

Modelagem térmica e geomorfologia da borda sul do Cráton do São Francisco: termocronologia por traços de fissão em apatita

Peter Christian Hackspacher¹, Daniel França de Godoy², Luiz Felipe Brandini Ribeiro³, Júlio César Hadler Neto⁴ & Ana Olívia Barufi Franco²

Resumo Os recentes avanços em técnicas de termocronologia por traços de fissão, associada à erosão e a tectônica meso-cenozóica, permitiram modelar a evolução geodinâmica da paisagem na borda sul do Cráton do São Francisco. Para tanto se vinculou os efeitos da paleotemperatura registradas pela metodologia por traços de fissão em apatita e da análise de histórias térmicas a interpretações geomorfológicas. Mapas temáticos de isotemperaturas, em diferentes períodos geológicos, permitiram reconhecer uma história policíclica combinando fases de aquecimento e resfriamento crustal. A região caracteriza-se por uma complexa atuação de fenômenos exógenos e endógenos resultando em um relevo diferenciado e diversificado. A paisagem é fortemente condicionada por soerguimento entre o Jurássico e o Cretáceo Inferior, soerguimento com denudação tectônica associado a aquecimento crustal localizado, no Cretáceo Superior e Eoceno, alternando com falhamentos até o Mioceno. Esse cenário é reflexo de reativações de diversas feições estruturais rúpteis que acomodam a deformação na borda sul do cráton. A paisagem reflete denudações de até 3 km com restos preservados de superfícies erosivas nos altos topográficos e depósitos sedimentares cronocorrelatos nas bacias sedimentares da região.

Palavras-chave: borda sul do Cráton do São Francisco, modelagem térmica, geomorfologia, traços de fissão em apatita.

Abstract *Thermal modeling and geomorphology of the south border of the São Francisco Craton: thermochronology by fission tracks in apatites.* Recent developments in Fission Track thermochronology associated to mesozoic-cenozoic erosion and tectonic presented through thematic maps (isotemperature), permit to model the landscape evolution in the southern border of the São Francisco craton, southeastern Brazil. Paleotemperature, obtained by fission track analysis in apatite, is closely related to geomorphological interpretations. The area suffered a complex imprint of endogenous and exogenous processes resulting diversified and differentiated relieves. The landscape is strongly controlled by exhumation between Jurassic and Lower Cretaceous, uplift with tectonic denudation related to crustal heating at the Upper Cretaceous and reactivation of faults until the Miocene. This scenario is a result of reactivations of different brittle structures that accommodate the deformation in the southern border of the São Francisco craton. The landscape reflects denudations of up to 3 km with preserved remains of erosive surfaces in the topographical tops and chronocorrelates deposits in the basins of the region.

Keywords: southern border of the São Francisco craton, geomorphology, fission tracks analysis on apatites.

INTRODUÇÃO A borda sul do Cráton do São Francisco (CSF) e faixas Brasília e Ribeira (Fig. 1) são exemplos de extensos planaltos soerguidos em relação ao nível do mar (Planalto Atlântico). A paisagem é marcada por um relevo montanhoso com compartimentos topograficamente deprimidos e muitas vezes soerguido e escalonado, relacionados a uma complexa história geológica e geomorfológica fanerozóica associados a: i) subsidência da Bacia do Paraná com soerguimento associado de suas bordas; ii) reativações tectono-magmáticas; iii) abertura do Atlântico Sul; iv) riftes mesozóico e cenozóico e; v) soerguimento quaternário associado a reativações neotectônicas. Os processos denudacionais envolvidos foram, por sua vez, responsáveis pela dissecação de muitas das feições tectônicas.

Essa complexa evolução foi estudada por meio de eventos térmicos ocorridos durante o Fanerozóico da Plataforma Sul-Americana. Devido ao vínculo reconhecido entre as anomalias térmicas obtidas pela análise de traços de fissão, amplitude do relevo e o arcabouço geológico, foi possível reconstruir a evolução térmica das rochas associando-a a evolução da paisagem, que por sua vez, encontra-se associada às deformações na litosfera durante o Fanerozóico.

REVISÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA Geologicamente a borda sul do Cráton do São Francisco está inserida na interseção das províncias Mantiqueira e Tocantins (Almeida *et al.* 1977), matrizes genéticas das unidades maiores do relevo na área. A

1 - DPM/IGCE/UNESP, Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: phack@rc.unesp.br

2 - Pós-Graduação em Geologia Regional/IGCE/UNESP, Rio Claro (SP), Brasil.

3 - NUCLEARGE - Rua 11, 2527 - Sala 5 - Rio Claro (SP), Brasil.

4 - IFGW/UNICAMP, 13083-970, Campinas (SP), Brasil.

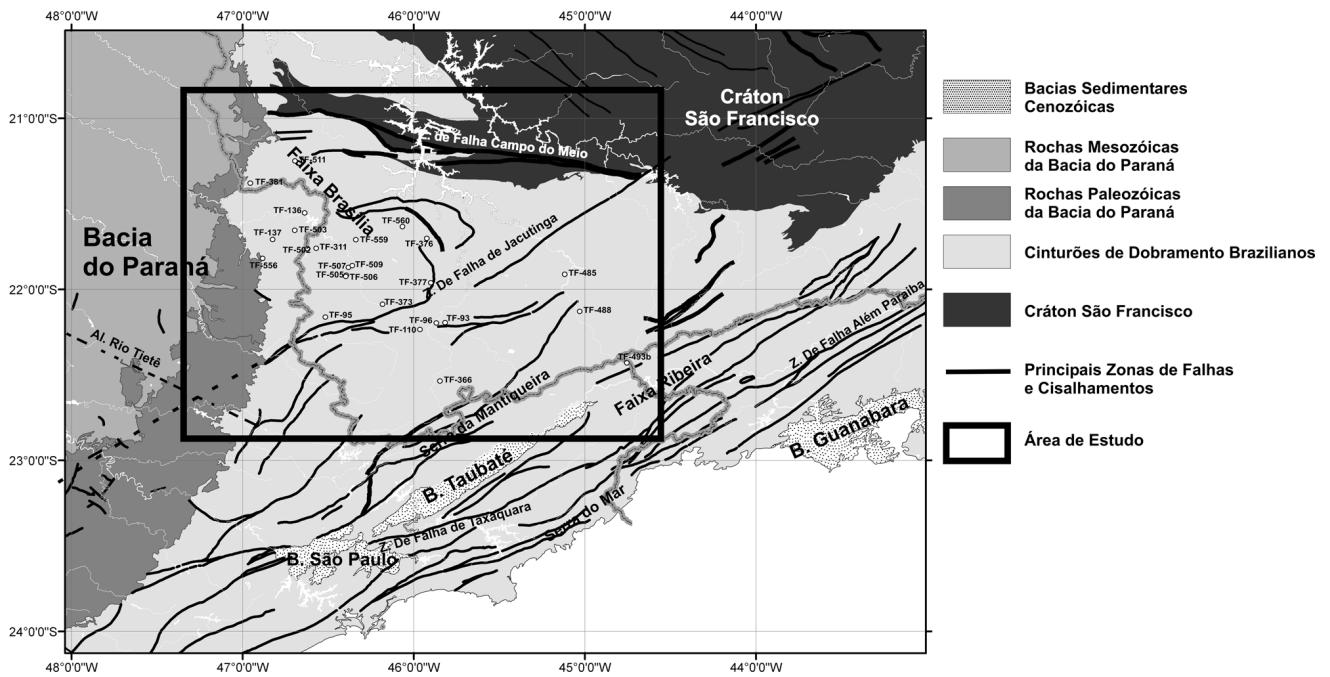


Figura 1 - Localização da área (modificado de Hackspacher et al. 2006).

curvatura em torno do sul do cráton confere importantes variações estruturais das formações geológicas e de seus correspondentes geomorfológicos.

