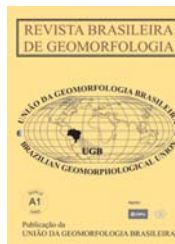


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 3 (2013)



CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR PELO MÉTODO TRAÇOS DE FISSÃO EM ZIRCÃO E INFLUÊNCIAS ESTRUTURAIS PARA A FORMAÇÃO DO PLANALTO RESIDUAL DE MARÍLIA

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF SEDIMENTARY PROVENANCE BY FISSION TRACK METHOD IN ZIRCON AND STRUCTURAL INFLUENCES TO MARÍLIA'S RESIDUAL PLATEAU FORMATION

Caio Augusto Marques dos Santos

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, campus Presidente Prudente –
Rua Anna Gerbasi, 166. Bairro Aquinópolis – CEP 19.061-080 – Presidente Prudente-SP
E-mail: kiomarques@hotmail.com

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Departamento de Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, campus Presidente Prudente. UNESP/FCT – Departamento de Geografia. Rua Roberto Simonsen, 305 – CEP 19060-900 Presidente Prudente-SP
E-mail: joaosvaldo@fct.unesp.br

Carlos Alberto Tello Saenz

Departamento de Física, Química e Biologia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, campus Presidente Prudente. UNESP/FCT – Departamento de Física, Química e Biologia. Rua Roberto Simonsen, 305 – CEP 19060-900 – Presidente Prudente-SP
E-mail: tello@fct.unesp.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
18/03/2013

Data de Aprovação:
09/06/2013

Palavras-chave:

Planalto residual de Marília;
traço de fissão; estruturas.

Keywords:

Marília residual plateau; fission-track; structures.

Resumo

O Planalto Residual de Marília constitui-se como um típico relevo tabuliforme de centro de bacia sedimentar. Sua formação gerou um grande compartimento de topo interligado a topos secundários de menor extensão. O domínio das vertentes encerra-se em escarpas abruptas com desníveis de 50 a 100 m, que delimitam e circundam o planalto. Devido as suas formas peculiares de relevo, buscou-se compreender sua gênese e evolução, desde suas fontes de sedimentos até constituição como planalto residual. Para tanto, utilizou-se a datação via método traços de fissão em 68 grãos de zircão coletados de rocha da Formação Marília na cidade de Marília-SP. E, através de revisão bibliográfica, procurou-se também entender as influências estruturais para a gênese do Planalto Residual de Marília. As idades, que variaram de 640 até 80 Ma, sugerem diferentes eventos termotectônicos em diferentes áreas de rochas-fontes fornecedoras de material detrítico. Acerca das influências estruturais, elas estão ligadas a zonas de fraqueza do embasamento da Bacia do Paraná. As diversas formações geológicas superpostas herdaram essas características do embasamento

crystalino por meio dos alinhamentos estruturais. A epirogênese pós-cretácica acelerou os rios que rumavam para oeste em direção ao Rio Paraná, o que proporcionou o início do isolamento do planalto na paisagem do oeste paulista. No contexto de separação gondwânica, as tensões providas dos esforços tectônicos geraram deformações rúpteis nas rochas da Formação Marília, níveis de base locais por onde se iniciou a organização do sistema hidrográfico e a esculturação do planalto.

Abstract

Marília Residual Plateau is constituted as a typical board shaped relief of sedimentary basin center. Its formation generated a big summit compartment interconnected to secondary summits of minor extension. The domain of the hillsides finishes at abrupt slopes with 50 to 100 meters invernences which delimitate and surround the plateau. Due to its singular relief forms it was aimed to understand its genesis and evolution, since its sedimentary source up to the constitution as residual plateau. In order to reach this aim it was used dating through fission track method in 68 Zircon grains collected from rocks of Marília Formation in the city of Marília – SP, and through the use of bibliographical review understand the structural influences on the genesis of Marília Residual Plateau. The ages, which varied from 640 to 80 million years, suggest different thermotectonic events in different areas of rock-source supplier of detritic material. Concerning to the structural influences, they are connected to the weak zones of Paraná Basin basement. The diverse geological formations superimposed inherited these characteristics of the crystalline basement through structural alignments. The post cretaceous epirogenesis accelerated the rivers which flowed to west towards Paraná River and this provided the beginning of the plateau isolation in the landscapes of west of São Paulo state. In the gondwanic separation context, the tensions which came from tectonic efforts generated breakable deformation in the rocks of Marília Formation, levels of local basis where started the hydrographic system organization and the plateau sculpture.

Introdução

O Planalto Residual de Marília (ROSS e MOROZ, 1997) é uma morfoescultura localizada no Planalto Ocidental Paulista e possui a cidade homônima como principal centro urbano assentado sobre suas formas de relevo (Figura 1). Constitui um fragmento representativo dos altiplanos centro-ocidentais do território paulista, mantido pelos arenitos da Formação Marília, colocado além do reverso imediato da cuesta arenito-basáltica regional (Serra de Botucatu e suas ramificações) (ARAÚJO FILHO e AB'SABER, 1969).

Ele se caracteriza como um típico relevo tabuliforme de centro de bacia sedimentar e suas camadas geológicas dispõem-se de maneira horizontalizada a sub-horizontalizada (CASSETI, 2001). As alternâncias climáticas ocorridas ao longo do Cenozoico, conjuntamente a deformação tectônica, permitiram a gênese de um planalto residual com bordas escarpadas e festonadas. Os compartimentos de topo são alongados e com predomínio de colinas amplas e suavemente onduladas. Eles se conectam ao domínio das vertentes com morfologias côncavas, convexas e retilíneas, que se encerram nas vertentes escarpadas, dando forma a vales intra-escarpas com desníveis que variam de 50 a 100 m.

Essas formas de relevo peculiares, quando comparadas ao seu entorno (Planalto Centro Ocidental), despertaram o interesse em se buscar sua gênese e evolução, desde as fontes de sedimentação até sua constituição como planalto residual.

Dessa forma, este trabalho objetiva contribuir com a análise de proveniência dos sedimentos da Formação Marília no Planalto Residual de Marília (PRM), além de compreender as deformações tectônicas que colaboraram para formação dessa morfoescultura.

