

## **UTILIZAÇÃO DE MARCADORES GEOQUÍMICOS NA IDENTIFICAÇÃO DE DESCONTINUIDADES EROSIVAS EM UNIDADES COLUVIAIS DA DEPRESSÃO DE GOUVEIA/MG**

CRUZ, L.O.M.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Geografia/IGC-UFMG – \*euliz@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos, 6627. Tel/Fax: 34995404/34995410

VALADÃO, R.C.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Departamento de Geografia/IGC-UFMG  
Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos, 6627. Tel/Fax: 34995404/34995410

OLIVEIRA, C.V.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Departamento de Geografia/IGC-UFMG  
Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos, 6627. Tel/Fax: 34995404/34995410

### **RESUMO**

A identificação de descontinuidades erosivas pode definir a gênese do material do solo, se *in situ* ou transportado. A utilização de marcadores geoquímicos para verificação dessas descontinuidades é baseada no comportamento dos elementos Zr e Ti, considerados imóveis durante o processo de intemperismo. O objetivo deste trabalho é contribuir para a interpretação acerca da gênese das formações superficiais da área investigada e verificar a aplicabilidade da utilização desses marcadores geoquímicos na identificação de descontinuidades erosivas e de materiais transportados. Amostras de solo foram coletadas em cinco perfis de solo de uma catena e em outros dois perfis. As amostras foram coletadas em todos os horizontes e em linhas de pedra neles presentes, segundo caracterização pedoestratigráfica, e foram submetidas à análises quantitativas dos elementos Zr e Ti, realizadas em amostras pulverizadas e prensadas em pastilhas, utilizando-se espectrômetro de fluorescência de raios-X. O comportamento na distribuição da relação Zr/Ti no interior dos perfis foi avaliado de acordo com critérios sugeridos na literatura. Foi verificado que a distribuição da relação Zr/Ti apresentou tendências de aumento da base do solum para o topo na maioria dos perfis, indicando acréscimo de material. Outra característica presente em quase todos os perfis é uma mudança de comportamento a partir da base do solum, a qual, em alguns perfis, é marcada por linhas de pedra – perfis 1 a 4. Os perfis 6 e 7 apontaram grandes variações na relação Zr/Ti na base do solum, indicando descontinuidades geoquímicas nítidas que refletem materiais de origem diferentes. Nestes perfis, as diferenças foram marcantes, dispensando outros critérios. Os resultados mostraram que as descontinuidades geoquímicas juntamente com as linhas de pedra marcaram descontinuidades erosivas, e, portanto, o transporte de materiais as descontinuidades erosivas marcadas pela presença de materiais de diferentes origens e composição mineralógica foram facilmente interpretadas com marcadores geoquímicos como Zr e Ti. Porém, para materiais com material de origem e/ou composição mineralógica semelhantes vários critérios de interpretação devem ser utilizados para uma melhor identificação dessas descontinuidades.

Palavras-chave: descontinuidade erosiva, marcadores geoquímicos, descontinuidade geoquímica, Zr/Ti, material de origem.

### **INTRODUÇÃO**

Um dos problemas acerca da gênese das formações superficiais tratados pela geomorfologia muitas vezes recai sobre a origem do material que compõe o solo e sua relação com substrato que o sustenta. Várias abordagens têm procurado, nas últimas décadas, definir a gênese autóctone ou alóctone dos materiais sobre os quais se desenvolvem os solos (QUEIROZ NETO, 2001).

A identificação de características físicas que indicam a natureza alóctone do material é, geralmente, baseada na identificação de linhas de pedra como indicadores de descontinuidades entre materiais (BIRKELAND, 1984; THOMAS, 1994; TAYLOR & ENGGLETON, 2001). Taylor & Enggleton (2001) sugerem que as propriedades mineralógicas e químicas do solo também podem ser utilizadas para determinar a natureza do material de origem do solo e se este é *in situ* ou transportado.

