



## Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional - MG

André Augusto Rodrigues Salgado<sup>1</sup> e Dr. Roberto Célio Valadão<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Geologia do DEGEO/UFOP  
Telefone: (31) 3651-0449  
e-mail: [salgado1971@yahoo.com.br](mailto:salgado1971@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Geografia do IGC/UFMG  
Telefone: (31) 3499-5434  
e-mail: [valado@dalus.lcc.ufmg.br](mailto:valado@dalus.lcc.ufmg.br)

---

### RESUMO

O presente trabalho investiga a contribuição da desnudação geoquímica nos processos erosivos diferenciais na Depressão de Gouveia e seu entorno (Espinhaço Meridional/MG). Para tanto foram utilizadas análises físico-químicas de águas superficiais coletadas em 21 (vinte e um) pontos de monitoramento, localizados em duas bacias hidrográficas que drenam a área de estudo. A coleta das amostras de água foi realizada em três períodos distintos do ano: seco, úmido e semi-úmido. Os parâmetros analisados foram: pH, sólidos totais dissolvidos TDS, sílica, ferro, alumínio, sódio, cálcio, magnésio e potássio. Os resultados indicam que a desnudação geoquímica é um dos fatores responsáveis pela erosão diferencial, uma vez que é possível verificar a existência de dois comportamentos desnudacionais geoquímicos distintos na área investigada: (i) elevadas taxas de desnudação geoquímica naquelas áreas topograficamente deprimidas que ocupam o piso da Depressão de Gouveia, modelada nos litótipos arqueanos do Complexo Gouveia; (ii) baixas taxas de desnudação geoquímica notadamente nos planaltos que circundam essa depressão, modelados, sobretudo, nas unidades quartzíticas do Supergrupo Espinhaço.

**Palavras Chave:** erosão diferencial, desnudação geoquímica, evolução do relevo continental.

### ABSTRACT

This paper researches the contribution of chemical denudation to evolution of differential erosion processes in Gouveia's Depression and around (Espinhaço Meridional/MG). The research base was physic-chemical analysis of water rivers in 21 check points in two rivers basins that draining this area. The water check was in three-year periods: dry, humid and semi-humid. Was analysis: pH, total solid load, silica, iron, aluminum, sodium, calcium, magnesium and potassium. The results show that chemical denudation is one of responsible factors to differential erosion, because in the area there are two chemical denudation compartments: (i) higher rates in the granitic-gnaissic embasament of the Gouveia's Depression and; (ii) lower in the quartzite mountains that be the around of Gouveia's Depression.

**Key Words:** differential erosion, chemical denudation, continental relief evolution.

---

## 1. Introdução

Os processos desnudacionais constituem uma das principais preocupações da ciência geomorfológica. Fundamentam, em conjunto com as concepções geotectônicas, as teorias que retratam a evolução do relevo das áreas continentais. No entanto, apesar de profundamente investigados, esses processos ainda estão longe de ser completamente compreendidos. Em parte esse fato se justifica uma vez que a desnudação total é o resultado da somatória das desnudações mecânica e geoquímica, as quais guardam estreito relacionamento e possuem intensidade que varia grandemente no espaço e no tempo (Leeder, 1991).

Neste trabalho, o termo desnudação é utilizado segundo concepção proposta por Carson & Kirkby (1972). Trata-se da perda de material das áreas continentais, em superfície e sub-superfície, através das bacias hidrográficas. Essa perda é realizada graças à atuação inicial de processos intempéricos mecânicos e/ou químicos. Esses mesmos autores definem erosão como o processo de remoção, transporte e deposição de material na superfície terrestre, termo esse que exclui a atuação de processos geoquímicos que atuam em sub-superfície.

Conseqüentemente, o modelado de áreas continentais marcadas pela erosão diferencial não pode ser investigado com base apenas na erosão mecânica, uma vez que, inegavelmente, a desnudação geoquímica desempenha papel fundamental na sua elaboração.

Nesse contexto se insere o presente trabalho, cujo objetivo é investigar a contribuição da desnudação geoquímica para a evolução do relevo da Depressão de Gouveia e seu entorno, cuja compartimentação geomorfológica é rica em elementos produzidos pela erosão diferencial.

## 2. Caracterização da área investigada

A Depressão de Gouveia está localizada no Município de Gouveia, região Centro-Norte do Estado de Minas Gerais (Figura 1a). Essa depressão é em grande parte drenada pelo Ribeirão Areia, uma sub-bacia hidrográfica pertencente à Bacia do Rio São Francisco. Geomorfológicamente constitui uma depressão encravada na Serra do Espinhaço Meridional MG, circundada, em todas as direções, por proeminentes escarpamentos. A erosão diferencial, uma das características que se expressa fortemente na paisagem da depressão, é responsável pela formação de dois compartimentos geomorfológicos distintos: (i) *piso da depressão*, e (ii) *superfície cimeira* (Figura 1b). O *piso da depressão* tem por substrato as rochas do embasamento arqueano, localmente denominado Complexo Gouveia (Figura 1b). Predominam granitos e gnaisses, embora seja comum a ocorrência de intrusões metabásicas datadas do Proterozóico Superior que

afloram no eixo NNW/SSE, eixo este preferencial do sistema regional de falhas e fraturas.

