
FUNCIONAMENTO BIODINÂMICO DA PAISAGEM

Andreas Attila de Wolinsk Miklós*

Vegetais e animais - em especial formigas, cupins e minhocas - impõem, através de seus comportamentos, um ritmo dinâmico à evolução da cobertura pedológica. A dinâmica oriunda desta atividade dos seres vivos desempenha papel regulador insubstituível, ao contrabalançar o empobrecimento superficial do solo determinado pela "lavagem" das chuvas e ao renová-lo a partir da transformação das rochas. As formigas e os cupins constituem, deste modo, os principais responsáveis pela formação da estrutura granular muito fina dos latossolos e pela organização atual de "stone-lines" e de "horizontes sômbricos", feições típicas de regiões tropicais. E mais, as contribuições destes animais na transformação da cobertura pedológica correspondem a fenômenos de escala continental. Contudo, os sistemas agrícolas biocidas parecem não respeitar o funcionamento biodinâmico da paisagem, fato que tende, gradativamente, a comprometer a renovabilidade dos solos.

* Professor do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiróz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba, S.P.

I. A POLARIDADE AGREGAÇÃO-DESAGREGAÇÃO COMO FENÔMENO GLOBAL

Comportamento construtor dos seres vivos: a polaridade superfície - profundidade

Em superfície, as formigas, cupins e minhocas e os vegetais causam agregação da matéria mineral, fenômeno que se materializa nos fatos que seguem.

As formigas e os cupins endógenos responsabilizam-se pela formação de agregados granulares (< 1 cm), ou seja, pela formação dos constituintes básicos dos montículos de terra dos formigueiros ou cupinzeiros endógenos presentes na superfície do solo. Tais agregados, elaborados através das mandíbulas destes animais, resultam da associação entre argilas e grãos de quartzo, representando a essência da estrutura superficial (granular) de vários solos.¹

Os cupins epígenos respondem pela formação de edifícios na superfície do solo. A parte periférica destes edifícios é constituída pela mistura de matéria mineral (argila e areia) com saliva, enquanto as unidades elementares da construção (“tijolinhos”) são estruturadas por microagregados arredondados (< 1 mm).

As minhocas, por sua vez, formam os coprolitos (dejeções), agregados grumosos típicos das camadas superficiais de solos argilosos resultantes da ingestão e da excreção de matéria mineral e orgânica.²

Por outro lado, os vegetais participam da neoformação de minerais (calcita, caulinita, quartzo) no interior das células das raízes e da formação de agregados, justapostos às raízes, em consequência da exsudação de polissacarídeos.

Em profundidade, os organismos causam desagregação da matéria. No caso das formigas, cupins e minhocas, o material (“terra”) transportado para a superfície (remonte

¹ MIKLÓS, A. A. de W. *Biodynamique d' une couverture pédologique dans la région de Botucatu, Brésil*. Thèse de doctorat. Université Paris VI, France, 1992. vols. I et II. 438p.

² MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit.

vertical) provêm de grandes profundidades (as formigas saúvas transportam material de profundidades superiores a 10 metros). Das escavações destes animais resultam determinadas modificações oriundas do surgimento das câmaras de reprodução, alimentação e dejeção e dos canais de comunicação. As rochas são sistematicamente atravessadas pelos canais biológicos, constituindo, assim, a escavação (coleta de material) um elemento desagregador. Os canais de cupins já foram observados a 55 metros de profundidade.³

³ LEPAGE, M. Découverte de galeries de Termites atteignant la nappe phréatique profonde dans le nord du Sénégal. *Entomologie*, C.R. Académie de Sciences de Paris, série D, t.278, 1985.

De outra parte, as raízes dos vegetais desempenham duas funções desagregadoras: mecânica e biogeoquímica. A desagregação mecânica das rochas decorre da perfuração e do crescimento radicular e a alteração biogeoquímica dos minerais (desintegração) das rochas depende da troca iônica, da ação de ácidos orgânicos. O recorde de profundidade de raízes atinge 140 metros.

