

Três Morrinhos, Terra Rica, PR

Arenitos silicificados de dunas
do *Deserto Caiuá* testemunham nível
de superfície de aplainamento K-T

SIGEP 058*

Luiz Alberto Fernandes¹
Edivando Vitor do Couto²
Leonardo José Cordeiro Santos³

Resumo - Três Morrinhos são elevações anômalas, alongadas e solitárias, que se destacam paisagem de colinas amplas do Noroeste do Paraná. Constituem morros testemunhos sustentados por arenitos silicificados, com topos cerca de 200 metros acima do nível cimeiro regional. No extremo oeste do estado de São Paulo destaca-se o Morro do Diabo, sítio geomorfológico semelhante, geneticamente associado aos Três Morrinhos. Sua origem explica-se pela silicificação localizada de depósitos arenosos do antigo Deserto Caiuá, mediante ascensão de fluidos hidrotermais por sistemas de fissuras regionais, relacionada com magmatismo alcalino neocretáceo. Na evolução regional do relevo a erosão removeu de forma mais intensa os arenitos não silicificados. O topo dos Três Morrinhos deve corresponder, portanto, à cota mínima da superfície de aplainamento Sul-americana, elaborada entre Cretáceo Superior e Paleógeno.

Palavras-chave: Três Morrinhos; morro testemunho; Caiuá; Paraná; relevo residual; Superfície Sul-americana

Três Morrinhos, Terra Rica, State of Paraná –
Silicified dune sandstones of the *Caiuá Desert* testify K-T
erosional surface level

Abstract - Três Morrinhos are anomalous elongated and solitary elevations, standing out in the broad landscape of hills in the northwest of the State of Paraná. They form inselbergs supported by silicified sandstones, whose tops outcrop about 200 meters above the regional summit. The Morro do Diabo, a similar geomorphological site that stands out in the far west of the State of São Paulo, is genetically associated with Três Morrinhos. Its origin is explained by a local silicification of sand deposits of the former Caiuá Desert, resulting from the rise of hydrothermal fluids related to Late Cretaceous alkaline magmatism, ascending across regional fractures. In the evolution of the regional relief, erosion removed more intensely the non-silicified sandstones. The top of Três Morrinhos should correspond therefore to the minimum quotas of the South American Planation Surface, developed between the Upper Cretaceous and Paleogene.

Key words: Três Morrinhos; inselberg; Caiuá; Paraná; residual relief; South-American Surface

INTRODUÇÃO

Na parte sul da Bacia Bauru há várias ocorrências de arenitos silicificados (Fernandes *et al.*, 1993) no prolongamento do compartimento setentrional do Arco de Ponta Grossa. As de maior destaque, responsáveis pela sustentação de elevações com até 200 m acima do nível cimeiro regional, alinham-se segundo a direção nordeste (Fig. 1), a mesma de importantes lineamentos regionais onde se encaixam longos trechos do rio Paraná. Tal direção possivelmente relaciona-se com estruturas tectônicas regionais como a Zona de Falhamento Loanda-Presidente Epitácio, descrita por Marques *et al.* (1993). Interessante destacar-se também que a maior quantidade de ocorrências de locais com silicificação situa-se na área de cruzamento dos alinhamentos NE com as estruturas de direção NW relacionadas com o Arco de Ponta Grossa. As elevações mais notáveis são o conjunto conhecidos como Três Morrinhos, situado no noroeste do Paraná, e o Morro do Diabo, no extremo oeste de São Paulo.

Os Três Morrinhos constituem possível relevo residual relacionado à superfície de aplainamento Sul-americana (King 1956), desenvolvida entre o Cretáceo e o Paleógeno. São elevações regionais anômalas, sustentadas por arenitos silicificados. Preservam também, como morros-testemunho, importante registro da sequência sedimentar neocretácea que preencheu a Bacia

Bauru. Ao longo dos cerca de 200 metros de desnível, onde a rocha é exposta nas suas encostas, observam-se texturas e estruturas sedimentares eólicas de dunas do antigo *Deserto Caiuá*.

O geossítio situa-se no Planalto de Paranavaí (Santos *et al.*, 2006a, b) que apresenta relevo regional de baixa dissecação, topos aplainados, declividade média de 6%, vertentes extensas com predomínio de Latossolos nos topos e com mais de 10 metros de profundidade e argissolos no terço médio. Na região, fora da área dos morros, os arenitos são pouco expostos, devido à baixa cimentação original. Em geral, estão sob coberturas eluvio-coluviais/mantos de alteração de dezenas de metros de espessura. Os Três Morrinhos constituem, portanto, das poucas possibilidades para observação e estudo de tais características, além de constituírem relevo residual de aplainamento cretáceo.

Além da beleza paisagística natural e sua importância como testemunho de processos geomorfológicos e geológicos que o originaram, os morros oferecem ótimas condições para a prática do vôo livre de asa delta e paraplaider. Conservam árvores centenárias, várias espécies de animais, pássaros e plantas, alguns extintos regionalmente. O local foi transformado no Parque Municipal Três Morrinhos no ano de 2003 e recebeu um portal de entrada, com Centro de Educação Ambiental, em 2008.



Figura 1 - Locais de ocorrência de arenitos silicificados na porção meridional da Bacia Bauru. As mais importantes: **3M**, Três Morrinhos (PR); **MD**, Morro do Diabo (SP); **SI**, morro da fazenda Santa Ida (SP) e **PR**, morrote da fazenda Porto Rico (margem esquerda do rio Paraná, PR).

Figure 1 - Sites of occurrences of silicified sandstones on the south part of the Bauru Basin. The most important elevations: **3M**, Três Morrinhos Hill (PR); **MD**, Diabo Hill (SP); **SI**, Santa Ida Farm Hill (São Paulo State) and **PR**, Porto Rico Farm Hill (left bank of the Paraná River, State of Paraná).

Modif. de Fernandes *et al.* (1993)

LOCALIZAÇÃO

Mais conhecido como Três Morrinhos, o morro Três Irmãos (Fig. 2 e 3) o corresponde a um conjunto alongado de elevações situa-se no município de Terra Rica, no extremo noroeste do Paraná (coordenadas do centróide: 22°47'31"S e 52°39'38"W), próximo do encontro dos rios Paraná e Paranapanema e da da tríplice divisa entre os estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

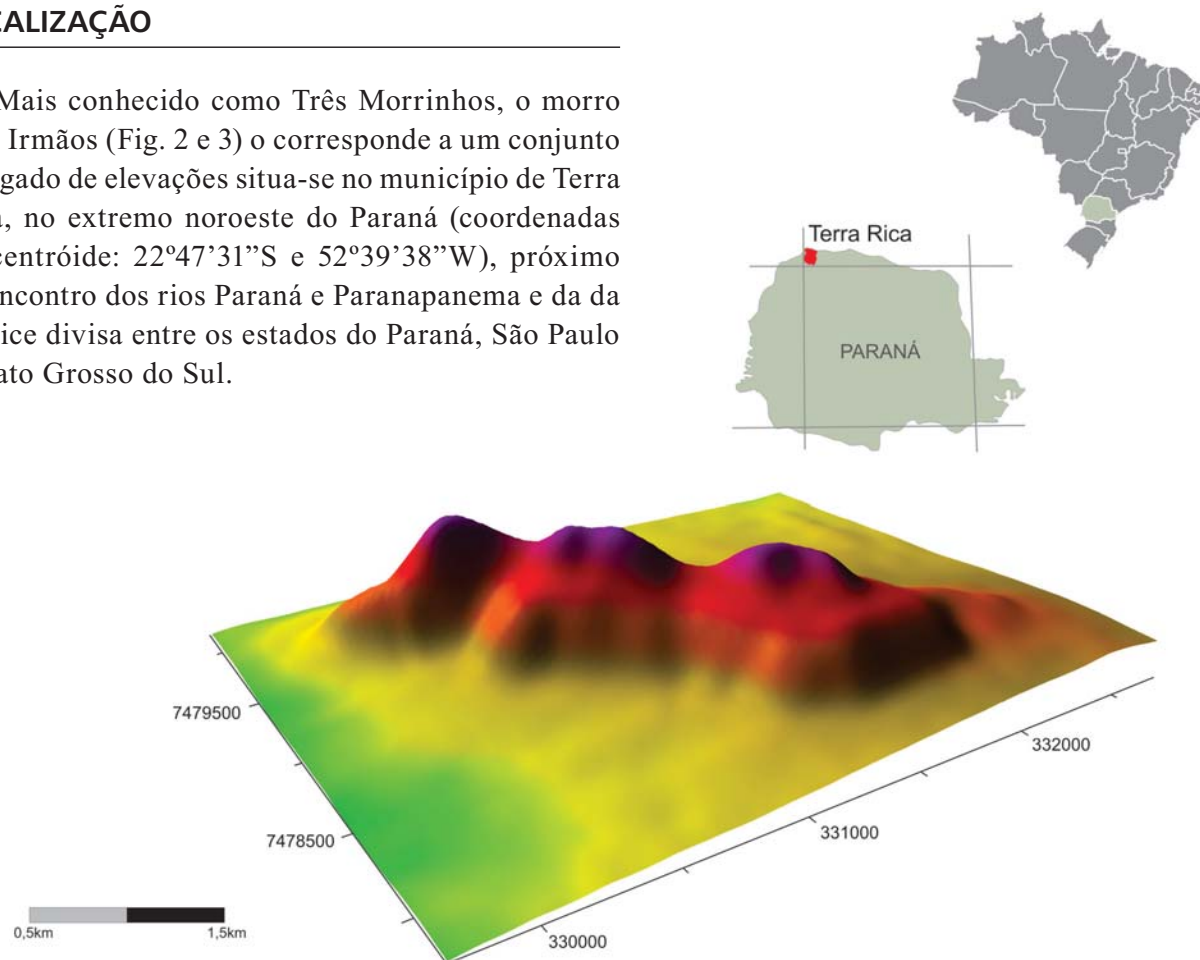


Figura 2 - Localização regional e modelo digital de elevação de terreno dos Três Morrinhos.

Figure 2 - Três Morrinhos Hill location and terrain digital elevation model.



Figura 3 - Face sudoeste dos Três Morrinhos, Terra Rica (PR).

Figure 3 - Southwest face of Três Morrinhos Hill, Terra Rica (State of Paraná).

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

O conjunto denominado Três Morrinhos constitui elevação alongada, anômala no relevo regional do Terceiro Planalto Paranaense. Destaca-se na monótona paisagem de colinas amplas do Noroeste do Paraná, de topos em torno de 430 metros de altitude. Os morros-testemunhos são constituídos de arenitos silicificados, principal fator condicionante de seu realce, de topos em cotas a cerca de 200 metros acima das regionais. O morro oeste, mais alto, tem altitude de 639 metros acima do

nível do mar, com desnível entre base e topo de cerca de 210 metros. Os arenitos pertencem à Formação Rio Paraná, do Grupo Caiuá (Fernandes & Coimbra 2000a, Fernandes 2004).