Morfologicamente, o *piso da depressão* é modelado em vertentes convexas alongadas, cujos interflúvios ocupam cotas altimétricas entre 1.000 a 1.050 m. O clima é tropical semi-úmido com estação seca no inverno. Pedologicamente predominam Latossolos que sustentam um cerrado degradado. No entanto, a principal característica da paisagem desse compartimento é a abundância de formas oriundas de processos erosivos acelerados, a exemplo de voçorocas de grandes proporções (Salgado, 2002).

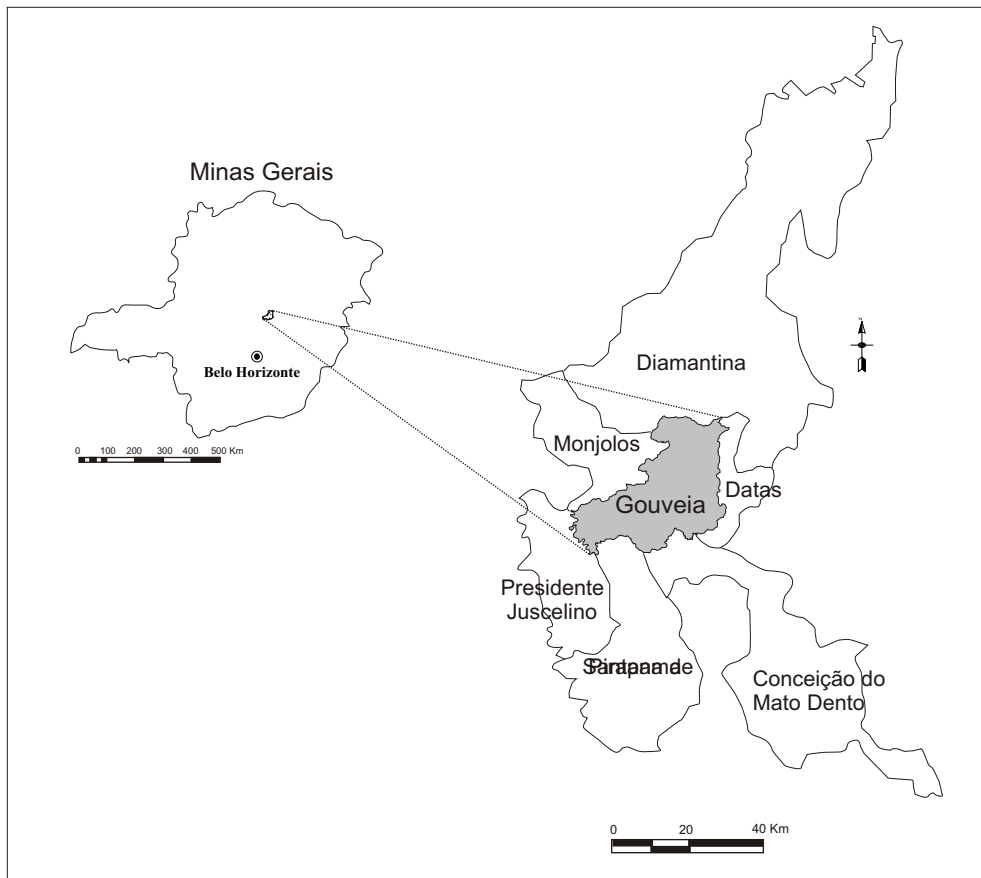
O compartimento *superfície cimeira* constitui o entorno da depressão e tem como substrato os quartzitos do Supergrupo Espinhaço (Figura 1b). De modo semelhante ao *piso da depressão*, esses quartzitos são entrecortados por intrusões de rochas metabásicas. A morfologia típica é de uma superfície aplanada 1.200 a 1300 m, que trunca indiferentemente dobramentos e cavalgamentos em que se estruturam os quartzitos. Essa superfície é pontilhada de relevos residuais que se elevam a mais de 1.400 m. O clima é mais ameno que aquele verificado na área deprimida. Já os solos são rasos e arenosos, localmente litólicos. Variações pedológicas significativas ocorrem apenas nas áreas onde se encontram exumadas intrusões de rochas metabásicas. A vegetação é composta por estrato herbáceo típico de campos de altitude (Salgado, 2002).

Escarpas quartzíticas e xistosas modeladas nas rochas do Grupo Costa Sena e do Supergrupo Espinhaço definem o contato entre esses dois compartimentos geomorfológicos. Essas escarpas apresentam declividades elevadas e se estendem, geralmente, entre as cotas 1.050 e 1.200m.