Vários trabalhos vêm utilizando marcadores geoquímicos para a caracterização de formações superficiais e investigação acerca de gênese de seus materiais, sobretudo a identificação de materiais coluviais (WELLS *et al.*, 1990; FRIEDRICH *et al.*, 1992; LUZ *et al.*, 1992; COOPER *et al.*, 2002; OLIVEIRA & JIMENEZ-RUEDA, 2002; TOUNI *et al.*, 2003; BROWN *et al.*, 2004, SILVA *et al.*, 2004). A utilização desses marcadores está baseada no fato de que os depósitos residuais são produtos do intemperismo diferencial e da lixiviação, responsáveis pela remoção de elementos relativamente mais solúveis do perfil de intemperismo, deixando os elementos relativamente imóveis (BIRKELAND, 1984; FRIEDRICH *et al.*, 1992; TAYLOR & ENGGLETON, 2001). A utilização do Zr e Ti é mais comumente empregada devido à maior imobilidade química relativa desses elementos durante o processo de intemperismo (FRIEDRICH *et al.*, 1992; BUTT *et al.*, 2000; TAYLOR & ENGGLETON, 2001). Assim, as distribuições de Zr e Ti se relacionam à estabilidade de seus minerais primários e/ou secundários que os contêm (ex: Zr no zircão; Ti no rutilo e anatásio).

Neste trabalho, a utilização da relação Zr/Ti tem como objetivo (i) contribuir com as interpretações acerca da gênese dos materiais que compreendem as formações superficiais da área investigada e (ii) verificar a aplicabilidade da utilização desses marcadores geoquímicos na identificação de descontinuidades erosivas e identificação de materiais transportados.

## **ÁREA DE ESTUDO**

A Depressão de Gouveia está localizada na serra do Espinhaço Meridional, centro-norte de Minas Gerais, distante cerca de 250 km de Belo Horizonte (Fig. 1-A). Seu clima é caracterizado por invernos secos de temperaturas brandas e verões úmidos de temperaturas altas, com médias anuais de 19°C de temperatura e 1336 mm de precipitação. A vegetação original, o Cerrado, foi parcialmente desflorestada por séculos de intensa atividade agrícola.