As províncias desenvolveram-se durante o Neoproterozóico, em diferentes etapas, resultando na amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental. A Província Tocantins situa-se a oeste do Cráton do São Francisco, numa orientação N-S, sendo caracterizada pela Faixa Brasília no seu flanco leste. O flanco sul dessa faixa é seccionada pela Faixa Ribeira Central (Província Mantiqueira), formando uma zona de interferência entre as duas faixas. A Província Mantiqueira estende-se desde o sul da Bahia até o Rio Grande do Sul, englobando a região da Faixa Ribeira Central (Fig. 1). Para o enquadramento geológico das unidades datadas neste trabalho é apresentado um quadro simplificado das entidades geológicas do sul do Cráton do São Francisco. No complexo quadro estrutural são subdivididas entidades pertencentes ao/a: a) Embasamento arqueano e/ou paleoproterozóico mais antigo do que 1,7 Ga, retrabalhado ou não, constituído por *greentone belts* com rochas máficas e ultramáficas e metassedimentares, ortognaisses migmatíticos (Complexo Amparo) e ortogranulitos, entre outros; b) Sucessões intracontinentais paleoproterozóicas a mesoproterozóicas, as chamadas megassequências São João del Rei e Caradaí; c) Sequências metassedimentares neoproterozóicas de margem passiva, a megassequência Andrelândia-Itapira (Sequências Carranca e Serra do Turvo); d) Estágio pré-colisional e arcos magmáticos da *Nappe* Socorro-Guaxupé com migmatitos e granulitos, entre outros; e) Estágio colisional com magmatismo neoproterozóico a partir da reciclagem de rochas antigas; f) sienitos pós-cinmáticos intrusivos em níveis mais ra-

sos; g) intrusivas alcalinas cretácicas (Maciço Alcalino de Poços de Caldas).

Geomorfológicamente a área do sul do CSF foi classificada por Ab'Saber (1968) como *Serras e Planaltos moldados por maciços antigos*, caracterizada por um relevo homogêneo com planaltos cristalinos com cristas rejuvenescidas pela erosão, com áreas de relevo enérgico, levados uma ou mais vezes ao estágio de dissecação clássica de maturidade. As cristas correspondem às bordas dos planaltos com locais de maior exaltação tectônica (relevos soerguidos) (Fig. 2). A classificação de Ab'Saber (1968) ressalta a existência de relevos soerguidos, prováveis paleosuperfícies associadas à Superfície Sul-Americana de King (1956), planaltos esses, localmente, soerguidos por reativações tectônicas, provavelmente durante o Oligoceno-Mioceno, preservando a Superfície Sul-Americana até os dias atuais. O relevo da área, apesar de ter padrões altimétricos frequentemente dissecados, tem compartimentação geomorfológica longe de ser homogêneo (Fig. 2). Assim Moreira & Camelier (1977) classificaram geomorfológicamente a região em estudo em dois compartimentos morfoestruturais: *Planalto - Sul de Minas e Serra da Mantiqueira* com escarpas e maciços modelados em rochas do complexo cristalino e com relevos dissecados, muitas vezes controlados por estruturas locais. Esses mesmos autores destacaram que nessa região existe uma extensa paleosuperfície caracterizada por uma sucessão de morros com altitudes entre 900-1200m (Fig. 2), interrompida eventualmente por cristas que coincidem com as orientações gerais da litologia e da estrutura. Essa superfície denomina-se Alto Rio Grande (Moreira & Camelier 1977), equivalente à Superfície Sul-Americana (King 1956) ou Sul-Americana

II (Valadão 1998). Formada entre o Cretáceo Superior até o Oligoceno, seguido de soerguimento generalizado, preservado localmente até hoje (Amorim Filho & Bueno 1999, Valadão 1998).

As faixas marginais leste do Cráton do São Francisco são um exemplo de extensos planaltos soerguidos com uma variação da amplitude do relevo entre 500-2000m em relação ao nível do mar (Fig. 2). A paisagem é marcada por um relevo montanhoso com compartimentos topograficamente deprimidos, que são produtos da atuação de processos tectônicos relacionados a uma complexa história evolutiva fanerozóica associados a reativações tectono-magmáticas e a abertura do Atlântico Sul. Em sua margem oeste são constituídos relevos uniformes, do tipo mar de morros, com evidências de dissecação formando paleosuperfícies (Ab'Saber 1968), provavelmente caracterizados pela Superfície Alto Rio Grande, e relevos de colinas amplas associadas a depósitos sedimentares aluviais

e coluviais, vinculadas ou não a falha, provavelmente pertencente à Superfície Paraguaçu (Ab'Saber 1968, Saadi 1991) (Fig. 2).

As discontinuidades somadas a uma descontinuidade da falha de Areado entre outras gerou baixos onde se alojam pequenas bacias (São João Del Rey, Gongo Soco, Furnas, Varginha, dentre outras) que constituem depósitos de sedimentos de corrida de detritos e/ou aluviais aprisionados em armadilhas estruturais e/ou litológicas, relacionadas a superfícies erosivas (Saadi 1991, Saadi *et al.* 1992, Lipski 2002).

Portanto a evolução do relevo da área em estudo apresenta-se complexa com forte controle litoestrutural, tectônico e erosivo, com evidências de soerguimento, dissecação da paisagem e formação de diversas superfícies de erosão plana ou basculada e falhada em diversos pontos. As análises de traços de fissão neste trabalho podem elucidar esses problemas.