A Deposição dos Arenitos

Há cerca de 120 milhões de anos teve início a ruptura do megacontinente Gondwana. Criaram-se as placas Sul-americana e Africana, que passaram a separar-se, em deriva continental que perdura até hoje. Na parte

centro-sul da placa Sul-Americana formou-se a *Bacia Bauru*, onde teve início, ao redor de 90 milhões de anos atrás, acumulação de sedimentos, principalmente areias (Fig. 4). A área subsidente formou-se por acomodação isostática regional devido ao peso da pilha de derrames acumulados no Cretáceo Inferior (há cerca de 133 Ma) e que constituem o principal substrato da bacia. Em termos litoestratigráficos, tal sequência foi subdividida em dois grupos cronocorrelatos, Caiuá e Bauru (Fig. 5 e 6). Durante a sedimentação, ocorrida no Cretáceo Superior, predominaram condições de clima semi-árido quente na bacia. Na sua atual porção meridional, área dos morrinhos, formou-se o *Deserto Caiuá*, com grandes complexos de dunas (*draas*) que migravam rumo a sudoeste/oeste (Fig. 7 e 8) e amplas planícies arenosas marginais.

No mesmo período, nas regiões mais externas da bacia, aonde havia condições climáticas com maior disponibilidade de água, viveram dinossauros, crocodilos, tartarugas, peixes e invertebrados. Hoje encontramos diversificado registro fóssil mais para leste deste local, centro de São Paulo e em Minas Gerais, no Triângulo Mineiro. No grande deserto Caiuá apenas alguns animais menores conseguiam sobreviver, principalmente pequenos répteis e os primeiros mamíferos que, algumas vezes, deixavam suas pegadas marcadas em areias, nas frentes de dunas (Fernandes *et al.*, 2009). Em local relativamente

próximo dos Três Morrinhos, na Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, existem algumas destas raras pegadas, pois areias não são favoráveis à preservação.

Os Arenitos Caiuá

Os arenitos que hoje sustentam os Três Morrinhos pertencem à Formação Rio Paraná, do Grupo Caiuá (Fig.9). Apresentam granulação areia muito fina a média, são bem selecionados, com predomínio de grãos de quartzo monocristalino, elevado grau de arredondamento e esfericidade. Estas características texturais podem ser observadas devido ao prévio revestimento peculiar dos grãos por película de óxidos/hidróxidos de ferro, que assinala o contorno detrítico original, anterior à silicificação. O crescimento secundário de sílica reveste e preenche poros, modificando a constituição e, sobretudo, a resistência da rocha.

Regionalmente, quando não silicificados, são constituídos por quartzarenitos marrom-avermelhados a arroxeados, finos a muito finos (às vezes médios a grossos), supermaturos quanto à composição mineral e de boa maturidade textural. Exibem típica estratificação cruzada de médio a grande porte, com sets de até 10 m de altura, limitados por superfícies de truncamento de 2ª ordem de baixa inclinação, algumas vezes com estratos submétricos de lamitos arenosos maciços intercalados. Os arenitos são bem selecionados por lâmina ou estrato, com pouca matriz

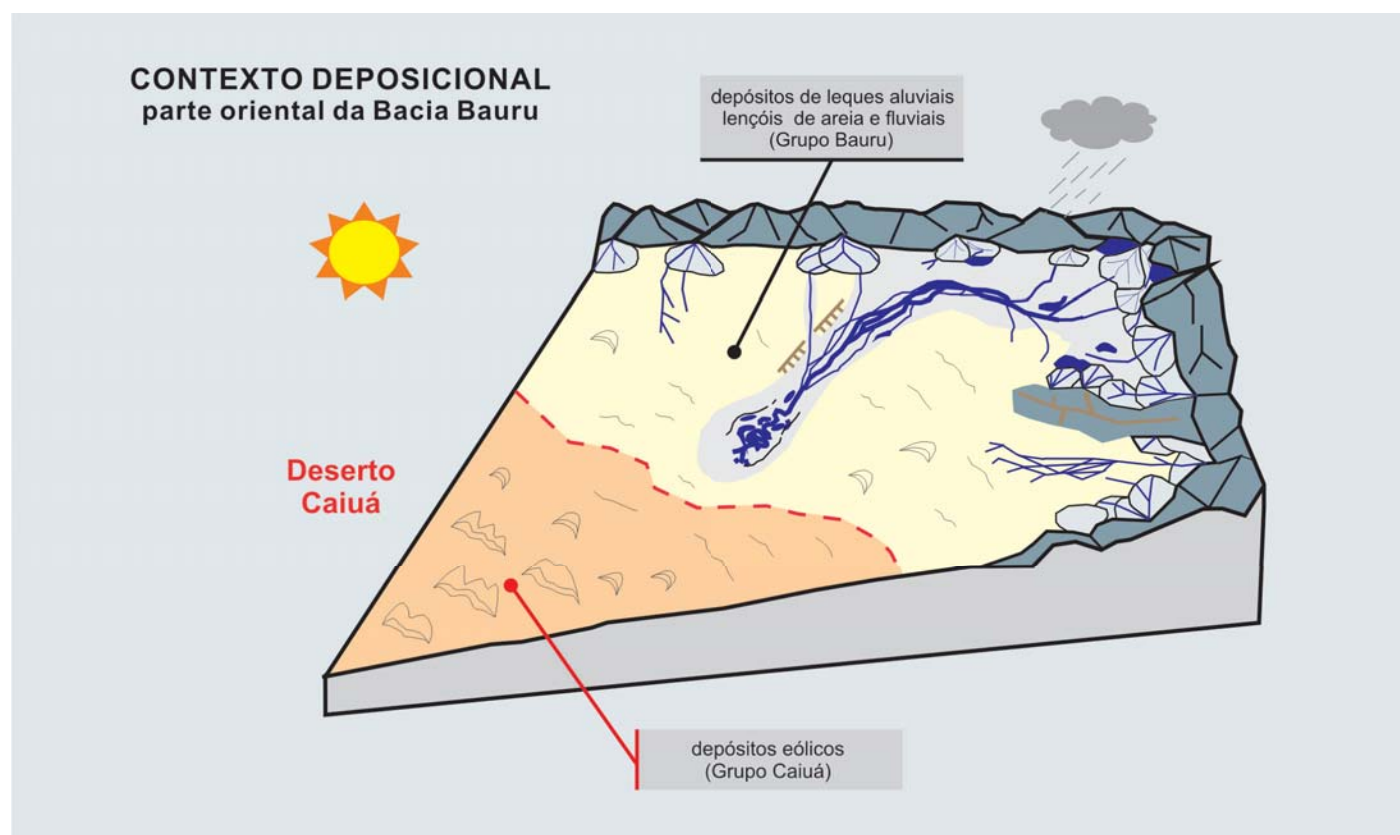


Figura 4 - Contexto paleoambiental da parte oriental da Bacia Bauru e a posição do *deserto Caiuá*.

Figure 4 - Paleoenvironmental context of the eastern part of the Bauru Basin and Caiuá desert location.

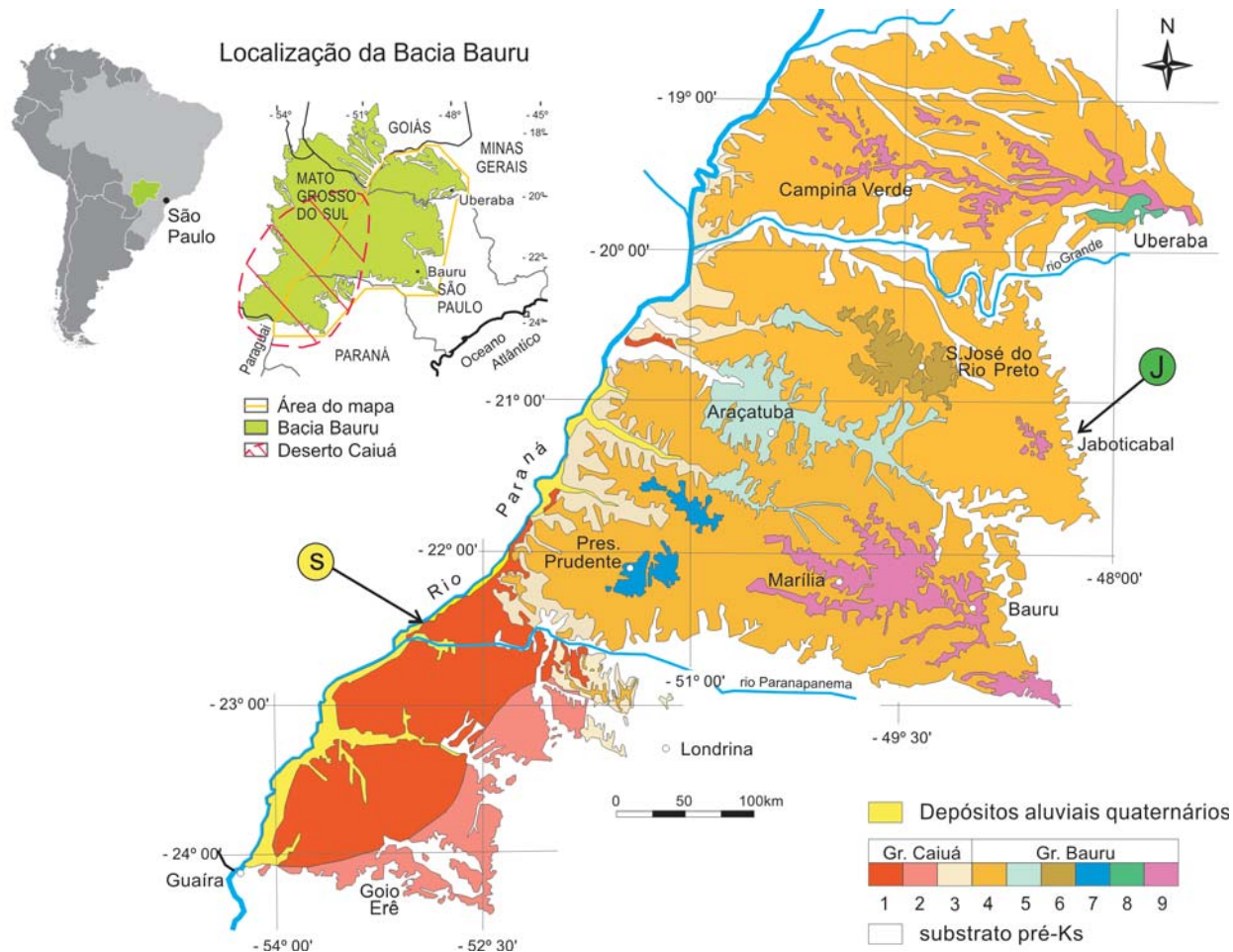


Figura 5 - Mapa geológico da parte oriental da Bacia Bauru. **Convenções:** 1. Fm. Rio Paraná, 2. Fm. Goio Erê, 3. Fm. Santo Anastácio, 4. Fm. Vale do Rio do Peixe, 5. Fm. Araçatuba, 6. Fm. São José do Rio Preto, 7. Fm. Presidente Prudente, 8. Fm. Uberaba, 9. Fm. Marília. J = rocha alcalina de Jaboticabal, S = sismitos de Porto Primavera.

