destas zonas se "estenderem por dezenas de quilômetros". A montante do eixo da barragem, o rio Vermelho tem o mesmo desenvolvimento do rio Tibagi, sem, contudo, apresentar fraturas e entrecruzamento delas, como em Primeiro de Maio/Ibiaci/Iepê. A presença do reservatório facilitou a percolação da água nestas fraturas e o consequente movimento de blocos contíguos.

Os segmentos do fraturamento N-S que controla o rio Tibagi ajustam-se a uma direção estrutural mais profunda que aquelas das rochas sedimentares e basaltos da Bacia do Paraná, do embasamento situado a 5 km de profundidade na região. O trecho do reservatório de Capivara entre a barragem e Primeiro de Maio é coincidente com outra direção estrutural dos basaltos e do embasamento (NW-SE). As fraturas entre Ibiaci e Cruzália (com prolongamento na direção de Paraguaçu Paulista) também se ajustam a outra direção estrutural do embasamento (SW-NE). Estas estruturas do embasamento, segundo estudos do IPT (1989) chegaram a influenciar a distribuição das rochas da Bacia do Paraná, com reflexos até mesmo no controle de algumas feições do relevo atual dos arenitos mais superiores.

Em Iepê, no lado paulista, as estruturas que controlam o curso do rio Capivari representam a continuidade do fraturamento do rio Tibagi, na direção N-S, sem o notável entrecruzamento dos sistemas de fraturas do lado paranaense. Entre Iepê e o reservatório há poucas fraturas orientadas a SW-NE e NW-SE, marcando a proximidade dos basaltos com os arenitos (Figura 1).

A elevada incidência de sismos junto a Iepê (1.474 em 1990, 2.253 em 1991 e 1.699 em 1992) e a sua manutenção, desde 1976, como área de instabilidade, motivaram este estudo hipocentral, precedendo aqueles de mecanismo focal programados.

3. SISMICIDADE EM IEPÊ

A ocorrência dos sismos na região de Iepê, desde outubro de 1988, não tem uma relação aproximada com a variação do nível de água do reservatório de Capivara (medido na porção mais profunda), conforme se observa na Figura 2.

Poucos microssismos chegaram a causar preocupação nos habitantes da região, destacando-se: vários enxames em 1990 e 1991,

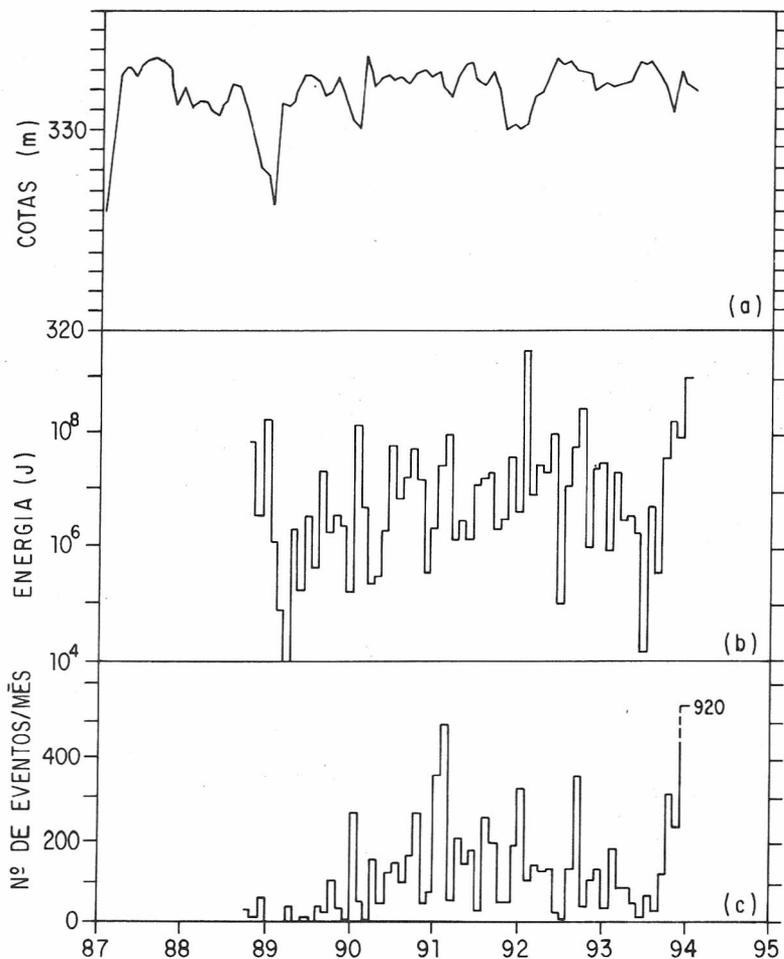


FIGURA 2 - GRÁFICOS DA VARIAÇÃO MENSAL DO NÍVEL DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO (a), ENERGIA LIBERADA (b) E NÚMERO DE SISMOS (c) DE IEPÊ (SP), NO PERÍODO DE 1988 A 1993 .

