



## Geomorfologia e Pedologia

José Pereira de Queiroz Neto

Universidade de São Paulo - FFLCH - Depto. de Geografia

C.P.: 2530, CEP: 1060-970 São Paulo, SP

e-mail: laboped@edu.usp.br

### RESUMO

As interpretações tradicionais da evolução das formas de relevo deixam para a pedogênese um papel secundário e passivo: os solos seriam apenas a parte superficial de um sistema complexo, onde a Estratigrafia/Litologia, a Hidrologia e a Geomorfologia representariam os principais fatores. A caracterização dos solos servia para confirmar idades de superfícies geomorfológicas de erosão ou identificar superposições de materiais diferentes, testemunhando ações erosivas anteriores: a pedogênese testemunharia apenas a maior ou menor estabilidade do relevo.

Resultados obtidos nos últimos 20 anos através da análise estrutural das coberturas pedológicas permitem rever as relações entre Geomorfologia e Pedologia, pela reavaliação do papel da pedogênese na evolução do relevo: 1) a circulação interna das soluções do solo é um fator tão importante no modelado do relevo quanto a erosão superficial; 2) as coberturas pedológicas em equilíbrio dinâmico testemunham condições de menor atividade erosiva, enquanto sistemas de transformação lateral testemunham desequilíbrios hídricos nas vertentes; 3) a presença de *stonelines* e de horizontes sombrios enterrados podem ser apenas resultantes de atividade biológica; 4) a gênese de corpos ferruginosos (cauraças e concreções) pode representar apenas uma etapa da alteração das rochas e formação dos solos, não sendo assim testemunhos de ações paleoclimáticas.

Palavras chave: morfogênese e pedogênese, relação solo/relevo, linhas de pedra, couraças e concreções ferruginosas, coberturas pedológicas, sistemas de transformação dos solos.

### RESUMÉ

Les interprétations classiques de l'évolution des formes du relief ne laissent à la pédogenèse qu'un rôle secondaire: les sols ne seraient que la part superficielle d'un système complexe, où la Stratigraphie/Lithologie, l'Hydrologie et la Géomorphologie constitueraient les facteurs prépondérants. La caractérisation des sols n'était faite que pour confirmer l'âge des surfaces d'érosion ou alors pour identifier d'éventuelles superpositions de matériaux différents, témoins d'actions érosives passées: la pédogenèse témoignerait, tout simplement, la plus ou moins grande stabilité du relief.

Des résultats récents obtenus par l'emploi du procédé de l'analyse structurale des couvertures pédologiques ont permis de mieux évaluer l'importance de la pédogenèse pour la Géomorphologie: 1) la circulation interne des solutions du sol est aussi importante que l'érosion dans le façonnement du modelé; 2) les couvertures pédologique en équilibre dynamique sont des témoins d'actions érosives moins actives, tandis que les systèmes à transformations latérales témoignent des déséquilibres hydriques; 3) la présence des *stone lines* de même que des horizons sombres enfouis peut témoigner de la bioturbation des sols; 4) la genèse des cuirasses ferrugineuses peut tout simplement représenter une étape de l'altération des roches et de la formation des sols, et non pas témoigner d'une action paleoclimatique.

Mots clé: morphogénese et pédogenèse, rapports sol/relief, stone lines, cuirasses et concrétions ferrugineuses, couvertures pédologiques, systèmes de transformation des sols.

### 1. Introdução

Apesar de lidarem com elementos naturais comuns, Geomorfologia e Pedologia trilharam caminhos diferentes, por momentos tentativamente convergentes. É importante lembrar que as relações entre esses ramos das Ciências da Terra só podem ser estabelecidos a partir do conhecimento das

relações entre seus objetos de estudo, isto é, das relações entre os solos e os relevos. É interessante, também, assinalar que Geomorfologia e Pedologia mantém um vínculo umbelical com outro ramo das Ciências da Terra, a Geologia: ambas provém da transformação pelo intemperismo das rochas presentes na parte emersa da crosta terrestre, envolvendo alteração e erosão. Por aí, todas estabelecem

vínculos com outros ramos das Ciências da Natureza, como a Biologia, Hidrologia, Climatologia, Meteorologia, etc. Mesmo muito sumarizadas, essas observações mostram que Pedologia e Geomorfologia fazem parte de um universo comum.

Além disso, não é nossa intenção apresentar um quadro amplo e completo sobre o conhecimento atual do tema, mas apenas apontar para alguns avanços significativos e polêmicos, do conhecimento dos solos, sobretudo obtidos no meio tropical brasileiro, e que apresentam grande importância para a compreensão das relações entre os solos e os relevos.

De início, serão apresentadas algumas reflexões sobre os caminhos trilhados pela Pedologia e Geomorfologia, desde seus surgimentos como setores do conhecimento mais ou menos autônomos, por volta do último quartel do século XIX. A seguir, serão apresentados alguns pontos onde, tentativamente, buscou-se uma convergência entre as interpretações dos solos e relevos: tratava-se, na realidade, da aplicação de modelos de interpretação da evolução dos relevos, os solos constituindo apenas um elemento solidário e passivo. Essas questões serão tratadas, a seguir, à luz dos novos conhecimentos e avanços alcançados pela Pedologia tropical. Isso leva, como corolário, à percepção da necessidade de repensar os modelos vigentes, para a interpretação da evolução dos relevos, e que os solos intervêm muitas vezes de forma decisiva nos processos: a intenção é apontar novas hipóteses e teorias a respeito das relações solos e relevos, entre a Pedologia e a Geomorfologia.