MÉTODO

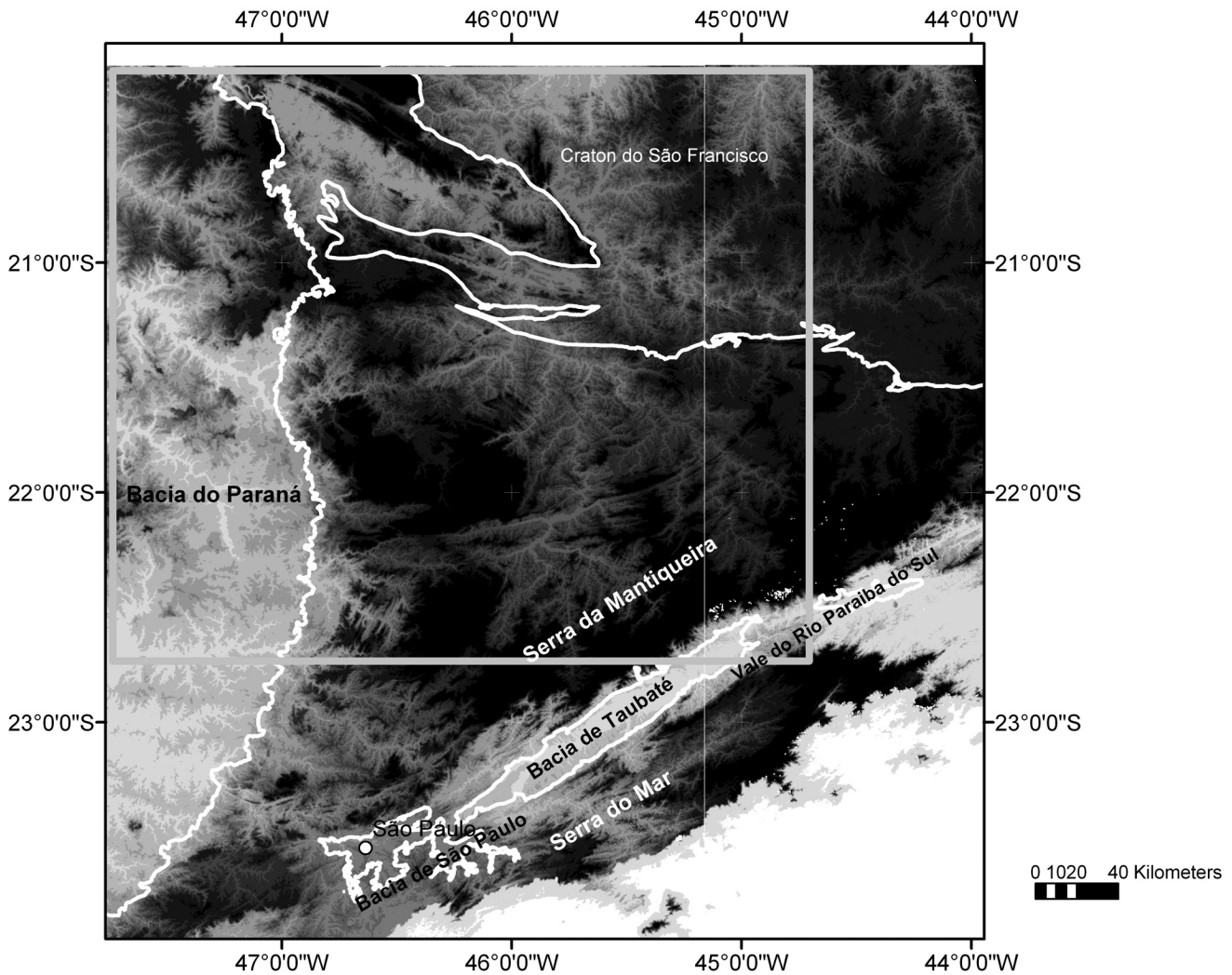


Figura 2 - Mapa digital temático de elevação (DEM - hipsometria), mostrando os planaltos elevados com paleosuperfícies preservadas, terrenos aplainados e basculados, Superfície Alto Rio Grande, fundo de vale (Paraguaçu). No retângulo está representada a área de estudo (Fonte: TOPO 30, USGS / EROS data center - <http://edcwww.cr.usgs.gov/>).

Análise por traços de fissão O método de datação por traços de fissão, sobre a qual se baseia a análise termocronológica é fundamentada na análise quantitativa de perturbações no retículo cristalino da apatita provocados pela fissão espontânea do ^{238}U , que ocorre durante o tempo geológico. Essas perturbações têm morfologias cilíndricas, possuindo tamanho inicial da ordem de 16 μm , recebendo o nome de traço latente, ou traço de fissão. Os traços de fissão possuem uma susceptibilidade térmica quando expostos a um aquecimento, cuja reação é a reorganização progressiva dos átomos do retículo, de forma que o traço diminua de tamanho. Dessa forma, se a rocha amostrada foi submetida a uma temperatura acima de 120°C, os traços presentes nos cristais de apatita são completamente apagados e entre valores de temperatura entre 120 e 60°C os traços são encurtados lentamente (Wagner & Van Den Houte 1992).

Para a análise de traços de fissão, cada amostra foi submetida a um tratamento constituído de etapas de britagem, peneiramento, bateagem, separação magnética, separação por densidade e separação em lupa, para a obtenção dos cristais de apatita. Cerca de 100 grãos por amostra foram dispostos em resinas epóxi, posteriormente polidos e atacados quimicamente em solução de HNO_3 7%, sob temperatura controlada de 20°C por 60 segundos, para a revelação dos traços de fissão. Em seguida foi acoplada a cada amostra uma lâmina de moscovita de baixo teor de Urânio e submetidas à irradiação por nêutrons térmicos para a indução da fissão do ^{235}U cujos traços formados serão detectados pelas lâminas de mica (detector externo). Para esse procedimento as amostras foram submetidas à irradiação por nêutrons térmicos sob um fluxo controlado, juntamente com vidros dopados de Urânio (CN1) para a dosimetria de nêutrons, seguindo a metodologia proposta por Iunes *et al.* (2002).

O procedimento de análise foi aplicado segundo o método EDM, em um microscópio dotado de platina automática nos três eixos de movimento, controlada por computador, cujo *software* permite que cada grão seja analisado separadamente, juntamente com o seu respectivo conjunto de traços induzido marcados na mica.

Para o cálculo das idade foi utilizada as técnicas propostas por Wagner & Van den Haute (1992) com valor da constante de decaimento por fissão (λ_f) de $8,37 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ (Guedes *et al.* 2003). Por sua vez, a idade da amostra foi obtida por meio da média ponderada das idades grão a grão.

Para a correção das idades foi utilizado o método baseado na relação encurtamento *versus* redução da densidade dos traços fósseis, calculando-se um fator de correção de acordo com Guedes *et al.* (2004).

Para a modelagem das histórias térmicas foi utilizado o *software* HTA (Hadler Neto *et al.* 2001), que é baseado no modelo empírico desenvolvido por Green *et al.* (1986), Laslett *et al.* (1987) e Duddy *et al.* (1988), modificado por Tello Saenz (1994). Basicamente esse *software* gera histórias térmicas de uma forma randômica, cujos pontos de inflexão estão contidos em caixas de Monte Carlo, com intervalos de tempo e temperatura

previamente definidos com base em premissas geológicas. Cada história tem o seu histograma teórico de comprimento de traços calculado, e por meio do teste de χ^2 é comparado ao histograma experimental. Verificada a homogeneidade entre os histogramas, a história térmica é guardada pelo *software* e os dados da curva é apresentada em um arquivo “dat”. Esse procedimento é repetido várias vezes pelo programa durante a simulação, conforme definido pelo usuário.

Os dados estão representados apenas nas figuras 2 e 3 e tabela 1.

Elaboração dos Mapas Os mapas temáticos de isotemperaturas foram calculados a partir das idades corrigidas por meio da metodologia de traços de fissão em apatita e das histórias térmicas correspondentes, a partir de método estatístico de mínima curvatura e georreferenciados, com *softwares* cartográficos utilizando o ARCVIEW. As formas de representação e a metodologia foram baseadas nos trabalhos de análise de sistemas geo-referenciados de Braghin & Silva (1996) e Silva (1999).

Os mapas temáticos georreferenciados foram obtidos a partir de folhas topográficas 1:250.000, a partir da digitalização dos vários elementos topográficos, obtido no ARCVIEW por meio do comando *topogrid*, que utiliza um método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais de terreno e georreferenciamento a partir de dados esparsos não homogêneos comumente disponíveis, como pontos de idade ou curvas de isotemperatura. Essa metodologia foi otimizada para reunir as capacidades computacionais dos métodos de interpolação “pontuais” e “contínuos”, tendo assim possibilidade de manter a continuidade de uma superfície de mesma temperatura. Além disso, o comando *topogrid* impõe ao processo de interpolação vínculos baseados em condições globais de drenagem da área e relevo, reproduzindo um modelo digital do terreno ou um mapa temático hidrograficamente e topograficamente correto e uma representação correta dos divisores de água e fundos de vale (Kozciak *et al.* 1999, Fiori & Ciali 1999). Constituído da maior importância com o cruzamento dos resultados de soerguimento e erosão, obtidos pela termocronologia de traços de fissão e da análise geomorfológica, o que vem a ser a próxima etapa deste trabalho.

RESULTADOS

Paleotemperaturas e relevo associado Os mapas de isotemperaturas construídos a partir da metodologia de datação de traços de fissão em apatitas, realizadas na borda sul do Cráton do São Francisco, em diversas unidades geológicas e geomorfológicas, indicaram a atuação de diferentes episódios térmicos, de esfriamento (120 e 65 Ma) e aquecimento (90 e 40 Ma) (Tello Saenz *et al.* 2003, Hackspacher *et al.* 2004). Tais episódios demonstram a instabilidade térmica da Plataforma Sul-Americana nessa região, fato esse que tem como reflexo a elaboração da estrutura da paisagem, modelada pela alternância de processos endógenos e exógenos.

Tabela 1 - Idades corrigidas usadas na confecção dos mapas de paleotemperaturas.