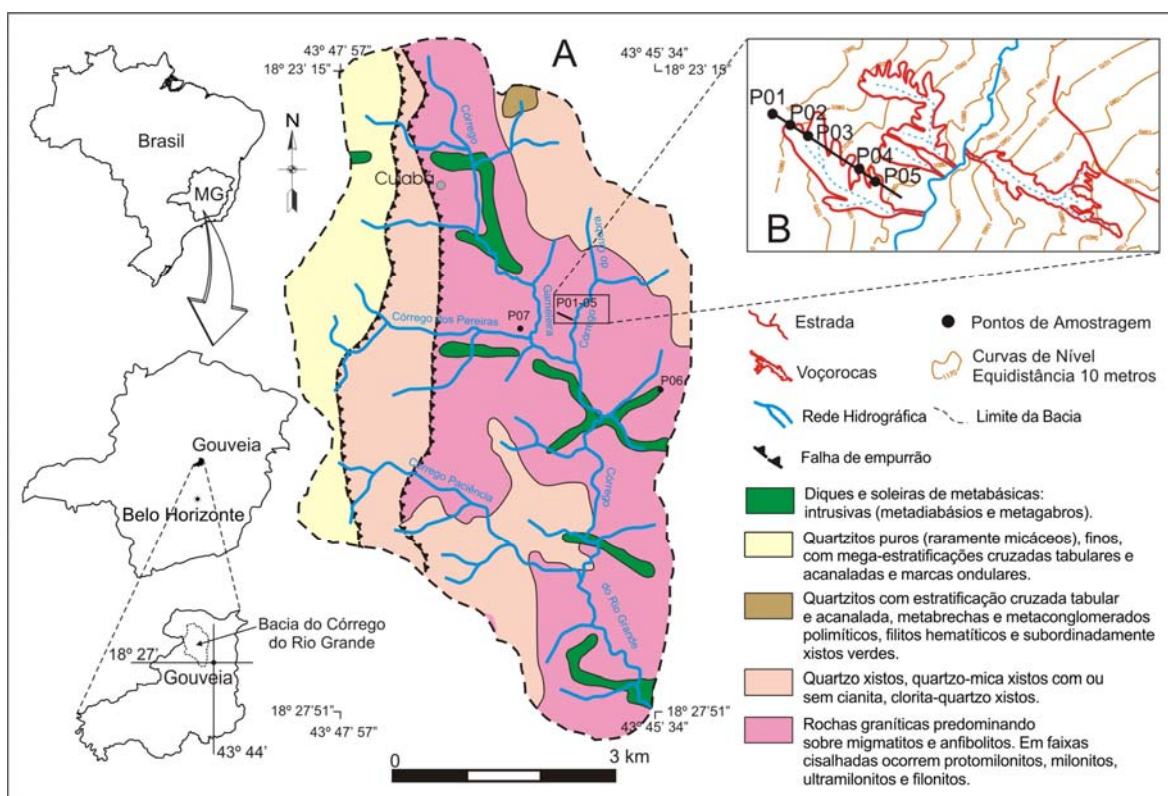


Figura 1 – Localização da Área Investigada, geologia da bacia do Córrego do Rio Grande (A) mostrando a localização dos pontos 1 a 5, em detalhe (B), e dos pontos 6 e 7. Mapa geológico modificado de COMIG, 1997.

A depressão foi desenvolvida por erosão diferencial entre seqüências de rochas metasedimentares e rochas do embasamento cristalino. A superfície rebaixada é modelada em rochas exumadas do embasamento granito-gnaiss e xistos, localmente preenchidas por diques e *sills* de rochas metabásicas (Fig. 1-A). Esta superfície é modelada em por vertentes longas e curtas, predominantemente convexas, caracterizadas pela presença de processos erosivos acelerados – voçorocas. Nesta superfície, eventos denudacionais proporcionaram o desenvolvimento de seqüências de depósitos aluviais e colúviais, sendo este último marcado pela presença de linhas de pedra e, localmente, horizontes orgânicos (SAADI & VALADÃO, 1987; SAADI, 1995; AUGUSTIN, 1994; FERREIRA, 2002). A depressão é circundada por escarpas abruptas sustentadas por xistos e quartzitos.

A área investigada está localizada na bacia do Córrego do Rio Grande (Fig. 1-A). As principais classes de solos encontrados nesta bacia são os Latossolos Vermelho-Amarelos, associados às vertentes mais longas, Cambissolos, presentes nas vertentes mais curtas, e Latossolos Vermelhos associados à rochas metabásicas (DINIZ, 2002).

A vertente da margem direita do Córrego do Quebra, na qual encontra-se a catena de solos investigada (Perfis 1 a 5), possui um comprimento de cerca de 300 metros e é essencialmente convexa em perfil, com elementos côncavos e convexos. Na área em que foi localizada a transeção, a vertente possui uma forma côncava em planta e convexa ao longo da transeção e possui declividade média de 5,9°. A vertente onde está localizado o Perfil 6 é convexa em perfil e em planta, possui cerca de 640 metros de comprimento e declividade média de 5,9°. O Perfil 7 está localizado em vertente de cerca de 395 metros de comprimento cuja forma é côncava em planta e em perfil.

## **METODOLOGIA**

As amostras de solo utilizadas nesse trabalho foram coletadas em cinco perfis (1 a 5) de uma catena e em outros dois perfis (6 e 7) localizados na bacia do Córrego do Rio Grande (Fig. 1-A e B). Os solos foram descritos segundo metodologia proposta por Lemos & Santos (1996) e as amostras coletadas em todos os horizontes e em linhas de pedra neles presentes, segundo caracterização pedostratigráfica. Análises quantitativas dos elementos Zr e Ti foram realizadas em amostras pulverizadas e prensadas em pastilhas, utilizando-se espectrômetro de fluorescência de raios-X.

Os solos da catena foram classificados desta forma: Cambissolo típico e Cambissolo latossólico na alta vertente – perfis 1 e 2 (P1 e P2), respectivamente –, Latossolo Vermelho-Amarelo na média vertente – Perfil 3 (P3) –, e, respectivamente, Cambissolo latossólico – Perfil 4 (P4) – e Neossolo Regolítico – Perfil 5 (P5) – na baixa vertente. Estes perfis apresentaram, em profundidades diferentes, linhas de pedra (LP) e transição abrupta do solum para o horizonte C. Os perfis 6 e 7 (P6 e P7) foram classificados como Latossolo Vermelho, posicionados na média e baixa vertente, respectivamente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O comportamento da relação Zr/Ti demonstra, de forma geral, variações em sua distribuição no interior dos perfis, na maioria das vezes apresentando tendências claras na direção da curvas (Fig. 2). Em alguns perfis as amostras do horizonte A tiveram também maiores variações devido a diminuição na concentração de material de granulometria mais fina que são carreados pelo escoamento superficial (PORTILHO, 2003).