Fenômenos hidrogeoquímicos: a polaridade superfície - profundidade

Em superfície, a ação da água induz a dissociação da matéria mineral: dissolução dos minerais através de hidrólise, migração das argilas e erosão mecânica superficial. A desestabilização dos agregados dos horizontes superficiais faz com que as argilas sejam evacuadas pelos diferentes processos; restam, então, apenas os minerais mais resistentes, os grãos de quartzo (areia).

Em profundidade, nas alteritas das rochas ou mesmo em camadas profundas do solo, ocorrem neoformações minerais (argilas: matéria prima do solo), muitas das quais mediante reassociação de elementos (Si e Al) liberados em superfície (caulinita, gibsita, sílica amorfa), em processos que se relacionam à dinâmica da água.

Polaridade entre o comportamento dos seres vivos e os fenômenos hidrogeoquímicos

Em superfície, os animais e os vegetais causam agregação (associação) da matéria mineral, enquanto os processos hidrogeoquímicos induzem à dissociação da mesma. Em profundidade, ao contrário, os animais e os vegetais provocam desagregação (dissociação) da matéria mineral, ao passo que os processos hidrogeoquímicos induzem à neoformação desta matéria. Pode-se afirmar, ainda, que cupins e formigas coletam argila no local de sua formação (em profundidade) transportando-a para a posição onde se verifica sua destruição (em superfície). Inseridos na paisagem, estes animais foram contrabalançando o empobrecimento superficial determinado pela “lavagem” das chuvas. *Savoir faire?*

Animais e vegetais impõem, portanto, um ritmo dinâmico na evolução da cobertura pedológica. Este ritmo, que se manifesta na relação entre a ação da fauna do solo mais os vegetais e os fenômenos hidrogeoquímicos (aqueles que causam dissociação/exportação e agregação/neoformação da matéria mineral), corresponde a um dos principais processos no funcionamento biodinâmico global da paisagem.

II. AMPLITUDE DA AÇÃO DA FAUNA DO SOLO EM TERMOS DE ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO

As formigas, os cupins e as minhocas, através de seus comportamentos, exercem grande influência sobre a paisagem, o que acarreta transformações no meio.

As transformações na cobertura pedológica produzidas por estes animais correspondem a modificações de natureza física e química: remonte vertical de material do solo e recobrimento dos horizontes superficiais; modificação da estrutura e da porosidade do solo (formação de agregados e construção de canais); e, incorporação de matéria orgânica.

Este elenco de alterações deriva de processos de transferência de material pedológico profundo para a superfície e de material orgânico da superfície para o interior do solo.

Então, a questão que se coloca é a seguinte: formigas, cupins e minhocas são responsáveis apenas por transformações pontuais, localizadas, ou seus efeitos têm repercussão na escala de paisagem?

Origem da “Stone-Line” e dos “Horizontes Sômbricos”

A *stone-line* corresponde a um alinhamento de seixos paralelo à superfície topográfica, presente no interior da cobertura pedológica sob uma camada espessa de solo (vários metros). A composição dos seixos é variada, porém, ocorrem normalmente seixos de quartzito. Estes atestam, com frequência, a aloctonia da *stone-line* com relação ao substrato rochoso subjacente, como no caso de Botucatu, onde o substrato é basáltico.⁴ Tal fato levou autores à seguinte interpretação: os materiais sobrejacentes à *stone-line* seriam de origem sedimentar, o que explicaria sua atual distribuição espacial.⁵

Ora, no caso da cobertura pedológica de Botucatu, isto não ocorre, pois a *stone-line* recorta a diferenciação pedológica lateral litodependente (litotoposequência arenito do Grupo Bauru-basalto do Grupo São Bento).⁶ O grau de filiação dos materiais sobrejacentes à *stone-line* com relação ao basalto - evidenciado a partir de certos atributos como a cor, a textura, a presença de ilmenita e magnetita, os teores de ferro total e as litorelíquias - aumenta de montante para jusante. O que torna impossível a hipótese da origem da *stone-line* por um recobrimento de materiais alóctones vindos de montante (pólo arenoso - arenito do Grupo Bauru). Considerando a autoctonia crescente, de montante a jusante, dos materiais sobrejacentes à *stone-line*, o remonte vertical dos materiais profundos, realizados principalmente pelas formigas e cupins, constitui o único mecanismo capaz de explicar a origem da organização atual da *stone-line* no caso de Botucatu.

