



P
ARA DESENVOLVER
A TERRA
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.
& Ivo Alves, E.

Coordenação

PALEOSSOLOS SILICIFICADOS DA FORMAÇÃO ITAQUERI
(BRASIL) – INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

SILICIFIED PALEOSOILS OF ITAQUERI FORMATION
(BRAZIL) – PALEOENVIRONMENTAL INTERPRETATION

F. S. B. Ladeira¹, S. S. de Castro² & M. dos Santos³

Resumo – Esta pesquisa foi realizada na Serra de Itaqueri, entre os municípios de São Pedro e Itaqueri, no estado de São Paulo, e esta é caracterizada por sedimentos denominados Formação Itaqueri (Paleógeno). O objetivo consistiu em caracterizar os perfis de paleossolos silicificados desenvolvidos a partir da Formação Itaqueri, bem como a caracterização e o ambiente evolutivo destes solos e suas possíveis inter-relações. Foram utilizados procedimentos e técnicas da pedologia, sedimentologia, estratigrafia e micromorfologia. A análise dos sedimentos e dos paleossolos indicaram tratar-se de deposição em leques aluviais alternados por períodos de clima mais úmido em que se desenvolveram os perfis de paleossolos, que poderiam ser classificados como Argissolos e Gleissolos. Estes solos apresentam processos de silicificação sobrepostos. O clima onde estes solos evoluíram provavelmente corresponde a um clima tropical tendendo para seco, mesmo semi-árido, mas com presença de água suficiente, ao menos sazonalmente, para desenvolver perfis de solos. A paisagem da época da evolução do solo apresentava domínios com boa drenagem e outros com forte impedimento hídrico, indicando uma topografia caracterizada por colinas, com áreas com predomínio de uma drenagem vertical e outras em posições rebaixadas com acúmulo de água na maior parte do ano.

Palavras-chave – Formação Itaqueri; paleossolo; paleoambiente

¹ Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; fsbladeira@ige.unicamp.br

² Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; selma.castro@uol.com.br

³ Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; marcilene@ourinhos.unesp.br

Abstract – This research was conducted in the Serra de Itaqueri, between the towns of São Pedro and Itaqueri in the state of São Paulo, which is characterized by sediments of the Itaqueri Formation (Paleogene). The goal was to characterize the silicified paleosol profiles developed from the Itaqueri Formation, as well as the characterization and evolutionary environment of these soils and their possible interrelationships. Pedology, sedimentology, stratigraphy and micromorphology procedures and techniques were used. The sediments and paleosols analysis indicate that they were deposited in alluvial fans under alternating periods of wetter climate, in which the paleosols profiles were developed; these, which can be classified as Ultisols and Gleysols, present overlapping processes of silicification. The climate which have conditioned the soils development probably correspond to a tropical climate, with a tendency to dry climate, even semi-arid, but with enough water, at least seasonally, to develop soil profiles. The landscape at the time of the soils evolution presented several domains with good drainage and others displaying strong impediment to water drainage, indicating a hilly topography, with some areas where vertical drainage prevailed and others in lowered positions with water accumulation during most of the year.

Keywords – Itaqueri Formation; paleosol; paleoenvironment

1 – Introdução

A Paleopedologia é o estudo de solos antigos, tendo por objeto solos soterrados e/ou incorporados a seqüências sedimentares, ou ainda solos desenvolvidos em superfícies de relevo pretéritas (ANDREIS, 1981) e que, embora permanecidos em superfície e influenciados por mudanças ambientais posteriores (RETALLACK, 1990), evidenciam antigos ambientes e contêm registros sobre o clima, cobertura vegetal, formas de relevo, intensidade da pedogênese e taxas de sedimentação vigentes a sua formação (WRIGHT, 1992; KRAUS, 1992).