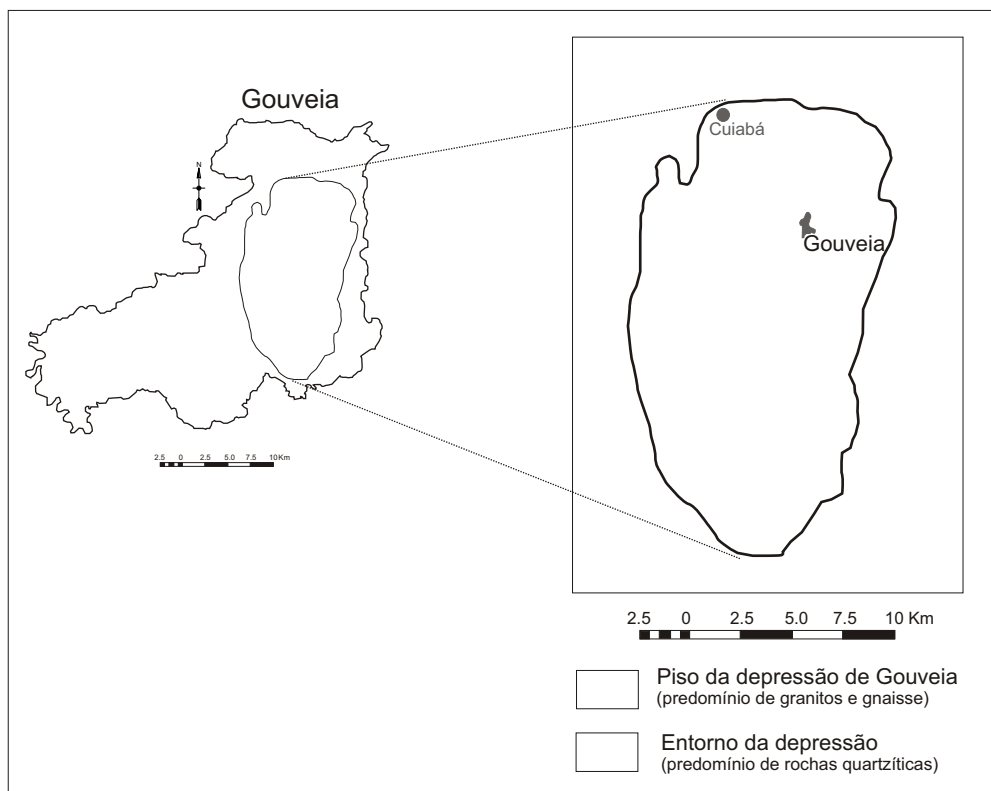
## 3. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos adotados visam quantificar a intensidade da desnudação geoquímica na Depressão de Gouveia e seu entorno. Define-se como entorno da depressão as extensões do compartimento *superfície cimeira* que possuem drenagem convergindo para o interior da área deprimida.

Para tanto, foram monitoradas duas bacias hidrográficas (Figura 2a, b). A primeira, a Bacia do Córrego Rio Grande, com nove pontos de coleta de água monitorados, possui área de 34 km<sup>2</sup> e está quase que completamente inserida no interior da área deprimida, onde predominam litotipos arqueanos do Complexo Gouveia (Figura 3). A segunda, a Bacia do Ribeirão Areia, em sua extensão localizada à montante de sua confluência com o Ribeirão do Chiqueiro, foi monitorada em doze pontos. Essa última bacia possui área de 134 km<sup>2</sup> e está localizada majoritariamente no entorno da Depressão de Gouveia, onde predominam rochas quartzíticas



**Figura 1a** - Mapa de Localização do Município Gouveia (Adaptado de Portilho et al, 2001).



**Figura 1b** - Mapa de Localização da Depressão de Gouveia no Município Gouveia.

pertencentes à Formação Galho do Miguel Supergrupo Espinhaço.

A base da investigação elaborada neste trabalho constituiu-se da análise integrada de mapas temáticos das duas bacias hidrográficas compartimentação geomorfológica e arcabouço geológico com os resultados egressos de análises hidroquímicas de amostras de água superficiais. Essas amostras foram coletadas em canais fluviais de ordens hierárquicas diversas, totalizando 21 pontos de monitoramento (Figuras 2a e 3). Foram realizadas, em cada ponto de monitoramento, três coletas de água em diferentes estações climáticas do ano: (i) novembro/2000, período da meia estação; (ii) março/2001, período úmido do ano e; (iii) julho/2001, período seco do ano. Após coleta, as amostras de água foram encaminhadas para os laboratórios do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear CDTN, em Belo Horizonte/MG. Os elementos Fe, Mg, Na, K e Al, presentes nessas amostras, foram mensurados por absorção atômica em amostras de 100 ml previamente filtradas.

A mensuração dos sólidos totais dissolvidos TDS foi realizada em amostras filtradas de 100 ml secas em estufa e, finalmente, pesadas em balanças calibradas.