⁴ MIKLÓS, A. A. de W. *Relations entre l'altération et la pédoplasation dans un profil vertical sur basalte dans la région de Botucatu, Brésil*. D.E.A. de Géochimie de la surface. Université de Poitiers, France, 1986. 46p.

⁵ TRICART, J. Informações para a interpretação paleográfica dos cascalheiros. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n.4, p.1-11, 1959.
AB'SABER, A.N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados do Brasil Oriental. *Geografia Física*, Curitiba, n.2, p.32, 1962.

⁶ MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

⁷ USDA. *Soil Taxonomy, Agriculture - handbook n. 436*. Soil Conservation Service. Washington, D.C.: Govt. Printing Office, 1975.

Os “horizontes sômbricos” (*Sombric Horizon*⁷) correspondem a horizontes do solo presentes em profundidade e que possuem a coloração mais escura do perfil vertical, com exceção, por vezes, do horizonte superficial organomineral. Como explicar, então, a origem destes materiais escuros em profundidade? A organização da cobertura pedológica de Botucatu, tal como se apresenta, não permite outra interpretação senão aquela dada para a origem da *stone-line*; trata-se de um paleo-horizonte superficial que foi soterrado pelo remonte vertical realizado pela fauna do solo. O fato da litodependência dos materiais subjacentes ao horizonte sômbrico, com relação ao basalto, aumentar de montante a jusante confirma esta interpretação. A presença abundante de fragmentos de carvão vegetal no interior do horizonte sômbrico e suas datações (C₁₄) permitiram fazer uma estimativa da velocidade do processo biológico.⁸

⁸ MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

Quantidade de material remontado no soterramento do horizonte sômbrico e tempo de formação

As estimativas (massa: densidade do solo x volume) da quantidade de material remontado no soterramento do horizonte sômbrico variam de 10.000 a 13.000 ton/ha.⁹ Estes valores são subestimados, pois não foi possível calcular as perdas posteriores ao remonte, seja por lixiviação, lessivagem ou erosão.

Os carvões vegetais, igualmente soterrados pelo remonte biológico, datam de 4.400 anos BP (before present). Isto significa que o soterramento do horizonte sômbrico é posterior a 4.400 anos BP e que o remonte realizado pela fauna do solo, estimado em 12.000 ton/ha, foi efetuado no máximo em 4.400 anos, o que corresponde a um perfil de solo variável entre 1,5 e 2,0 metros de profundidade. No entanto, tal dedução também pode estar subestimada, na medida em que o processo biológico não foi contínuo no tempo.

⁹ MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

Origem da estrutura granular muito pequena (microagregados arredondados) dos materiais latossólicos

No caso da cobertura pedológica de Botucatu, o conjunto de horizontes que apresenta estrutura microagregada se distribui de maneira generalizada, de montante a jusante.¹⁰ Esta estrutura constitui-se, no caso dos solos da área estudada, principalmente de microagregados ovais de 20 a 500 μm de diâmetro, em empilhamento. A porosidade resultante é extremamente forte.

A explicação corriqueira desta agregação baseia-se em fenômenos de natureza físico-química, ou seja, em ligações estáveis de certas formas de ferro e de alumínio com a caulinita, decorrentes de estágios finais de intensos processos de intemperização. Esta teoria não explica, porém, a forma externa - oval, esférica, arredondada - dos microagregados.