Embora os avanços nesta área do conhecimento estejam concentrados nos estudos sobre solos soterrados do Quaternário, especialmente em ambientes formadores de *loess*, a partir da década de 60 surgiram também trabalhos sobre paleossolos pré-quaternários, especialmente aqueles cujo enfoque priorizava a reconstrução de antigos ambientes de sedimentação e de processos geológicos (ANDREIS, 1981), contemplados na literatura mais recente, onde as principais seqüências de paleossolos analisadas se desenvolveram sobre sedimentos aluviais e deltaicos (WRIGHT, 1992).

Nos últimos anos, a paleopedologia apresentou grandes avanços, especialmente decorrentes de estudos interdisciplinares e de técnicas analíticas mais finas. Tais avanços são resultado também da constatação de sua relevância como instrumento para análises e reconstituições paleoambientais, principalmente quando o registro fóssilífero é raro ou inexistente (ANDREIS, 1981; RETALLACK, 1990), para correlações estratigráficas (FIRMAN, 1994), e ainda como indicativo de antigas superfícies de relevo (ANDREIS, 1981), de certas concentrações minerais (petróleo, carvão, ferro, urânio, caulim, etc.) (KRAUS, 1992; ANDREIS, 1981) ou de processos pedogenéticos (RETALLACK, 1990; 1997).

Os estudos desta pesquisa foram realizados nos sedimentos do Paleógeno da Formação Itaqueri, na Serra de Itaqueri, municípios de São Pedro, Itirapina e Ipeúna, no Estado de São Paulo, compreendida entre as coordenadas 47°45' e 48° W e 22°22' e 22°30' S.

Desde os trabalhos pioneiros de ALMEIDA & BARBOSA (1953), os sedimentos denominados Formação Itaqueri, presentes em vários pontos do reverso das cuestas no Estado de São Paulo, foram motivo de controvérsia, especialmente decorrente de sua diversidade textural (argilosa a conglomerática com seixos decimétricos), reológica (materiais consolidados e friáveis) e de cimentante (sílica e ferro). Conseqüentemente, as dúvidas que esta formação geológica provoca até os dias de hoje são diversas, dentre elas sua idade, posição e sucessão estratigráfica, sua distribuição geográfica e os ambientes de sedimentação. Até mesmo para alguns autores, a Formação Itaqueri não corresponderia a um único evento deposicional, mas a dois, implicando desmembramento desta formação (SOARES & LANDIM, 1976; BRANDT NETO, 1981; MELO & PONÇANO, 1983).

A integração dos diversos processos atuando sincronicamente ou sucessivamente ao longo da história cenozóica seria a responsável por tal complexidade e justificaria, em parte, a não elucidação completa da evolução paleogeográfica da área até o momento. Assim, a elucidação de algumas características evolutivas da área assume grande importância, contribuindo na interpretação de outras áreas, no Estado de São Paulo, onde também ocorrem sedimentos correlatos à Formação Itaqueri.

2 – Procedimentos

Os procedimentos para o desenvolvimento do trabalho envolveram 2 etapas.

Levantamento de campo e seleção de pontos para estudos de detalhe – a seleção dos pontos foi baseada num levantamento total de 124 pontos e privilegiaram a presença de perfis os mais completos possíveis, com feições pedológicas nítidas e exposição em seção vertical única. Três perfis foram selecionados, e nestes foram feitas as descrições macromorfológicas e coletas para a realização das descrições micromorfológicas.

Análises micromorfológicas - esta etapa de trabalho objetivou a descrição detalhada e caracterização dos materiais estudados, procurando destacar as feições pedológicas presentes nestes, sobretudo as relações entre os diversos horizontes dos perfis. A importância das análises micromorfológicas consiste em determinar, através da interpretação das feições observadas, os processos pedogenéticos atuantes durante o desenvolvimento do perfil. As terminologias empregadas para descrição foram as propostas por BREWER (1976) e também aquelas propostas por STOOPS & JONGERIUS (1975).

3 – Resultados

3.1 – Formação Itaqueri Silicificada

Este material apresenta-se como um pacote sedimentar com cores amareladas e avermelhadas predominantes, possuindo forte resistência ao golpe do martelo, muitas vezes sendo impossível parti-lo, exceto ao longo de fraturas. Por vezes, este material

apresenta uma feição ruiforme, especialmente na porção superior; outras vezes, apresenta uma estrutura maciça e compacta sem fraturamento aparente e formando escarpas retilíneas.