A quantificação da sílica presente nas amostras de água foi obtida por método de coloração em amostras previamente secas em estufa. Os valores de pH foram mensurados durante os trabalhos de campo por meio de aparelho portátil pHmetro.

Uma vez mensurados os valores relativos aos sólidos dissolvidos nas amostras de água, esses foram utilizados para o cálculo da taxa anual de rebaixamento do relevo das duas bacias hidrográficas investigadas, por meio do emprego de método descrito no próximo item deste trabalho.

#### 4. Resultados e discussões

Os dados egressos das análises laboratoriais foram individualizados em médias anuais taxas, segundo as bacias hidrográficas nas quais as amostras de água foram coletadas.

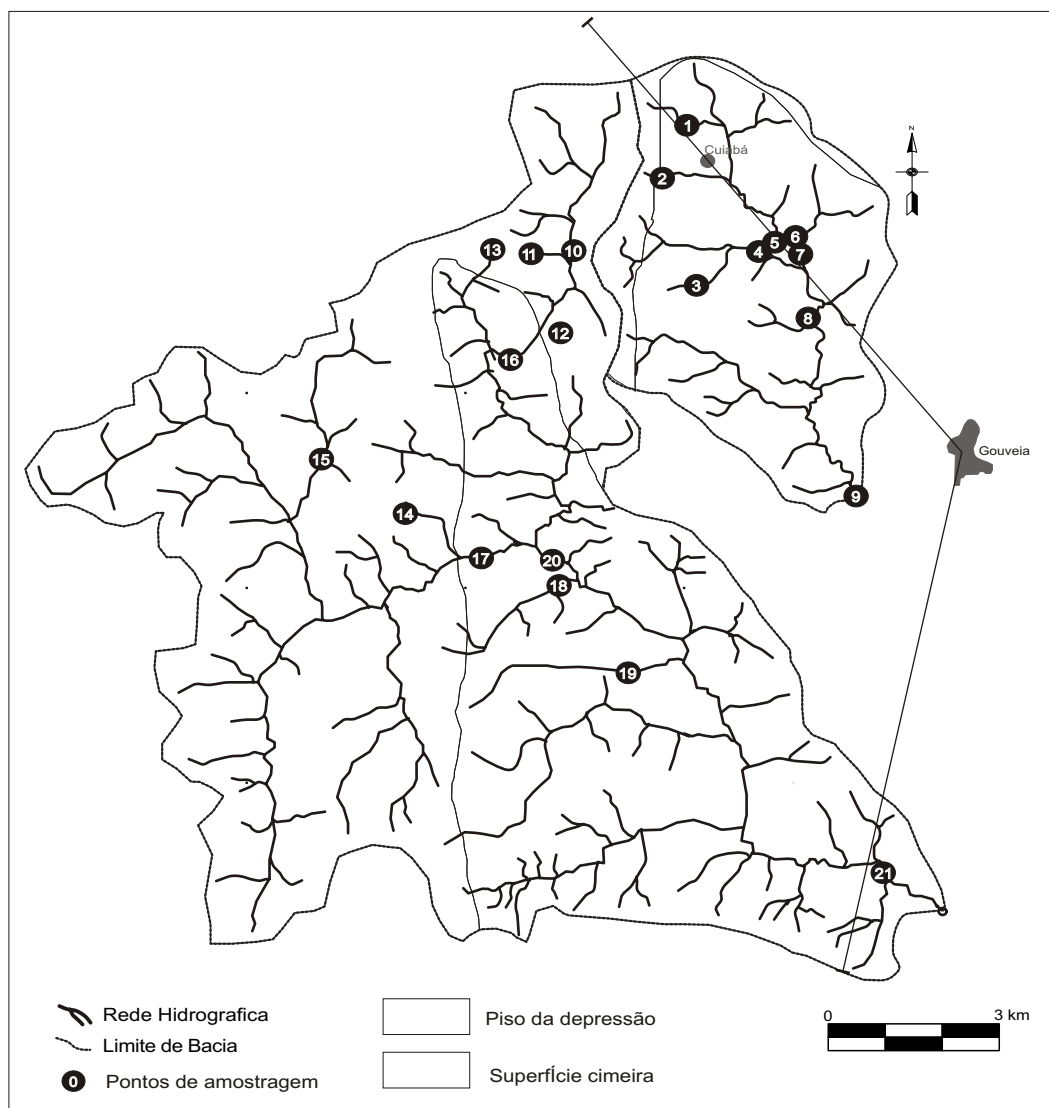
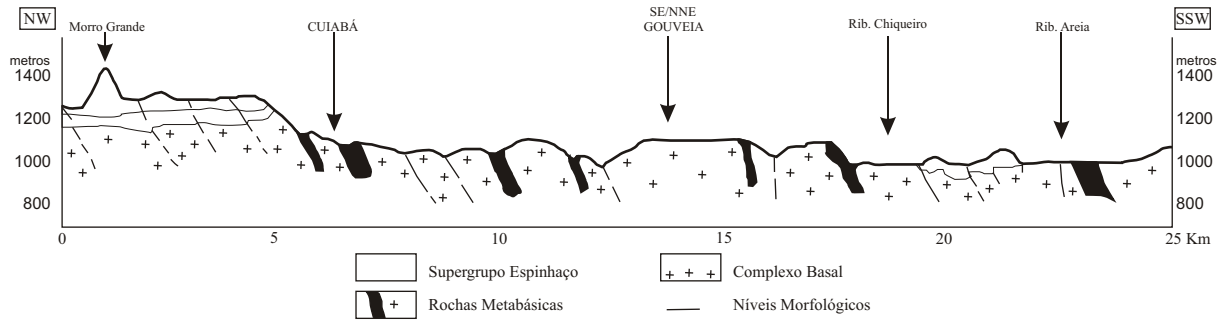
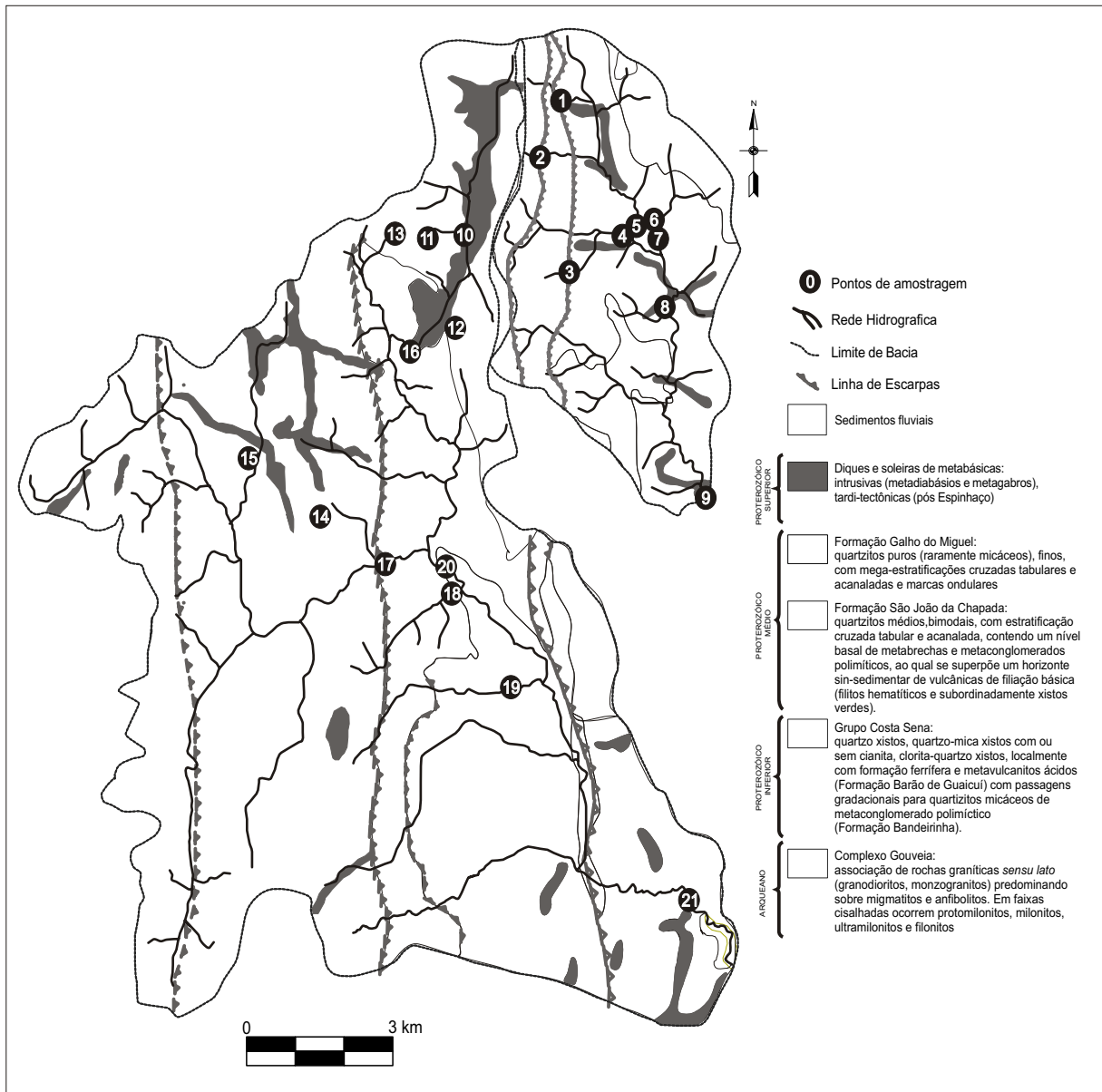


Figura 2a - Pontos de Amostragem de água e das Bacias do Córrego Rio Grande e Ribeirão Areia.