com magnitude inferior a 0,6 mR, intensidade III MM e profundidade menor que 3 km; de 17.01.1992, com 3,1 mR, intensidade V MM e profundidade de 1,8 km.

A distribuição epicentral dos maiores eventos de 1991 foi caracterizada em quatro grupos, com tendência de se segregarem dois a dois, cuja orientação geográfica coincide com aquela do fraturamento dos basaltos a SW-NE e NW-SE.

A análise hipocentral ao longo destas direções pode ser observada na Figura 3, qualificando instabilidades predominantes a 0,15-0,20 km e a 1 km de profundidade (em basaltos), com algumas em torno de 2,0-2,5 km. Estes hipocentros, observados em perfil N-S e W-E, mostram a tendência de fraturamento vertical e uma possibilidade de mergulho para sul da fratura SW-NE.

A interpretação destes deslocamentos obedecendo a planos estruturais preexistentes nos basaltos, permite inferir a transformação de diáclases dos derrames basálticos em falha, aliás, uma possibilidade observada em 1977-1978 na análise estrutural efetuada para a região de Primeiro de Maio. O tipo de falhamento, entretanto, não pode ser inferido, porque não há estudos de mecanismo focal dos sismos e, tampouco, estudos do regime de deformação que originou os pequenos falhamentos nos basaltos da região.

A reativação de fraturas preexistentes foi observada na região dos projetos Taquaruçu e Capivara, ao longo do curso do rio Paranapanema, mostrando que o último quadro de esforços que deixou registros nos basaltos e arenitos tem idade mesozóico-terciária, cessando de atuar antes da deposição dos sedimentos quaternários. A região de Primeiro de Maio "permaneceu como zona muito fraturada e particularmente suscetível a alívios de tensões". Seu prolongamento até Iepê não é muito claro em estudos mais regionais de campo e fotointerpretação; entretanto, uma vinculação, provavelmente, existe, como reflete a sismicidade regional (centenas de microssismos em Primeiro de Maio, Ibiaci e Iepê, com eventos maiores de $mR = 3,7$ em 27.03.1979, $mR = 3,7$ em 07.01.1989 e $mR = 3,1$ em 07.01.1992, respectivamente).

4. CONCLUSÕES

As fraturas geológicas maiores da região do rio Tibagi têm vinculação ao quadro estrutural dos derrames basálticos. Nestes, as tendências de fraturamento mais contínuo estão a SW-NE, NW-SE e N-S. Estas também são as direções das maiores feições estruturais do embasamento das rochas da Bacia do Paraná. Esta disposição de fraturas foi estudada pelo IPT em 1977, 1979 e 1989. No último estudo foi demonstrada a dependência das mais jovens para com as mais antigas.

O fraturamento nos basaltos mostra que, apesar de serem pequenos os deslocamentos observados, eles se movimentaram intensamente, tanto na vertical quanto na horizontal, cessando esta fase antes da sedimentação das areias e argilas quaternárias. Muitos indícios de mobilidade horizontal se relacionam com alívio de carga pela atuação dos processos erosivos na região. Tal fenômeno pode favorecer a abertura de fraturas pelos efeitos distensivos decorrentes da retirada de cobertura de solos e rochas.