Os afloramentos deste material raramente apresentam mais de 10 metros de espessura, mas em situações de escarpas mais íngrimes. A silicificação diminui do topo para a base, sendo que no topo são observadas algumas feições indicativas de antigos solos, tais como marcas de raízes (Fig. 1) e estruturas poliédricas preservada. Estas feições coincidem com as feições ruiformes que eventualmente se encontram na área.

Os três perfis descritos estão indicados, nas suas características macro e micromorfológicas, nas figuras 2, 3 e 4.

A macromorfologia dos materiais silicificados evidenciam que a porção superior destes sedimentos silicificados sofreu processos de pedogênese, apresentando, nitidamente, as três feições que RETALLACK (1990) indica como sendo essenciais para definir-se um paleossolo em campo: traços de raízes, horizontes pedológicos e estruturas pedológicas. Estas evidências estão muito claras no Perfil 2, mais espesso e completo, entretanto também estão presentes nos outros perfis.

As marcas de raízes indicaram situações interessantes e diversificadas conforme o perfil analisado. No perfil 2, aparecem a grandes profundidades dentro do antigo solo, com diâmetros consideráveis, indicando uma vegetação de porte considerável, difícil de imaginar na situação semi-árida vigente durante a implantação dos leques aluviais que geraram os depósitos da Formação Itaqueri. Além disso, a profundidade de ocorrência destas raízes e a quase ausência de marcas de redução a elas associadas, indicam um perfil com boa drenagem. Ao contrário, no perfil 3 as raízes apresentam uma distribuição predominantemente horizontal que, associada as grandes marcas de redução, estariam indicando aí a presença do topo de um antigo lençol freático, que dificultaria a penetração destas raízes em profundidade, provavelmente evidenciando um antigo solo com uma drenagem impedida, talvez porções inferiores de uma antiga vertente.

No Perfil 2, onde há maior continuidade lateral das feições paleopedológicas, é possível observar o comportamento lateral e vertical das estruturas do antigo solo, configurando uma "paleocatena", conforme apresentada por ATKINSON (1986) em paleossolos desenvolvidos sobre sedimentos aluviais na Espanha, o que permite reconstituir o comportamento lateral do solo ao longo do antigo perfil topográfico, ao menos ao longo de uma pequena extensão.

Acerca do lençol freático, é interessante destacar que o nível de glébulas e de mosqueamento no Perfil 2 poderia corresponder ao nível de oscilação do lençol freático quando da evolução do solo poucos metros acima, dentro de um antigo horizonte C.



Fig. 1 - Porosidades de raízes apresentando feições de redução (mais esbranquiçadas) no arenito da Formação Itaqueri silicificada.

Nos três perfis aparecem estruturas prismáticas, como bem evidenciado nos perfis 1 e 3, estando nestes dois casos, tais estruturas truncadas por uma superfície erosiva. No caso do perfil 2, a preservação foi maior, evidenciando que, acima deste horizonte prismático, ocorre outro de estrutura em blocos, sobreposto ainda por um de estrutura maciça. Estas transições são feitas de maneira gradual, dificultando, em campo, a identificação de possíveis discordâncias entre elas.

A cor parece ser uma constante entre os perfis 2 e 3, com predomínio de cores muito vermelhas e de outras de marcas de redução, ou associadas à porosidade, com *krotovinas* preenchidas por material de cor diferente daquelas do entorno. No perfil 1, as cores são mais brancas e a porosidade encontra-se preenchida por materiais ferruginosos, de cores marrom a preta, muito semelhante aos silcretos identificados na Austrália por MILNES *et al.* (1991), indicando ter sido afetada pela evolução do horizonte caulinitico do perfil laterítico. De qualquer forma, como destacado por RETALLACK (1990), as relações entre as cores continuam válidas nos paleossolos, e macromorfológicamente só encontram-se, na área, variações de cores associadas a feições tipicamente pedológicas ou a ambientes associados, tais como marcas de raízes e de animais escavadores, marcas de redução associadas às antigas raízes, marcas de redução (associadas ao nível de antigos lençóis freáticos), glébulas e mosqueados, não sendo evidenciada nenhuma alteração de cor associada a níveis sedimentares.