## 2. Caminhos Iniciais e Bases Conceituais

Os caminhos diferentes percorridos pela Geomorfologia e pela Pedologia são, com certeza, o resultado de suas histórias. Jungerius (1985) havia assinalado, ainda, que haveria mesmo uma contradição curiosa: sua revisão bibliográfica indicava, na época, que parecia ter o solo papel mais importante para a Geomorfologia do que o relevo para a Pedologia. No entanto, essa impressão não é confirmada pela consulta aos respectivos manuais: enquanto os de Pedologia consideravam o relevo um importante fator de formação dos solos, a importância dos solos para o desenvolvimento do relevo era negligenciada, com notáveis exceções.

Desde seu início, a partir dos trabalhos do geólogo Dokuchaiev, o estudo dos solos esteve ligado aos problemas de sua utilização agrícola e necessitou estabelecer suas características e propriedades de modo preciso. Foi buscar nas Ciências exatas (Física, Química) e Naturais (Biologia, Mineralogia) o apoio e aporte para tanto. O avanço do conhecimento deu-se, paralelamente, entre as observações do seu objeto na natureza e as medidas,

cada vez mais precisas, de suas propriedades. É interessante constatar que hoje em dia é possível pensar na existência, lado a lado, de duas Pedologias: uma a "reboque" das Ciências Exatas e Naturais, que busca interpretar todos os aspectos dos solos através de medidas e modelos (um exemplo nos é dado, entre outros, pela Soil Taxonomy), e outra como uma Ciência da Natureza, que procura estudar a organização dos solos através de sua morfologia, espacialidade e integração na paisagem, para só então recorrer à medidas de laboratório; o exemplo mais completo desta direção é o da Análise Estrutural ou Tridimensional das Coberturas Pedológicas, da qual falaremos mais adiante.

Com certeza, essa vizinhança "incomoda" para a Pedologia levou os pesquisadores a refletir sobre "sua Ciência", o que finalmente levou dois pesquisadores a propor como temas de teses de doutoramento trabalhos sobre a Epistemologia das Ciências do Solo (Chatelin, 1979 e Marcos, 1979), e isso independentemente um do outro (respectivamente na França e no Brasil). Eventual reflexo de autoafirmação por parte dos pedólogos mas, sobretudo em Chatelin, também a necessidade de estabelecer um balanço, *faire le point* dos avanços do conhecimento sobre essa Ciência e às conseqüentes mudanças de conceitos e paradigmas.

A nosso conhecimento, não existe nenhum trabalho de fôlego sobre Epistemologia da Geomorfologia: sua necessidade de afirmação passa por caminhos diversos dos da Pedologia, talvez por estar mais vinculada às Ciências da Natureza do que às Ciências Exatas.

Não custa lembrar que a Geomorfologia também nasce das "mãos" de um geólogo, Davis, mas muito rapidamente foi "abocanhada" pela Geografia, afastando-se bastante e até hoje, a não ser pelo seu ramo quantitativo, das Ciências Exatas. Porém, seu nascimento marca sua caminhada: deu-se através da formulação de modelo abstrato de evolução do relevo, como assinala ainda Jungerius (1985), e como conseqüência de processos erosivos agindo sobre as rochas, durante certo espaço de tempo. Essa herança davisiana se traduz, até hoje, pelo emprego de modelos abstratos de interpretação da gênese e evolução das formas de relevo; por exemplo, a substituição do conceito de penepiano pelo de pedimento e pediplano: apesar de que estes foram definidos concretamente no sopé das Montanhas Rochosas, foram estendidos como modelo para regiões intertropicais úmidas.

É verdade que, sobretudo a partir da segunda metade deste século, os geomorfólogos perceberam a importância para o conhecimento das formas, do estudo das formações superficiais das vertentes, relacionadas às alterações das rochas (alteritas, solos, materiais retrabalhados) e que por erosão e sedimentação compõem as formações

sedimentares clássicas de construção (terraços fluviais e marinhos, aluviões, depósitos morainicos). Assim, também passou a empregar conhecimentos teóricos, técnicas e procedimentos das Ciências Exatas e Naturais. É preciso ressaltar que não foi esse o caminho que criou a Geomorfologia Quantitativa, mas sim a incorporação da Teoria de Sistemas.

### 3. Visão Tradicional das Relações entre Solos e Relevo

De modo geral, tanto pedólogos quanto geomorfólogos estão hoje de acordo com a idéia de que os solos, aparecendo virtualmente em todas as posições do relevo, tem sua história ligada à própria história do relevo, tanto localmente quanto regionalmente (McFadden, 1990). Mas o solo teria, aparentemente, apenas um papel secundário: seria "apenas a parte superficial de um sistema complexo, controlado grandemente pela estratigrafia, geomorfologia e hidrologia" (Daniels & Hammer, 1992).

Dessa relação, sobressairia a correspondência entre a "idade" das superfícies geomórficas e a dos solos. O solo registraria "ganhos e perdas para as superfícies geomórficas, sendo assim especialmente apropriado para interpretar a evolução das diversas formas de relevo" (McFadden & Knuepfer, 1990). Como isso seria apreciado? Entra aqui a idéia de cronossequência, tratada de duas formas: de um lado, investigando o grau de evolução ou de desenvolvimento dos perfis de solo, baseado em características de campo; de outra parte, através da determinação de seqüências de intemperismo, apreciadas pela mineralogia, uma antiga proposta de Jackson *et al.* (1948), pelo grau de perdas das de bases ou aumentos de teores de argila ou carbono (Jenny, 1941).

Ao princípio da correspondência entre as "idades" dos solos e as das superfícies geomórficas (de modo geral, leia-se de erosão), adicionou-se outro, o da estabilidade/instabilidade dos solos e relevos nas paisagens. Baseava-se na Teoria da Biostasia e Rexistasia, de Erhart (1956), que redundou no princípio do antagonismo entre pedogênese e morfogênese, esta sendo empregada como sinônimo de erosão mecânica (Tricart e Michel, 1965). Essa idéia passa a ser aplicada, sobretudo nas regiões tropicais, para explicar e interpretar diferenciações pedológicas em superfícies geomorfológicas diversas, inclusive resultantes de oscilações climáticas quaternárias, e até mesmo terciárias, quando se tratava de velhas superfícies de erosão preservadas.

