



## REVISÃO DE LITERATURA

### GÊNESE DAS LINHAS DE PEDRA

**Leonardo José Cordeiro Santos**

*Professor Adjunto do Departamento da UFPR - Av. Francisco H. dos Santos, s/n Centro Politécnico - Bloco 5 - Jardim das Américas - Curitiba, PR - CEP 81531-990 - Caixa Postal 19001 - e-mail: santos@ufpr.br*

**André Augusto Rodrigues Salgado**

*Professor Adjunto do Departamento de Geografia da UFMG - Av. Antonio Carlos, 6.627 Pampulha - CEP 31270-901 Belo Horizonte, MG - e-mail: geosalgado@yahoo.com.br*

**Marcelo Luis Rakssa**

*Mestre em Geografia - UFPR - Av. Francisco H. dos Santos, s/n Centro Politécnico - Bloco 5 - Jardim das Américas - Curitiba, PR - CEP 81531-990 - Caixa Postal 19001 - e-mail: marcelorakssa@yahoo.com.br*

**Breno Ribeiro Marrent**

*Mestrando em Geografia - UFMG - Av. Antonio Carlos, 6.627 Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte, MG - e-mail: brenomarent@yahoo.com.br*

#### Resumo

Várias hipóteses foram desenvolvidas, principalmente em pesquisas realizadas nos continentes de clima tropical, com o objetivo de explicar a gênese das linhas de pedra. A partir de uma revisão dos trabalhos publicados sobre esse tema pode-se agrupar essas hipóteses em dois grandes grupos: autoctonia e aloctonia. Os resultados obtidos nestas pesquisas, com a contribuição recente da utilização do isótopo cosmogênico  $^{10}\text{BE}$ , demonstraram que as linhas de pedra possuem, principalmente, gênese autóctone, podendo envolver mais de um processo na sua formação.

**Palavras-chave:** autoctonia, aloctonia e linhas de pedra

#### Abstract

Several hypotheses have been formulated, especially in surveys carried out in tropical continents, in order to explain the genesis of stone lines. From a review of published studies on this subject these hypotheses are grouped into two major groups: autochthonous and allochthonous. The results of these surveys, with the recent contribution of the use of cosmogenic isotope  $^{10}\text{BE}$ , showed that the stone lines are mainly of autochthonous genesis and may involve more than one process in their formation.

**Keywords:** autochthonous, allochthonous and stone lines

#### Introdução

As **linhas de pedra** correspondem às feições encontradas em subsuperfície que geralmente acompanham a

morfologia das vertentes. Possuem espessura variável e são constituídas principalmente de fragmentos de quartzo, além de concreções ferruginosas (MOUSINHO e BIGARELA, 1965a).

O estudo das linhas de pedra é um importante instrumento para compreensão dos processos relacionados à evolução das vertentes e diversas pesquisas enfatizaram essa temática. Foram desenvolvidas em diversas partes do mundo, entretanto aquelas que mais se destacaram situaram-se na África e na América do Sul.

No Brasil destacam-se os trabalhos pioneiros realizados pelo pedólogo José Setzer, em 1949, nas vertentes do Brasil Atlântico Tropical no estudo das linhas de pedra (PENTEADO, 1969).

Essas investigações geraram uma gama variada de hipóteses que podem ser divididas em dois grandes grupos: **autóctones** e **alóctones**. Considera-se para esta distinção o termo **autóctone** nos casos em que as linhas de pedra possuem origem local, ou seja, desenvolvidas *in situ* ou que sofreram pequeno transporte. O termo **alóctone** é utilizado para os casos em que o material do qual é composto essas linhas foi submetido a longo transporte.

Neste contexto, situa-se o presente trabalho que objetiva, com base em revisão bibliográfica, apresentar as principais hipóteses formuladas e posteriormente, com base nos resultados obtidos por pesquisas que estudaram o tema utilizando o isótopo cosmogênico  $^{10}\text{Be}$ , discutir quais dentre elas foram reforçadas.