3.2 – Micromorfologia dos Paleossolos Silicificados

As informações da descrição micromorfológica estão sintetizadas nas figuras 2, 3 e 4.

O perfil 1 apresenta algumas características micromorfológicas que o enquadram como solo; entretanto estas feições não são desenvolvidas, restringindo-se a pedotúbulos correspondentes a *krotovinas*, e glébulas ferruginosas que poderiam estar associadas a períodos de hidromorfia. Não são observados cutãs, e mesmo as estruturas plásmicas

correspondem principalmente à silassépica. Tais características indicativas de um material pedológico pouco desenvolvido, associadas à presença de minerais facilmente alteráveis (microclínio, biotita e raramente anfibólio) faz supor que se trata da porção basal (horizonte C ou Bi/C) de um antigo solo, o que é corroborado pela macromorfologia, onde marcas de raízes de grande porte estão truncadas no topo, indicando que os outros horizontes acima deste material foram erodidos.

Ao contrário do perfil 1, o perfil 2 apresenta uma maior diversidade de feições pedológicas, e há uma forte correspondência entre as observações em campo e a micromorfologia. Nas porções basais do perfil silicificado, as evidências de feições pedológicas são praticamente inexistentes, e há elevada participação de minerais facilmente alteráveis (microclínio, biotita e secundariamente plagioclásio), indicando que estes materiais não sofreram processos intensos de intemperismo, apesar de alguns deles apresentarem processos iniciais de alteração. Apenas na porção mosqueada, logo abaixo do horizonte com estrutura prismática, são encontrados cutãs de iluviação, ocorrendo uma nítida diminuição daqueles minerais facilmente alteráveis. Nestes níveis inferiores do perfil, são comuns as glébulas ferruginosas, indicando a ocorrência de ambientes hidromórficos nestes materiais.

O horizonte prismático, ao contrário das porções basais do perfil, já apresenta uma maior quantidade de evidências de evolução pedológica. A presença de cutãs (ferri-argilás) de iluviação é comum, ocorrendo também pedotúbulos (Fig. 5), e as estruturas plásmicas são mais diversas (vossépica, bimassépica, silassépica e esquelsépica), com destaque para a forte presença da estrutura esquelsépica, não observada em outros pontos do perfil.

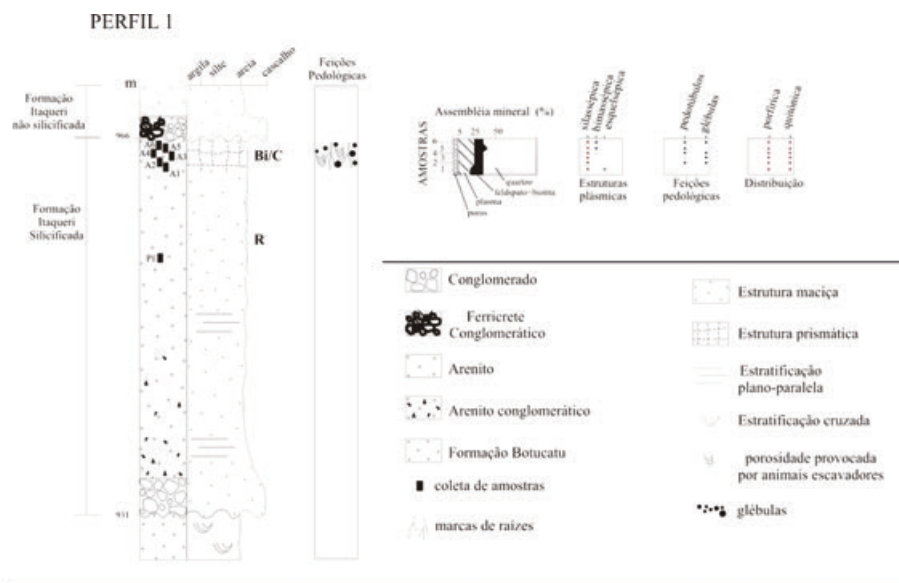


Fig. 2 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 1.