A curva de distribuição da relação  $Zr/Ti$  apresentou tendências de aumento da base do solum para o topo, com exceção do Perfil 6. Outra característica verificada foi uma mudança de comportamento a partir da base do solum, onde há presença de linha de pedra – perfis 1 a 4. Uma exceção aparece no Perfil 2, que apesar de demonstrar duas variações maiores na curva de distribuição, marcadas por duas linhas de pedra, não apresenta mudança de comportamento das amostras do solum em relação às amostras do horizonte C, como verificado nos outros perfis.

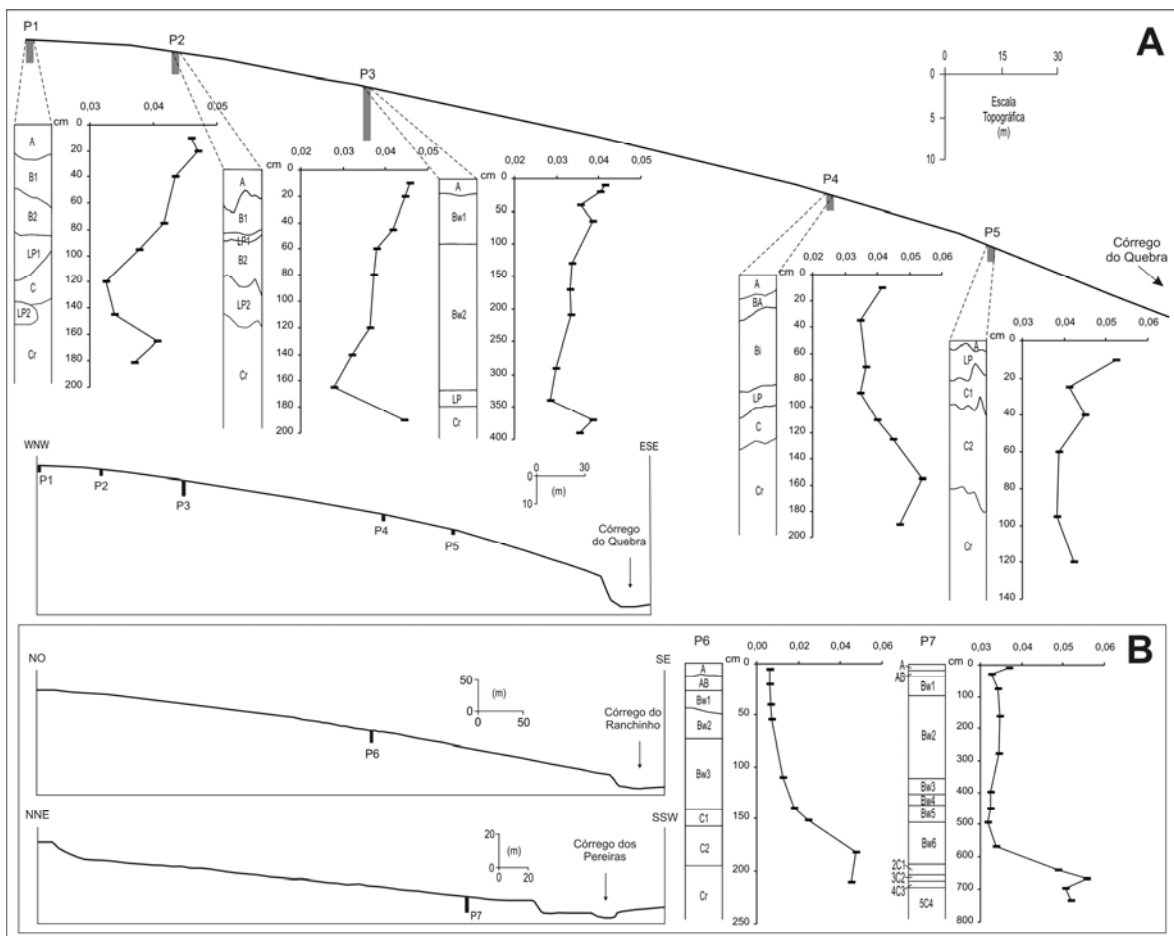


Figura 2 – Curvas de distribuição da relação  $Zr/Ti$  dos perfis 1, 2, 3, 4 e 5 mostrando a posição dos solos estudados na catena (A) e dos perfis 6 e 7 com respectivas posições na vertente onde estão localizados (B).