As evidências encontradas em Botucatu testemunham uma origem biológica: formigas e cupins.¹¹ Tais evidências incluem a aptidão dos animais em fabricar microagregados ovais (*in vivo* ou *in vitro*); a forma oval dos microagregados constituintes dos solos; a sua forte variação em tamanho e em cor; a presença de micropartículas de carvão; o esqueleto interno triado, composto por grãos de quartzo inferiores a 100 μm (o diâmetro dos grãos de quartzo de fundo matricial do solo varia entre 30 e 2.000 μm); a presença de orientações plasmáticas periféricas e a identidade que existe entre os microagregados que constituem os materiais latossólicos e aqueles construídos *in situ* pela fauna do solo, observados no interior dos biotúbulos e nos montículos de terra dos formigueiros e cupinzeiros.

Origem das estruturas superficiais dos solos: estruturas granular e grumosa

Na cobertura pedológica de Botucatu, os horizontes superficiais (0-20 cm, 30 cm) de montante e de jusante

¹⁰ MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

¹¹ MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

¹² MIKLÓS, A. A. de W. Op.cit., 1992.

apresentam, respectivamente, estrutura granular (pólo argilo-arenoso) e grumosa (pólo argiloso).¹² A estrutura granular é composta por agregados granulares menores que 1 cm. As organizações externa e interna destes agregados testemunham sua origem biológica pela forma externa esférica; pela sub-estrutura em microagregados ovais; pela presença de micropartículas de carvão; e pelo esqueleto de quartzo fino triado. Os agregados são idênticos àqueles elaborados pelas formigas e cupins. A estrutura grumosa é composta por agregados grumosos de até 2 cm, os quais correspondem às dejeções de minhocas que se solidificam à medida em que perdem umidade.

Em síntese, a amplitude de ação da fauna no solo em termos de organização do espaço compreende: *na escala da cobertura pedológica de Botucatu - stone-lines*, horizontes sômbricos, materiais latossólicos microagregados e macroagregados granulares e grumosos, que marcam no tempo e no espaço a contribuição destes animais na organização da cobertura pedológica; *na escala continental - stone-lines*, materiais latossólicos microagregados, macroagregados granulares e grumosos e, em menor grau, horizontes sômbricos, organizações que têm ampla distribuição nas regiões tropicais.

III. CONSEQÜÊNCIAS DO SISTEMA AGRÍCOLA BIOCIDA, SOBRE O FUNCIONAMENTO BIODINÂMICO DA COBERTURA PEDOLÓGICA

O sistema agrícola biocida pode ser definido como aquele que emprega produtos altamente tóxicos à vida e que, por esta razão, determina a monotonia das espécies na paisagem (morte da biodiversidade) e provoca profundos danos ao ambiente e à organização social das mesmas.

A ação da fauna do solo impõe transformações das alteritas de rocha em solo, além de uma forte estruturação

(descompactação) e de um aumento da porosidade e da transferência de argila para a superfície do solo (remonte vertical). Estes acontecimentos produzem múltiplas conseqüências, entre elas: a) ganho direto de solo decorrente da atividade biológica; b) maior infiltração da água no solo, portanto, uma menor erosão; aumento do volume de água que atinge a rocha, o que significa maior alteração, maior neoformação de argilo-minerais, maior velocidade de formação de solo e maior volume de solo formado; e, ainda, maior transferência de argila para a superfície, o que equivale a um menor acúmulo de areia (quartzo) residual.

A ação dos sistemas agrícolas intensivos e biocidas se reflete na eliminação direta da fauna do solo, na compactação mecânica e na erosão por escoamento superficial. As principais conseqüências no que se refere ao funcionamento biodinâmico da cobertura pedológica incluem: a) eliminação direta (biocidas) e indireta (compactação) da fauna do solo, portanto, eliminação do principal fator de formação do solo (ganho de solo); b) diminuição da porosidade biológica do solo, o que significa menor infiltração de água, maior erosão superficial (perda de solo), menor percolação da água até a rocha, menor alteração, menor velocidade de formação dos solos, menor volume de solo formado, menor transferência de argila para a superfície (remonte vertical) e maior acúmulo de areia residual (“pseudo-desertificação”).

Assim, só há um futuro para os sistemas agrícolas biocidas: o cultivo sobre a rocha ou a areia.