A partir do emprego desses princípios, os trabalhos sobre Solos para a Geomorfologia teriam pelo menos um dos seguintes objetivos: determinar

cronossequências de solos, que seriam utilizadas como marcadoras e auxiliares na estimativa da idade/cronologia dos depósitos superficiais e/ou depósitos correlativos; empregar os solos como indicadores de maior ou menor estabilidade das paisagens; determinar propriedades dos solos indicadoras de mudanças climáticas; finalmente, relacionar o desenvolvimento dos solos, a infiltração da água no solo e o escoamento superficial das águas de chuva, provocando erosão nas vertentes (Birkeland, 1990).

Esses princípios foram empregados, no Brasil, para interpretar a evolução das paisagens, tendo o solo não só como um seu integrante como, também, indicador de processos e mecanismos de evolução.

Provavelmente, a tese de Feuer (in Belcher & Ass. 1956) foi pioneira ao estabelecer relações entre os solos e superfícies de erosão terciárias e quaternárias do Distrito Federal, Brasília. Uma das particularidades desse trabalho foi integrar a presença de couraças ferruginosas e solos concrecionários, aos quais propôs denominar "Lixossolos", como testemunhos de ações passadas de intemperismo, vinculadas à gênese daquelas superfícies de erosão. Suas interpretações foram na direção que vai ser proposta logo a seguir por Maignien (1958), para interpretar a presença desses corpos ferruginosos na África: tratar-se-ia de um fenômeno compatível com a escala geológica de evolução das paisagens tropicais.

O trabalho de Feuer, que parece ter sido pouco conhecido entre nós, da mesma forma que a interpretação proposta por Bennema *et al.* (1962) para a distribuição dos solos na América do Sul, contendo pelo menos parte daquelas idéias: nas partes de relevo suave, correspondente à antigas superfícies de erosão e sobre materiais detríticos, apareceriam Latossolos, enquanto nas de relevo mais acidentado, rejuvenescido pela erosão mas em relação direta com o substrato geológico, apareceriam solos Podzólicos Vermelho Amarelos e Litosolos pouco desenvolvidos. Essas relações irão dominar as interpretações a respeito das relações entre os solos e os relevos até o dias de hoje. Por exemplo, na interpretação dos solos da Serra de Santana, havíamos tentado detalhar essas relações entre os Latossolos e os Podzólicos Vermelho Amarelo e o relevo, estabelecendo cronossequências baseadas em características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas (Queiroz Neto, 1969). Por outro lado, trata-se, talvez, do primeiro trabalho que procurou estabelecer de modo mais sistemático, uma distinção entre material de origem dos solos e o substrato geológico, além de incorporar as idéias sobre a antiguidade dos corpos ferruginosos, como forma de estabelecer cronologias entre superfícies de erosão.



Mais tarde, aplicando hipóteses derivadas de trabalho não publicado de Daniels, segundo o qual as formas de relevo podem ser dissociadas em superfícies geomórficas que se sucedem ao longo das vertentes, desde a posição cimeira, Lepsch et al. (1977a, 1977b) interpretaram seqüências de solos ao longo das vertentes, como relacionadas à gênese das formas por processos erosivos.

Na tentativa de interpretar os materiais de origem dos solos, envolvendo conceitos de discontinuidades erosivas, de paleossolos enterrados e de diagnóstico de características reliquiais, sobretudo de solos velhos, passou-se a empregar um procedimento que pode ser denominado de dissociação vertical dos horizontes, tal como propuzera Firmann (1969, 1977), para o estabelecimento de correlações pedoestratigráficas no sul da Austrália.

Um dos pontos de partida para o emprego do procedimento da dissociação vertical de horizontes foi sem dúvida o trabalho de Ab'Saber (1962), sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados, que também poderia ser denominado complexo da *stone-line*. As propostas de Ab'Saber passam a ser empregadas como referencial da presença de materiais retrabalhados, testemunhos de paleoclimas semi-áridos do final do Pleistoceno. Aos conceitos desenvolvidos nesse trabalho é possível acrescentar aqueles contidos nos trabalhos clássicos de Bigarella e Mousinhos e de Bigarella et al. (1965a, 1965b) que, além da presença das linhas de pedra, de camadas cascalhenta/seixosas e de diferenças texturais, acrescentaram diferenças de cor para distinguir superposição de colúvios. As propostas para a interpretação da evolução do relevo e das vertentes, no Quaternário, estavam sintetizadas num modelo, que contemplava sucessivas fases de erosão em climas secos/áridos e pedogênese em climas mais úmidos, ainda fazendo valer a teoria da biostasia e resistasia.

Resumindo, as relações entre os solos e o relevo, no Brasil, foram interpretadas nas seguintes direções:

- 1- através da posição ocupada pelos perfis na paisagem, relacionada à superfícies geomórficas de diferentes idades;
- 2- pela presença de diferenciações verticais no interior dos perfis de solo, interpretadas como discontinuidades erosivas; essas diferenciações poderiam ser marcadas pela presença de linhas de pedra e de horizontes escurecidos (enterrados);
- 3- pelo estabelecimento de cronosseqüências, através dos resultados de análises laboratoriais e de interpretação da morfologia dos perfis;
- 4- pela presença de corpos ferruginosos (couraças, camadas concrecionárias), que denunciariam processos antigos de intemperismo.