**Figura 2b** Perfil Geomorfológico da Depressão de Gouveia (Adaptado de Saadi, 1995).



**Figura 3** - Pontos de amostragem de água e geologia das Bacias do Córrego Rio Grande e Ribeirão Areia.

Complementarmente, essas taxas foram organizadas segundo a localização dos pontos monitorados para cada unidade geomorfológica presente nas bacias hidrográficas, conforme apresentado na Tabela 1.

As taxas médias anuais de pH comprovam a tendência à acidez das águas fluviais valores entre 5,6 e 6,3. É importante observar que os elementos Ca, Na, K, Mg, Fe e Al não apresentaram variações significativas capazes de expressar diferenciações regionais que balizam conclusões acerca da contribuição da desnudação geoquímica no processo de erosão diferencial. Por outro lado, variações significativas foram observadas na mensuração da sílica e dos sólidos totais dissolvidos TDS.

As taxas mensuradas de sílica variam entre 6,9 e 15,0 mg/l<sup>1</sup>. Os valores mais elevados foram encontrados na unidade geomorfológica *piso da depressão*, notadamente na Bacia do Córrego Rio Grande - 10,6 a 15,0 mg/l<sup>1</sup>. Os valores mais baixos

foram encontrados na unidade *superfície cimeira*, localizada na Bacia do Ribeirão Areia 7,5 a 8,9 mg/l<sup>1</sup>. É importante observar que baixas taxas de sílica 6,9 a 8,5 mg/l<sup>1</sup> ocorreram em alguns pontos de amostragem pontos 16, 17, 18, 20 e 21 que, embora localizados no *piso da depressão*, possuem significativa área de montante drenando a *superfície cimeira* (Figuras 2). As variações verificadas nas taxas de sílica apresentam estreita correlação com as unidades geomorfológicas regionais (Figura 4). Os pontos de monitoramento localizados na *superfície cimeira* pontos 10, 11, 12, 13, 14 e 15, bem como aqueles localizados no *piso da depressão* e que apresentam grande contribuição dessa última pontos 16, 17, 18, 20 e 21, registram baixas taxas de sílica quando comparados àqueles localizados no *piso da depressão* pontos 01 a 09 e 19. Comportamento semelhante é verificado por meio da correlação entre as taxas de sólidos totais dissolvidos - TDS e as unidades geomorfológicas (Figura 5).

**Tabela 1** - Taxas médias anuais de pH, Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, sílica e sólidos totais dissolvidos (TDS) para os pontos monitorados.

Bacia Hidrográfica	Unidades Geomorfológicas	Pontos de amostragem	pH	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	Al (mg/l)	Sílica (mg/l)	TDS (mg/l)
Bacia do Córrego Rio Grande	Piso da Depressão	01	6,1	0,32	1,77	0,87	0,26	0,43	<0,50	12,6	31
		02	6,1	0,36	0,43	0,25	0,42	0,26	<0,50	10,6	26
		03	6,1	0,19	0,82	0,25	0,31	1,37	<0,50	15,0	31
		04	6,2	0,06	0,24	0,13	0,14	0,78	<0,50	12,3	26
		05	6,3	0,16	1,90	0,77	0,17	0,27	<0,50	13,0	30
		06	6,2	0,39	0,47	0,28	0,40	0,43	<0,50	13,8	27
		07	6,2	0,28	1,20	0,66	0,30	0,48	<0,50	15,0	35
		08	6,1	0,16	0,59	0,13	0,42	1,17	<0,50	13,3	32
		09	6,2	0,19	0,76	0,44	0,34	0,87	<0,50	13,8	33
Bacia do Ribeirão Areia	Superfície Cimeira	10	6,2	0,71	0,98	0,53	0,62	0,09	<0,50	8,2	21
		11	6,0	<b>0,43</b>	<b>1,43</b>	<b>0,77</b>	<b>0,29</b>	<b>0,25</b>	<0,50	<b>8,9</b>	20
		12	5,8	0,05	1,17	0,73	0,06	0,09	<0,50	9,7	20
		13	5,9	0,34	1,40	0,66	0,29	0,33	<0,50	7,5	20
		14	5,6	0,26	1,20	0,54	0,34	0,15	<0,50	8,6	22
		15	6,3	0,05	0,13	0,29	0,16	0,23	<0,50	6,9	19
	Piso da Depressão	16	6,3	0,30	0,63	0,35	0,37	0,39	<0,50	8,4	23
		17	6,3	0,13	0,29	0,20	0,25	0,18	<0,50	8,4	20
		18	5,7	0,24	0,57	0,24	0,36	1,30	<0,50	6,9	21
		19	6,0	0,05	0,18	0,12	0,08	0,56	<0,50	14,1	28
		20	6,1	0,08	0,31	0,13	0,33	0,10	<0,50	8,4	24
		21	6,2	0,15	1,40	0,84	0,23	0,52	<0,50	8,5	27