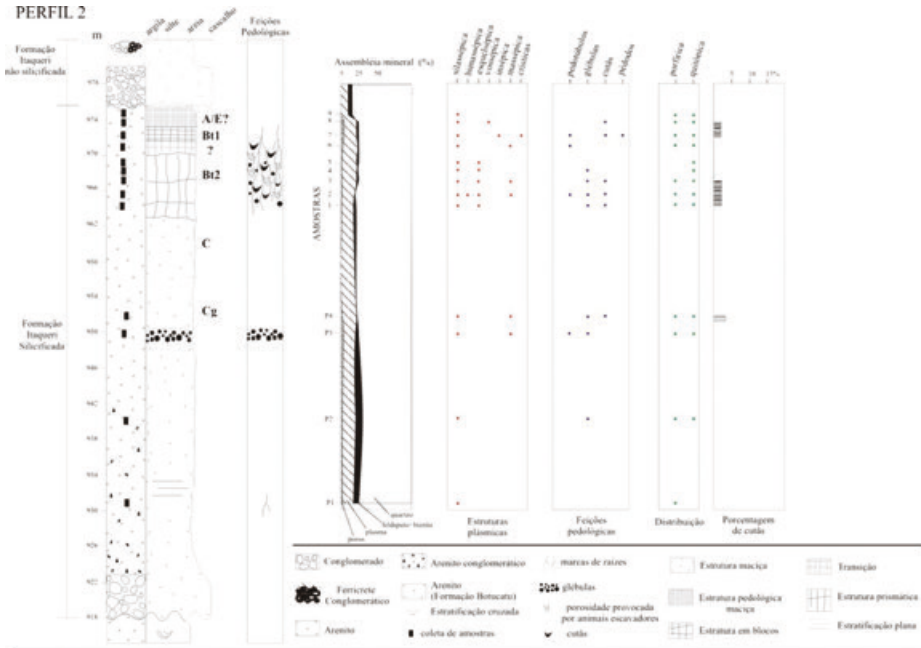


Fig. 3 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 2.

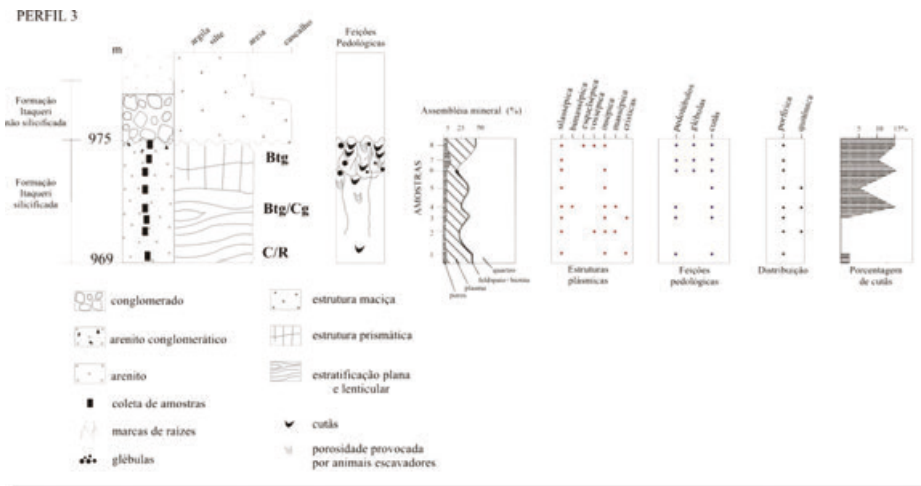


Fig. 4 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 3.