#### 4. A Contribuição dos Estudos Recentes de Pedologia

A análise estrutural da cobertura pedológica, introduzida no Brasil no início da década de 1980 (Queiroz Neto *et al.*, 1981, Lucas *et al.*, 1984), permitiu ultrapassar a visão verticalista da Pedologia, calcada no estudo de perfis isolados, e introduziu a análise detalhada da organização lateral/espacial (tridimensional) da cobertura pedológica ao longo das vertentes. A importância da utilização desse procedimento foi ressaltada por Boulet (1992):

- 1- permite mostrar a participação dos processos superficiais na diferenciação lateral da cobertura pedológica;
- 2- possibilita perceber o papel e a importância dos processos geoquímicos e pedológicos na evolução do relevo.

Através da utilização do novo procedimento, foi possível mostrar que a cobertura pedológica é contínua ao longo das vertentes e que as diferenciações registradas dizem respeito a sistemas de transformação lateral e não a perfis justapostos, como a visão anterior obtida pelo estudo de perfis verticais levava a pensar; é importante assinalar que o conceito de catena, proposto por Milne em meados da década de 30, baseava-se justamente na idéia de justaposição de perfis verticais ao longo das encostas.

Tanto os trabalhos realizados no vale do rio do Peixe e no platô de Marília quanto na região de Bauru, no estado de São Paulo, mostraram que as coberturas pedológicas compreendiam a transformação lateral de solos com horizonte B latossólico, com estrutura microagregada e ocupando a parte alta das encostas, para solos com horizonte B textural vertente abaixo, com acentuada diferenciação vertical de horizontes e estrutura subangular poliédrica bem desenvolvida. Além disso, os diferentes horizontes observados verticalmente correspondem a seqüências de transformação pedológica, onde intervêm processos complexos de perda de argila e sesquióxidos de ferro: teses de Doutorado e dissertações de Mestrado trabalharam exaustivamente essas questões (Fernandes Barros, 1985; Castro, 1990; Salomão, 1994; Santos, 1995). Esses trabalhos, na esteira das observações de Boulet na Guiana Francesa, indicam que esses sistemas de transformação iniciam-se na base das vertentes e tendem a invadi-la remontantemente: como assinalado por Pellerin e Queiroz Neto (1992a, 1992b), as coberturas pedológicas de parte das colinas ao longo do rio do Peixe já encontram-se totalmente transformadas em solos com horizonte B textural. Por outro lado, como havia sido assinalado por Bocquier (1971), esses sistemas atuam por autodesenvolvimento: uma vez desencadeados, eles se manifestarão enquanto as condições

forem favoráveis que, no caso, são representadas essencialmente por água e declividade.

A extrapolação, a nível regional, permitiu relacionar os dois principais sistemas pedológicos presentes no oeste do estado de São Paulo com as formas de relevo, e estabelecer seqüências dos eventos responsáveis (Pellerin e Queiroz Neto, 1992a, 1992b). As coberturas latossólicas, derivadas da alteração das formações geológicas regionais, recobrem a totalidade das vertentes, passando somente na sua parte final para solos hidromórficos; representam ao mesmo tempo uma pedogênese inicial, precedente, e uma pedogênese ainda atuante. Os solos com horizonte B textural representam uma transformação dessa pedogênese latossólica, portanto posterior porém contemporânea à evolução do modelado das vertentes: a disposição dos horizontes argílicos mostra que a transformação da estrutura microagregada em estrutura poliédrica e a formação dos horizontes lixiviados superficiais acompanham a forma das encostas, indicando que a pedogênese e a morfogênese são contemporâneas. Pellerin e Queiroz Neto (1992a, 1992b) mostraram, ainda, que processos erosivos penecontemporâneos da instalação dos sistemas pedológicos de transformação lateral, também são responsáveis pela modelagem das vertentes, provocando o preenchimento do fundo dos vales com sedimentos: há um balanço equilibrado entre erosão superficial e as transformações pedológicas que resultam no aprofundamento dos horizontes lixiviados.

Esses resultados levam a rever as interpretações anteriores, tanto no que diz respeito à presença de colúvios super-postos (Queiroz Neto e Journaux, 1978), quanto à de superfícies geomórficas embutidas e de idades relativas diferentes (Lepsch *et al.*, 1977): trata-se de vertentes cujas formas evoluíram conjunta e solidariamente com os sistemas de transformação pedológica e os processos erosivos.

O exemplo das coberturas pedológicas de Paulínia (Boulet, 1992, Boulet *et al.*, 1995) mostra também uma evolução com uma sucessão pedogênese - erosão localizada - pedogênese, que permite traçar o desenvolvimento da forma atual do relevo.

A influência da atividade biológica nos materiais superficiais, envolvendo tanto seus retrabalhamentos quanto a gênese de feições pedológicas especiais tem sido negligenciada entre nós, sobretudo a partir da revisão efetuada por Ab'Saber em 1962 a respeito das linhas de pedra. Essa revisão constituía uma resposta à sugestão de Cailleux (1957) de que essas linhas de pedra - *stone-lines* poderiam ser o resultado do transporte seletivo e *per ascensum* de partículas finas, por termitas. Refutando essa idéia, Ab'Saber aponta para uma interpretação paleogeográfica, representando as pedras um paleopavimento detriticos, testemunho de clima árido pretérito.