Amostra	Litologia (unidade geológica)	Numero de grãos	RhoS/ RhoI	Idade aparente	Idade corrigida	Referência
TF-93	Ortognaisse (CA)	100	1, 99	80 ± 9	115 ± 13	Ribeiro (2003)
TF-95	Granito (NSG)	100	2, 20	79 ± 9	107 ± 13	Ribeiro (2003)
TF-96	Granito (CA)	100	1, 97	62 ± 6	110 ± 12	Ribeiro (2003)
TF-110	Migmatito (CA)	N/ D	0,83	62 ± 6	110 ± 10	Franco (2003)
TF-136	Granito (NSG)	27	4, 41	143 ± 24	C/ I	Godoy (2005)
TF-137	Granito (NSG)	N/ D	2, 00	95 ± 6	150 ± 15	Franco (2003)
TF-311	Fonólito (MAPC)	27	1, 32	60 ± 6	76 ± 10	Franco <i>et. al.</i> (2005)
TF-366	Biotita-Gnaiss (NSG)	89	2,33	130 ± 8	185 ± 16	
TF-373	Granito (NSG)	N/ D	2, 41	114 ± 6	149 ± 15	Franco (2003)
TF-376	Ortognaisse (NSG)	N/ D	1, 91	90 ± 6	144 ± 15	Franco (2003)
TF-377	Ortognaisse (NSG)	75	1, 87	89 ± 6	C/ I	Franco (2003)
TF-381	Granulito (NSG)	60	3, 03	95 ± 12	115 ± 20	Maia <i>et al.</i> (2003)
TF-485	Gnaiss Migmatítico (NSC)	49	2, 27	109 ± 11	139 ± 17	
TF-488	Biotita-Gnaiss (CA)	80	2, 39	100 ± 5	124 ± 7	
TF-493b	Gnaiss (NSG)	97	1, 08	54 ± 5	66 ± 8	
TF-502	Brecha Magmática (MAPC)	79	1, 36	51 ± 5	63 ± 9	Franco <i>et. al.</i> (2005)
TF-503	Rocha Piroclástica (MAPC)	82	1, 47	59 ± 4	71 ± 8	Godoy (2005)
TF-505	Granito Migmatítico (NSG)	N/ D	0, 83	42 ± 4	52 ± 7	Franco (2003)
TF506	Sienito (NSG)	88	1, 11	55 ± 5	74 ± 7	Franco <i>et al.</i> (2005)
TF-507	Sienito (NSG)	98	1, 13	56 ± 5	74 ± 8	Franco <i>et al.</i> (2005)
TF-509	Granito (NSG)	81	1, 03	51 ± 6	65 ± 6	Franco <i>et al.</i> (2005)
TF-511	Granulito (NSG)	48	0, 65	221 ± 29	334 ± 42	
TF-556	Biotita-Gnaiss (NSG)	112	3, 42	118 ± 10	194 ± 22	Godoy (2005)
TF-559	Biotita-Gnaiss (NSG)	104	2, 86	120 ± 11	180 ± 21	Godoy (2005)
TF-560	Biotita-Gnaiss (NSG)	96	2, 84	131 ± 9	180 ± 20	Godoy (2005)

N/ D: Não Divulgado

C/ I: Cálculo impossível

NSG: Nappe Socorro-Guaxupé

CA: Complexo Amparo

GC: Grupo Carranca

MAPC: Maciço Alcalino de Poços de Caldas

Os episódios de aquecimentos estão heterogeneamente distribuídos nos mapas de isothermas para 90 e 40 Ma (Figs. 3 e 4), estando correlacionados com o máximos pontuais ou alinhados em temperaturas de 120°C em uma matriz de temperaturas entre 100 e 60°C. A compartimentação do relevo, em alguns setores, mostra um controle morfotectônico com evidências de elementos ativos na natureza que condicionaram o padrão de sedimentação e gênese dos relevos associados à fase de soerguimento tectônico seguido de processos erosivos. Quanto ao uso de paleo-superfícies concluiu-se que na

área em questão e, em virtude da escala de trabalho escolhida, os controles tectônicos recentes, cenozóicos e neo-cenozóicos, condicionam a forma do relevo. Os limites entre as unidades estão muitas vezes condicionados por lineamentos regionais, que se expressam, sobretudo a partir do controle que exercem sobre a rede de drenagem. Observou-se que uma modelagem planar resulta em uma melhor aproximação da modelagem matemática às superfícies topográficas hipotéticas uma vez que essas tendem a comportar-se como um plano, não admitindo subordinação a mais de uma variável.

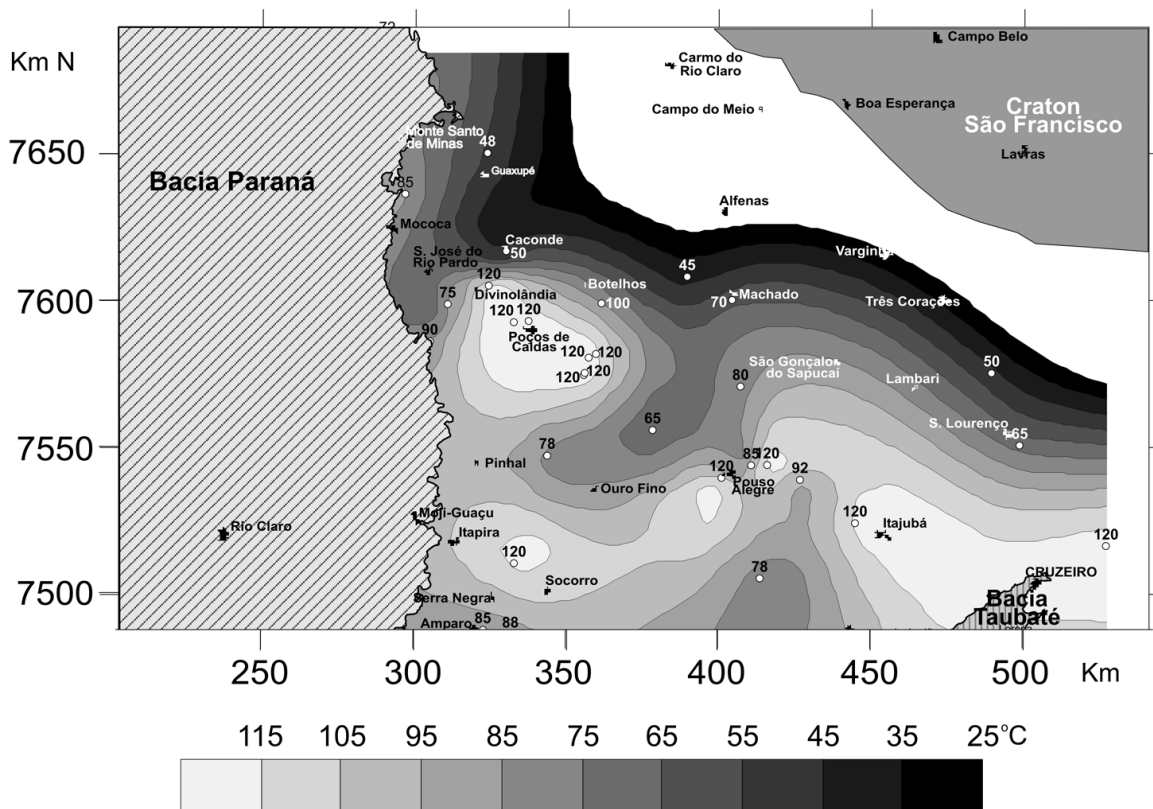


Figura 3 - Mapa de paleotemperaturas a 90 Ma.

Aquecimento Cretácico Após o forte soerguimento tectônico do Cretáceo Inferior (Tello Saenz *et al.* 2003, Hackspacher *et al.* 2004) segue-se a nova fase de alçamento térmico entre 90 e 65 Ma associado à intrusão de corpos alcalinos a exemplo da intrusão do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (Fig. 3), demonstrando a amplitude do processo térmico que passaria a ter caráter regional e não apenas ligado às alcalinas da borda da Bacia. Esse aquecimento estaria associado à reativação da Plataforma Sul-Americana com processos tectono-magmáticos vinculados à orogênese ascensional cretácica. Esse processo parece estar associado a sedimentação do Grupo Bauru na Bacia do Paraná. Aos 65 Ma, ao final do aquecimento, teríamos a retomada da tectônica associada a aceleração da exumação com o esfacelamento da Superfície Sul-Americana.