Para tanto, na análise de proveniência, foram datados 68 grãos de zircão através do Método de Traços de Fissão (MTF). O MTF permite inferir e identificar eventos geológicos cujas intensidades influenciaram o registro de traços de fissão nos minerais, sendo possível, portanto, apontar prováveis áreas de rochas-fonte. Trabalhos como o de Dias *et al.* (2011) utilizaram os mesmos procedimentos. A respeito da compreensão das influências estruturais para a formação do planalto, procurou-se, por meio de revisão bibliográfica, estabelecer relações entre as características do embasamento pré-cambriano da Bacia Sedimentar do Paraná (Fanerozoico),

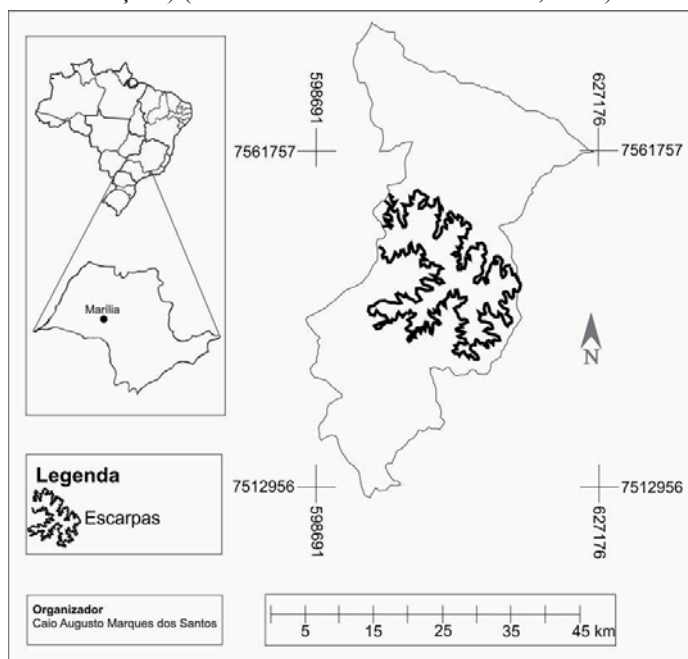


Figura 1 – Mapa de localização do município de Marília no oeste paulista com destaque para as escarpas festonadas que delimitam a cidade.

gênese da Bacia Bauru (Cretáceo Inferior) e deformações rúpteis na Formação Marília na área de trabalho.

Material e Método

Os métodos utilizados foram basicamente dois, conforme os objetivos propostos. O primeiro é referente ao Método Traços de Fissão – MTF. Seu uso permitiu contribuir com a análise de proveniência dos sedimentos da Formação Marília no Planalto Residual homônimo. O segundo, através do qual tornou-se possível compreender as influências estruturais para a formação do planalto, foi a revisão bibliográfica. Através das correlações feitas, por meio da literatura geológica e geomorfológica, observou-se que as características do embasamento pré-cambriano da morfoestrutura do Bacia Sedimentar do Paraná, a gênese da Bacia Bauru, deformações tectônicas na Formação Marília e aspectos morfoesculturais do planalto possuem estreitas ligações.

O Método Traços de Fissão - MTF

O método de datação por traços de fissão baseia-se em análises termocronológicas. Ele é fundamentado na análise quantitativa de perturbações no retículo cristalino do zircão provocados pela fissão espontânea do núcleo do isótopo ^{238}U , que ocorre durante o tempo geológico. Essas perturbações ocorrem por repulsão coulombiana dos átomos ionizados do retículo cristalino devido à passagem dos fragmentos de fissão, dando origem a uma zona desarranjada denominada de traço latente ou de fissão (Figura 2). Eles possuem morfologias cilíndricas com comprimento da ordem de algumas dezenas de micrômetros (16-21 μm) e diâmetro da ordem de nanômetros ($\sim 5\text{ nm}$) (LI *et al.*, 2010, 2011).

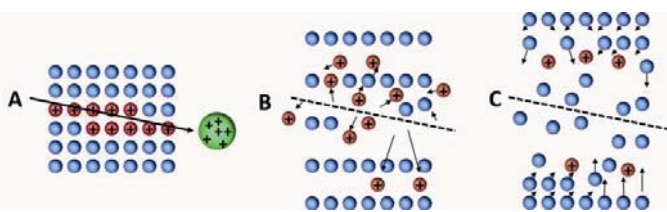


Figura 2 – Formação do traço latente: (A) ocorre a ionização dos átomos da rede cristalina devido à fissão nuclear e, (B) por repulsão coulombiana ocorre um afastamento desses átomos. Em seguida há uma (C) relaxação da rede cristalina que resulta na formação do traço latente. Todas bolas representam arranjo dos átomos na rede cristalina. As azuis representam átomos que não foram ionizados pela passagem do fragmento de fissão do U^{238} . As vermelhas, os átomos ionizados pela fissão. A bola verde é um fragmento de fissão do U^{238} . E as linhas indicam a passagem do fragmento de fissão. (WAGNER e VAN DEN HAUTE, 1992 – modificado apud DIAS, 2008).

Os traços de fissão possuem susceptibilidade térmica. Isso significa que os traços de fissão são fenômenos reversíveis, ou seja, os átomos que sofreram deslocamento devido à passagem dos fragmentos de fissão podem ser realocados aos seus lugares de origem se passarem por algum tipo de tratamento térmico. Na literatura esse fenômeno de apagamento do traço é denominado de *annealing* (TELLO *et al.*, 2006).

Cada mineral possui sua própria característica frente ao fenômeno de encurtamento dos traços devido à ação da temperatura (*annealing*). No caso do zircão, a temperatura de *annealing* total é de aproximadamente 240°C (TAGAMI *et al.*, 1990), em tempos geológicos.

A datação destes minerais fornece a idade na qual os traços começaram a ser registrados no mineral, ou seja, refere-se à sua passagem pela isoterma de 240°C , que é quando os traços são retidos na amostra. Acima desta temperatura, em tempos geológicos, estes traços são totalmente apagados, devido ao efeito de *annealing* (Figura 3).

Comumente, rochas sedimentares, quando datadas pelo método de traços de fissão, apresentam uma dispersão muito grande das idades de cada grão. Isto está ligado à sua gênese, isto é, grãos detríticos podem conter traços de fissão pré-existentes e assim registrar informações sobre as fontes originais desses minerais, que são resultantes de mais de uma proveniência.



Figura 3 – Demonstração em terreno hipotético das zonas de formação e annealing de traços de fissão em zircão.

A estabilidade e a retenção dos traços de fissão não sofrem influências dos agentes físicos do intemperismo. Eles dependem, fundamentalmente, do história térmica sofrida pelas rochas das áreas-fonte e, após a deposição, os traços também podem registrar a história térmica sofrida pelas rochas nas bacias (REMUS *et al.*, 2008).

Portanto, a contribuição que o MTF oferece neste trabalho, para análise de proveniência, é apontando as idades dos eventos termotectônicos que interferiram nos registros de traços de fissão em zircões da Formação Marília no PRM.

Procedimentos técnicos-operacionais do MTF em zircão

A amostra de rocha coletada para separação dos grãos de zircão foi obtida em afloramento próximo a uma das bordas de escarpa na cidade de Marília (Figura 4).