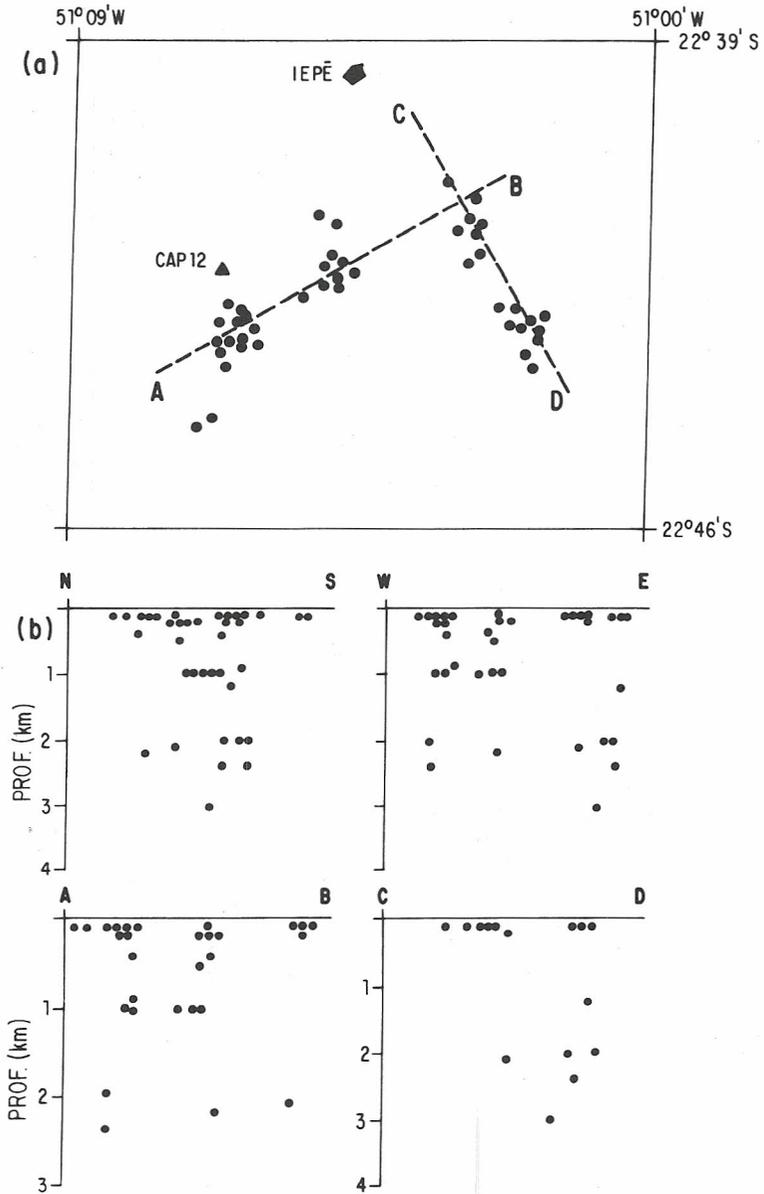


FIGURA 3 — DISTRIBUIÇÃO EPICENTRAL (a) E HIPOCENTRAL (b) DOS SISMOS DE IEPÊ (SP) EM 1991.

Particularmente, a região de Primeiro de Maio/Ibiaci mantém-se muito fraturada e propensa à percolação de água. Esta condição permitiu a deflagração de sismos em áreas mais afastadas do reservatório, expandindo a área inicial de instabilidade.

Na região de Iepê, o fraturamento é mais modesto, mas a instabilidade está concentrada em duas direções comuns (SW-NE e NW-SE) aos maciços basálticos de superfície. Estudos realizados nesta região permitiram qualificar a mobilidade de blocos rochosos controlados pelas fraturas SW-NE e NW-SE. Estas também ocorrem em Primeiro de Maio e Ibiaci, de modo que se pode inferir comportamento similar a esta região paranaense.

Algumas ocorrências isoladas e afastadas destas áreas sísmicas, como a de Cruzália, também refletem ajustamentos nos basaltos ao redor do reservatório, cuja evolução ainda não está esclarecida.

Todas estas instabilidades representam feições de atividade tectônica contemporânea não-desprezível, em parte proveniente da ação antrópica (reservatório) no meio físico regional: em 1976, a área de instabilidade era de 25 x 10 km; em 1989, passou para 27 x 15 km; e, em 1993, alcançou 40 x 35 km. Este crescimento em área tem implicações diretas na avaliação do risco sísmico regional, apesar de relativamente baixo. Sem os estudos de mecanismo focal, não foi possível estabelecer o tipo de movimento das falhas e o quadro dos esforços vigentes na região.

5. BIBLIOGRAFIA

HASUI, Y., PONÇANO, W.L., STEIN, D.P. & MELO, M.S. (1978). Investigação estrutural na região de Primeiro de Maio, SP e PR. 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, v.1, p.339-352, São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT (1989). Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo. Relatório nº 27 394, 2v., 289p., São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT/COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP (1992). Análise dos sismogramas da rede sismográfica de Capivara (SP/PR), do período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1991. Relatório LEC-G-27/92, 87p., Ilha Solteira.