Ascorrelações apresentadas nas figuras 4 e 5 guardam, ainda, estreita associação ao arcabouço geológico da área investigada (Figuras 6 e 7). Pontos de amostragem de água localizados sobre as rochas do Complexo Gouveia rochas graníticas *senso lato*, migmatitos e anfíbolitos apresentam taxas elevadas de sílica e sólidos totais dissolvidos. Taxas reduzidas desses elementos estão presentes, sobretudo, nas unidades litológicas pertencentes ao Grupo Costa Sena quartzo e quartzo mica-xistos e ao Supergrupo Espinhaço quartzitos. Esses dados comprovam que a unidade *piso da depressão*, modelada nos litotipos do embasamento, é, atualmente, mais afetada pela desnudação geoquímica que aquela unidade modelada nas rochas quartzíticas *superfície cimeira*.

Essa constatação pode ser expressa quantitativamente por meio do cálculo da taxa anual de rebaixamento do relevo, segundo método consagrado na literatura geomorfológica e utilizado por Reesman & Godfrey (1981), Pinet & Sorriau (1988), Thomas (1994a, b), Summerfield (1991), Milliman & Syvitski (1992), Mortatti et al. (1997); Burbank & Anderson (2001) e Burbank (2002). Esse método propõe que caso 1 km<sup>2</sup> da superfície das áreas continentais perca, anualmente, 2,65 toneladas de massa, ao final de 1 milhão de anos essa mesma superfície terá sido rebaixada, verticalmente, em 1 metro.

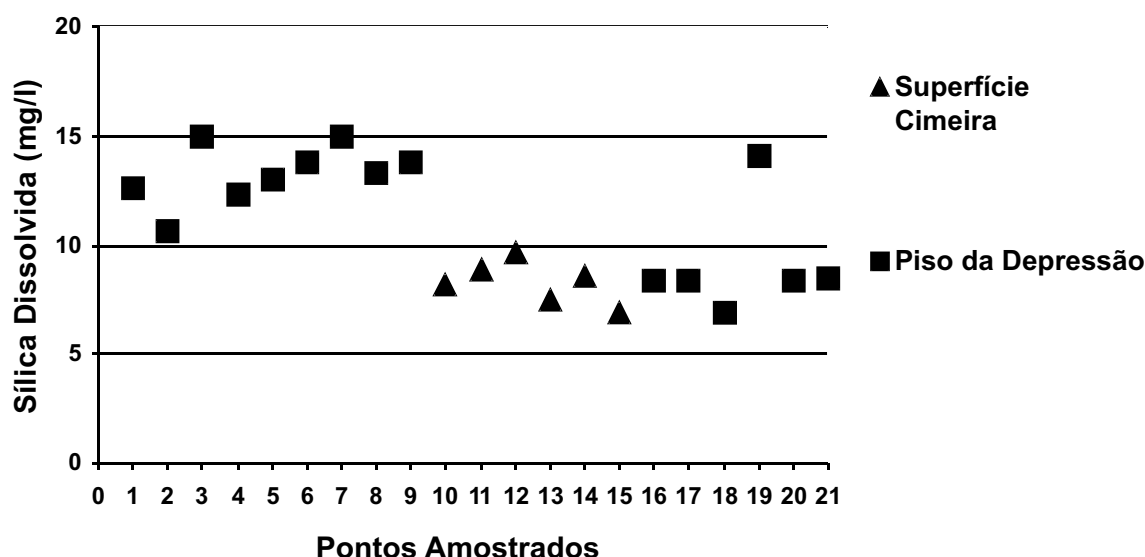
A aplicação desse princípio às duas bacias

hidrográficas investigadas sugere que as atuais taxas de desnudação geoquímica apresentam os seguintes valores: (i) 5,03 mMA<sup>-1</sup> para a Bacia do Córrego Rio Grande; (ii) 2,43 mMA<sup>-1</sup>, para a Bacia do Ribeirão Areia. Uma vez que a Bacia do Córrego Rio Grande está em grande parte inserida na unidade *piso da depressão* e que a Bacia do Ribeirão Areia possui extensão considerável localizada na unidade *superfície cimeira*, os valores das taxas de rebaixamento geoquímico do relevo comprovam a ocorrência de do substrato geológico. Tal constatação é embasada em correntes do pensamento geomorfológico, a exemplo daquelas que preconizam a gênese dos aplanamentos continentais como resultado de forte atuação intempérica etchplanos (Büdel, 1977; Thomas, 1994a), comportamentos desnudacionais diferenciados na área investigada.

## 5. Considerações finais

O comportamento da desnudação geoquímica verificado na área investigada confirma a atuação da erosão diferencial na Depressão de Gouveia e seu entorno. Nessa área, os quartzitos apresentam maior resistência à desnudação geoquímica que o complexo de rochas graníticas.