## Hipóteses autóctones para a origem das linhas de pedra

### Hipótese do remanejamento por cupins

Uma interpretação para as linhas de pedra e para o material fino que as encobrem tem explicação na ação biológica. Esta hipótese baseia-se na remoção seletiva das frações finas do solo da subsuperfície para a superfície pelos cupins (térmitas), vermes e formigas, contribuindo assim para o adensamento em profundidade de fragmentos de maior dimensão, constituídos principalmente de fenoclastos de quartzo (Collinet, 1969; Riquier, 1969; Segalen, 1969; Bigarella, Becker e Santos, 1994).

Como resultado deste transporte, por meio de triagem do material mais fino, ocorre a concentração relativa do material de granulagem superior em subsuperfície, com recobrimento do material fino usado pelos cupins na construção de suas edificações acima do nível do solo. Com o término da atividade dos cupinzeiros, o material abandonado se desagregaria e se espalharia no terreno circunvizinho, (Figura 1).

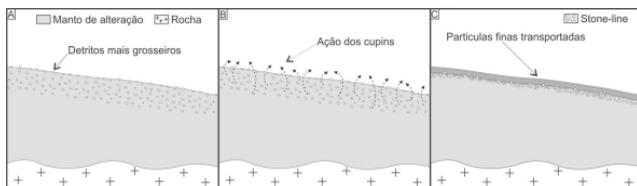


Figura 1 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do remanejamento por cupins.

<sup>1</sup> RIOU, Gerard. Notes sur les sols complexes des savanes préforestières en Côte-d'Ivoire. *Annales. Univ. Abidjan Lettres Sci. hum.*, nº 1, 1965. pp. 17-35.

<sup>2</sup> LAPORTE, Gerald. Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée Comilog. *I. R.S.C.*, nº. 119. Brazzaville, 1962. 149 p.

## Hipótese de ação eólica

Para Riou (1965)<sup>1</sup> *apud* Riquier (1969) as linhas de pedra teriam origem eólica. Este autor levantou a hipótese de que, em certas porções do norte da Nigéria e da Costa do Marfim, essas linhas teriam origem no terciário, datado da época de grandes períodos secos. Posteriormente, durante o quaternário, os fragmentos de quartzo expostos, seriam recobertos por materiais mais finos de origem eólica (Figura 2).

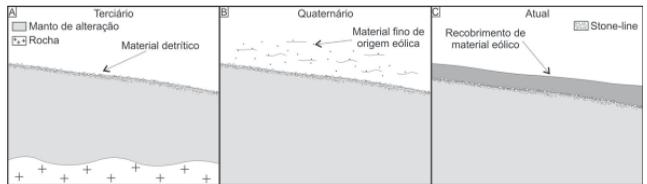


Figura 2 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese eólica.

## Hipótese da descida dos elementos de maior granulometria no perfil

De acordo com a hipótese de Laporte (1962)<sup>2</sup> *apud* Riquier (1969), a interpretação da formação *in situ* das linhas de pedra ocorreria pela descida dos elementos de maior granulometria no perfil e sua concentração em subsuperfície (Figura 3).

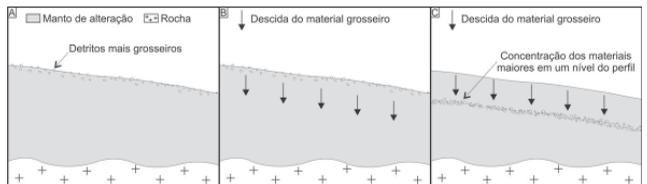


Figura 3 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese da descida dos elementos de maior granulometria no perfil.

## Hipótese do coluvionamento

De acordo com Mousinho e Bigarella, 1965a, Penteado (1969), Riquier (1969) e Bigarella, Becker & Santos (1994) a hipótese de coluvionamento relacionaria-se aos processos de transporte do material coluvial vertente abaixo. Desta forma, durante os processos gravitacionais de movimento de massa sob condições de saturação por água, os fragmentos de rochas geralmente dispersos tenderiam a se concentrar em uma faixa com matriz geralmente apresentando tanto areia, como silte e argila. Para Bigarella, Becker & Santos (1994) este tipo de linhas de pedra originado sob condições úmidas possuiriam nítida diferenciação daquelas resultantes da remoção dos finos em condições climáticas secas ou semi-áridas.