O mapa de paleotemperaturas em 90 Ma (Fig. 3) mostra um máximo pontual, sobre a cidade de Poços de Caldas, com temperaturas acima de 100°C, valores mantidos acima do padrão regional até os 65 Ma. O restante da região registra valores abaixo. Essa anomalia pontual é interpretada por vários autores como efeito da intrusão do corpo alcalino de Poços de Caldas, devido ao soerguimento térmico associado ao calor da intrusão alcalina (Stüwe *et al.* 1994, Mancktelow & Grase-mann 1997). Esse máximo pode ter efeito local, influenciando também na formação e na destruição da Superfície Sul-Americana de abrangência regional, esse fenômeno erosivo está bem registrado no centro do Maciço de

Poços de Caldas, com os extensos depósitos de bauxita indicativos de extensa erosão e alterações ocorridas na área (Valeton & Schumann 1997).

Aquecimento Eocênico O mapa de paleotemperaturas para 40 Ma (Fig. 4) registra uma série de episódios de aquecimento e resfriamento que podem ser associados a processos tectônicos e denudacionais responsáveis pela evolução do relevo e a preservação de altos estruturais (Lipski 2002) relacionados à preservação da Superfície Sul-Americana no planalto do Alto Rio Grande (Moreira & Camelier 1977, Amorim Filho & Bueno 1999, Marques Neto 2006). São registrados remanescentes dessa superfície nas cristas monoclinais balizadas por quartzitos do Grupo Andrelândia (Marques Neto & Viadana 2006). Evidências de fenômenos de alteração de antigas paleosuperfícies são registradas no Quadrilátero Ferrífero e adjacências (Spier *et al.* 2006).

O mapa de paleotemperaturas (Fig. 4) indica aquecimento no Eoceno (40 Ma) em uma faixa de orientação nordeste entre Machado e Ourofino, provavelmente vinculada à Falha de Ourofino. Essa anomalia linear indica a instabilidade da crosta nesse período, à semelhança da região a leste da Serra do Mar onde atuou um soerguimento entre o início do Paleoceno e o Oligoceno, tendo como consequência a reativação de antigas estruturas.

Esse aquecimento estaria associado à reativação

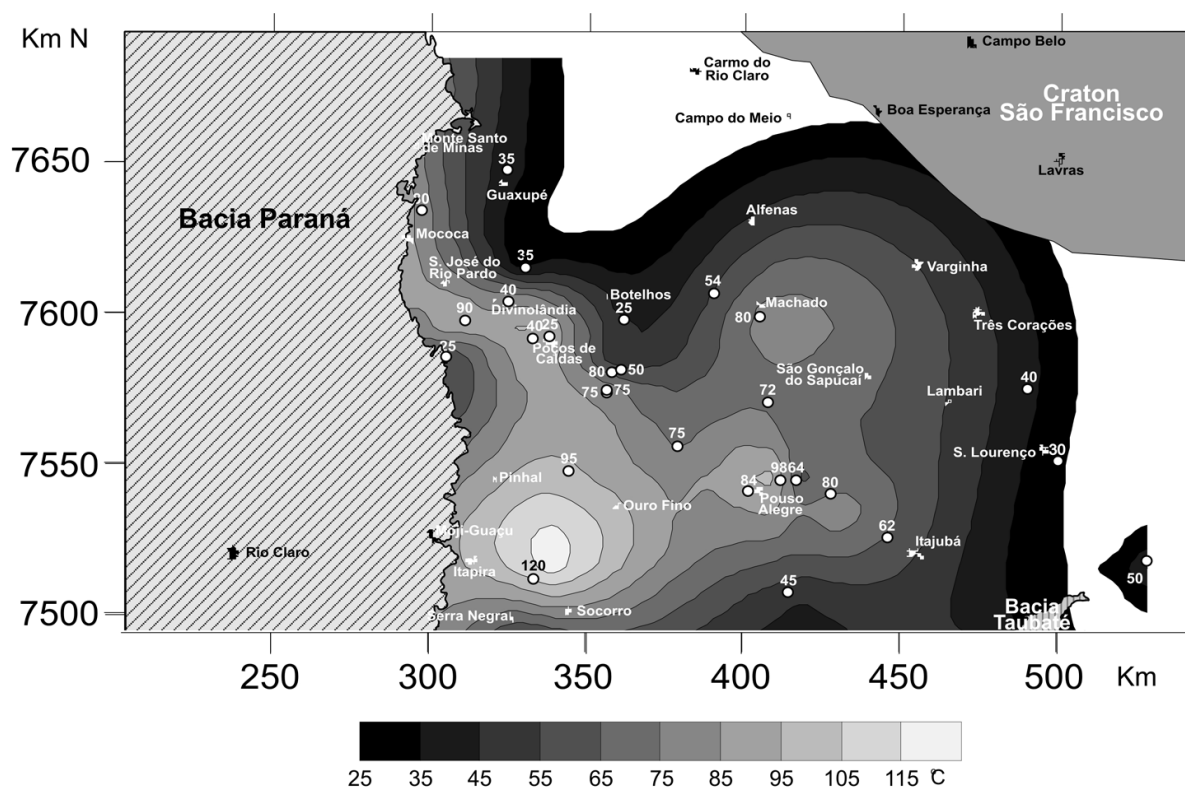


Figura 4 - Mapa de paleotemperaturas a 40 Ma.

da Plataforma Sul-Americana com processos tectônicos vinculados a orogênese ascensional pós-cretácica.

O mapa de paleotemperaturas para 40 Ma corrobora com os trabalhos realizados por Cobbold *et al.* (2001) que reconhecem um soerguimento termal e tectônico no intervalo Eoceno/Oligoceno. Após esse soerguimento, novos padrões de sedimentação estariam associados ao preenchimento das bacias continentais (Meisling *et al.* 2001) como o Rift Continental do Sudeste do Brasil, constituindo as bacias de Taubaté e Resende (Riccomini *et al.* 1989). Essas idades associam-se também à sedimentação correlata às discordâncias na Bacia de Santos (Pereira & Feijó 1994, Tello Saenz *et al.* 2003).

Posteriormente a esse soerguimento termal, o relevo começou a sofrer os efeitos da erosão provocando um reafeiçoamento da paisagem, entre o Eoceno e o início do Oligoceno.

Alçamento Oligoceno Esforços tectônicos voltam a se acelerar no começo do Oligoceno com alçamento térmico associado e a deposição da Bacia de Taubaté. O recuo térmico propicia a formação da Superfície Velhas que será soerguida e retrabalhada a partir do Plioceno. Processos erosivos laterais a partir do litoral causaram retiradas de escarpa ao longo do tempo, combinado com uma intensa denudação progressiva para o continente - 3 km de denudação para a Mantiqueira e Serra do Mar. Essa retirada lateral de escarpas e a sua consequente resposta flexural pode prover importantes premissas que consideram isostasia marginal favorecendo a evo-

lução de bacias sedimentares perto do litoral.

Posteriormente seguem-se reativações tectônicas relacionadas ao soerguimento e a erosão. Isto é interpretado como um alçamento flexural da Serra do Mar, relacionado a processos de recuo de escarpa e a transferência de massa entre paleosuperfícies e fundos de vales (Hackspacher *et al.* 2004).