Figure 5 - Geological map of the eastern part of the Bauru Basin. **Key:** 1. Rio Paraná Fm., 2. Goio Erê Fm., 3. Santo Anastácio Fm., 4. Vale do Rio do Peixe Fm., 5. Araçatuba Fm., 6. São José do Rio Preto Fm., 7. Presidente Prudente Fm., 8. Uberaba Fm., 9. Marília Fm., J = Jaboticabal alkaline rock, S = Porto Primavera seismites.

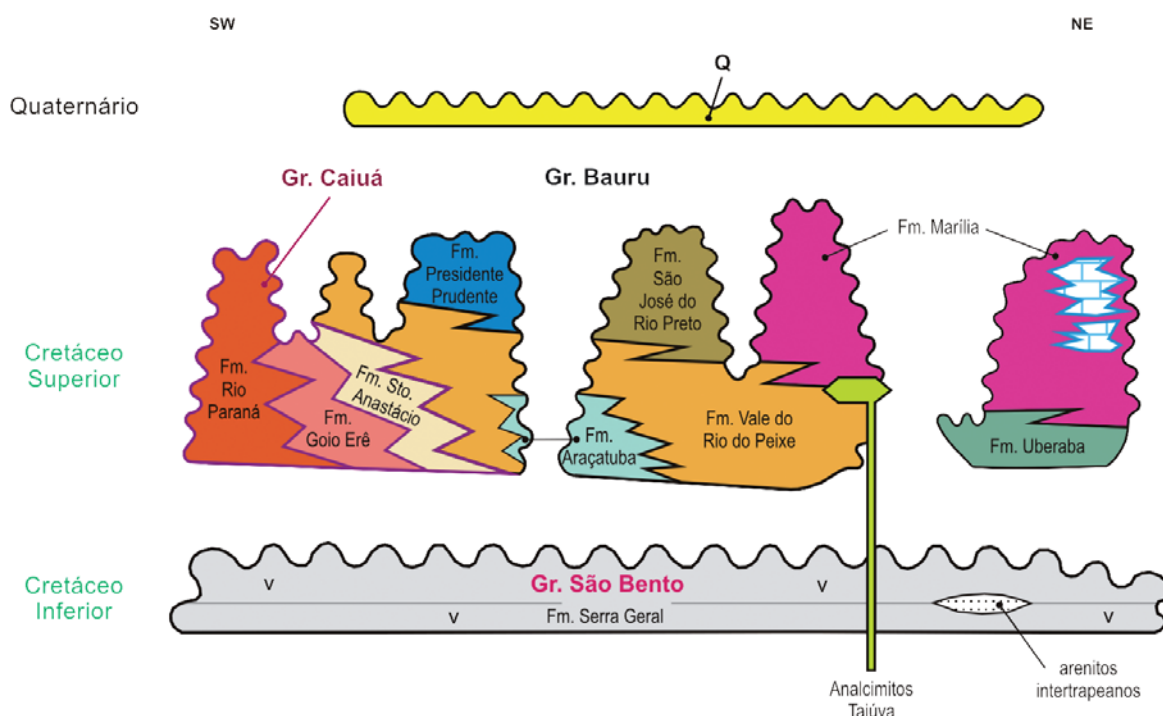


Figura 6 - Carta estratigráfica da sequência neocretácea (segundo Fernandes & Coimbra 2000a).

Figure 6 - Stratigraphic chart of the late Cretaceous sequence (after Fernandes & Coimbra 2000a).

PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE DESERTOS (Associações de fácies)

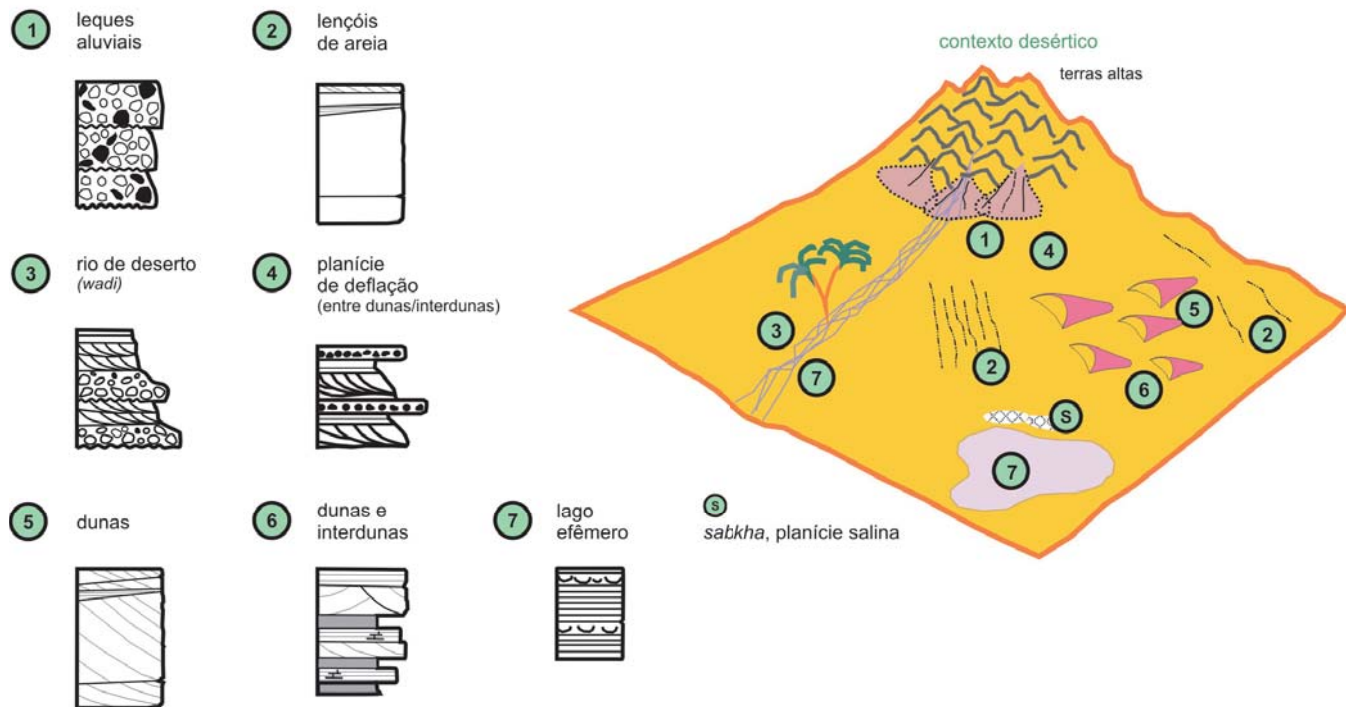


Figura 7 - Principais tipos de depósitos sedimentares de um deserto arenoso. A Fm. Rio Paraná, que constitui os Três Morrinhos, corresponde a antigos depósitos de dunas (5).

Figure 7 - Main types of sedimentary deposits of a sandy desert. The Rio Paraná Fm., which forms the Três Morrinhos, corresponds to ancient dune deposits (5).

RUMOS MÉDIOS DE PALEOCORRENTES DA PARTE ORIENTAL DA BACIA BAURU

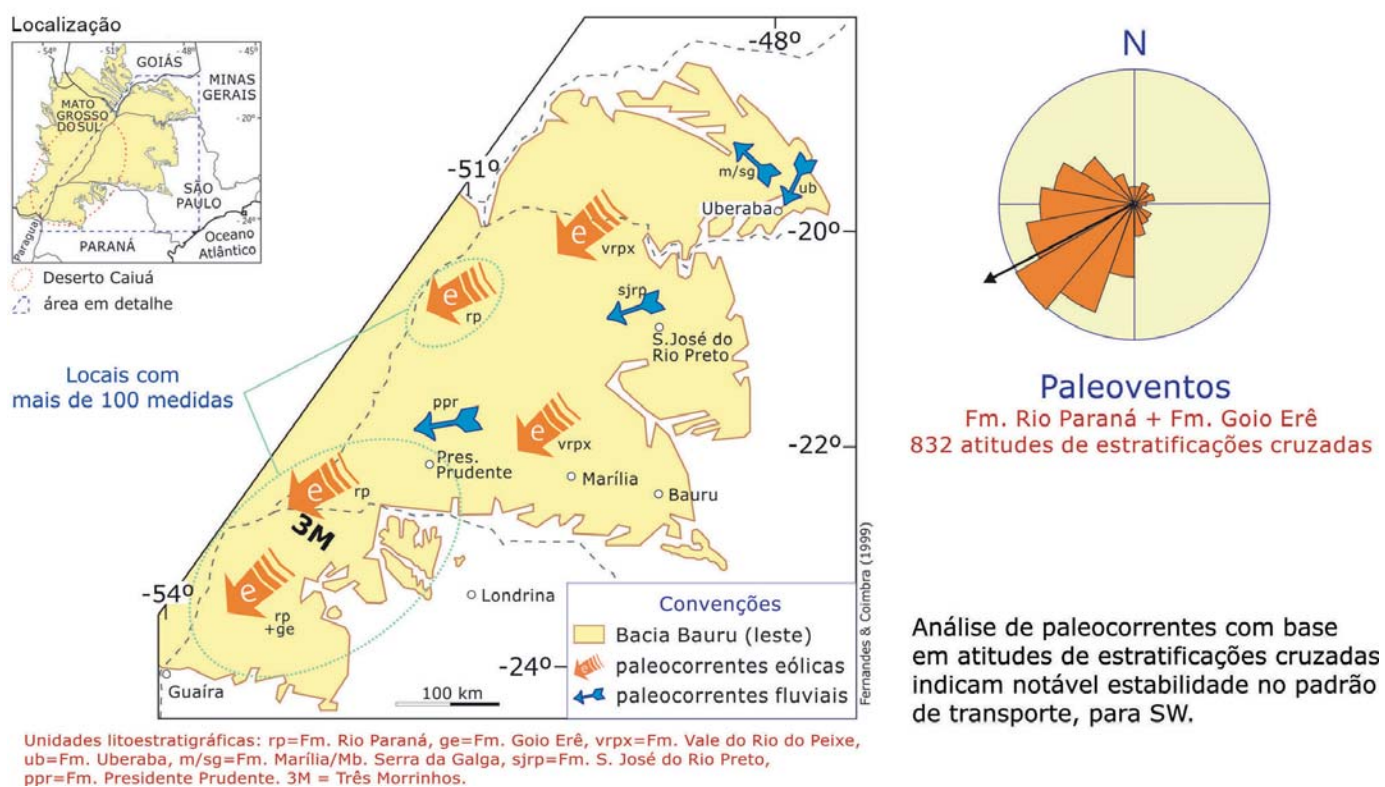


Figura 8 - Rumos dos ventos, dominantes para sudoeste-oeste, e grande sistema de drenagem predominantes, do antigo *deserto Caiuá*.