Este processo é ilustrado na figura 4 onde em 'A', encontra-se a vertente com manto coluvial '1'. Em 'B', a vertente é demonstrada após o movimento de massa causado pelo excesso de precipitação, cedendo lugar ao escorregamento da parte superior do colúvio '1' para dar origem ao colúvio '2'. Assim, no nível de deslizamento ocorreria uma concentração irregular de fenoclastos originando a linha de pedras.

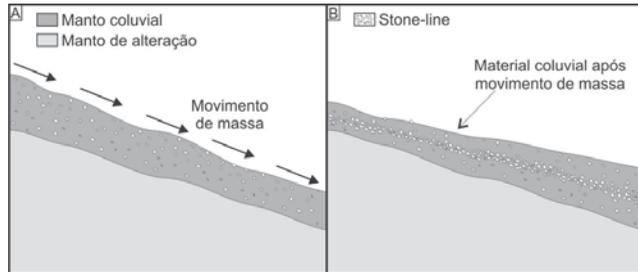


Figura 4 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do coluvionamento.

### Hipótese do estado de equilíbrio

Segundo esta hipótese, as linhas de pedra seriam formadas por processos geomorfológicos e pedológicos contemporâneos. Esses processos ocorreriam por meio da incorporação do material originário dos veios de quartzo no solo que se deslocaria vertente abaixo (Figura 5A, B, C e D). Assim, as linhas de pedra marcariam o limite inferior da camada migratória do solo (Young, 1972; Nye, 1955; Smyth e Montgomery, 1962; Berry e Ruxton, 1959)<sup>3</sup> apud Bigarella, Becker e Santos (1994); Riquier (1969).

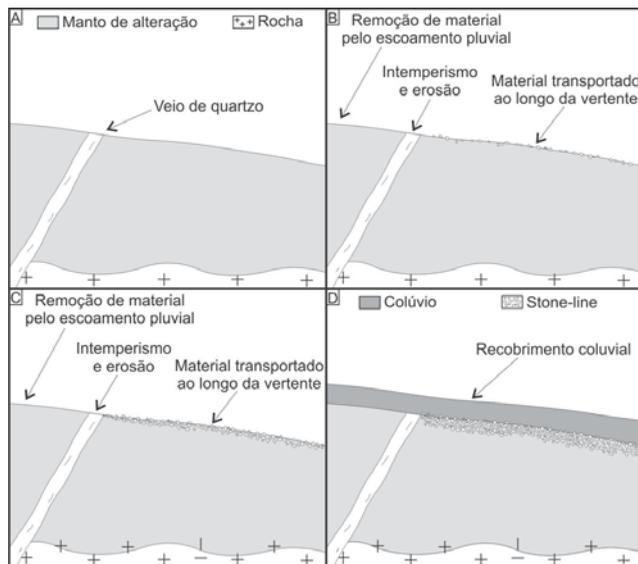


Figura 5 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do estado de equilíbrio.

### Hipótese do desenvolvimento local em oscilações climáticas

Para Bourgeat e Petit (1966), a origem de linhas de pedra encontradas ao longo das vertentes em suas pesquisas na região africana de Tananarive seria atribuída a processos de desenvolvimento local, durante a vigência de dois períodos climáticos distintos, onde a estação seca seria mais acentuada que a estação úmida.

Com estas oscilações, os veios de quartzo existentes seriam retrabalhados em clima árido, desagregando e transportando o material pela vertente (Figura 6A). Esta hipótese busca explicar também a continuidade (Figura 6A) e a descontinuidade (Figura 6B) das linhas de pedra de acordo com a posição na vertente.

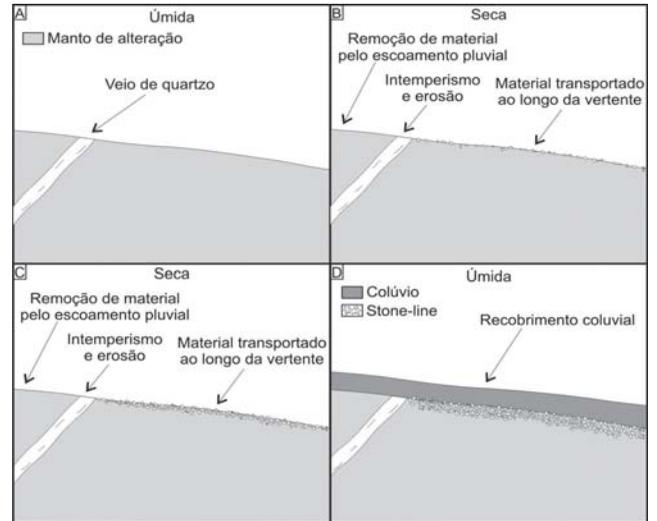


Figura 6A - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do desenvolvimento local em oscilações climáticas (com continuidade).