No entanto, a pesquisa de Miklos (1992), pioneira no Brasil, propõe uma interpretação biogeodinâmica para a evolução da cobertura pedológica em Botucatu, relançando a discussão sobre a ação da meso fauna do solo. Trata-se, nesse caso, de cobertura pedológica complexa, originada da alteração de arenitos da Formação Marília, nas partes altas das colinas, e de basaltos da Formação Serra Geral sotopostos; além disso, ao longo das vertentes, observa-se a presença de horizontes escuros, subsuperficiais, e de linhas de seixos. Os resultados, apoiados em datações absolutas com C14, permitiram mostrar que a evolução da vertente e as transformações pedológicas, inclusive o remanejamento biológico, são muito rápidas, numa estreita escala temporal. A paisagem teria sofrido a ação de incêndios entre 6.100 e 4.400 anos BP, testemunhados pela presença de carvões em profundidade. Após os incêndios, houve um remonte biológico de materiais, que soterram os antigos horizontes superficiais com carvão que passam a constituir o horizonte escuro (sômbrico) de subsuperfície: os agregados granulares remontados são de origem principalmente biológica. Por outro lado, a *stone-line* subjacente aos carvões é cronologicamente anterior. Mais a montante na vertente, uma segunda fase de remonte biológico de agregados é responsável pelo soterramento de um segundo horizonte sômbrico aí situado. Segundo Miklos (1992), os mecanismos das transformações da cobertura pedológica apresentariam duas componentes principais: a fauna do solo e o pedoclima. Enquanto as condições climáticas permitem a manutenção da atividade biológica, os dois fatores impõem conjuntamente suas dinâmicas opostas: a frente biológica de macroagregação e a frente pedoclimática de desagregação (exportação de argila). Essas direções são contrárias, como afirma o autor, porque a fauna do solo coleta argila onde ela se forma, na frente de altero-pedoplasmação, e a deposita onde ela se destroi, na superfície.

Ainda em relação à presença de feições especiais nos solos, como nívéis concrecionários e couraças ferruginosas, que eram interpretadas como testemunhos de condições ambientais diversas das atuais, as pesquisas de Kertzman (1989) e Ladeira (1995) em coberturas pedológicas originadas de basaltos na região de GUAIRA, mostraram que:

- 1- os Latossolos roxos podem provir da alteração da rocha e/ou de couraças ferruginosas;
- 2- as couraças ferruginosas representam uma etapa da alteração do basalto até a formação do solo: ela contém na base litorelíquias da rocha sob a forma de nódulos, que rarefazem-se em direção ao topo;
- 3- as couraças alteram-se soltando nódulos ferruginosos milimétricos, que chegam a formar a montante uma camada de concreções, com material intersticial de microagregados, que passam a constituir o essencial da estrutura dos Latossolos Roxo;

4-a quantidade de concreções diminui para o alto da cobertura pedológica, ao mesmo tempo que passa a dominar a estrutura microagregada.

Situação análoga foi encontrada em Londrina (Fernandes Barros e Queiroz Neto, 1994), sobre material de origem similar ao de Guaira: as couraças foram encontradas sobretudo nos sopés das vertentes, circundando pequenos cursos d'água ou cabeceiras semi-circulares de nascente. Aqui como em Guaira, essas formas representam situações de aprofundamento do relevo por processos geoquímicos. Em Londrina, a presença de um poço no topo da colina permitiu constatar a presença de restos de couraça sotopostos ao Latossolo Roxo e sobrepostos ao basalto: esse exemplo permite afirmar que as couraças tiveram extensão maior do que a representada por seus afloramentos mais conspícuos.

Esses resultados mostram serem essas couraças, ao mesmo tempo, testemunhos de um processo anterior de alteração e pedoplasmação, e corpos de passagem/transição entre rocha e solo, presentes de modo bastante contínuo nessas paisagens sobre rochas básicas. Ao contrário do que se pensava anteriormente, hoje em dia parece temeroso interpretar-las como testemunho de épocas revoltas: como observaram Beauvais e Tardy (1991) e Tardy (1993), sob clima tropical com estações alternantes a couraça se destrói pela parte superior mas, simultaneamente, se reconstitui pela base.

Boulet (1992) cita o exemplo de Manaus, onde a evolução do relevo dependeria essencialmente de processos geoquímicos e pedológicos, identificados inicialmente por Lucas *et al.* (1984) e estudados exaustivamente por Lucas (1989) na sua Tese de Doutorado.

O relevo da região é constituído por extensos platôs de topo bastante plano, entalhados por vales profundos. No topo desses platôs, os Latossolos amarelos são espessos e argilosos, com estrutura microagregada; na base dos perfis observa-se a presença de níveis com nódulos gibbsíticos e ferruginosos, que representam transições entre a rocha sedimentar e o solo. Nesse processo, há uma exportação importante de sílica. Nas superfícies inclinadas em direção aos vales, observa-se uma cobertura contínua, porém com diminuição progressiva do teor de argila, na totalidade da cobertura pedológica até o aparecimento de Podzóis gigantes, com mais de 5 m de espessura e menos de 2% de argila. Na parte superior dessa cobertura pedológica contínua, a caulinita é hidrolisada sob a ação da matéria orgânica, com exportação da sílica. O eventual excesso de alumínio forma nódulos gibbsíticos, que são também instabilizados pela ação complexante da matéria orgânica ácida.

A evolução do relevo resultaria, essencialmente, desses processos geoquímicos e pedológicos: a água atravessa continuamente a cobertura

pedológica do platô, sua ação exportadora de sílica e alumínio se intensificando para jusante. Aumentando a quantidade de matéria dissolvida, aumenta paralelamente a incisão geoquímica dos vales e o recuo das vertentes: as ações são mais importantes para jusante das encostas e, também, para jusante do vale principal. As observações mostram que para montante do principal eixo de drenagem, as superfícies inclinadas praticamente não existem, enquanto para jusante elas desenvolvem-se cada vez mais, passando primeiro a retilíneas e posteriormente a côncavas. Trata-se, assim, de um processo de transformação remontante, tanto ao longo das vertentes a partir de sua base, quanto dos vales. Os degraus e pequenos patamares arenosos embutidos ao longo dos vales constituiriam os testemunhos desses processos, e não terraços fluviais Pleistocênicos como se pensara anteriormente.