Figure 8 - Direction of prevailing winds to the west-southwest and great drainage system prevalent in ancient Caiuá Desert.

FORMAÇÃO DO RIO PARANÁ - Grupo Caiuá

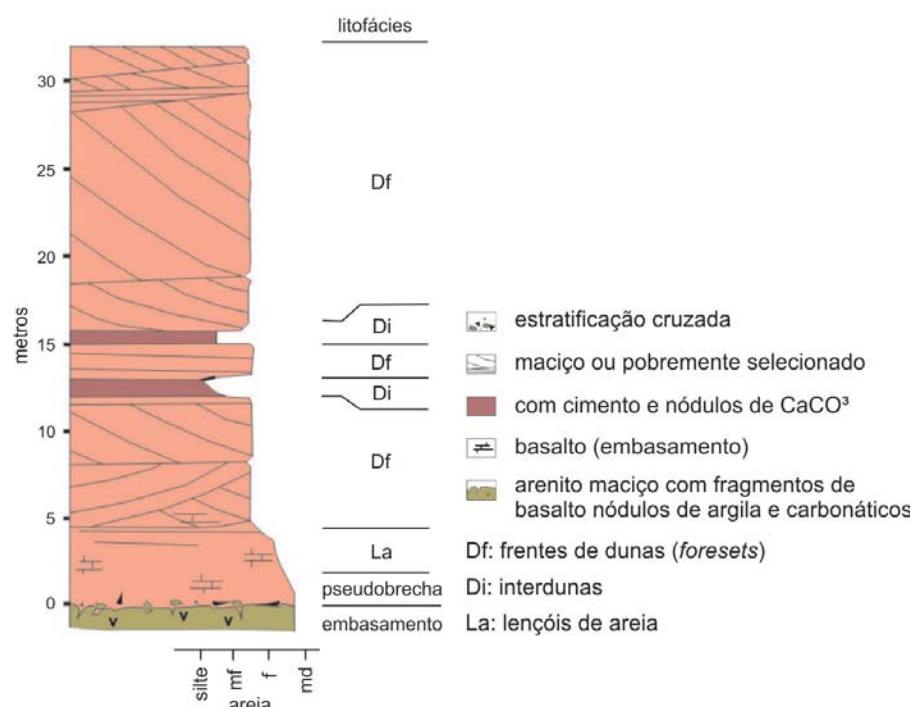


Figura 9 - Seção-tipo da Formação Rio Paraná, com principais características da unidade, tipos de depósitos e contexto deposicional (dunas e interdunas eólicas). Definida na eclusa da U.H.E. Porto Primavera (Eng. Sérgio Motta), Pontal do Paranapanema (SP) e grandes exposições nas barrancas do rio Paraná.

Figure 9 - type-section of the Rio Paraná Fm., with main characteristics of the unit, type of deposits and depositional setting (aeolian dunes and interdunes). Section defined in the sluice of the Porto Primavera Hydroelectric Plant (Eng. Sérgio Motta), Pontal do Paranapanema region (State of São Paulo) and on large exposures on the banks of the Paraná river.

siltoargilosa (Fig 11d a 11g). Os grãos exibem superfície fosca encoberta por película ferruginosa (Fig. 11d a 11g). A Formação Rio Paraná corresponde a depósitos de construções eólicas de grande porte (*draas*), complexos de dunas de cristas sinuosas, amalgamadas, de região central de sand sea. A região formada pelo Pontal do Paranapanema e extremo noroeste do Paraná, onde ocorrem estratificações cruzadas de maior porte, foi, provavelmente, a área central do antigo Deserto Caiuá (Fernandes & Coimbra 2000b).

Contexto Regional da Silicificação

Boa parte dos limites atuais da Bacia Bauru coincide com altos tectônicos regionais, onde estão situados diversos centros do magmatismo alcalino neocretáceo. Segundo Almeida & Melo (1981), as manifestações alcalinas mesozóico-cenozóicas do centro e sul do Brasil ocorreram em duas fases distintas. A primeira, no Jurássico Superior-Cretáceo Inferior (Neocomiano), contemporânea ao vulcanismo Serra Geral, ou seja, pré-sedimentação na Bacia Bauru. A segunda, do intervalo Aptiano-Eoceno, apresentou dois períodos de maior intensidade de eventos intrusivos: 87-80 Ma e 70-60 Ma, durante a deposição da sequência neocretácea. Seu registro é caracterizado por corpos intrusivos que pontuam as molduras da bacia, mais frequentes nas bordas setentrionais. Naqueles dois períodos fluidos hidrotermais, relacionados a magmatismo alcalino penecontemporâneo à sedimentação, percolaram e cimentaram localmente os depósitos de areias do deserto, pouco antes do final da sedimentação na Bacia Bauru (Fernandes *et al.*, 1993, 2002). As características e a distribuição peculiar das

ocorrências de rochas silicificadas, em faixas estreitas verticalizadas, associadas com estruturas tectônicas regionais, assim como a presença de palygorskita em basaltos sotopostos e carbonato-fluorapatita em arenitos do Grupo Caiuá, sustentam tal origem, segundo os autores.

Os limites da bacia coincidem também com importantes estruturas tectônicas de direção NW e NE, muitas delas associadas a antigas zonas de falhas, pré-cambrianas a eopaleozóicas. Tais estruturas, marginais e transversais à bacia, determinaram a distribuição geográfica das manifestações do plutonismo alcalino. Três direções estruturais regionais importantes associadas a zonas de falhamento são reconhecidas nas unidades mais antigas que constituem o substrato da bacia: NW, NE e E-W. Vários autores se referiram à tectônica de caráter transcorrente regional, com possível atuação até o Cenozóico (*e.g.* Marques *et al.*, 1987; Serra Jr. *et al.*, 1986; Coimbra, 1991). Por sua provável atuação até tempos mais recentes, as estruturas nordeste desempenharam importante controle na instalação da rede de drenagem, como se verifica, por exemplo, em longos trechos retilíneos do Rio Paraná. O segmento de Guaíra foi denominado por Maack (1968) de *fenda tectônica de Sete Quedas*.

No alto dos Três Morrinhos observa-se faixa subvertical de direção NNE, com 0,7 m de espessura, aspecto brechóide, silicificada como o arenito adjacente, feição sugestiva da associação entre atividade tectônica e silicificação.

O mineral palygorskita foi identificado em rochas designadas *basaltos pouco densos* (Marques *et al.*, 1987), da área de implantação da U.H.E. Porto Primavera. Ricos em esmectita e palygorskita (70-95% da rocha), formavam bolsões localizados, nos basaltos subjacentes aos

arenitos da Fm. Rio Paraná. Coimbra (1991) atribuiu-lhes origem hidrotermal. Atividades hidrotermais naquela área são também sugeridas pela ocorrência de carbonato-fluorapatita (Fernandes *et al.*, 2002), verificada em duas amostras de subsuperfície, da porção basal dos arenitos Caiuá (Formação Rio Paraná).

Fernandes *et al.* (2007) descreveram estruturas atribuídas a eventos sísmicos penecontemporâneos à deposição do Grupo Caiuá, no Pontal do Paranapanema. Eventualmente, tal sismicidade, bem como hidrotermalismo, provavelmente sincrônico ao magmatismo alcalino neocretáceo, estariam relacionados ao mesmo contexto tectônico. Como atividade final, o processo de silicificação ocorreu no coroamento da sedimentação, associado à inversão na evolução da Bacia Bauru.

Os Arenitos Silicificados

Em exposições de superfície, em lajes ou paredes nas encostas dos morros, a rocha apresenta aspecto em geral maciço, de cor marrom alaranjado a rosado (Fig. 10). Às vezes ainda exhibe estratificação cruzada original mal definida, mascarada pela silicificação generalizada. Em escala microscópica, a silicificação apresenta-se como revestimento parcial (Fig. 11c) ou total dos poros intergranulares, com texturas de: a) crescimento secundário ou *sintaxial* (Fig. 11d a 11g, 12a e 12b), b) em *paliçada* (franja de acículas), c) poligonal *em mosaico* ou, mais raramente, d) *microcristalina*. São comuns casos em que o arcabouço foi imobilizado quando o arranjo dos grãos ainda era pouco compactado, ou seja, antes do *soterramento* dos sedimentos (Fig. 11b a 11g). Outras vezes, os sedimentos já apresentavam algum empacotamento por compactação mecânica, indicado pela não deposição de sílica nas áreas de contato entre grãos (figs. 12a e b).

O preenchimento dos poros é parcial a *total*, com frequente evolução de formas euhedrais (megaquartzo) tendendo a bipiramidais (pseudoquartzo-beta), em continuidade óptica com o núcleo clástico.

A percolação dos fluidos silicosos provavelmente removeu parte dos óxidos/hidróxidos de ferro que envolve os grãos detríticos, causando característico o empalidescimento da cor típica da rocha - marrom-avermelhada a arroxeadada quando não silicificada - que passa a cores rosadas a bege claro.⁴

Evolução Geomorfológica

De acordo com Bigarella *et al.* (1965) durante o processo de denudação da paisagem e formação das paleosuperfícies o clima global se comportou de forma cíclica, com períodos úmidos durante a evolução regional desenvolveram-se mantos de alteração geoquímica, aprofundamento dos regolitos e formação de solos superficiais. A área seria então capeada por extensa cobertura florestal, que teria protegido os solos dos agentes de transporte da erosão, as vertentes teriam formas côncavas/convexas e alongadas. A carga de transporte dos rios teria sido diminuta e o sistema de drenagem regional tenderia então a entalhar o talvegue formando vales profundos.