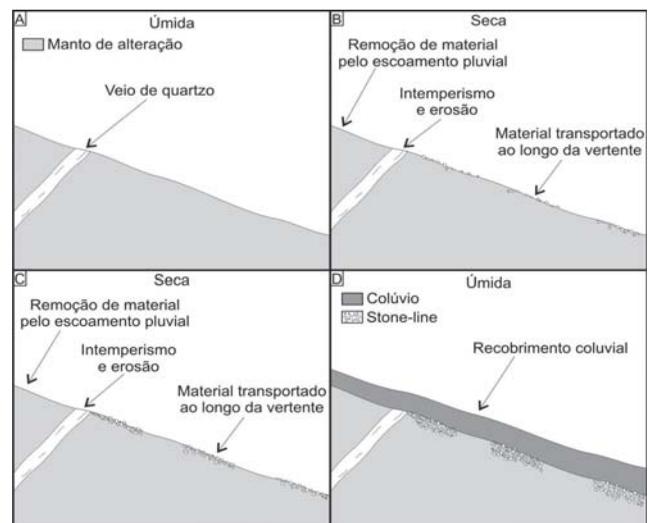


Figura 6B - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do desenvolvimento local em oscilações climáticas (sem continuidade).

<sup>3</sup> YOUNG, A. *Slopes*. Edinburg: Oliver and Boyd. 299p. 1972.

NYE, P. H. Some soil forming processes in the granites of Sermesq, South Greenland: *Meddelelser Grønland*. n.º. 179, p. 1-40, 1955.

SMYTH, A. J.; MONTGOMERY, F. F. *Soil and land use in Central Western Nigeria*. Ibadan: Government Printers, 1962.;

BERRY, L.; RUXTON, B. P. Notes of weathering zones and soils of granite rocks in two tropical regions. *Journal Soil Sciences*. n.º.10, p. 54-63, 1959.

### Hipótese do intemperismo residual

Para os defensores da hipótese do intemperismo residual, as linhas de pedra seriam produtos residuais do intemperismo químico. Este intemperismo atuaria sobre o maciço rochoso, ocasionando alteração e remoção em solução de minerais menos resistentes (Collinet, 1969; Porto, 2003). Entretanto, minerais como o quartzo, mais resistentes ao intemperismo, acumulariam-se junto com o óxido de ferro mobilizado (Figura 7A).

Este processo poderia ocorrer também pela desfragmentação de uma crosta laterítica, durante a interrupção de processos de laterização provocada pela imposição de regimes climáticos mais úmidos. Desta forma os fragmentos que resistissem maior tempo a ação intempélica constituiriam-se em linhas de pedra reliquiaais (Figura 7B). Com o avanço da degradação da crosta estas passariam de remanescentes lateríticos para a etapa em que sobriariam apenas fragmentos de quartzo.

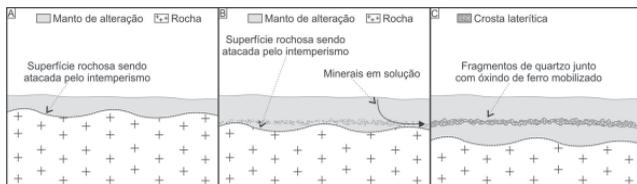


Figura 7A - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do intemperismo residual.