As etapas de separação dos grãos foram: britagem manual, peneiramento, separação por densidade em mesa vibratória, separação magnética, separação por densidade em líquido denso e separação manual, com auxílio de um estéreo-microscópio e uma ponta fina.

Cerca de 100 grãos foram montados em Teflon® PFA (resina perfluoroalcóixido) que, após serem lixados e polidos, foram atacados quimicamente com uma mistura de NaOH:KOH (1:1) a $225 \pm 2^\circ\text{C}$ (TAGAMI *et al.*, 1996) para revelar os traços fósseis (Figura 5) em tempos que variaram de 4 a 18 horas.

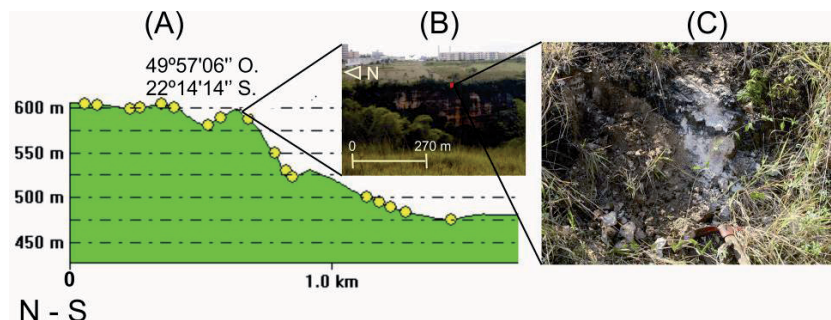


Figura 4 – Ponto de coleta da amostra de rocha da Formação Marília. Destaca-se a borda da escarpa onde foi obtida a amostra. A foto da esquerda representa uma visão ampla da borda da vertente escarpada onde foi coletada amostra. A da direita é uma visão de detalhe do ponto exato de coleta.

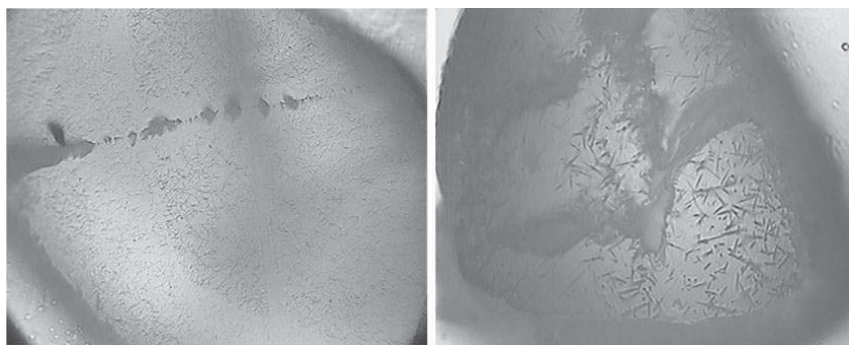


Figura 5 – Traços fósseis em zircão revelados após 4 (A) e 8 (B) horas de ataque químico respectivamente. Verfica-se o aumento do traço nesse intervalo de tempo de ataque.

Após o ataque químico, sobrepôs-se à superfície do teflon uma lâmina de mica muscovita, que atua como detector externo, e se irradiou nêutrons térmicos no reator nuclear com uma fluência nominal de 5×10^{14} nêutrons/cm². A irradiação é realizada para evitar a medida de forma direta do número de átomos do isótopo ²³⁸U, fazendo-se fissionar, no mineral, o isótopo ²³⁵U. Assim, estas fissões induzidas foram registradas na mica muscovita, o que permitiu determinar a densidade de traços induzidos. Com os dados de densidade de traços fósseis e induzidos pode-se fazer o cálculo das idades grão a grão utilizando-se a equação de Lues *et al.* (2002).

A Formação Marília

No topo da sequência litoestratigráfica do Grupo Bauru, a Formação Marília ocorre extensivamente no Triângulo Mineiro, na região sul de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e formando os planaltos de Marília e Monte Alto no estado de São Paulo (Figura 6).

Ela se diferencia das demais formações do Grupo Bauru por sua deposição em partes distais de leques aluviais e intensa cimentação carbonática. Seu limite superior corresponde à atual superfície topográfica, em áreas de exposição, como

as escarpas do Planalto Residual de Marília. Foi proposta como unidade formal, na categoria de formação, por Soares *et al* (1980).

Barcelos (1984) propõe a subdivisão da Formação Marília em três membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã.

O Membro Echaporã, que sustenta o Planalto Residual de Marília, ocorre na parte leste do Planalto Ocidental Paulista e prolonga-se para oeste, em direção ao rio Paraná, pelos espigões dos rios do Peixe, Tibiriçá, Feio e Dourado. Seus sedimentos apresentam duas áreas principais de ocorrência: ao sul o Planalto de Marília e ao norte o Planalto de Monte Alto. O primeiro, constituído por dois espigões, um situado entre os rios Paranapanema e do Peixe, possui altura de 110 m e é denominado de Planalto de Echaporã. O outro, ocorrendo entre os rios do Peixe e Aguapeí, possui altura de 180 m e é designado de Planalto de Marília-Garça. A análise dos dois indica uma redução de espessura de norte para sul.

Almeida *et al* (1980) *apud* Barcelos (1984) observaram que há uma diferença granulométrica dos sedimentos dos dois espigões do Planalto de Marília. Os que sustentam o espigão norte (Marília-Garça) são mais finos do que os que sustentam o espigão sul (Echaporã).