A presença de minerais facilmente alteráveis (feldspatos e biotitas) diminui, embora ainda estejam presentes, podendo indicar uma evolução pedológica em climas mais úmidos que aqueles da evolução do leque aluvial; entretanto tal umidade ainda seria insuficiente para alterar, por completo, aqueles minerais facilmente alteráveis. Apesar de presentes, estes minerais apresentam comumente evidências de alterações, estando

freqüentemente cariados, feição típica de minerais que passam por processos de alteração. A presença de estrutura prismática e esquelética poderiam indicar que, nesta porção do antigo solo, existiriam argilas expansivas em sua composição.

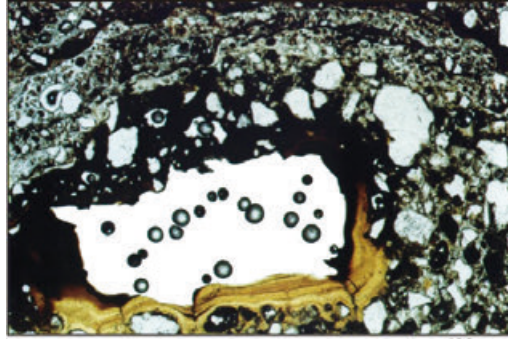


Fig. 5 - Cutã de iluviação associado a pedotúbulo. Nas bordas deste observa-se a orientação do esqueleto (LN; 2,5x).

Já no horizonte com blocos angulosos (Bt_1), os pedotúbulos e cutãs reaparecem e a diversidade de estruturas plásmicas é maior. Neste horizonte são nítidos e exclusivos os pédodos. Conforme descrito, estes se apresentam ocupando porosidades no interior de *krotovinas*, portanto a silicificação não foi contemporânea ao preenchimento da *krotovina*, ocorrendo primeiramente o preenchimento do pedotúbulo, a formação de porosidade de menor porte em seu interior e, posteriormente, a impregnação do material por sílica, formando os pédodos.

Comparando-se o horizonte prismático com o de blocos, percebe-se que estes não guardam qualquer relação entre si e, portanto, conclui-se que se trata de um perfil constituído por paleossolos polifásicos.

O horizonte maciço do topo não apresenta qualquer feição pedológica e também não há poros. Aparentemente trata-se de materiais que recobriram o horizonte em blocos angulosos e não de um horizonte A/E, como interpretado em campo, pois a presença de minerais facilmente alteráveis aumenta em relação ao horizonte inferior, indicando não apresentar qualquer evolução pedogeoquímica.

Em relação aos perfis descritos anteriormente, o perfil 3 apresenta certas características que lhe são exclusivas. A pequena participação de minerais facilmente alteráveis é acompanhada por um aumento significativo nas proporções de plasma em todas as lâminas observadas, especialmente as do horizonte com estruturas pedológicas, indicando um processo mais intenso de intemperismo em relação aos perfis 1 e 2.

Nas lâminas correspondentes à porção inferior, com estruturas sedimentares preservadas, observa-se a presença de menor quantidade de feições pedológicas, ocorrendo eventualmente pedotúbulos de pequenas dimensões (que poderiam estar associados a raízes de algumas plantas com enraizamento mais profundo), estando a porosidade associada aos pedotúbulos totalmente ou parcialmente preenchidas por cutãs de iluviação. Observa-se que nestas posições, os cutãs são exclusivamente associados aos pedotúbulos, que devem ter possibilitado a migração de colóides de horizontes superiores, pois os

mesmos não são observados em ortoporos de empilhamento. Há aumento nítido na ocorrência de feições pedológicas em direção ao topo (glébulas, cutãs e pedotúbulos), evidenciando um nível de transição entre os materiais com estruturas sedimentares e aqueles com estruturas pedológicas. A presença de cutãs aumenta em direção ao topo e a amostra em que são mais representativos corresponde, exatamente, ao topo do perfil silicificado, evidenciando que este paleossolo pode ter tido seu horizonte A truncado por processos erosivos, já que um horizonte prismático caracteriza um horizonte B.