Mudança de clima úmido para seco, ocorrida posteriormente, teria alterado tal paisagem, principalmente pelo desaparecimento das florestas. As vertentes, então desprotegidas, com extensos mantos de cobertura pedogenética, foram expostas a processos erosivos. Chuvas torrenciais as solaparam e promoveram erosão dos solos em movimentos de massa contínuos, que assorearam parcialmente os canais fluviais. A consequente elevação do nível de base local aumentou erosões a montante.

Bigarella *et al.* (1965) afirmou que tais processos foram cíclicos, alternando climas úmidos, secos quentes (áridos a

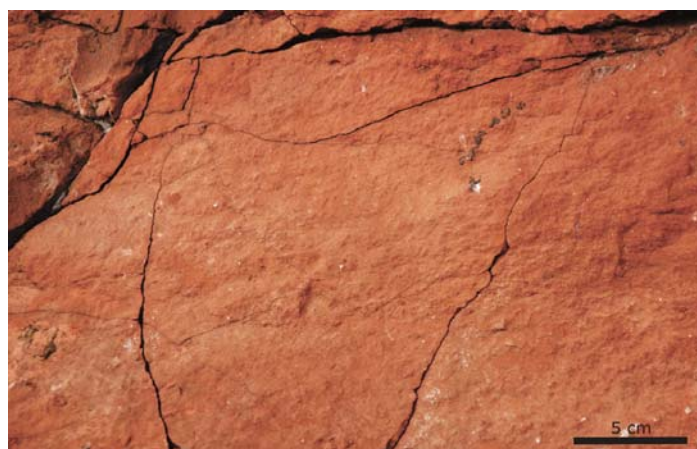


Figura 10 - Arenito silicificado em exposições de superfície, lajes ou paredes nas encostas dos morros. A rocha apresenta aspecto em geral maciço e cores marrom alaranjado a rosado.

Figure 10 - Silicified sandstones exposures on slabs or walls on the slopes. The rock aspect is generally massive and orange to pinkish brown colors.

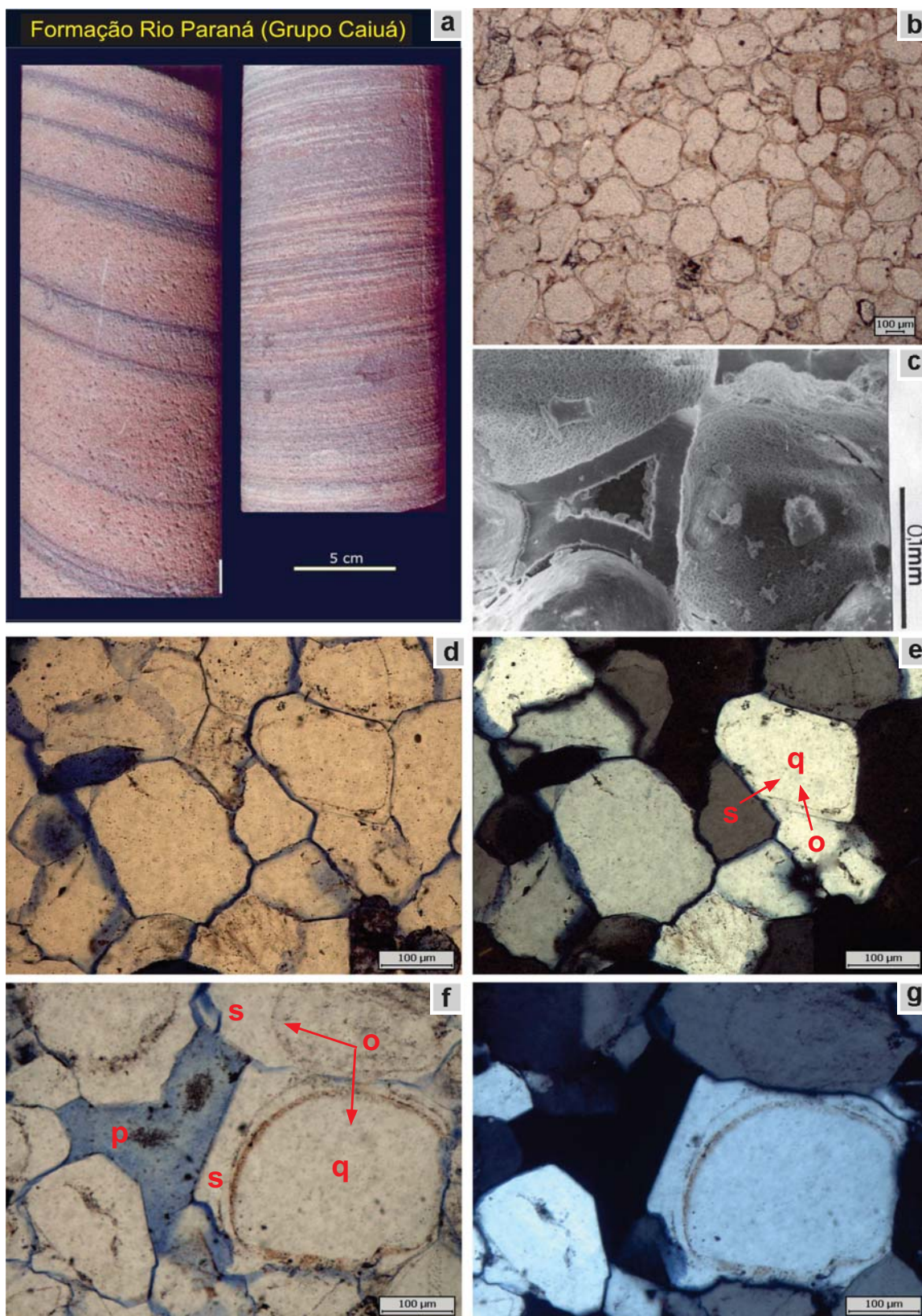


Figura 11 - (a) Estratificação cruzada, laminação e cores características dos arenitos da Fm. Rio Paraná, quando não silicificados; de testemunhos de sondagem da UHE Porto Primavera (SP); (b) aspecto comum dos arenitos dos Três Morrinhos, exibindo grãos arredondados bem selecionados, com intensa cimentação por sílica, fotomicrografia com polarizadores descruzados; (c) grãos arredondados de quartzo, com poros parcialmente preenchidos por cimento de sílica, imagem de MEV (elétrons secundários); (d) aspecto de mosaico (faces mais retilíneas) dado pela silicificação intensa, que oblitera os poros originais dos quartzarenitos dos Três Morrinhos, fotomicrografia com polarizadores descruzados; (e) mesma cena de d, com polarizadores cruzados, (s) é crescimento secundário (ou sintaxial) de sílica, (o) é película de óxidos/hidróxidos de Fe e Mn, pré-cimentação por sílica, (q) grão de quartzo; (f) detalhe de quartzarenito com grãos arredondados de quartzo (q) revestido por película de de óxidos/hidróxidos de Fe e Mn (o) e posteriormente por sílica secundária, em duas fases (s), fotomicrografia com polarizadores descruzados; (g) mesma cena de f, com polarizadores cruzados.

Figure 11 - (a) Cross bedding, lamination and color characteristics of the Rio Paraná Fm. sandstones, when non-silicified; core holes of the Porto Primavera hydroelectric plant building (State of São Paulo); (b) common feature of the Três Morrinhos sandstones, showing rounded grains well sorted, with intense silica cementation, photomicrography obtained with uncrossed polarizers; (c) rounded quartz grains, with pores partially filled by silica cement, SEM image (secondary electron); (d) mosaic appearance (faces more rectilinear) given by intense silicification, which obliterates the original pores of the Três Morrinhos quartz arenites, photomicrography obtained with uncrossed polarizers, and (e) of the same scene, with crossed polarizers (s) is secondary growth (or syntaxial) silica, (o) is Fe and Mn oxide/hydroxides film, pre-cementation by silica (q) is a quartz grain; (f) quartz arenite detail showing rounded grains (q), coated by film of Fe and Mn oxides/hydroxides of (o) and subsequently by secondary silica in two phases (s), photomicrograph obtained with uncrossed polarizers, (g) same scene of f, with crossed polarizers.

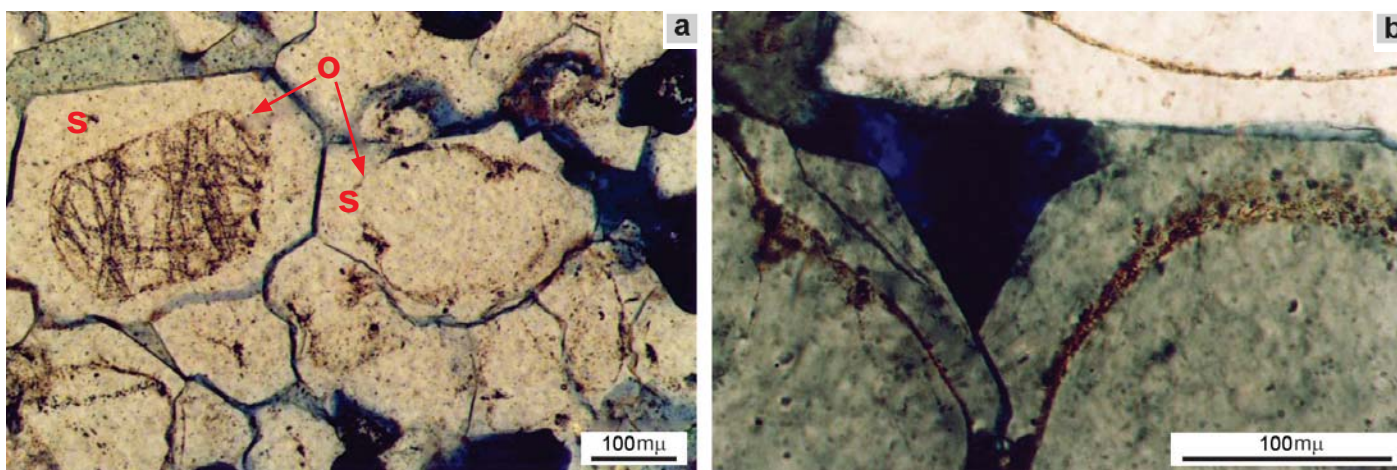


Figura 12 - (a) quartzarenito silicificado, exibindo contornos detriticos originais (de grãos arredondados), demarcados por película de óxidos/hidróxidos de ferro (o), com crescimento sintaxial de quartzo/sílica (s). Notar que o grão da esquerda tem várias inclusões de minerais aciculares, o que facilita a identificação da forma original. Fotomicrografia de seção delgada, polarizadores descruzados; (b) detalhe do revestimento por crescimento secundário de sílica, com notável desenvolvimento de faces planas de cristalização do quartzo (o poro aparece em azul escuro). Fotomicrografia de seção delgada, com polarizadores cruzados. Ambas da Fm. Rio Paraná, Três Morrinhos, Terra Rica.