A presença de depressões fechadas em rochas ácidas tem sido alvo de trabalhos de pesquisa. Na Bacia de Taubaté, Latossolos espessos derivam da alteração das rochas sedimentares: Filizola e Boulet (1993) e Filizola (1994) estudaram esses solos e as depressões fechadas às quais estão associados, mostrando que a evolução das formas do relevo dá-se principalmente por processos geoquímicos. Com efeito, os Latossolos ocupam praticamente toda a vertente, sobrepostos a níveis de argilitos da rocha sedimentar: para a base da vertente, a coloração torna-se esbranquiçada e, já no interior das depressões, passa a um material turfoso que, no sopé da vertente acha-se enterrado por material coluvial, que pode atingir mais de 1m de espessura. Datações efetuadas nos materiais orgânicos indicaram idades que variaram de 12.500 a 17.000 anos BP. A disposição das turfeiras, acompanhando a forma côncava da inserção da vertente na depressão, indica sua deformação pelo afundamento desta última: esse afundamento dar-se-ia num ritmo da ordem de 1 a 2 mm por ano. Os vales de fundo côncavo, com cabeceiras em forma de anfiteatro aberto ou mesmo de depressão, mostrando também a presença de turfeiras deformadas nos sopés das vertentes, às vezes recobertas por coluviões pouco espessos, teriam a mesma dinâmica: a erosão geoquímica, aprofundando os vales, aumentaria os declives nas vertentes, enquanto o coluvionamento tenderia a diminuir-los, sem no entanto compensar o entalhe geoquímico.

O vale do rio Inferninho, na porção central do litoral catarinense, acha-se encaixado em migmatitos e granitos intrusivos pré-cambrianos das Serras do Leste Catarinense. Na localidade de Sorocaba do Sul, nesse vale, o relevo é constituído por colinas de topos arredondados, com encostas convexas de declividade elevada e desníveis, em relação ao fundo do vale, que podem atingir mais de 50 m. As coberturas pedológicas estudadas por Beltrame *et al.* (1991) e Beltrame (1997) apresen-



tam sucessão vertical de horizontes que acompanha a topografia: nos primeiros 20 cm, em toda a vertente, um horizonte bruno escuro com interpenetração no imediatamente sotoposto, que tem coloração amarelada, estrutura prismática a poliédrica fina subangular; a passagem para o substrato alterado, com coloração vermelha e estrutura da rocha conservada e litorelíquias, é progressiva, por um horizonte de transição para a zona de alteroplasmação, de coloração variegada. Enquanto os horizontes pedoplasmados apresentam textura argilosa, a alterita é silto-argilosa a areno-argilosa. A única variação lateral importante é encontrada no sopé da vertente onde, sob ação de hidromorfia, aparecem horizontes gleisados acinzentados; com o aumento da declividade nas encostas, há uma diminuição da espessura do horizonte amarelado e os mais vermelhos se aproximam da superfície.

Nos topos ondulados e convexos dessas colinas observam-se numerosas depressões. Num desses topos, as pedotoposequências ao atravessarem as depressões mostram que os horizontes pedológicos e de alteração apresentam uma inflexão e afundamento, os primeiros mudando a coloração para mais avermelhado. Na parte central, entre esses horizontes aparece um outro amarelo, sobreposto a um material mosqueado, contendo nódulos de manganês. Estes últimos, exclusivos da parte central das depressões, resultam de transformações laterais pelo aumento de umidade e hidromorfia, e os nódulos de manganês representariam acumulações absolutas por aporte de soluções. No interior dessas depressões não há nenhum indício da presença de material coluvial.

A repetitividade e frequência das depressões nos topos das colinas, como assinalado por Beltrame (1997), cerca de 14 no espigão que acompanha a margem esquerda do rio Inferninho, mostra tratar-se de feição normal do relevo. Assim, como na Bacia de Taubaté, várias depressões em Sorocaba do Sul apresentam um colo mais baixo, que representa o início de uma forma côncava muito aberta e que atinge o sopé da vertente: muitas delas ainda não apresentam nenhum sinal de escoamento superficial, mesmo durante a estação mais chuvosa. Essas formas parecem constituir os embriões de futuras incisões onde se instalarão escoamentos superficiais e erosões. Esses aspectos permitem deduzir que o motor inicial da modelagem do relevo é de natureza essencialmente geoquímica: somente depois que as incisões alcançam certa profundidade e suas bordas laterais declividades bastante fortes, a erosão superficial começaria a atuar. Apesar de haver poucos indícios de erosão atual por escoamento superficial, sobretudo no interior dessas proto-incisões, o fundo do vale do rio Inferninho mostra que ocorreram processos importantes de sedimentação, em passado recente. Ao longo do vale principal aparecem terraços com

troncos enterrados entre os sedimentos, cuja datação indicou uma idade de 2.140 anos BP, mostrando que o preenchimento deu-se rapidamente no Holoceno, a partir de material erodido das vertentes.

## 5. Considerações Finais

Os exemplos apresentados acima, mostram que é preciso rever com cuidado os conceitos, direções e procedimentos de estudo que anteriormente orientaram as interpretações das relações entre os solos e o relevo, face aos seguintes aspectos:

1- a circulação interna da água é responsável por ações geoquímicas que redistribuem ou eliminam elementos das vertentes, provocando modificações na formas e gerando novas feições, antecedendo ou acelerando processos erosivos superficiais. Dessa maneira, a evolução do relevo não resulta da sucessão de processos paleoclimáticos ou de oposição entre pedogênese e morfogênese (respectivamente climas mais úmidos e mais secos): pedogênese e morfogênese podem atuar contemporânea e solidariamente.

2- Precisa ser revista a questão da origem dos Latossolos a partir de materiais detríticos lateríticos retrabalhados: as pesquisas empregando o procedimento da análise estrutural da cobertura pedológica mostram que, de modo geral, não há discordâncias entre esses solos e os substratos geológicos sotopostos, ao contrário do que pensava-se anteriormente.