4 – Conclusões

As observações indicam que os materiais analisados apresentaram, em algum momento de sua evolução, uma pedogênese. Estas evidências são bem marcadas através, não só das feições pedológicas presentes, mas também na organização destas, correspondendo ao observado na macromorfologia. A diversidade dos perfis estudados, somando-se às informações macroscópicas e microscópicas, permite deduzir algumas características ambientais da evolução destes solos: 1. A presença de minerais facilmente intemperizáveis em alguns horizontes, e a iluviação de argila permitem indicar que o clima onde estes solos evoluíram provavelmente corresponderia a um tropical seco, mesmo semi-árido, mas com presença de água suficiente (ao menos sazonalmente) para explicar as evidências de pedogênese e hidromorfia nos horizontes pedológicos; 2. A paisagem da época da evolução do solo apresentava domínios com boa drenagem e outros com forte impedimento hídrico, indicando uma topografia colinosa, com áreas com uma drenagem vertical importante e outras em posições rebaixadas com acúmulo de água; 3. A evolução pedológica nos materiais analisados indica tratar-se de perfis truncados, portanto passaram por um processo erosivo anterior à implantação subsequente de um sistema deposicional na forma de leques aluviais que recobriu os paleossolos; 4. Ao menos no perfil 2 há evidências de tratar-se de paleossolos polifásicos, pois apresenta horizontes que não guardam relação entre si, indicando pequenos eventos deposicionais neste local alternados com a evolução dos paleossolos.

Agradecimentos – o primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa produtividade em pesquisa e pelo Projeto Universal – processo 483823/2011-2

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. & BARBOSA, O. (1953) - Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. *Bol. Div. Geol. Min., DNP*, 143, p. 1-96.
- ANDREIS, R. R. (1981) – Identificación e Importancia Geológica de los Paleosuelos. Editora da UFRGS, Porto Alegre. 67p.
- ATKINSON, C. D. (1986) - Tectonic control on alluvial sedimentation as revealed by an ancient catena in the capella Formation (Eocene) of Northern Spain. In: Wright, V. P. (eds.). *Paleosols: their recognition and interpretation*. Princeton, p. 139-179.
- BRANDT NETO, M., COIMBRA, A. M., BARELLI, N. & SPILLER, L. R. (1981) – Sedimentos da Serra de Itaqueri: Formação Bauru e cobertura cenozóica. *A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, SBG/São Paulo*, p. 63-86.

- BREWER, R. (1976) - Fabric and Mineral Analysis of Soils. In: Robert E. (eds.). Krieger Publishing Company, 482 p.
- FIRMAN, J. B. (1994) - Paleosoils in laterite and silcrete profiles evidence from the South East Margin of the Australian Precambrian Shield. *Earth Science Reviews*, 36, p. 149-179.
- KRAUS, M. (1992) - Alluvial response to differential subsidence: Sedimentological analysis aided by remote sensing, Wilwood Formation (Eocene), Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Sedimentology*, 39, p. 455-470.
- MELO, M. S. & PONÇANO, W. L. (1983) – Gênese, Distribuição e Estratigrafia dos Depósitos Cenozóicos no Estado de São Paulo. *IPT*, São Paulo, 74 p.
- MILNES, A. R., WRIGHT, M.J. & THIRY, M. (1991) - Silica accumulation in saprolites and soils in South Australia. In: Occurrence, Characteristics and the Genesis of Carbonate, Gypsum and Silica Accumulations in Soils. *Soil Sci. Soc. America*. Special Publication, 26.
- RETALLACK, G. J. (1990) - Soils of the Past – An introduction to paleopedology. Unwin Hyman, London. 520p.
- RETALLACK, G. J. (1997) – A Colour Guide to Paleosols. Wiley. Chichester, England, 175p.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. (1976) – Depósitos cenozóicos na região centro sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica*, 16, p. 17-39.
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. (1975) - Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A Classification of related distribution of coarse and fine particles. *Geoderma*, 13, p. 189-200.
- WRIGHT, V. P. (1992) - Paleopedology: strtigraphic relationship and empirical models. In: Martin, I. P. & Chesworth, W. (eds.). *Weathering, Soils and Paleosols*. Elsevier, Amsterdam, Holand, p. 475-499.