Figure 12 - (a) silicified quartz arenite, showing original detrital contours (rounded grains), demarcated by ferruginous film (o), with syntaxial silica overgrowth (s). Note that the left grain has several acicular mineral inclusions, which facilitates identification of its original shape. Thin section photomicrograph obtained with uncrossed polarizers, (b) detail of overgrowth by coating silica with remarkable development of cristalization of quartz planar faces (pores in dark blue color). Thin section photomicrograph obtained with crossed polarizers. Both samples belongs to the Rio Paraná Fm., from the Três Morrinhos Hill, Terra Rica city.

semi-áridos), secos frios (glaciações) e úmidos (tropicais e subtropicais). Estudos da evolução geomorfológica da planície do alto Rio Paraná nas proximidades dos Três Morrinhos (Kramer & Stevaux 2001) apontaram ocorrência de cascalheiras basais em contatos erosivos com arenitos da área, interpretado pelos autores como decorrentes de climas secos com características semi-áridas no *Pleistoceno tardio*.

Os arenitos silicificados, mais resistentes à desagregação, restaram sustentando morros solitários na paisagem, os morros relictuais (Fig. 13). Hoje o topo dos Três Morrinhos, paleossuperfície de idade cretácea, registra espessura mínima das acumulações eólicas do interior da bacia. Em São Paulo, não muito distante, existem Morro do Diabo (cota de topo 603m, base 400m), formados do mesmo modo.

A silicificação localizada dos depósitos arenosos eólicos, acumulados no antigo deserto Caiuá, é supostamente relacionada com atividades de hidrotermalismo alcalino ocorrida entre 80 e 60 Ma. Como a superfície

Sul-americana desenvolveu-se entre 90 e 20 Ma, considera-se os topos dos Três Morrinhos e do Morro do Diabo constituem cotas mínimas daquela superfície, preservados devido a sua resistência anômala à erosão regional entre Cretáceo Superior e Paleógeno, período de estabelecimento da superfície.

No contexto suposto para o estágio D da Fig. 13, de fase climática úmida, temos a forma noroeste alongada bem definida, determinada por direções fissurais tectônicas, todavia com altitudes bem mais elevadas que a topografia regional, entre 380 e 420 metros, enquanto que nos topos dessas elevações temos altitudes acima de 620 metros (Fig. 14). Nos modelos gerados a partir do método de Seppömen não é possível associar a evolução da superfície com contexto climático ou fase evolutiva específica, porém é possível simular a tendência de evolução do relevo no Quaternário, período em que a paisagem foi intensamente rebaixada. E que as elevações residuais são, portanto, registros as altitudes pretéritas

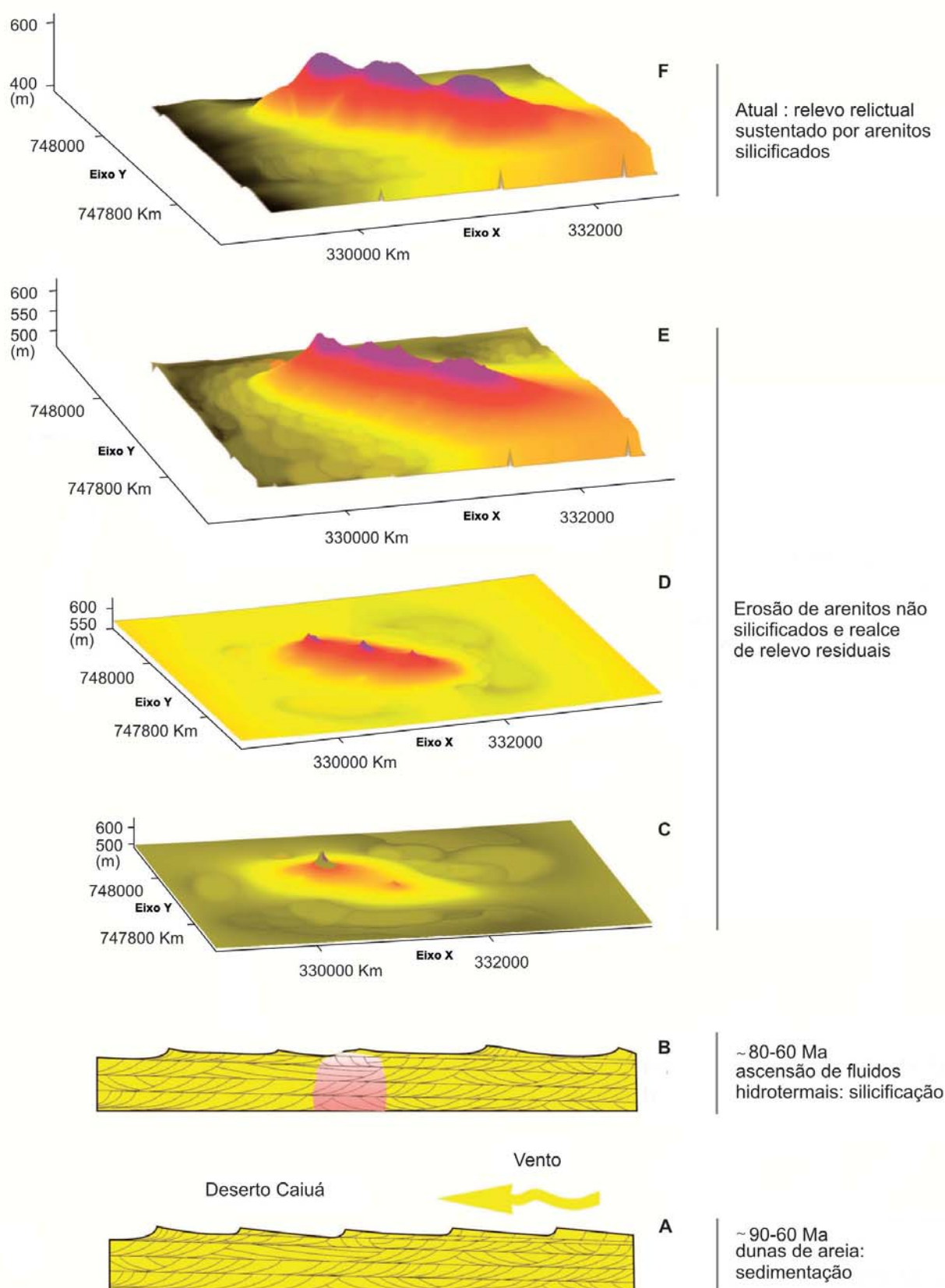


Figura 13 - Modelo de evolução geomorfológica regional, para os Três Morrinhos e morro do Diabo. **C, D, E e F** foram geradas com o método de Seppômen, que permite a reconstituição de paleossuperfícies por meio de pontos de maior cota altimétrica, de forma irregular por quadrantes. Com aumento da área do quadrante tem-se nivelamento dos topos e assim a reconstituição das paleossuperfícies. Aplicações em geologia foram apresentadas por (Motoki *et al.*, 2008) e em geomorfologia por (Couto *et al.*, 2012) por meio de geoprocessamento.

Figure 13 - Regional geomorphological evolution model for the Três Morrinhos and Diabo hills. **C, D, E and F** were generated by the Seppômen method that allows reconstituting paleo-surfaces through points of greatest altimetry, irregularly shaped quadrants. With increase of the area of the quadrant, a leveling of the tops do occur and thus the reconstitution of paleosurfaces. Applications on Geology were made by Motoki *et al.* (2008) and on Geomorphology by Couto *et al.* (2012), by geoprocessing methods.

da área. Pode-se estimar no mínimo cerca de 200 metros de denudação, desconsiderando-se possíveis elevações maiores que os topos atuais do relevo (Fig. 13).

As superfícies desse extenso contexto denudacional do Grupo Caiuá no Paraná foram identificadas e mapeadas por Bigarella e Mazuchowski (1985), com sugestão de idades: superfície de cimeira Pd3 como supostamente do Oligoceno; o pediplano Pd2 inferida como do Plioceno inferior; o pediplano Pd1 supostamente do Plioceno superior/Pleistoceno inferior e os pedimentos Pd0 ou P2, de idades holocênicas.

O Pd3 corresponde às maiores altitudes na serra de transição do Segundo com o Terceiro Planalto paranaenses. Corresponde a planaltos residuais no reverso da escarpa Serra Geral, elevações que chegam aos topos acima dos 1.200m, Seriam os registros mais antigos das superfícies do Terceiro Planalto Paranaense e borda limitante da deposição Grupo de Caiuá.

O pediplano Pd2 que estaria situado em níveis topográficos abaixo do Pd3, ocorre nos principais interflúvios dos rios Ivaí e Tibagi, estaria em quase totalidade alterado por espesso manto pedogenético com espessuras superiores a 30m, representado pelos férteis latossolos e nitossolos da região norte pioneiro do Paraná, no eixo Londrina – Apucarana. As elevações desse modelado seriam correlatos às fazes denudacionais C e D da figura 13.

A gênese das superfícies Pd2 nas bordas de transição interplanálticas, seriam decorrentes da exumação circundenudacional do espesso pacote sedimentar sotoposto ao basalto das bordas do reverso do Serra Geral, rebaixando toda a superfície e levando as bordas dos depósitos desérticos. Essas áreas hoje são as zonas de transição litológica, como os trechos Campo Mourão – Mamborê, Maringá – Nova Esperança.

O pediplano Pd1 corresponde às áreas ainda mais rebaixadas, suas superfícies exumadas e rebaixadas pelas principais drenagens alimentadoras dos rios Ivaí, Paranapanema e Piquiri. As maiores elevações estariam nas proximidades de Umuarama, sustentadas nos topos por carapaças ferruginosas de maior resistência a erosão com altitudes médias em torno de 400m, correspondem a áreas adjacentes menos elevadas e planas onde se destacam as elevações residuais testemunhantes das paleoelevações do Pd2, os Três Morrinhos e o Morro do Diabo (Fig. 14), que emergem acima dos 600m como verdadeiros *inselbergs* e registram a erosão que exumou a paisagem regional pretérita.

Finalmente, Pd0 ou P2 corresponde aos níveis mais baixos de acumulação colúvio-aluvionar, formação de compartimentos de planícies e terraços dos rios Ivaí, Paranapanema e Piquiri.