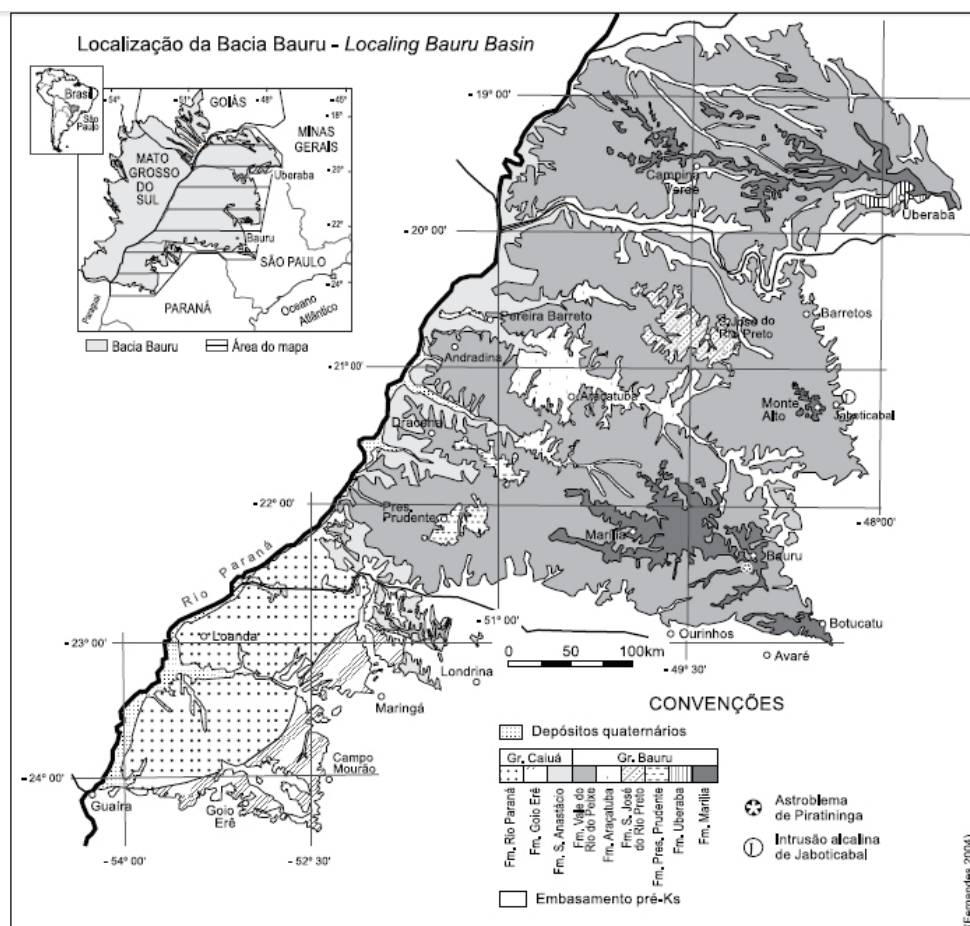


Figura 6 – Mapa litostratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru. (FERNANDES, 2004).

O Planalto Residual de Marília

De acordo com IPT (1981), o Planalto Residual de Marília corresponde à zona mais heterogênea do Planalto Ocidental Paulista. Como os demais planaltos diferenciados, o de Marília constitui-se como área dispersora de drenagem. Predominam nesta unidade formas de relevo denudacionais cujo modelado apresenta-se na forma de colinas com topos aplanados convexos e tabulares que se desfazem em escarpas abruptas e festonadas, conforme se direcionam para as bordas do planalto (IPT, 1981).

Segundo Ross e Moroz (1997), o Planalto Residual de Marília (Figura 7), constitui-se como um prolongamento para oeste do Planalto Residual de Botucatu, desempenhando um vasto planalto de topo aplanado no interflúvio Tietê/Parapanema delimitado pelo Planalto Centro Ocidental.

A dimensão interfluvial média varia de menos de 250m a 750m. As altimetrias que predominam estão entre 500 e 600m e as declividades entre 10 e 20%. Apresenta dissecação média com vales entalhados e densidade de drenagem variando de média à alta, o que implica um nível de fragilidade que torna a área susceptível a fortes atividades erosivas, sobretudo nas vertentes mais inclinadas (ROSS e MOROZ, 1997).

Resultados e discussões

Idades de grãos de zircão

Embora Fernandes (1998) tenha apontado como prováveis fontes de sedimentos para a Formação Marília rochas localizadas nas bordas norte, nordeste e leste da Bacia Bauru, neste trabalho, o Método Traços de Fissão em zircão colabora com a análise de proveniência ao indicar as idades de eventos geológicos (termotectônicos) que influenciaram no alçamento de rochas (interferindo no registro de traços de fissão) para a ação de agentes intempéricos, erosivos e de transporte. Isto significa dizer que cada conjunto de idades refere-se a eventos termotectônicos específicos e em áreas específicas, porém dentro de um contexto geológico mais amplo.

Dessa forma, com base na datação de 68 grãos de zircão, foi possível gerar o histograma de distribuição das idades (Figura 8). Nele pode-se observar a variação de rochas-fontes que forneceram material detrítico para Formação Marília na área de estudo.

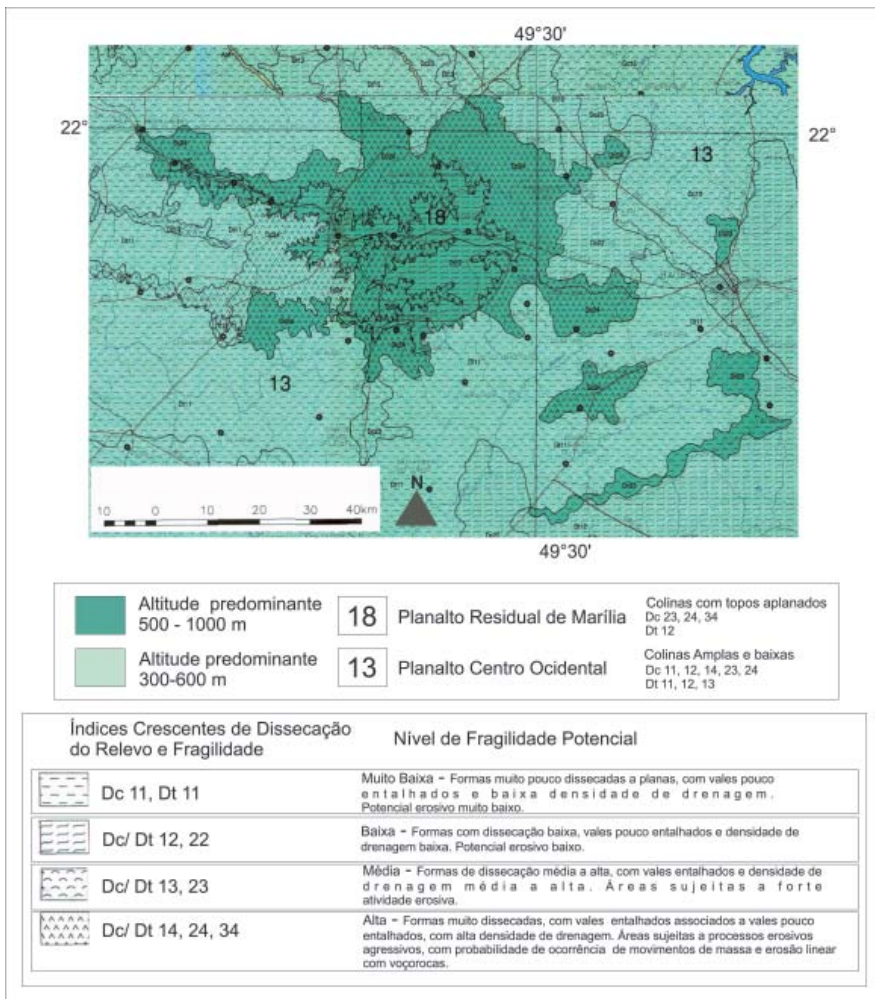


Figura 7 – Recorte do Planalto Residual de Marília do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS e MOROZ, 1997).