Além disso, a presença de linhas de seixos em profundidade, acompanhando ou não a topografia, não pode ser interpretada simplesmente como paleopavimento desértico, testemunho de climas mais áridos, pois pode ser resultado da ação seletiva da mesofauna do solo.

3- Em relação ao relevo, as coberturas pedológicas latossólicas microagregadas não podem ser interpretadas como correlativas de superfícies de erosão terciárias ou antigas, pois elas não ocorrem preferencialmente nas posições cimeiras dos relevos:

a) elas podem ser encontradas recobrimdo de modo quase contínuo as colinas que IPT (1981) denominou colinas amplas, com vertentes de menor declividade, passando próximo ao sopé, a solos hidromórficos: são coberturas pedológicas ditas em equilíbrio dinâmico.

b) recobrimdo topos de colinas menores, com vertentes mais curtas e mais declivosas, onde aparecem diferenciações pedológicas sob a forma de horizontes superpostos, o lixiviado sobre o B textural com estrutura subangular poliédrica, por cima da organização microagregada latossólica basal, esta em continuidade à da parte cimeira. Compõem

coberturas pedológicas com sistemas de transformação lateral: os horizontes transformados são paralelos à topografia atual, indicando contemporaneidade de suas evoluções.

4- É preciso também lembrar que a microagregação característica dos Latossolos pode ter origem geoquímica/estrutural ou biológica; suas origens, além disso, apontam para processos contínuos no tempo e no espaço, e não à condições paleoclimáticas diversas.

5- As diferenciações laterais das coberturas pedológicas também são indicadoras de circulação diferenciada de soluções, que mobilizam, transportam e redistribuem elementos: é provável que essa situação tenha sido causada, inicialmente, por desequilíbrios hídricos (mudança climática?, tectônica?, mudança do nível de base?). Nem sempre é possível, por enquanto, situar esses processos no tempo, entre outras coisas porque uma vez instalados, os sistemas de transformação prosseguem remontanamente nas encostas, por autodesenvolvimento.

6- A presença de corpos ferruginosos, couraças ou material concrecionário, representariam uma etapa no caminho da alteração das rochas para a formação dos solos, que ocorreria também continuamente por autodesenvolvimento, não referindo-se, assim, a paleo-processos nem à eventual antiguidade de solos e materiais.

7- A análise estrutural da cobertura pedológica não só está abrindo novos caminhos para o estudo da pedogênese, como também aparece como um instrumento de grande relevância para o estudo da gênese e evolução das formas e feições dos relevos.

## Bibliografia

- Ab'Saber, A.N. (1962) Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados do Brasil Oriental. Bol. Univ. Paraná, Inst. Geol., Geogr. Fís. 2:1-32.
- Beauvais, A. e Tardy, Y. (1991) Formation et dégradation des cuirasses ferrugineuses sous climat tropical humide, à la lisière de la forêt équatoriale. Paris, C.R. Acad. Sci. Paris, série II:1539-1545.
- Belcher, D.J. e Associates, Inc. (1956) Relatório técnico sobre a nova capital da República. Rio de Janeiro, 2ª ed., DASP, Serv. Docum., 291 p.
- Beltrame, A. (1997) Estudo das propriedades físicas do solo, visando conhecer seu funcionamento hídrico, Sorocaba do Sul - Biguaçu - SC. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, p. (tese Doutorado).
- Beltrame, A.; Boulet, R.; Castro S.S.; Pellerin, J.; Queiroz Neto, J.P.; Rebelo, L.V.; Rebelo, L.F. e Scheibe, L.F. (1991) Dépressions fermées et sols développés sur migmatites du Plateau Atlantique sud-brésilien (état de Sta. Catarina). Caen, "Table Ronde: Organisation et dynamique de la couverture pédologique", (resumos).
- Bennema, J.; Camargo, M e Wright, A.C.S. (1962) Regional contrasts in South American soil formation, in relation to soil classification and soil fertility. Nova Zelandia, Int. Soil Conf., 15 p.
- Bigarella, J.J. e Mousinho, M.R. (1965) Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. Curitiba, Bol. Paran. Geogr. 16 e 17:153-197.
- Bigarella, J.J.; Mousinho, M.R. e Silva, J.X. (1965a) Consideração a respeito da evolução das vertentes. Curitiba, Bol. Paran. Geogr. 16 e 17:89-116.
- Bigarella, J.J.; Mousinho, M.R. e Silva, J.X. (1965b) Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. Curitiba, Bol. Paran. Geogr. 16 e 17:117-151.
- Birkeland, P.W. (1990) Soil-geomorphic research a selective overview. Amsterdão, Elsevier Sci. Publ. B.V., Geomorphology 3:207-224.
- Bocquier, G. (1971) Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Paris, Mém. ORSTOM 62, 350 p.
- Boulet, R. (1992) Uma evolução recente da Pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. Belo Horizonte, III Congresso Abequa, Anais 43-58.
- Boulet, R.; Curmi, P.; Pellerin, J. e Queiroz Netto, J.P. (1995) A contribution to an understanding of landscape development through three dimensional morphological analysis of a pedological cover (Paulinea, State of São Paulo, Brazil). Paris, Géomorphologie: relief, processus, environment, 1:49-59.
- Cailleux, A. (1957) La ligne de cailloutis à la base des sols jaune. Zeitsch. f. Geomorph., Band 1, 312 (transcrito Not. Geomorf. 4, 1959).
- Castro, S.S. (1990) Sistemas de transformação pedológica em Marília: B latossólicos e B texturais. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, 274 p. (tese de Doutorado).
- Chatelin, Y. (1979) Une épistémologie des Sciences du Sol. Paris, ORSTOM, Mémoires 88, 151 p.
- Daniels, R.B. e Hammer, R.D. (1992) Soil Geomorphology. New York, John Wiley & Sons Inc., 240 p.
- Erhart, H. (1956) La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Paris, Masson et Cie. Ed., 90p.
- Fernandes Barros, O.N. (1985) Análise estrutural e cartografia detalhada de solos em Marília, SP. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, 146 p (dissertação de Mestrado).
- Fernandes Barros, O.N. e Queiroz Neto, J.P. (1994) Microagregation des sols, cuirasse ferrugineuse et altérations des basaltes à Londrina (état du Paraná, Brésil). Mexico, Acapulco, 15º Congr. Int. Ci. Solo (resumo expandido).
- Filizola, H. (1994) O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté, S.P.. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, p. (tese de Doutorado).
- Filizola, H. e Boulet, R. (1993) Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique a partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. Paris, C.R. Acad. Sci. 316-11:693-700.
- Firman, J. B. (1969) Paleosols: a stratigraphic definition. Paris, VIII Congr. INQUA, Anais: Études sur le quaternaire dans le monde.