No que se refere à pedogênese atual, a sequência evolutiva descrita anteriormente propiciou o desenvolvimento e predomínio dos latossolos na região do Noroeste do Paraná. Caracte-

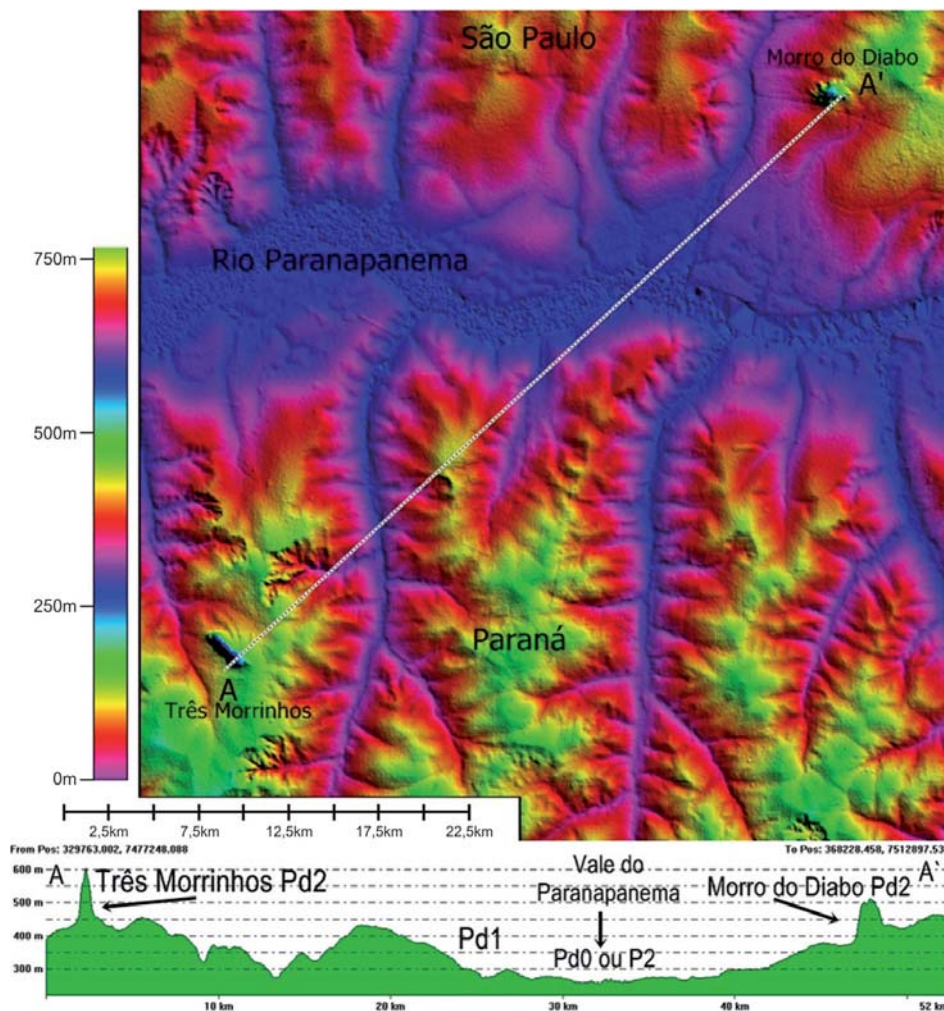


Figura 14 - Seção topográfica transversal entre os Três Morrinhos (Terra Rica, Paraná) e o morro do Diabo (Parque Estadual Morro do Diabo, Teodoro Sampaio, São Paulo). Dados topográficos de imagens SRTM, Projeto TOPODATA-INPE.

Figure 14 - Topographic cross-section between Três Morrinhos Hill (Terra Rica, State of Paraná) and Diabo Hill (Morro do Diabo State Park, Teodoro Sampaio, Sao Paulo). SRTM topographic data of images, of TOPODATA-INPE Project.

rizam-se como solos minerais, não hidromórficos, com horizonte diagnóstico B latossólico (Bw) de coloração vermelha, geralmente profundos e homogêneos.

Morfologicamente podem apresentar estrutura maciça ou em blocos subangulares fracos que se desfazem em granular de grau forte, no caso de apresentarem textura argilosa (microagregados).

Encontram-se normalmente associados a áreas de relevo constituído por colinas amplas e em topos aplainados de colinas médias. Nessas condições de relevo sua formação favorece processos de lixiviação acentuados que propiciam o aprofundamento do perfil por sistema de drenagem interna vertical dominante e o enriquecimento relativo em sesquióxidos de ferro e/ou alumínio, argila caulinitica e grãos de quartzo tanto na fração silte como na fração argila (residual). Esses solos tornam-se menos expressivos da base ao topo dos Três Morrinhos, sendo progressivamente substituídos por solos rasos (Neossolos Litólicos e Neossolos Rigólicos) e em alguns locais associados a declividades acentuadas por afloramentos rochosos, corroborando com a idéia de maior resistência do arenito silicificado.

Nessas condições de afloramentos rochosos e solos rasos, em que existe pouca retenção de umidade, se desenvolvem formações típicas de savana com presença de cactáceas, em situação distinta com as formações no qual se inserem atualmente, ou seja, os Três Morrinhos constituem ilhas de vegetação diversa do que predomina no Noroeste do Paraná.

Os Três Morrinhos junto com o Morro do Diabo, portanto, testemunham a história erosiva e tectônica do nosso continente, registra fases distintas das alterações climáticas do continente Sul-americano, são elevações que marcam o contexto evolutivo da paisagem regional intracontinental deposicional do Cretáceo até o presente.

SINOPSE SOBRE A ORIGEM E EVOLUÇÃO E A IMPORTÂNCIA DO SÍTIO

Os Três Morrinhos são constituídos por arenitos silicificados da Formação Rio Paraná, originalmente acumulados no interior de um grande deserto arenoso no interior da bacia intracontinental denominada *Bauru*. A história desta bacia tem início ao redor de 90 milhões de anos atrás, quando se formou no centro-sul da Plataforma Sulamericana, após a ruptura do continente *Gondwana*. A acumulação de sedimentos na bacia, sobretudo arenosos, ocorreu em clima semi-árido quente. Na sua atual porção meridional, região dos morrinhos, formou-se o *Deserto Caiuá*, composto por grandes complexos de dunas (Fig. 13 A) contornadas por amplas planícies arenosas marginais. As dunas migravam preferencialmente

rumo a sudoeste/oeste (Figs. 7 e 8), acumulando depósitos arenosos de algumas centenas de metros de espessura.

A ascensão de fluidos hidrotermais, direcionada por zonas fraturadas do embasamento basáltico da bacia, cimentou com sílica estreitas faixas dos depósitos arenosos (Fig. 13 B), conferindo-lhes maior resistência à erosão posterior, que aos arenitos adjacentes. Tal diferença implicou maior rebaixamento por desgaste erosivo da paisagem regional nas áreas sem silicificação. Por outro lado, morros sustentados por arenitos silicificados foram se destacando gradativamente na paisagem (Fig. 13 C; D e E) até chegar a sua configuração atual (Fig. 13 F).

Na evolução regional do relevo a erosão removeu principalmente os arenitos não silicificados. Os topos dos Três Morrinhos constituem, portanto, cota mínima da superfície de aplainamento Sul-americana, elaborada entre Cretáceo Superior e Paleógeno. A preservação de espessuras originais anômalas de arenitos eólicos neocretáceos, assim como a sustentação de cotas reliquias da evolução do relevo no intervalo Ks-T justificam sua importância como importante sítio geológico e geomorfológico brasileiro.

Outras Atrações Turísticas Locais e Regionais

No topo de um dos morros há frequentes atividades de saltos de vôo livre (Fig. 15a), incluindo campeonatos nacionais. *Caverna do Sol Nascente*, com 12 metros de comprimento, localizada na base ao leste do morro. Originou-se da erosão, sobretudo pela água, de porções menos cimentadas (silicificadas) do arenito. *Capela* no alto do morro, construída na década de 60, antenas de televisão e os equipamentos de retransmissão. No lado paulista da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, em local relativamente próximo dos Três Morrinhos, há importante sítio paleontológico e geológico registrado no SIGEP: Icnofósseis da Usina de Porto Primavera, SP. Rastros de dinossauros e mamíferos em rochas do deserto neocretáceo Caiuá (Fig. 15b). Praias naturais de água doce, pesca, passeios de barco e a prática de esportes náuticos no Lago de da Usina Hidrelétrica de Rosana (Rio Paranapanema).

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Atualmente o topo de um dos morros abriga antenas de telecomunicações, aonde se chega de veículo motorizado. O local foi transformado no *Parque Municipal Três Morrinhos* (2003), administrado pela Prefeitura Municipal de Terra Rica. Conta com um portal de entrada, com edificação denominada Centro de Educação Ambiental desde 2008, embora sem funcionamento e presença regular de pessoal.



Figura 15 - (a) vista da rampa de saltos do morro sudoeste, o mesmo que abriga antenas de transmissão; **(b)** pegadas e pistas de tetrápodes registradas em arenitos de antigas frentes de dunas, da mesma unidade que constitui os Três Morrinhos, em outro sítio geológico-paleontológico importante na região, na Usina Hidrelétrica Porto Primavera (SP). Mais informações em Fernandes *et al.* (2009).

Figure 15 - (a) Jump ramp view on the southwest hill, where also there are transmission antennas; **(b)** footprints and tracks of tetrapods recorded in sandstones of ancient dune foresets of the same unit that constitutes the Três Morrinhos Hill, representing another important geological-paleontological site in the region, situated near the Porto Primavera hydroelectric plant (State of São Paulo). For more information see Fernandes *et al.* (2009).