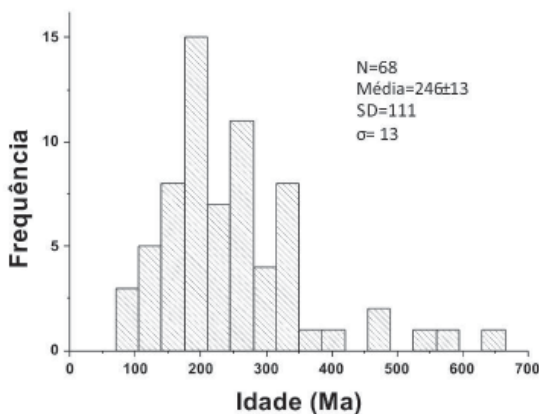


Figura 8 – Histograma de distribuição das idades de 68 grãos de zircão.

Este resultado é fortalecido pelo fato de que os traços confinados possuem um comprimento médio ao redor de 12 micras, indicando que o efeito de *annealing* nesta formação

é negligenciável. Assim, através destes dados, uma primeira premissa que se infere é de que a Formação Marília não atingiu temperaturas acima de 240°C, confirmando seu caráter superficial.

Ao observar o histograma é possível perceber que a distribuição abrange idades que variam do Neoproterozoico (eventos geológicos ligados ao Brasiliano II – 670-530 Ma) ao Cretáceo Superior. São idades relacionadas à constituição da Plataforma Sul-Americana: eventos de consolidação e estruturação geológica do sudeste brasileiro, formação da Bacia do Paraná e separação do Gondwana. Na tabela 1 estão presentes as idades máxima e mínima datadas.

Tabela 1: Idades máxima e mínima obtidas na datação de 68 grãos de zircão

Grãos	Média da Idade (Ma)	Desvio Padrão	Desvio da Média	Idade Mínima (Ma)	Mediana	Idade Máxima (Ma)
68	245	111	13	80	217	640

Os eventos brasileiros envolveram processos de fechamento de oceanos e colisão de continentes e microcontinentes que resultaram na formação dos sistemas orogênicos da Mantiqueira e Tocantins, e sua estruturação deixou uma herança tectônica importante para a formação da Bacia do Paraná através de riftes NE-SW (HASUI, 2010).

De acordo com Hasui (2010), o Brasileiro II (670-530 Ma) foi bem mais ativo que o Brasileiro I (900-700 Ma), atuando na maior parte da região sudeste – foi, sem dúvida, o evento de maior expressão e responsável pelos traços estruturais da região. Ele envolveu o fechamento do Oceano de Goiás entre o Cráton do São Francisco e o Maciço Goiano progredindo de norte para sul entre 670 e 620 Ma; ao mesmo tempo, fechava-se o Oceano Adamastor de sul para norte, entre 670 e 530 Ma. Destaca-se que no sul de Minas Gerais o Oceano de Goiás havia se fechado em cerca de 620 Ma e o Adamastor ali se fecharia bem depois, por volta de 560 Ma. O Brasileiro III (580-490 Ma) marca o final dos processos de aglutinação, terminando o fechamento dos oceanos de Goiás e Adamastor.

As idades superiores a 550 Ma indicam processos pré-gênese da Bacia Sedimentar do Paraná e as inferiores referem-se a eventos contemporâneos a sua estruturação. Ambas sugerem como uma das prováveis fontes de sedimentos, rocha originária do embasamento pré-cambriano.

Destacam-se no histograma quatro picos de idades. O primeiro está situado entre 450 e 500 Ma. Essas idades são referentes ao Cambriano e o Ordoviciano. Elas indicam os processos colisionais finais do Brasileiro III.

Na Bacia do Paraná, no Meso a Neo-Ordoviciano, o terreno pré-cordilheira colidiu contra o Gondwana (RAMOS, 1990, ASTINI *et al.*, 1996 *apud* MILANI e RAMOS, 1998). Essa acomodação dos esforços da Orogenia Oclóyica na região cratônica induziu sua subsidência inicial. A associação da sedimentação inicial da bacia, a Supersequência Rio Ivaí, com magmatismo intraplaca, sugere fortemente ter ocorrido uma reativação ordoviciano de suturas antigas do embasamento.

O segundo pico que se ressalta é o localizado entre as idades de 300 e 350 Ma. São indicativas dos processos evolutivos da Bacia do Paraná, quando ainda havia presença de mares interiores do que viria a ser a Plataforma Sul-Americana.

O terceiro pico localiza-se entre as idades de 250 e 300 Ma. Elas compreendem o período geológico do Permiano. Também sugerem processos evolutivos da Bacia do Paraná. Quintas *et al.* (1999) apontam que as maiores taxas de subsidência tectônica ocorrem no segundo evento distensivo, nesse período. Milani e Ramos (1998) confirmam a subsidência permiana, afirmando sua ligação com a Orogenia Chanica do Eocarbonífero. Segundo tais auto-

res, ela produziu um ciclo renovado de subsidência muito bem documentado no antepaís. Na Bacia do Paraná este foi um tempo de não-deposição, basicamente em função da presença e influência dos glaciares na área da bacia de sedimentação.

O último pico, localizado próximo às idades de 200 Ma e com aproximadamente 15 grãos, é representativo do período Triássico. Ele sugere como fonte os basaltos da Formação Serra Geral e diques de diabásio próximos ao Arco de Ponta Grossa. O contexto tectônico é de estágio pré-rifte da abertura do oceano Atlântico. No interior do Gondwana há a deposição de sedimentos de origem eólica em ambiente árido e desértico, responsáveis pela gênese da Formação Botucatu.

Ao se analisar as idades mais recentes, que variam de 150 a 80 Ma, referindo-se aos períodos Jurássico e Cretáceo, estas indicam todo o contexto tectônico de separação do continente americano e africano, o que incluem os enxames de diques de diabásio na borda da Bacia do Paraná no estado de São Paulo, derrames basálticos da Formação Serra Geral e intrusões alcalinas como prováveis fontes de sedimentos.

Os registros de idades obtidos sugerem zircões originários de rochas provenientes do embasamento pré-cambriano das antigas áreas orogênicas (Serra da Mantiqueira e do Mar), além dos basaltos da Formação Serra Geral, dos diques de diabásio e intrusões alcalinas das bordas da Bacia do Paraná. Entretanto, não se pode excluir a possibilidade de ocorrência de grãos retrabalhados, principalmente os de idades mais recentes. Dados das histórias térmicas desses 68 grãos, como complemento das datações, em futuro próximo, permitirão conhecer e apontar o comportamento tectônico com mais precisão das áreas-fontes da Formação Marília no Planalto Residual de Marília.