A análise da relação  $Zr/Ti$  apontou grandes diferenciações nos perfis 6 e 7. Nestes perfis os valores da relação  $Zr/Ti$  e suas variações abruptas na base do solum indicam discontinuidades geoquímicas nítidas que refletem materiais de origem diferentes e, conseqüentemente, o seu transporte. A maior variação foi encontrada no Perfil 6, sugerindo transporte de material de origem diferente ao do substrato, refletindo hipótese levantada em campo de que o material originário de rochas mais básicas – metabásicas – foi transportado sobre material originário de rochas graníticas. O Perfil 7 também apresentou

variação abrupta na relação Zr/Ti, refletindo a discordância entre material coluvial e aluvial encontrado em sua base. Nestes perfis as discordâncias indicam presença de materiais de origem de composição mineralógica diferentes.

Na seqüência de solos – perfis 1 a 5 – discontinuidades geoquímicas marcantes, como aquelas encontradas nos perfis 6 e 7, tendem a ser obscurecidas porque a rocha subjacente e o material de origem do solo têm a mesma constituição mineralógica. Assim, vários critérios devem ser utilizados para identificação mais precisa de tais discontinuidades e da gênese do material.

Diversos critérios têm sido propostos na literatura com vistas à identificação de discontinuidades que possam atestar a presença de materiais transportados utilizando a relação entre esses elementos (MAYNARD, 1992; TSAI & CHEN, 2000; OLIVEIRA & JIMENEZ-RUEDA, 2002; COOPER *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2004; TOUNI *et al.*, 2003).

Maynard (1992) propõe que se a relação Ti/Zr tiver um desvio maior que 100% a partir do material de origem, para materiais muito intemperizados, provavelmente há a presença de algum material alóctone ( $\text{Desvio} = (\text{Ti}/\text{Zr}_s - \text{Ti}/\text{Zr}_p) / \text{Ti}/\text{Zr}_p$ , onde s=solo e p=material de origem). O desvio nas amostras do solum no Perfil 6 demonstrou desvios acima de 100%. Entretanto, os desvios nos demais perfis da seqüência de solos ficaram abaixo desse valor. A causa provável para o desvio menor que o esperado seria a semelhança mineralógica como o material de origem. Assim, sugere-se que este critério só pode ser utilizado para materiais de composição mineralógica diferente, como no Perfil 6, onde há materiais provindos de rochas básicas sobre materiais derivados de rochas félsicas.

COOPER *et al.* (2002) e SILVA *et al.* (2004) se baseiam na variação do Zr e Ti através do perfil comparando coeficientes de variação desses elementos em depósitos investigados por Drees & Wilding (1973). Contudo, a fração granulométrica investigada por Drees & Wilding é diferente da utilizada neste trabalho, inviabilizando uma possível comparação.

Tsai & Chen (2000), Oliveira & Jimenez-Rueda (2002) e Touni *et al.* (2003) utilizaram a proposição de que esses constituintes comumente exibem tendências similares e uniformes através de um perfil de solo. As mudanças abruptas na relação Zr/Ti encontradas no contato do solum com o horizonte C nos perfis da seqüência de solos – perfis 1 a 4 – e nos perfis 6 e 7, juntamente com a tendência de acréscimo de material em direção ao topo do perfil, sugerem o transporte de materiais (Fig. 2), a exemplo do comportamento verificado por Touni *et al.* (2003). Estes autores relatam que mudanças

abruptas e o aumento da relação Zr/Ti em direção ao topo do solo sugerem sedimentação de material alóctone associada com um acréscimo de material de outras origens. Oliveira & Jimenez-Rueda (2002) sugerem o transporte de materiais com base na mudança de comportamento da relação Zr/Ti a partir do horizonte C, como observado em quase todos os perfis, a exceção do Perfil 2 (Fig. 2).