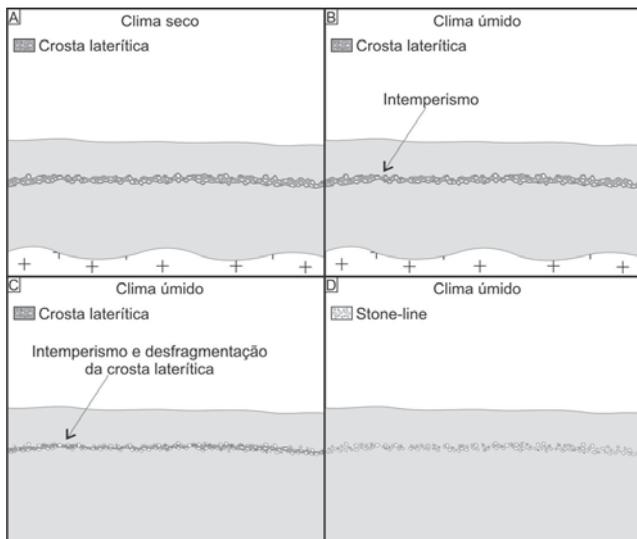


Figura 7B - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do intemperismo residual.

<sup>4</sup> HEINZELIN, J. Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. *Publ. ZNEAC. sér. Sci.*, nº. 64, Bruxelas, 37 p. 1955.  
 MARCHESSEAU, J. Etude minéralogique et morphologique de la stone-line au Gabon. *BRGM. Libreville*, p. 65 a 9, 109. 1965.  
 TRICART, J.; CAILLEUX, A. *Traité de géomorphologie V. Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes. SEDES, Paris*, 322 p. 1965.  
 RIOU, G. Notes sur les sols complexes des savanes préforestières en Côte d'Ivoire. *Ann. Univ. Abidjan. Lettres et Sci. hum.* 1, p. 17-36. 1965.

<sup>5</sup> VOGT, J.; VINCENT, P. L. Terrains d'altération et de recouvrements en zone intertropicale. *Bull. BRGM.*, 4, p. 1-111. 1966.

### Hipóteses alóctones para a origem das linhas de pedra

#### Hipótese do transporte de materiais em superfície

Segundo esta hipótese a origem e formação das linhas de pedra ocorreriam por uma sucessão de diferentes fases climáticas. Em uma primeira fase úmida ocorreria, em grande profundidade, a individualização do material que seria quimicamente alterado. Já uma segunda fase, erosiva e climaticamente seca, favoreceria a retirada e o transporte dos materiais de maior tamanho (acima de 2 mm) a grande distância. Em uma terceira fase, de sedimentação, ocorreria a deposição destes materiais para posteriormente serem soterrados por materiais mais finos (HEINZELIN, 1955; MARCHESSEAU, 1965; TRICART e CAILLEUX, 1965; RIOU, 1966)<sup>4</sup> *apud* Segalen (1969); (VOGT e VINCENT, 1966)<sup>5</sup> *apud* Collinet (1969); Bourgeat e Petit (1966) (Figura 8).

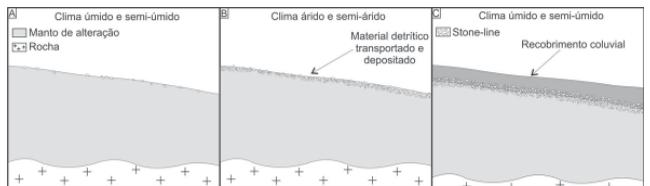


Figura 8 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese do transporte de materiais em superfície.

#### Hipótese de inversão de materiais

Segalen (1969) retoma e desenvolve a hipótese da inversão de materiais, por erosão de antigas superfícies aplainadas, geralmente alterando a localização dos materiais. Em zona tropical, o recuo de uma frente de erosão por abaixamento do nível de base provocaria uma inversão dos materiais. Os materiais de maior granulação, depositados na superfície, seriam levados pela erosão ao mesmo tempo em que seriam encobertos pelo material fino proveniente dos horizontes do solo (Figura 9). Esse material que comporia o solo e seria retido pela cobertura vegetal, com a erosão seria carregado pela drenagem.

Segundo Segalen (1969), esse processo ocorreria em áreas de clima equatorial, onde as modificações morfológicas de inversão de materiais e origem de linhas de pedra poderiam ocorrer pelo aprofundamento mais intenso dos eixos de drenagem.

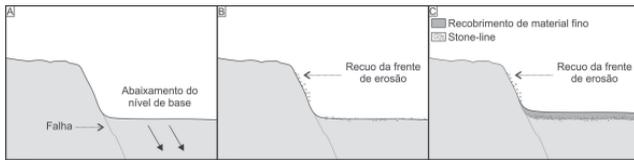


Figura 9 - Desenho esquemático da formação das linhas de pedra a partir da hipótese da inversão de materiais.