A existência de processos de aquecimento entre o Eoceno e Oligoceno, mostra consistência quando comparado com eventos térmicos registrados no quadro estratigráfico da Bacia de Santos. O aquecimento da Serra do Mar nessa época poderia estar associado ao alçamento de isótermas em processo extensional ou compressional, dependendo do modelo utilizado. Quando correlacionado com a Bacia de Taubaté haveria uma correlação muito próxima no tempo, onde o soerguimento da Serra do Mar é concomitante ao afundamento da Bacia de Taubaté e deposição de sedimentos correlativos.

Resfriamento Miocênico A partir do Mioceno até o Plioceno temos um novo resfriamento progressivo, esse se inicia a partir de 10 Ma até 5 Ma. Esse resfriamento é interpretado como uma seqüência de efeito tectônico seguido de soerguimento (Isostasia flexural) no litoral (Tello Saenz *et al.* 2003) e, no interior continental, intensa denudação. Esse fenômeno estaria associado também ao intenso intemperismo registrado no fim do Mioceno e começo Plioceno na área ao sul do Cráton do São Francisco (Shuster *et al.* 2005).

DISCUSSÃO

História geodinâmica do sul do Cráton do São Francisco e adjacências Após o processo de aglutinação do continente Gondwana e resfriamento associado ocorreu um longo processo de estabilização na borda sul do cráton, tendo o Triássico com um marcador de reativação, entre outros, ao longo da falha de Ourofino-Jacutinga (Hackspacher *et al.* 2004, Ribeiro *et al.* 2005). Nessa época teve início uma das mais antigas superfícies de erosão (Superfície Gondwana de King 1956), essa somente está preservada na região do Quadrilátero Ferrífero e em parte na região próxima ao maciço de Poços de Caldas e no maciço de Serra Branca, constitui-se de solos litólicos, latossólicos amarelos de pouca espessura.

Jurássico-Cretáceo Inferior Entre o Jurássico e o Cretáceo inicia-se um intenso processo tectônico e magmatismo básico e intermediário com fenômenos de ruptura continental em toda a região sudeste. Associado a esses eventos há a formação inicial da Serra da Mantiqueira interpretada como representante do soerguimento marginal de flancos de *rift* iniciado durante a abertura oceânica. Tello Saenz *et al.* (2003) registraram esse evento nas datações obtidas pela metodologia por traços de fissão em apatitas que forneceram idades e histórias térmicas em torno de 121 ± 7 Ma corroborando com essa tectônica de soerguimento.

O vulcanismo Serra Geral representaria um processo de reativação térmica associado com extensão litosférica. Na Bacia do Paraná temos um contínuo processo de subsidência, gerado pelo peso do material ígneo e uma constante compactação das camadas sedimentares (Milani 1997, Quintas *et al.* 1997).

A superfície Pós-Gondwana formada na época da abertura continental (King 1956) teve sua dissecação iniciada com o ciclo erosivo Sul-Americano, caracterizado por um abaixamento de vertentes seguido de erosão lateral, resultando na completa ou parcial destruição da paleosuperfície anterior, restando apenas feições da Superfície Sul-Americana. Esse evento foi registrado nas Serras da Mantiqueira e do Mar por Hackspacher *et al.* (2004) e os seus sedimentos correlatos estão depositados na seqüência basal da Bacia de Santos (Cobbold *et al.* 2001).

Cretáceo Superior-Oligoceno O Cretáceo Superior marcou a paisagem com processos de aquecimento entre 90 e 60 Ma em grande parte da região. As elevações das isoterms registradas pelo método TFA indicariam um intenso soerguimento da Plataforma Sul-Americana, as quais estariam associadas à atuação de alçamento de plumas mantélicas e afinamento crustal que causariam anomalias térmicas devido à entrada de magma em sub-superfície, relacionadas ao magmatismo alcalino. Esse soerguimento eleva os planaltos e planícies, interrompendo a pediplanização, preservando em resquícios a Superfície Sul-Americana ou Japi (King 1956, Amaral *et al.* 1997). Fenômeno esse observado também na África com a elevação e preser-

vação da superfície African (Thomas & Allison 1993, King 1956).

Intenso aquecimento foi sentido junto a intrusões alcalinas situadas no embasamento cristalino que bordejia a Bacia do Paraná e em alguns corpos que intrudem sedimentos desta bacia: temos aí os maciços de Ipanema (Ribeiro *et al.* 2001), Poços de Caldas, Arco do Paranaíba, Catalão, Salitre (Amaral *et al.* 1997) e outros de menor expressão. No cristalino o alinhamento alcalino de Poços de Caldas-Cabo Frio, juntamente com a reativação do Arco do Paranaíba e a flexura de Goiânia mostram-se associados ao soerguimento das bordas da Bacia do Paraná. Foi nesse período que surgiram os altos estruturais de Piratininga, Artemis, Pitanga e Pau D'Alho, entre outros (Soares *et al.* 1996, Godoy *et al.* 2003).

Idades em torno de 60 Ma registraram uma grande inversão térmica e tectônica com reativações de falhas e soerguimento até o Mioceno associado à denudação e a processos tectônicos. Diferenças entre as idades e os dois contextos da Serra da Mantiqueira são evidenciadas por meio de falhamentos normais que seriam responsáveis por dois blocos: a Mantiqueira “alta” e Mantiqueira “baixa”, a primeira com a origem no Cretáceo Inferior e a segunda no Cretáceo Superior (Ribeiro *et al.* 2004).

Geomorfológicamente, duas superfícies de erosão nivelam seus cimos a cerca de 900 a 1000 m de altitude, como a superfície Sul-Americana de King (1956) e outra ao redor de 1700 a 2000m, considerada pelo mesmo autor como resultado da deformação tectônica que afetou a Superfície Sul Americana, denominada Sul-Americana soerguida, associada a deformações tectônicas associadas a soerguimento de blocos.

A Paleotemperatura aos 40 Ma (Fig. 4) mostra uma crosta mais fria que a Paleotemperatura aos 90 Ma (Fig. 3), deixando claro um resfriamento entre o Neocretáceo e o Eoceno, processo esse associado a fenômenos internos da crosta e associado ao soerguimento e final do ciclo erosivo Sul-Americano. Esse soerguimento estaria relacionado à geração de um sistema de *grabens* e *horsts* com direção predominante WNW-ESE e EW em regime trativo NNE-SSW com ambientes compressivos em locais restritos, formando os depósitos sedimentares encontrados na região sul do Cráton do São Francisco (Lipski 2002). Esses soerguimentos também preservam horizontes latossólicos presentes na região e a sua preservação é dada pelos horizontes plintíticos e formação de lateritas (Sadi 1991), evidenciando um clima semi-árido, como proposto por Paderborn (1993). Seu retrabalhamento é dado pela peneplanização, formando superfícies pedimentares associadas ou não ao início do ciclo Velhas, que, segundo Valadão & Dominguez (1999), persiste até hoje.

Mioceno No Mioceno a borda do cráton sofre um novo soerguimento, provavelmente relacionado aos episódios da dinâmica Andina (Lima 1999) sob um regime tectônico compressivo, deformando os depósitos

de sedimentos terciários e mais antigos encontrados na área e outros menores localizados na região do Quadrilátero Ferrífero (Saadi 1993, Lipski 2002).

Associados a esse evento, na Serra da Mantiqueira e na Bacia de Taubaté, ocorreram reativações de falhas e juntas de direção WNW que teriam gerado zonas transpressionais que modificaram a forma original do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini *et al.* 1989) e foram responsáveis pelo soerguimento da soleira de Queluz. Os resultados obtidos na figura 4 e na tabela 1 mostraram que a partir do Mioceno a reativação de falhas propiciou uma série de soerguimentos localizados (tectônica em blocos). As paleosuperfícies reconhecidas na Serra da Mantiqueira foram soerguidas e escalonadas nessa época. No Holoceno foram registrados falhamentos inversos e transcorrentes sinistrais afetando depósitos terciários e colúvios.