Na tentativa de estabelecer uma comparação menos subjetiva, foram aplicados coeficientes de variação em dados geoquímicos disponíveis na literatura e nos dados obtidos neste trabalho (Tab. 1). O coeficiente de variação mede o grau de variabilidade encontrado em um mesmo perfil, mas pode ser aplicado para comparação entre perfis. O coeficiente consta simplesmente do desvio padrão dividido pela média, segundo proposta de Koch & Link (1970 *apud* MAYNARD,1992). Maynard (1992) utiliza esse coeficiente para comparar solos recentes a paleossolos.

Tabela 1 – Coeficiente de variação da relação Zr/Ti para dados encontrados na literatura e obtidos nos perfis.

Referência	Tipo de Material	Coeficiente de Variação	Perfis Comparados	Coeficiente de Variação
Cooper <i>et al.</i> , (2002)	coluvial	0,17	Perfil 1	0,13
	coluvial	0,20	Perfil 2	0,16
Oliveira & Jimenez-Rueda (2002)	<i>in situ</i>	0,33	Perfil 3	0,12
	<i>in situ</i>	0,45	Perfil 4	0,16
	coluvial	0,16	Perfil 5	0,07
	coluvial	0,24	Perfil 6	0,86
Silva <i>et al.</i> (2004)	aluvial	0,26	Perfil 7	0,23
	coluvial	0,19		
Nesbitt & Markovics (1997)	saprólito	0,06		

Observa-se que, comparativamente, nos perfis em que o material é transportado o coeficiente de variação é mais baixo que nos perfis desenvolvidos sobre material *in situ*. É observado também que em amostras derivadas unicamente do saprólito o coeficiente é bem baixo.

Comparando os dados da relação Zr/Ti obtidos nos perfis deste trabalho se observa que os coeficientes, apesar de serem mais baixos, estão próximos aos de materiais coluviais encontrados na literatura, como também aquele do Perfil 7, cujo material é seguramente coluvial. O coeficiente do Perfil 5, com amostras somente do horizonte C, apresentou-se semelhante ao coeficiente encontrado no saprólito, sugerindo variações menores para materiais com mesmo grau de desenvolvimento. O Perfil 6 apresentou um

coeficiente bem superior aos outros por apresentar materiais de composições bem discrepantes, o que aumenta muito o desvio padrão.

Essa configuração entre os valores do coeficiente sugere que há limites superiores e inferiores no qual se possa inferir que os materiais são transportados ou *in situ*. Permite ainda a detecção de materiais de composição diferente, na qual a variação tende a apresentar coeficientes maiores. Apesar dessa comparação sugerir que os materiais dos perfis são transportados, propõe-se que maior número de comparações entre diversos materiais sejam realizadas com o objetivo de se definir possíveis limites para solos tropicais.

## **CONCLUSÕES**

As discontinuidades geoquímicas identificadas pela relação Zr/Ti juntamente com as características físicas dos perfis – leia-se linhas de pedra – marcam discontinuidades erosivas, e, portanto, o transporte de materiais onde se desenvolveram os solos da área investigada.

As discontinuidades erosivas marcadas pela presença de materiais de diferentes origens e composição mineralógica são facilmente interpretadas com marcadores geoquímicos como Zr e Ti. Porém, para materiais com material de origem e/ou composição mineralógica semelhante vários critérios de interpretação devem ser utilizados para uma melhor identificação dessas discontinuidades.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Serviço de Química e Radioquímica do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN na pessoa de Roberto Pellacani e Herculis Bernardes, pela preparação das amostras, e ao Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa – CPMTC-IGC-UFMG na pessoa do Prof. Antônio Carlos Pedrosa Soares e Kácia Monteiro, pelas análises de fluorescência de raios-X.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AUGUSTIN, C.H.R.R. Amphitheaters and hollows with depositional sequences and their significance on the evolution of tropical landscape. In: International Sedimentological Congress, 14., 1994, Recife. *Abstracts...* Recife: IAS/UFPE, 1994, p.G5-G6.
- BIRKELAND, P.W. *Soils and geomorphology*. New York: 1984. 372p.