## O isótopo cosmogênico $^{10}\text{Be}$ aplicado aos estudos sobre a gênese e evolução das linhas de pedra

### Conceituação

O isótopo cosmogênico  $^{10}\text{Be}$  possui meia-vida de 1,5 milhões de anos, sendo formado pela interação da radiação cósmica com elementos químicos presentes na atmosfera e nos materiais litosféricos localizados nos poucos metros mais superficiais da crosta terrestre (Lal, 1991). Tem suas quantidades (at/g) mensuradas com facilidade no quartzo e sua produção neste mineral depende da intensidade da radiação cósmica por ele recebida.

Assim, minerais localizados na superfície produzem mais  $^{10}\text{Be}$  do que aqueles localizados em profundidade. A descoberta deste isótopo foi extremamente útil para os estudos acerca da gênese e evolução das Stone lines. Isto ocorreu em razão de que, mensurando-se a quantidade de  $^{10}\text{Be}$  ao longo de uma linha de pedra, pela concentração deste isótopo em cada fragmento, é possível se averiguar a intensidade (tempo) da exposição destes fragmentos à radiação cósmica e consequentemente aventar conclusões acerca de sua gênese e evolução.

Neste contexto, linhas de pedra alóctones não apresentariam organização na quantidade de  $^{10}\text{Be}$  entre seus fragmentos, visto que a erosão e o transporte misturariam fragmentos superficiais com outros situados em porções mais profundas do manto de alteração. As linhas de pedra de origem autóctone apresentariam organização, pois, na ausência de transporte, os fragmentos mais próximos da superfície apresentariam maiores quantidades de  $^{10}\text{Be}$  que aqueles mais profundos.

### O $^{10}\text{Be}$ aplicado aos estudos de linhas de pedra

Os trabalhos de Braucher et al. (1998A, 1998B, 2000 e 2004), procuraram testar diversas hipóteses explicativas da gênese de linhas de pedra. As pesquisas ocorreram em diferentes domínios climáticos de diversas partes do mundo, principalmente no Brasil e na África. Neste contexto, foram investigadas linhas de pedra em áreas tropicais úmidas do Congo (Braucher et al, 1998A), do Camarões e do Gabão (Braucher et al., 2000); em áreas tropicais semi-úmidas do Brasil em Mato Grosso (Braucher et al., 1998B) e no Distrito Federal (Braucher et al., 2004); em áreas com clima semi-

árido no Estado da Bahia, no Brasil (Braucher et al., 1998B) e em áreas áridas do Burkina Fasso, na África (Braucher et al., 1998A).

Os resultados obtidos nestas pesquisas demonstraram que as linhas de pedra possuem, principalmente, gênese autóctone, constituindo produtos do intemperismo de veios de quartzo. Estes veios intemperizados permaneceram *in-situ* ou sofreram pequeno transporte erosivo e posterior soterramento. Sendo assim, os resultados indicam que as hipóteses que melhor explicam a gênese e a evolução das linhas de pedra são: (1) **estado de equilíbrio**; (2) **desenvolvimento local em oscilações climáticas** e; (3) **intemperismo residual**.

Vale ressaltar que, dentre todas as linhas de pedra investigadas nestas pesquisas, apenas as situadas em Cuiabá no Brasil apresentaram indícios de gênese alóctone. Neste caso, teriam origem em uma paleosuperfície laterítica erodida que teve seus fragmentos de quartzo espalhados e “imediatamente” soterrados por um posterior coluvionamento (Braucher et al. 2000).

Os resultados obtidos nesses trabalhos marcaram um novo momento nas pesquisas acerca da gênese e evolução das linhas de pedras. A partir do avanço na comprovação ou refutação de hipóteses para a formação das linhas de pedra, outros pesquisadores iniciaram trabalhos com o mesmo método em outras partes do mundo.