A figura 4 mostra uma relação de episódios de esfriamento, que foi relacionado a episódios de soerguimento e erosão acentuada entre Cretáceo Inferior e os dias de hoje com valores próximos aos 3 km, essas análises permitem fazer uma correlação entre os depósitos correlatos, as superfícies erosivas e o soerguimento. Mostrando que se pode realizar uma modelagem mais quantitativa da paleogeografia da paisagem.

Os resultados mostraram uma evolução dinâmica complexa do relevo na região sul do Cráton do São Francisco, evolução essa que se pode aplicar em estudos da paleoambientes da região, em estudos da prospecção de minerais supérgenos e na recuperação e preservação de áreas degradadas por minerações, caracterizando a dinâmica antiga e nova da evolução da paisagem (para estudos de drenagem, dinâmica erosiva, e paleobiogeográfica), caracterização do zoneamento geomorfológico por meio de estudos de passivos ambientais (histórico paleoambiental) fornecendo subsídios ao desenvolvimento da exploração econômica dos municípios da região.

CONCLUSÕES

Modelagem Térmica Uma modelagem térmica proposta para o sul do Cráton do São Francisco, a partir do uso de geotermômetro de baixa temperatura, como e o caso do da metodologia Traços de Fissão em Apatita permite sugerir o seguinte quadro evolutivo:

CRETÁCEO Após o processo de aglutinação do continente Gondwana e resfriamento associado tivemos um longo processo de estabilização na borda sul do cráton,

seguido de reativação no Triássico com alinhamentos como a da falha de Ourofino-Jacutinga. Nessa época teve início uma das mais antigas superfícies de erosão, essa somente preservada na região do Quadrilátero Ferrífero e em parte na região próxima ao maciço de Poços de Caldas.

Segundo o mapa de modelagem térmica durante o Cretáceo inferior (90 Ma) iniciou-se um intenso processo elevação da temperatura de subsuperfície associados a eventos tectônicos e processos de erosão constantes, eventos esses, com profundas associações aos processos finais da ruptura continental em toda a região sudeste. Esse evento está associado à elevação térmica relacionada ao soerguimento termal associado ao maciço de Poços de Caldas. Os processos erosivos nessa época estão registrados atualmente em cotas mais altas mostrando evidências da superfície erosiva Pós-Gondwana.

TERCIÁRIO O Terciário foi marcado por uma paisagem com processos de aquecimento em uma extensa faixa na região sul do Cráton do São Francisco entre 40 Ma, esse evento terminou com a elaboração da Superfície Rio Grande (essa superfície dissecou os últimos resquícios da Superfície Pós-Gondwana). Esse processo de aquecimento associado à erosão pode ser evidenciado por uma série de fatores geológicos e geomorfológicos, como: depósitos de minérios, solos específicos, dentre outros.

MIOCENO No Mioceno a borda do cráton sofre um novo soerguimento, relacionado aos episódios da dinâmica Andina, que sob um regime tectônico compressivo deformam os depósitos de sedimentos terciários encontrados na área.

Uma evolução termodinâmica complexa foi registrada pela análise dos traços de fissão, essas modelagens adicionadas aos estudos geomorfológicos permitiram traçar a evolução geodinâmica da paisagem ao sul do Cráton do São Francisco. Essa evolução permite a aplicação em estudos geológicos e paleogeográficos na viabilização de recuperação e preservação de áreas degradadas por minerações, indústrias e municípios da região.

Agradecimentos À FAPESP (Processo 00/03960-5) e ao CNPq (Processo 300785/2005-4) pelo apoio financeiro. Aos relatores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

- Ab'Saber A.N. 1968. O relevo brasileiro e seus problemas. In: Aroldo de Azevedo (ed.) *Brasil a Terra e o Homem*, 1, As bases físicas, p. 135-217.
- Amaral G., Born H., Hadler Neto J.C., Iunes P.J., Kawashita K., Machado D.L.Jr., Oliveira E.P., Paulo S.R. & Tello Saenz C.A. 1997. Fission track analysis from San Francisco craton and Mesozoic alkaline-carbonatite complexes central from south eastern Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, **10**:285-294.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. & Fuck R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: SBG, Simp. Geol. Nordeste, 8, *Anais*, p. 363-391.
- Amorin Filho O.B. & Bueno G.T. 1999. Minas Gerais do século XXI, reinterpretando o espaço mineiro. In: O.B.

- Amorin Filho & G.T. Bueno (eds.) *As bases físicas 2*, Minas Gerais, p. 15-32.
- Braghin M.A. & Silva A.B. 1996. Geração de zonas diferenciadas de proximidade em relação a dados estruturais. *In: SBG, Congr. Bras.Geol., 39, Atas, v.3, p. 57-61.*
- Cobbold P.R., Meisling K.E. & Mount V.S. 2001. Reactivation of an obliquely rifted margin. Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, **85**(11): 1925-1944.
- Duddy I.R., Green P.F. & Laslett G.M. 1988. Thermal annealing of fission tracks in apatite.2: Variable temperature behaviour. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, **73**:25-38.
- Fiori A.P. & Ciali A. 1999. Cálculo da erosão potencial na região de Pedro Gomes, MS. *Bol. Paranaense Geoc.*, **47**:89-100.
- Franco A.O.B., Hackspacher P.C., Godoy D.F., Ribeiro L.F.B. & Guedes S. 2005. História Térmica do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (SP/ MP) e Adjacências Através da Análise de Datação Por Traços de Fissão em Apatitas. *Rev. Bras. Geoc.*, **35**(3):351-358.
- Godoy D.F., Franco A.O.B., Hackspacher P.C., Ribeiro L.F.B., Siqueira M.C., Hadler Neto J. C., Guedes S., Tello Saenz C.A., Codazzi F. 2003. Aplicação de Apatite Fission Track Termocronological Method on Magmatic Complex by exemple of Poços de Caldas Alkaline Massif. *In: Latin American Symposium of Nuclear Tracks, 2, São Pedro/SP, Abstract, CDRom.*
- Godoy D.F., Hackspacher P.C., Hadler Neto J.C., Guedes S. & Ribeiro L.F.B. 2005. Caracterização Meso-Cenozóica de Alinhamentos Estruturais na Borda Leste da Bacia do Paraná (SP) Através de Traços de Fissão em Apatitas. *In: SBG, Simp. Nac. Estudos Tectônicos, 10, Atas, p. 28-31.*
- Green P.F., Duddy I.R., Gleadow A.J.W., Tingate P.R. & Laslett G.M. 1986. Thermal annealing of fission tracks in apatite, 1. A quantitative description. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, **59**:237-253.
- Guedes S., Hadler N.J.C., Sarkis J.E.S., Oliveira K.M.G., Kakazu M.H., Iunes P.J., Saiki M., Tello Saenz. C.A. & Paulo S.R. 2003. Spontaneous-fission decay constant of ²³⁸U measured by nuclear track techniques without neutron irradiation. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **258**:117-122.
- Guedes S., Hadler N.J.C., Iunes P.J. & Tello Saenz C.A. 2004. Kinetic model for the relationship between confined fission-track length shortening and fission-track age reduction in minerals. *Nucl. Instr. Meth. B*, **217**:627-636.
- Hackspacher P.C., Ribeiro L.F.B., Ribeiro M.C.S., Fetter, A.H., Hadler Neto J.C., S. Tello Saenz, C.A. & Dantas E.L. 2004. Consolidation and break -up of the South American platform in Southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. *Gondwana Res.*, **7**:91-101.
- Hackspacher P.C., Saad A.R. & Hadler Neto J.C. 2006. O registro do limite Cretáceo Superior-Paleógeno em rochas Pré-Cambrianas da região sudeste do Brasil com base em datação por traços de fissão em apatitas. *In: SBG, Simp. Cretáceo do Brasil, 7, Simp. Terciário do Brasil, 1, Boletim de Resumos, p. 65.*
- Hadler Neto J.C., Paulo S.R., Iunes P.J., Tello Saenz C.A., Balestrieri M.L., Bigazzi G., Curvo E.A.C. & Hackspacher P.C. 2001. A PC compatible Brazilian software for obtaining thermal histories using apatite fission track analysis. *Radiation Measur.*, **34**:149-154.
- Iunes P.J., Hadler N.J.C., Bigazzi G., Tello Saenz C.A., Guedes S. & Paulo S.R. 2002. Durango apatite fission-track dating using length-based age corrections and neutron fluence measurements by natural thorium thin films and U-doped glasses calibrated through natural uranium thin films. *Chem. Geol.*, **187**:201-211.
- King L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**:147-265
- Kozciak S., Rostirola S.P. & Fiori A.P. 1999. Análise Comparativa entre métodos de interpolações para a construção de modelos numéricos de terreno. *Bol. Paranaense Geoc.*, **47**:24-35.
- Laslett G.M., Kendall W.S., Gleadow A.J.W. & Duddy I.R. 1987. Bias in measurement of fission-track length distributions. *Nuclear Tracks*, **6**:79-85.
- Lima C.C. 1999. *Expression topographique et structurale de la compression generalize au centre de la plaque sud-americane*. These de doctorat, Université de Rennes I, 350 p.
- Lipski M. 2002. *Tectonismo Cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 171 p.
- Maia A.O., Hackspacher P.C., Ribeiro L.F.B., Hadler Neto J.C., Guedes S., Curvo E.A.C., Tello Saenz C.A., Iunes P.J. & Ribeiro M.C.S. 2003. Evolução termocronológica da região de Passos-MG: Análise de traços de fissão em apatitas. *In: SBG, Simp. Nac. Estudos Tectônicos, 9, Anais, 1, p. 334-336.*
- Mancktelow N.S. & Grasemann B. 1997. Time dependent effects of heat advection and topography on cooling histories during erosion. *Tectonophysics*, **270**:167-195.
- Marques Neto R. 2006. Considerações acerca do posicionamento das superfícies de erosão no Brasil sudeste: O planalto de Andrelândia, *In: SBG, Simp. Cretáceo do Brasil, 7 e Simp. do Terciário do Brasil, 1, Boletim de Resumos, p. 78.*
- Marques Neto R. & Viadana A.G. 2006. Morfotectônica na Bacia do Ribeirão Vermelho (São Thomé das Letras - MG): avanços nos estudos de neotectônicos no setor meridional do estado de Minas Gerais. *Estudos Geográficos*, **4**(1):67-77.
- Meisling K.E., Cobbold P.R. & Mount V.S. 2001. Segmentation of the obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, **85**(11):1903-1924.
- Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 255 p.
- Moreira A.A.N. & Camelier C. 1977. Relevo. *In: IBGE. Geografia do Brasil/ Região Sudeste, v.3. Rio de Janeiro, FIBGE.*
- Paderborn J.R. 1993. Lateritic crusts as climate - Morphological indicators for development of planation surfaces - possibilities and limits. *Zeitschrift für Geomorph.* Supplementband Bd, **92**:201-216.