- BROWN, D.J.; MCSWEENEY, K. & HELMKE, P.A. Statistical, geochemical, and morphological analyses of stone line formation in Uganda. *Geomorphology*. 62:217-237, 2004.
- BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J. & ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscapes in deeply weathered terrain – implications for geochemical exploration. *Ore Geology Reviews*.16:167–183, 2000.
- COMIG-COMPANHIA MINERADORA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Projeto Espinhaço, Mapas Geológicos, Folhas Diamantina e Presidente Kubitschek*. Belo Horizonte: COMIG. 1997. Escala 1:100.000. CD-ROM.
- COOPER, M.; VITAL-TORRADO, P. & LEPSCH, I.F. Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in a case study in SE-Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 26:673-683, 2002.
- DINIZ, A.D. *Levantamento Pedológico da Porção Norte da Bacia do Ribeirão do Chiqueiro e a Relação entre as Classes de Solos e a Erosão, Gouveia, MG*. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2002. 127p. (Dissertação de Mestrado).
- DREES, L.R. & WILDING, L.P. Elemental variability within a sampling unit. *Soil Science Society of America Proceedings*. 37(1):82-87, 1973.
- FERREIRA, A.O. *Mapeamento das formações superficiais da bacia do Córrego do Rio Grande – Depressão de Gouveia (Serra do Espinhaço Meridional/MG)*. IGC/UFMG, Belo Horizonte, 2002.138p. (Dissertação de Mestrado).
- FRIEDRICH, G.; MARKER, A. & KANIG, M. Heavy Mineral Surveys in Exploration of Lateritic Terrain In: BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H. (Ed.) *Handbook of exploration geochemistry: regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains*. v. 4. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V. 1992. p. 481-498.
- KOCH, G.S. & LINK, R.F. *Statistical Analysis of Geologic Data*. Vol. 1: New York, Wiley, 375p.
- LEMOS, R.C. de & SANTOS, R.D. dos. *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. 4ª ed. SBCS, Viçosa, MG. 83p.
- LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C.D.& MERMUT, A.R. Pedogênese em uma topossequência do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 16:95-102, 1992.
- MAYNARD J.B. Chemistry of modern soils as a guide to interpreting precambrian paleosols. *The Journal of Geology*. 100:279-289, 1992.

- NESBITT, H.W. & MARKOVICS, G. Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61(8):1653-1670, 1997.
- OLIVEIRA, V.Á. & JIMENEZ-RUEDA, J.R. Relação solo/material litológico subjacente em latossolos de dois compartimentos do planalto central goiano. *Geociências*. São Paulo: UNESP, 21(1/2):85-96, 2002.
- PORTILHO, S. *Perda de Solo por Escoamento Superficial e os Padrões de Infiltração e Percolação da Água no Solo, Microbacia do Córrego do Quebra, Gouveia, Espinhaço Meridional, MG*. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2003. 116p. (Dissertação de Mestrado).
- QUEIROZ NETO, J.P. O estudo de formações superficiais no Brasil. *Revista do Instituto Geológico*. 22,1/2:65-78, 2001.
- SAADI, A. & VALADÃO, R.C. Evolução Geomorfológica Quaternária da Região de Gouveia, Serra do Espinhaço. In: *Anais do 4º Simpósio de Geologia de Minas Gerais*. SBG-MG. Bol. SBG, Belo Horizonte-MG, 1987. p.434-448.
- SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas Margens. *Geonomos - Revista de Geociências*. 3(1):41-63, 1995.
- SILVA, A.C.; VITAL-TORRADO, P.; MARTINEZ CORTIZAS, A.; GARCIA RODEJA, E. Solos do topo da serra São José (Minas Gerais) e suas relações com paleoclima no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28:455-466, 2004.
- TAYLOR, G. & EGGLETON, R.A. *Regolith geology and geomorphology*. Chichester, England. John Wiley, 2001. 375p.
- THOMAS, M.F. *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. Chichester, England. John Wiley, 1994. 460p.
- TOUNI, E.; EGGLETON, T. & TAYLOR, G. Micromorphology and chemical weathering of a K-rich trachyandesite and an associated sedimentary cover (Parkes, SE Australia). *Catena*. 53:181-207, 2003.
- TSAI, C.C. & CHEN, Z.S. Lithologic discontinuities in ultisols along a toposequence in Taiwan. *Soil Science*. 167,7:587-596, 2000.
- WELLS, N.A.; ANDRIAMIHAJA, B. & RAKOTOVOLOLONA, H.F.S. Stonelines and landscape development on the laterized craton of Madagascar. *Geological Society of America Bulletin*. 102:615-627, 1990.