- Firman, J.B. (1977) Paleosols - inter-regional stratigraphic correlations. Birmingham, X Congr. INQUA, Abstracts p. 139.
- IPT (1981) Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (escala 1:1.000.000). São Paulo, Inst. De Pesq. Tecnol. Estado de São Paulo, Div. Minas e Geol. Aplicada, Monogr. 5, 126p. 1 mapa.
- Jackson, M.L.; Tiyir, S.A.; Willis, A.L.; Bourbeau, G.A. e Pennington, R.P. (1948) Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. *J. Phys. Colloid Chem.* 52:1237-1260.
- Jenny, H. (1941) Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Nova Iorque, McGraw-Hill Book Cy. Inc., 281 p.
- Jungerius, P. D. (1985) Soils and Geomorphology. Braunschweig, Catena suppl. 6:1-18.
- Kertzman, F.F. (1989) Modifications de la structure et des propriétés physiques des couches superficielles d'un Latosol Roxo de Guaira (São Paulo, Brasil), soumis à une irrigation par aspersion. Paris, Univ. Paris VI, D.E.A., 48 p.
- Ladeira, F.S.B. (1995) Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaira, SP. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, 93 p., 4 anexos (dissertação de Mestrado).
- Lepsch, I. Buol, S.W. e Daniels, R.B. (1977) Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I- Geomorphic surfaces and soil mapping units; II- Soil morphology, genesis and classification. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 41:104-115.
- Lucas, Y (1989) Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne. Equilibre, déséquilibre et transformation. Poitiers, Univ. de Poitiers, 157 p. (Tese de Doutorado).
- Lucas, Y.; Chauvel, A.; Boulet, R.; Ranzani, G. e Scatolini, F. (1984) Transição latossolos-podzóis sobre Formação Barreiras na região de Manaus, *Rev. Bras. Ci. Solo* 8:325-335.
- Maignien, R. (1958) Le cuirassement des sols en Guiné, Afrique Occidentale. Estrasburgo, Univ. de Strasbourg, Mém. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine, n. 16, 239 p. (tese de Doutorado).
- Marcos, Z.Z. (1979) Ensaio sobre epistemologia pedológica. Piracicaba, USP, ESALQ, 119 p. (tese de Livre Docencia).
- McFadden, L.D. e Knuepfer, P.L.K. (1990) Soil geomorphology: the linkage of pedology and surficial processes. Amsterdam, Elsevier Sci. Publ. B.V., *Geomorphology* 3:197-205.
- Miklos, A.A.W. (1992) Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu (Brésil-SP). Paris, Univ. Paris VI, vol. I - 247 p.; vol. II - fig. e fotos (tese de Doutorado).
- Pellerin, J. e Queiroz Neto, J.P. (1992a) Morfogênese e Pedogênese no córrego da Invernada (Marília, SP). *Belo Horizonte*, 32 Congr. ABEQUA, Anais, 111-120.
- Pellerin, J. e Queiroz Neto, J.P. (1992b) Relations entre la distribution des sols, les formes de relief et l'évolution géomorphologique du relief dans la haute vallée du rio do Peixe (état de S. Paulo, Brésil). *Paris, Sci. du Sol* 30(3):133-147.
- Queiroz Neto, J.P. (1969) Interpretação dos solos da Serra de Santana para fins de classificação. Piracicaba, ESALQ, Dep. de Solos e Geologia, 123 p., (tese de Doutorado).
- Queiroz Neto, J.P.; Castro, S.S.; Fernandes Barros, O.N.; Manfredini, S.; Pellerin, J.; Ruellan, A. e Toledo, G.S. (1981) Um estudo de dinâmica de solos: formação e transformação de perfis com horizonte B textural. Salvador, XVIII Congr. Bras. Ci. Solo (resumo).
- Queiroz Neto, J.P. e Journaux, A. (coord.) (1978) Carta geomorfológica do vale do rio do Peixe em Marília SP, (esc. 1:100.000). S. Paulo, USP, Inst. Geogr. Sediment. e Pedol. 11.
- Salomão, F.X.T. (1994) Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. São Paulo, USP, FFLCH, Dep. Geografia, 200 p. (tese Doutorado).
- Santos, L.J.C. (1995) Macro e micromorfologia da toposequência da Pousada da Esperança, em Bauru, SP: subsídio para a compreensão da gênese, evolução e comportamento atual dos solos. S. Paulo, USP, FFLCH, Depto. Geografia, (dissertação de Mestrado).
- Tardy, Y. (1993) Petrologie des latérites et des sols tropicaux. Paris, Masson, 459 p.
- Tricart, J. (1968) As relações entre a morfogênese e a pedogênese. Campinas, *Not. Geomorf.* 8:5-18 (trad. A. Christofoletti).
- Tricart, J. e Michel, P. (1965) Morphogénese et pédogénese. I- Approche méthodologique: géomorphologie et pédologie. Paris, *Sci. Sol* 1:69-85.