- Pereira M.J. & Feijó F.J. 1994. Bacia de Santos. *Bol. Geoc. Petrobrás*, **8**:219-234.
- Quintas M.C.L., Mantovani M.S.M. & Zalan P.V. 1997. Contribuição para o estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. *Bol. Geoc. Petrobrás*, **11**(1/2):48-73.
- Ribeiro L.F.B. 2003. *Morfotectônica da região centro-leste do estado de São Paulo e áreas adjacentes de Minas Gerais: Termocronologia e Paleotensões*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 204 p.
- Ribeiro L.F.B., Hackspacher P.C., Hadler Neto J.C., Guedes S. & Tello Saenz C.A. 2001. Considerações a respeito da termotectônica dos corpos alcalinos Cretáceos do sudeste do Brasil: O corpo alcalino de Ipanema - SP. *In: SBG, Simp. Geol. Sudeste*, **7**, *Anais*, p. 61.
- Ribeiro L.F.B., Hackspacher P.C., Hadler Neto J.C., Ribeiro M.C.S., Iunes P.J. & Guedes S. 2004. Tertiary Brittle Tectonics Associated with the Tertiary Continental Rift of Southeast Brazil: Fission Track Constraints. *In: International Symposium of Fission Track Dating and Thermochronology*, **10**. *Anais*, publicado em meio digital.
- Ribeiro L.F.B., Hackspacher P.C., Ribeiro M.C.S., Hadler Neto J.C., Tello Saenz C.A., Iunes P.J., Franco A.B. & Godoy D.F. 2005. Thermotectonic and fault dynamic analysis of Precambrian basement and tectonic constraints within the Parana basin. *Radiation Measur.*, **39**:669-673.
- Riccomini C., Pelaggia A.U.G., Saloni J.C.L., Kohke M.W. & Figueira R.M. 1989. Neotectonic activities in the Serra do Mar Rift System (Southern Brazil). *J. South Am. Earth Sci.*, **2**:191-192.
- Saadi A. 1991. *Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais*. Tese de admissão ao cargo de Professor Titular, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 230 p.
- Saadi A., Sgarbi G.N.C. & Rosiere C.A. 1992. A Bacia do Gongo Soco: nova Bacia Terciária no Quadrilátero Ferrífero: controle cárstico e/ou tectônico. *In: SBG, Cong. Bras. Geologia*, **37**, *Anais*, p. 600-601.
- Saadi A. 1993. A Neotectônica da Plataforma Brasileira: Esboço e Interpretação Preliminares. *Geonomos*, **1**:1-15.
- Silva A. 1999. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: *Conceitos e Fundamentos*. Campinas, Unicamp, v.1., p. 236.
- Soares P.C., Rostirolla S. P., Ferreira F. J. F. & Stevanato R. 1996. O Alto Estrutural Pitanga-Quatiguá-Jacutinga na Bacia do Paraná: Uma estrutura Litosférica. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*, **39**, *Anais*, p. 5.
- Shuster D.L., Vasconcelos P.M., Heim J.A. & Farley K.A. 2005. Weathering Geochronology by (U-Th) He dating of goethite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**:659-673.
- Spier C.A., Vasconcelos P.M. & Oliveira S.M.B. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the evolution of lateritic iron deposits in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Chem. Geol.*, **234**:79-104.
- Stüwe K., White L. & Brown R. 1994. The influence of eroding topography on steady-state isotherms: Applications to fission track analysis. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **124**:63-74.
- Tello Saenz C.A. 1994. *Termocronologia de algumas regiões brasileiras através da análise de traços de fissão em apatitas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 103 p.
- Tello Saenz C.A., Hackspacher P.C., Hadler N.J.C., Iunes P.J., Guedes O.S., Paulo S.R. & Ribeiro L.F.B. 2003. Recognition of Cretaceous, Paleocene and Neogene Activities, Through AFTA, in Precambrian Areas of The Southeast Brazil: Association With The South Atlantic Ocean Opening. *J. South Am. Earth Sci.*, **15**:765-774.
- Thomas D.S.G. & Allison R.J. 1993. *Landscape sensitivity*. John Wiley & Sons Ltd, 253 p.
- Valadão R.C. 1998. *Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental (desnudação, superfícies de aplainamento e soerguimentos crustais)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade da Bahia, 243 p.
- Valadão R.C. & Dominguez J.M.L. 1999. Deformação tectônica neoceno-zóica no Brasil Oriental: zonalidade e magnitude. *In: Cong. Abequa*, **7**, Porto Seguro, ABEQUA (CD-ROM).
- Valeton I., Schumann A., Vinx R & Wieneke M. 1997. Supergene alteration since the upper cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil. *Applied Geoch.*, **12**:133-154.
- Wagner G. & Van Den Haute P. 1992. *Fission Track Dating*. Kluwer Academic Publishers, 283 p.

Manuscrito CSF-16
Submetido em 31 de maio de 2006
Aceito em 10 de outubro de 2007