Neste contexto, destaca-se a pesquisa de Brown et al. (2004) em área tropical úmida no norte de Uganda. Este estudo utilizou isótopos cosmogênicos na tentativa de comprovar que as linhas de pedra tinham origem na bioturbação, contudo, os resultados obtidos demonstraram que essa hipótese estava equivocada. Algumas dessas linhas apresentavam sinais de possuírem origem no intemperismo de veios de quartzo. No entanto, boa parte delas estava relacionada à mobilização de material em vertente, inclusive de antigos terraços fluviais que, em virtude da inversão de relevo, se encontravam no topo das vertentes e foram erodidos, depositados e soterrados, originando as linhas de pedra. Sendo assim, os resultados de Brown et al. (2004) confirmam os de Braucher et al. (1998a, 1998b, 2000, 2004).

### Considerações Finais

O grande número de hipóteses que tentaram esclarecer a gênese e evolução das linhas de pedra, ao invés de contribuir para a elucidação do tema, tornaram-no extremamente complexo. Com o advento dos isótopos cosmogênicos, em especial o  $^{10}\text{Be}$ , alguns esclarecimentos acerca dessa questão foram possíveis. De modo geral predominam linhas de pedra de origem autóctone, geralmente relacionadas ao intemperismo e erosão de um veio de quartzo, entretanto, o caso de Cuiabá no Brasil, comprova que, embora raro, algumas podem ser consideradas alóctones.

Sendo assim, torna-se interessante um esforço em pesquisar com a utilização do  $^{10}\text{Be}$  e com outros métodos diferentes linhas de pedra nas regiões tropicais, sobretudo no Brasil e na África, o que permitiria um refinamento dos resultados já obtidos e que constituíram um passo real na elucidação do tema.

### Referências Bibliográficas

Bigarella, J. J.; Becker, R. D.; Santos, G. F. dos. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: EDUFSC, vol. 1, 426 p., 1994.

Bourgeat, F.; Petit, M. Les “stone-lines” et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches. Cahiers ORSTOM, sér. Pédologie, vol. IV, n° 2, 1966.

Braucher R., Colin F., Brown E. T., Bourlès D. L., Bamba O., Raisbeck G. M., Yiou F., Koud, J. M. African laterite dynamics using in situ-produced  $^{10}\text{Be}$ . Geochimica et Cosmochimica Acta. 62 (9): 1501-1507, 1998a.

Braucher R., Bourlès D. L., Colin F., Brown E. T. & Boulange, B. Brazilian laterite dynamics using in situ-produced  $^{10}\text{Be}$ . Earth and Planetary Science Letters. 163: 197-205, 1998b.

Braucher, R.; Bourlès, D. L.; Brown, E. T.; Colin, F.; Muller, J.P.; Braun, J. J.; Delaune, M.; Edou Minko, A.; Lescouet, C.; Raisbeck, G. M. & Yiou, F. Application of in situ-produced cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  and  $^{26}\text{Al}$  to the study of lateritic soil development in tropical forest: theory and examples from Cameroon and Gabon. Chemical Geology. 170: 95-111, 2000.

Braucher, R; Lima, C.V.; Bourlès, D.L.; Gaspar, J.C. & Assad, M. L. L. Stone-line formation processes documented

by in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  distribution, Jardim River Basin, DF, Brasil. Earth and Planetary Science Letters. 222: 645-651, 2004.

Brown, D. J.; Mcsweeney, K.; Helmke, P. A. Statistical, geochemical, and morphological analyses of stone line formation in Uganda. Geomorphology. 62: 217-237. 2004.

Collinet, J. Contribution a l'étude des “stone-lines” dans la région du Moyen-ogooué (Gabon) Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. VII, n° 1, 1969.

Lal, D. Cosmic ray labelling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. Earth Planet. Sci. Lett. 104: 424-439, 1991.

Mousinho, M.R. & Bigarella. J.J. Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. Bol. Paran. Geogr., Curitiba, 16/17:43-84, 1969a.

Penteado, M. M. Novas informações a respeito dos pavimentos detríticos (“Stones lines”). Not. Geomorfol., Campinas, 9 (17): 15-41, 1969.

Porto, C. G. Intemperismo em Regiões Tropicais. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 25-58, 2003.

Riquier, J. Contribution a l'étude des “stone-lines” en régions tropicale et équatoriale. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. VII, n° 1, 1969.

Segalen, P. Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. VII, n° 1, 1969.