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M. de & Melo, M.S. 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. v.1:46-81. Escala 1:500.000. (Publicação IPT, 1184).
- Bigarella, J.J. & Mazzuchowski, J.Z. 1985. *Visão integrada da problemática da erosão*. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Maringá, p. 1-19; 93-121.
- Bigarella, J.J.; Mousinho, M.R. & Silva, J.X. 1965. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, 16/17: 117-151.
- Coimbra, A.M. 1991. *Sistematização crítica da obra*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 54p. (Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências/USP).
- Couto, E.V.; Fortes, E.; Sordi, M.V.; Marques, A.J.; Camolezi, B.A. 2012. Seppômen Maps For Geomorphic Developments Analysis: The Case Of Paraná Plateau Border, Faxinal, State Of Paraná, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 34, n. 1, p. 71-78.
- Fernandes, L.A. 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). 216p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo). (3 mapas).
- Fernandes, L.A. 2004. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. In: *Boletim Paranaense de Geociências*. 55:53-66. 1 mapa anexo.
- Fernandes, L.A. & Coimbra, A.M. 2000a. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4):723-734.
- Fernandes, L.A. & Coimbra, A.M. 2000b. The Late Cretaceous Caiuá Desert (Bauru Basin, Brazil). In: *INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., Rio de Janeiro (Brasil). Abstracts, (cd-rom, General Symposia, 3.6)*.
- Fernandes, L.A.; Basilici, G.; Castro, A.B. 2007. Seismites in continental sand sea deposits of the Late Cretaceous Caiuá Desert, Bauru Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 199:51-64. <http://www.sciencedirect.com>. doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.12.030.
- Fernandes, L. A.; Brandt Neto, M.; Coutinho, J.M.V. 2002. Fluorapatita e apatita em arenitos da Fm. Rio Paraná (Gr. Caiuá, Bacia Bauru) e hidrotermalismo neocretáceo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 41., João Pessoa, 2002. *Anais*, João Pessoa, Sociedade Brasileira de Geologia. p.661.
- Fernandes, L.A.; Coimbra, A.M.; Brandt Neto, M. 1993. Silicificação hidrotermal neocretácea na porção meridional da Bacia Bauru. *Revista do Instituto Geológico*, 14(2):19-26.
- Fernandes, L.A.; Sedor, F.A.; Silva, R.C.; Silva, L.R.; Azevedo, A.A.; Siqueira, A.G. 2009. Icnofósseis da Usina de Porto Primavera, SP. Rastros de dinossauros e mamíferos em rochas do deserto neocretáceo Caiuá. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S.; Bebert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campo, D.A. (Org.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, vol. II. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, v.II:479-488.
- King, L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147-265. Rio de Janeiro.
- Kramer, V.M.S. & Stevaux, J.C. 2001. Mudanças climáticas na região de Taquaruçu (MS) durante o Holoceno. *Boletim Paranaense de Geociências*, 49:79-91.

- Maack, R. 1968. *Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba, PR*. Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. 350p.
- Marques, A.; Zanotto, O.A.; Paula, O.B. de; Astolfi, M.A.; França, A.B.; Barbosa, E.A. 1993. Arcabouço tectônico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 5., Curitiba, PR. Boletim de resumos expandidos e programa. Curitiba, PR. Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleos PR/SC/RS. p.101-102.
- Marques, J.D.; Magalhães, F.S.; Serra Jr., E. 1987. Análise das feições estruturais do maciço rochoso nas fundações da barragem de Porto Primavera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo, SP. Anais. São Paulo, SP. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. v.1 p.197-208.
- Motoki, A.; Petrakis, G.H.; Sichel, S.E.; Cardoso, C.E.; Melo, R.C.; Soares, R.S.; Motoki, K.F. 2008. Origem dos relevos do maciço sienítico do Mendanha, RJ, com base nas análises geomorfológicas e sua relação com a hipótese do vulcão de nova Iguaçu. *Geociências*, 27(1):97-113.
- Mussa, D. & Coimbra, A.M. 1984. Mtodo de estudo tafonômico aplicado a lignispécimes permianos da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 56(1):85-101.
- Santos, L.J.C.; Fiori, C.O.; Canali, N.E.; Fiori, A.P.; Silveira, C.T.; Brisk, S.J.; Silva, J.M.F. 2006a. Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. 1. ed. Curitiba/PR: Imprensa oficial, v.1. 59 p.
- Santos, L.J.C.; Fiori, C.O.; Canali, N.E.; Fiori, A.P.; Silveira, C.T.; Silva, J.M.F.; Ross, J.S. 2006b. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7:3-11.
- Serra Jr., E.; Magalhães, F.S.; Azevedo, A.A. 1986. Análise de feições estruturais para estudo do estado de tensões naturais no maciço basáltico de UHE Taquaruçú. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE MECÂNICA DE ROCHAS, 2., Porto Alegre, RS. Anais. Porto Alegre, RS. Associação Brasileira de Mecânica de Solos. v.2 p.252-262.

* Publicado na Internet em 05/12/2012 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio058/sitio058.pdf>

¹ Universidade Federal do Paraná/Dep. de Geologia, e-mail: lufernandes@ufpr.br, CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4959270301217109>

² Universidade Federal do Paraná, e-mail: edivandocouto@gmail.com, CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3716500436905139>

³ Universidade Federal do Paraná/Dep. de Geografia; e-mail: santos@ufpr.br, CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9998364756956271>



LUIZ ALBERTO FERNANDES

Tem graduação em Geologia (1977), mestrado (1992) e doutorado (1998) em Ciências - Geologia Sedimentar, pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Pós-doutorado (2008, 2009) na Universidad Complutense de Madrid. Atualmente é professor Associado III e coordena o Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná. Entre 1978 e 1980 atuou em contaminação de águas subterrâneas na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB/SP). De 1980 a 1998 foi pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Desde então é professor do Departamento de Geologia da UFPR. Sua experiência tem ênfase em Geologia Sedimentar e Análise de Bacias Sedimentares (Petrologia Sedimentar, Estratigrafia; bacias Bauru, do Paraná e de Curitiba; educação tutorial e Geoconservação). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2..



EDIVANDO VITOR DO COUTO

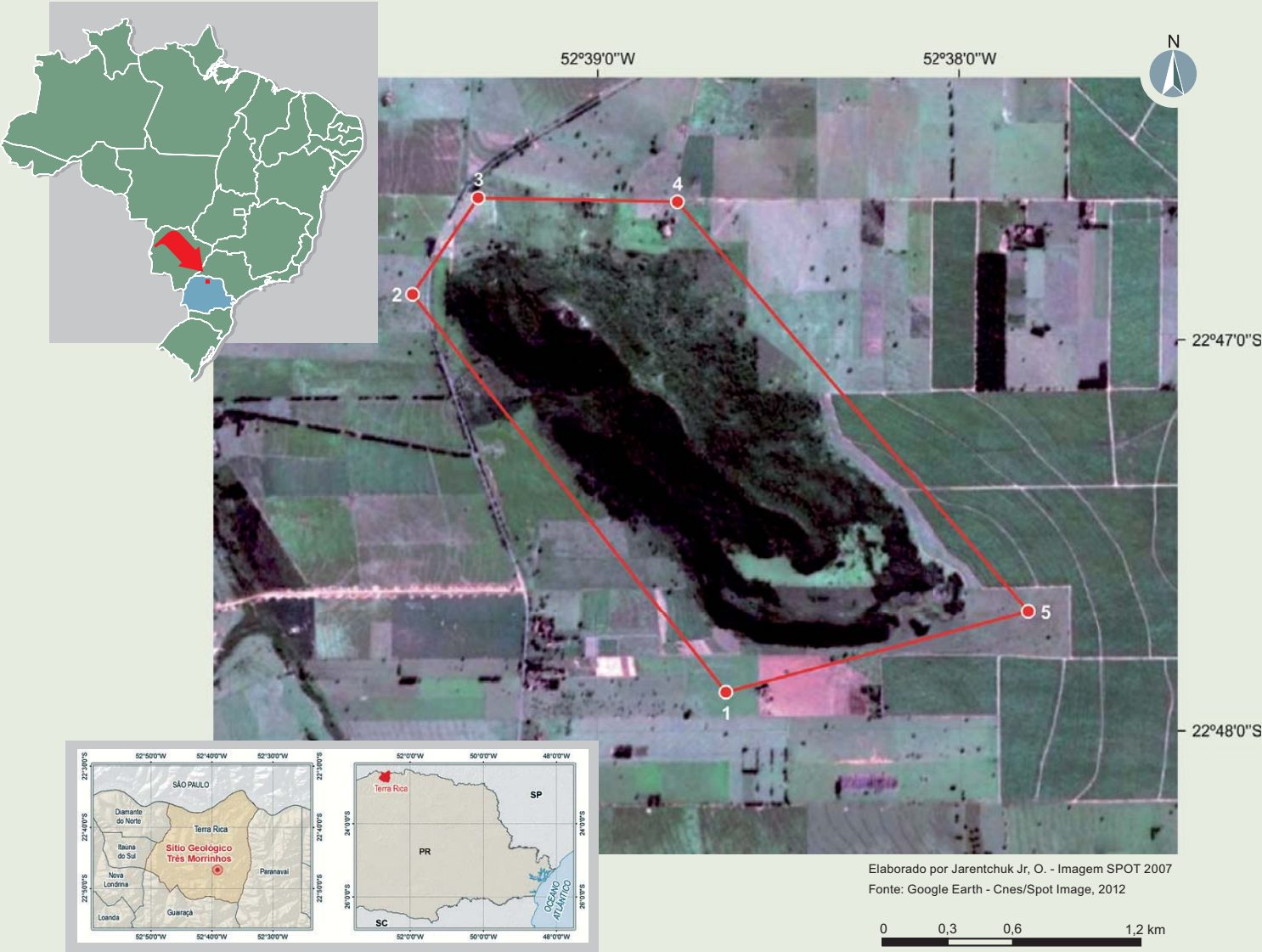
Possui graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (2008) e mestrado em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (2011). Atualmente é doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná com ênfase em Paisagem e análise ambiental. Tem experiência na área de Geociências, atuando principalmente nos seguintes temas: Geomorfologia fluvial e estrutural.



LEONARDO JOSÉ CORDEIRO SANTOS

Possui graduação em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1988), mestrado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (1995), doutorado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (2000), com estágio sanduiche no Institut de la Recherche Agronomique (INRA), Rennes/França (1997-1998) e pós-doutorado no Departamento de Geologia da Universidade do Minho (2011-2012), Braga/Portugal. Foi presidente da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) no período de 2007-2010 e coordenador do Programa de pós graduação (mestrado e doutorado) do Departamento de Geografia (2008-2010). É membro suplente do Comitê de Assessoramento (CA-SA) do CNPq, da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos (SIGEP), do Centro de Apoio Científico em Desastres (CENACID) e compõe a equipe de avaliação da pós-graduação da CAPES, área de Geografia. É professor adjunto da Universidade Federal do Paraná (UFPR), tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geomorfologia e Pedologia. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D.

SIGEP 058 - TRÊS MORRINHOS, TERRA RICA, PR
PROPOSTA DA ÁREA DE PROTEÇÃO



VÉRTICE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
1	22°47'55,0357"S	52°38'38,9160"W
2	22°46'52,9055"S	52°39'30,2083"W
3	22°46'37,9629"S	52°39'19,1408"W
4	22°46'38,6486"S	52°38'45,9347"W
5	22°47'42,5464"S	52°37'48,7534"W

Polígono da área de proteção proposto por: Luiz Alberto Fernandes (lufernandes@ufpr.br);
Edivando Vitor do Couto (edivandocouto@gmail.com) e Leonardo J. C. Santos (santos@ufpr.br)

Data da proposta: 04/11/2012