Após contextualização das idades obtidas com os prováveis eventos geológicos que influenciaram o registro de traços de fissão, através das Figuras 9 e 10, pode-se relacionar as idades, e os respectivos eventos termotectônicos, com as áreas de rochas-fontes.

Embora a Figura 9 refira-se ao ambiente gerador da Formação Araçatuba, Batezelli (1998, p.114) afirma que, “após o ambiente lacustre ter sido totalmente assoreado pelo sistema fluvial, este dominou a área da Bacia Bauru, no estado de São Paulo, por algum tempo, até que começou a receber sedimentos da Formação Marília”.

Na Figura 10 é possível visualizar pontos de intrusão alcalina, soerguimentos, área de extrusão dos basaltos, suturas e limites dos antigos crátons. A partir da comparação da localização dessas áreas com a figura anterior e os resultados alcançados, percebe-se variação de rochas-fonte para a Formação Marília no PRM, além da complexidade de dinâmicas e processos geológicos envolvidos.

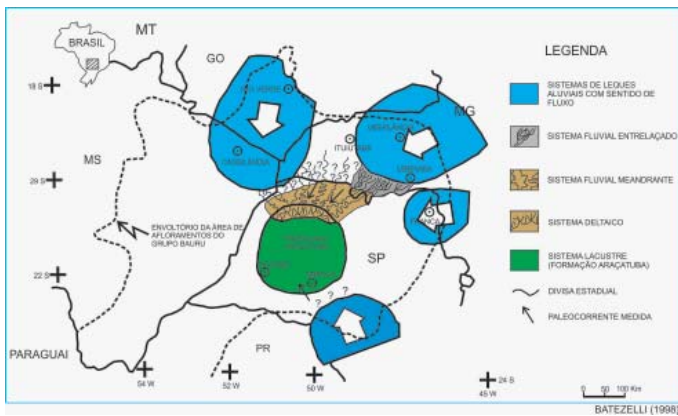


Figura 9 – Distribuição paleofisiográfica do ambiente gerador das rochas da Formação Araçatuba (BATEZELLI, 1998).

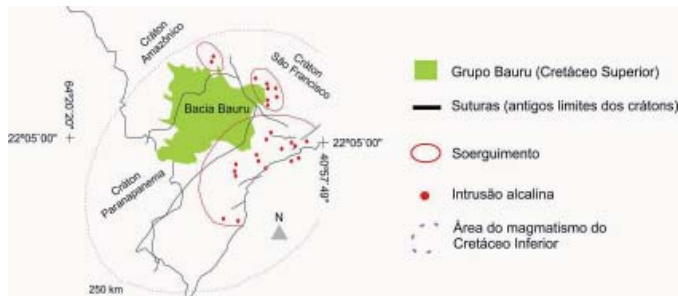


Figura 10 – A Reativação Sul-Atlântica no Cretáceo Superior. A grande área de manifestação magmática do Cretáceo Inferior é sucedida pela instalação da Bacia Bauru e formação de soerguimentos com intrusões alcalinas associadas. Modificado de Mohriak (2004).

Influências estruturais para a gênese e evolução do Planalto Residual de Marília

Parte-se da premissa de que, sendo os resultados obtidos na datação de grãos de zircão, idades referentes às áreas-fontes, as influências estruturais (falhas e fraturas) para a formação do PRM foram geradas a partir de eventos termotectônicos que não superaram intensidade que atingisse temperaturas superiores a 240°C por no mínimo um milhão de anos, intervalo de tempo no qual os traços de fissão seriam totalmente apagados. Ou seja, significa ressaltar que as sucessivas reativações de estruturas herdadas do embasamento cristalino da Bacia do Paraná, fruto dos eventos brasilianos, que influenciaram formações rochosas superpostas por meio de falhamentos e fraturamentos, não tiveram energia suficiente para que as idades por traços de fissão fossem contemporâneas a Formação Marília.

Dessa maneira, o Planalto Residual de Marília possui relações estreitas com a Bacia Sedimentar do Paraná. Na evolução dessa morfoestrutura, zonas de fraqueza do embasamento pré-cambriano, reflexos das colisões brasilianas, condicionaram a formação de estruturas superpostas, grandes sistemas de falhas e juntas, os alinhamentos estruturais (Figura 11). Eles compartimentaram a bacia e tiveram dois tipos de influência para o PRM.



Figura 11 – Principais elementos estruturais da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo (Modificado de SAAD, 1997 e RICCOMINI, 1997).

A primeira refere-se à formação da Bacia Bauru, que recebeu a sedimentação do Grupo homônimo. Foram a partir das zonas de fraqueza que se processou, no Eocretáceo, um colossal fendilhamento da crosta terrestre associado aos derrames basálticos da Formação Serra Geral no contexto de separação do Gondwana. A sedimentação inicia-se por processos de abatimento relacionados à reativação de estruturas pré-cambrianas (Três Lagoas, Presidente Prudente e Ribeirão Preto), reflexos de comportamento isostático dos basaltos às manifestações magmáticas (associadas à passagem da Pluma Mantélica de Trindade), que resultaram em soerguimentos neocretáceos das bordas da bacia (BATEZELLI, 2005).

A segunda influência refere-se ao término das deposições da Formação Marília. Os reflexos dos esforços originados no contexto tectônico de separação do Gondwana são aliviados pelos alinhamentos estruturais. Eles provocaram deformações rúpteis (RICCOMINI, 1997), condicionando a formação de lineamentos nas rochas areníticas da área de estudo. Essas deformidades influenciaram a formação dos primeiros níveis de base, por onde se iniciaram a organização dos sistemas de drenagem, fator decisivo para entender a gênese da morfoescultura do PRM.

A partir da instalação das drenagens, os processos morfo-dinâmicos começaram a ter maior relevância na esculturação do Planalto Residual de Marília, no Cenozoico. Foram a partir do que Ab'Saber (1969) chamou de aplainações neogênicas que o planalto analisado começa a se isolar na paisagem. A epirogênese pós-cretácica condicionou a aceleração dos rios que corriam para oeste, em direção ao Rio Paraná. Esses grandes rios, com seus sistemas de drenagem influenciados pelos alinhamentos estruturais Tietê, Guapiara e Paranapanema (Figura 12), aliados à resistência litológica da Formação Marília e às variações climáticas do Cenozoico, foram os responsáveis por tornar residual o planalto homônimo através da erosão (Figura 13).

Lineamentos de menor expressão, e de conotação regional, como Rio do Peixe e Aguapeí (Figura 14) (SOARES, *et al.*, 1982), também condicionaram a organização de sistemas de drenagens que colaboraram para a esculturação do planalto. Estudos sobre neotectônica, como o de Etchebehere (2000), demonstraram um contínuo processo de entalhamento fluvial por geração de novos níveis de base.

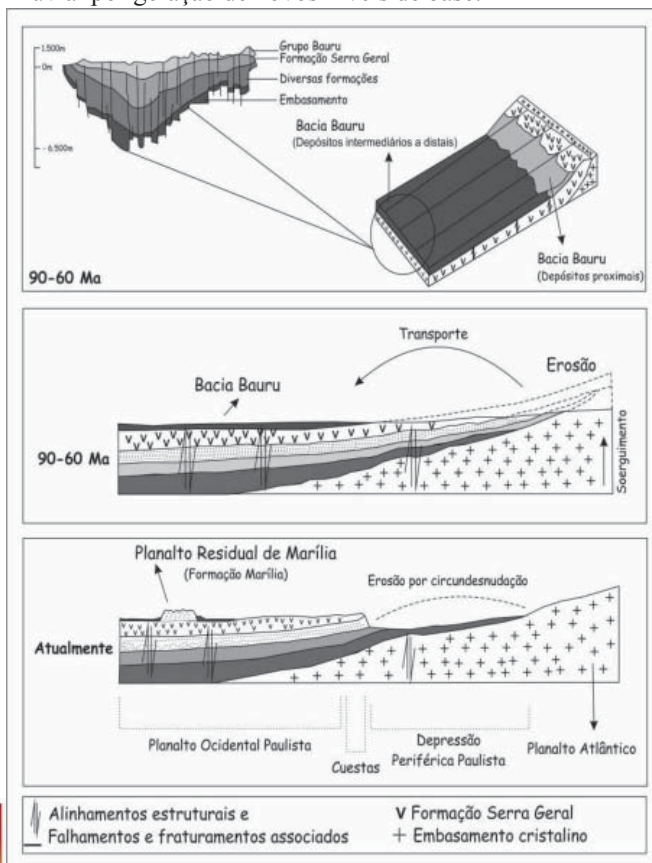


Figura 13 – Influências estruturais para a gênese e evolução do Planalto Residual de Marília (Compilado de GODOY, 2006).

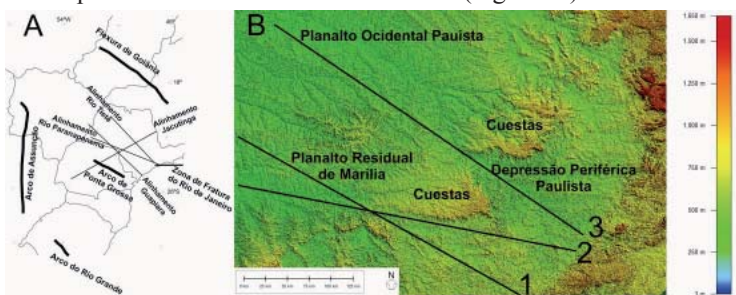


Figura 12 – Grandes sistemas de drenagem influenciados pelos alinhamentos estruturais. A: Principais alinhamentos estruturais da Bacia do Paraná (Modificado de RICCOMINI, 1995 apud GODOY, 2006). B: Alinhamentos estruturais Guapiara (1), Paranapanema (2) e Tietê (3).

Destaca-se o papel das influências estruturais para a formação do PRM ao observar a existência de um front de cuesta localizado entre os três alinhamentos estruturais e, da mesma forma, no reverso desse front, está localizada a área de estudo. Assim, relativiza-se o grau de importância da resistência litológica para a gênese do planalto, colocando-a, juntamente com os componentes estruturais mais antigos, como fatores primordiais para se entender a origem dessa morfoescultura.

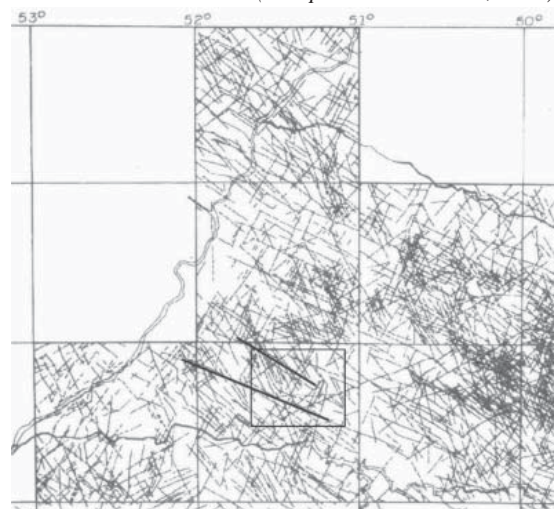


Figura 14 – Mapa de lineamentos e falhas (SOARES, 1982). Recorte aproximado do Oeste Paulista. Destaque para área do Planalto Residual de Marília e lineamentos Aguapeí ao norte e Rio do Peixe ao sul.

Considerações finais

Não há como entender a gênese e evolução do Planalto Residual de Marília sem a compreensão das influências estruturais. Elas somente são possíveis de serem compreendidas se colocadas em um contexto de relações com estruturas geológicas de maiores grandezas, como a Bacia do Paraná e a Bacia Bauru.

As zonas de fraqueza do embasamento cristalino influenciaram a formação de alinhamentos estruturais em formações rochosas superpostas. Foram através dessas estruturas que houve os derrames basálticos da Formação Serra Geral. O Grupo Bauru começa a ser sedimentado após processos de abatimento por reativação de estruturas pré-cambrianas. A partir de reflexos dos esforços gerados pela abertura do Atlântico e, dissipados, principalmente, pelos alinhamentos estruturais, ocorrem deformações rúpteis nas rochas da Formação Marília. Os lineamentos gerados nas rochas da Formação Marília, a partir dessas deformações, foram os condicionantes para a instalação dos sistemas de drenagens, responsáveis, num primeiro momento, pelo isolamento do planalto na paisagem e, posteriormente, pelo festonamento do restante da morfoescultura.

Dessa forma, há uma correlação de forças endógenas e exógenas que se inicia na consolidação do embasamento pré-cambriano da Bacia do Paraná e perpassa pela evolução dessa morfoestrutura e chega às atuais configurações morfológicas do planalto. É uma história geológica/geomorfológica, sem a qual, a compreensão da gênese e evolução da área de estudo estaria incompleta.

As análises das idades dos grãos de zircão via Método Traços de Fissão, embora não tenham se demonstrado, de forma direta, vinculadas à intensidade dos processos tectônicos que influenciaram a formação do planalto, apresentaram-se como uma importante ferramenta para estudos de proveniência sedimentar. A utilização do método contribuiu na demonstração da variação de rochas de áreas-fontes da Formação Marília através dos eventos geológicos responsáveis pelo registro dos traços de fissão.

Assim, a partir das análises das idades, o que se pode verificar é que os zircões datados de amostras de rochas areníticas da Formação Marília na área de estudo possuem registros de processos que abrangem desde as colisões brasileiras, que contribuíram para a estruturação geológica do sudeste brasileiro, passando pelas orogenias paleozoicas e respectivas subsidências relacionadas à evolução da Bacia do Paraná (MILANI e RAMOS, 1998; QUINTAS *et al.*, 1999), até aos processos mais recentes como a separação do Gondwana, o que demonstra e confirma a heterogeneidade de fontes de sedimentos.

Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro dessa pesquisa. Aos amigos e companheiros do Laboratório de Microscopia e Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da FCT/UNESP-Presidente Prudente. E aos Professores, co-autores desse trabalho.

Referências bibliográficas

ARAÚJO FILHO, J. R.; AB'SABER, A. N. A região de Marília: notas geomorfológicas. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, **Geomorfologia**, v.14, p. 2-6, 1969.

AB'SABER, A.N. Ritmo da epirogênese pós-cretácica e setores das superfícies neogênicas em São Paulo. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, **Geomorfologia**, v.13, p. 1-19, 1969.

BARCELOS, J. H. **Reconstrução Paleogeográfica da Sedimentação do Grupo Bauru Baseada na sua Redefinição Estratigráfica Parcial em Território Paulista e no Estudo Preliminar Fora do Estado de São Paulo**. Tese de Livre Docência, Inst. Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 190p., 1984.

BATEZELLI, A. **Redefinição litoestratigráfica da unidade Araçatuba e da sua extensão regional na Bacia Bauru no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Inst. Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 110 p. 1998.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. Tese de Doutorado, Inst. Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 183 p. 2003.

BATEZELLI, A.; GOMES, N. S.; PERINOTTO, J. A. de J. Petrografia e Evolução Diagenética dos Arenitos da Porção Norte e Nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). **Revista Brasileira de Geociências**. v.35, n.3, p. 311-322. 2005b.

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 2001.

DIAS, A. N. C. **Método de Traços de Fissão em Zircão: Estudos Geocronológicos no Grupo Bauru**. Dissertação, 73 f. (Mestrado em Ciências dos Materiais). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

DIAS, A.N.C.; Tello S., C. A.; CHEMALLE Jr, F.; GODOY, M. C. T. F.; GUADAGNIN, F.; IUNES, P. J.; SOARES, C. J.; OSÓRIO A., A. M.; BRUCKMANN, M. P. Fission track and u-pb in situ dating applied to detrital zircon from vale do rio do peixe. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 298-305, 2011.

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações**

- estratigráficas e tectônicas. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2v, 2000.
- ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; FÚLFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências-USP**, Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 4, n. 2, p. 43-56, outubro 2004.
- FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. Tese de Doutorado, IG/USP, p. 216, 1998.
- FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 53-66, 2004.
- GODOY, D. F. **Termotectônica por traços de fissão em apatitas dos altos estruturais de Pitanga, Pau d’álho e Jiboia – centro do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, IGCE/Unesp Rio Claro, p. 141, 2006.
- HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v.29, n.2, p. 141-169, 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000**. São Paulo: IPT, vol. I, 1981, p. 46-8; 69 (Publicação IPT 1184).
- IUNES, P.J.; BIGAZZI, G.; HADLER N., J.C.; TELLO S., C.A.; GUEDES, S.; PAULO, S.R.; BALESTRIERI, M.L.; NORELLI, P.; ODDONE, M.; OSÓRIO, A.M.; ZUÑIGA, A. The Th/U ratio in minerals by a fission-track technique: application to some reference samples in order to estimate the influence of Th in fission-track dating. **Radiation Measurements**, v. 35, p. 195-201, 2002.
- LI, W.; WANG, L.; SUN, K.; LANG, M.; TRAUTMANN, C.; EWING, R. Porous fission fragment tracks in fluorapatite. **Physical Review**. B 82, p. 144 - 149, 2010.
- LI, W.; WANG, L.; LANG, M.; TRAUTMANN, C.; EWING, R. Thermal annealing mechanisms of latent fission tracks: Apatite vs. zircon. **Earth and Planetary Science Letters**. v. 302, p. 227-235, 2011.
- MOHRIAK, W.U. Recursos energéticos associados à reativação tectônica mesozóico-cenozóica da América do Sul. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B.B. (Orgs.), **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 293-318, 2004.
- MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n.4, p. 473-484, dez., 1998.
- QUINTAS, M. C. L.; MANTOVANI, M. S. M.; ZALÁN, P. V. Contribuição ao estudo da evolução mecânica da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 29, n.2, p. 217-226, 1999.
- REMUS, M. V. D.; SOUZA, R. S.; CUPERTINO, J. A.; DE ROS, L. F.; DANI, N.; VIGNOL-LELARGE, M. L. Proveniência sedimentar: método e técnicas analíticas aplicadas. **Revista Brasileira de Geociência**. v. 38 (2-suplemento), p. 166-185, 2008.
- RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da bacia Bauru no estado de São Paulo. **Rev. Bras. Geoc.**, n. 27, p. 153-162, 1997.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.10, p.41-56, 1997.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v.10, p. 177-185, 1980.
- SAAD, A. R. **Análise da produção técnico-científica**. Texto (Concurso para obtenção do título de Livre- Docente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 150 f, 1997.
- SOARES, P. C.; BARCELLOS, P. E.; CSORDAS, S. M. Lineamentos em imagens de landsat e radar e suas implicações no conhecimento tectônico da bacia do Paraná. São Paulo, **Paulipetro-Consórcio CESP/IPT**, p. 143-156, 1982.
- TAGAMI, T., ITO, H., NISHIMURA, S. Thermal annealing characteristics of spontaneous fission tracks in zircon. **Chem. Geol. (Isot. Geosc. Sect.)**, v. 80, p. 159- 169, 1990.
- TAGAMI, T.; CARTER A.; AND HURFORD J. Natural long-term annealing of the zircon fission- track system in Vienna Basin deep borehole samples: Constrains upon the partial annealing zone and closure temperatures, **Chem. Geol. (Isot. Geosc. Sect.)**, v. 130, p. 147-157, 1996.
- TELLO S, C. A.; PALISSARI, R ; HADLER, J.C.; IUNES, P.J.; GUEDES, S.; CURVO, E. A.C.; PAULO, S.R. Annealing experiments on induced fission tracks in apatite: measurements of horizontal-confined-track lengths and densities in basal sections and randomly oriented grains. **American Mineralogist, Estados Unidos**, v. 91, p. 252-260, 2006.
- WAGNER, G. A.; VAN DEN HAUTE. **Fission-track dating**. Kluwer Acad., Norwell, Mass., v. 6, 285p., 1992.