Logo, a erosão diferencial observada na área investigada pode, em parte, ser compreendida como resultado da maior resistência dos quartzitos. Essa



**Figura 4** - Variação das taxas anuais de sílica dissolvida segundo unidade geomorfológica em que se localiza o ponto amostrado.



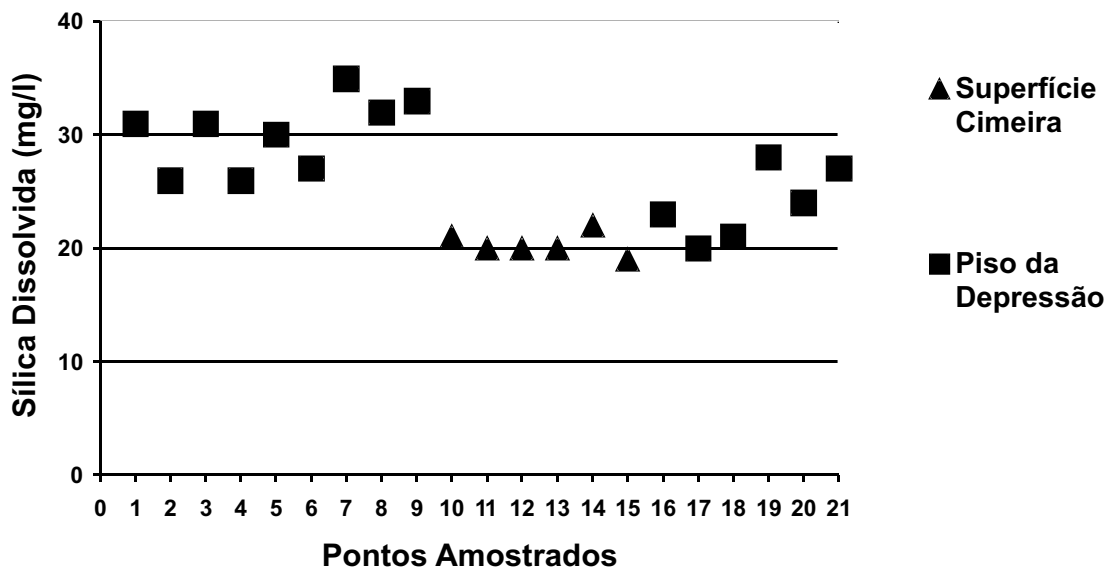


Figura 5 - Variação das taxas anuais de sólidos totais dissolvidos TDS, segundo unidade geomorfológica em que se localiza o ponto amostrado.

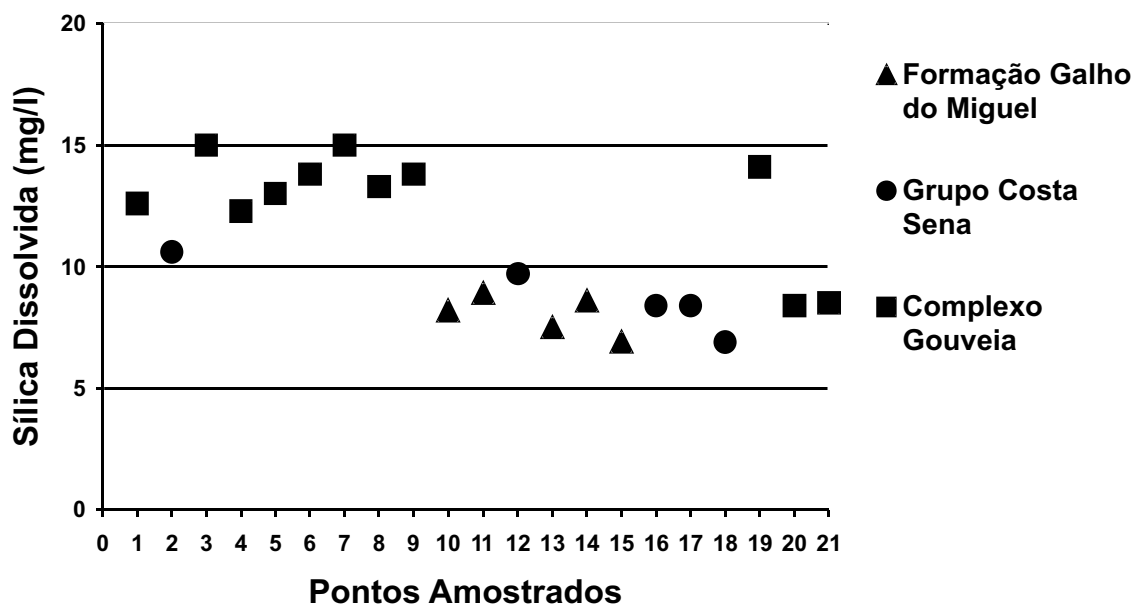
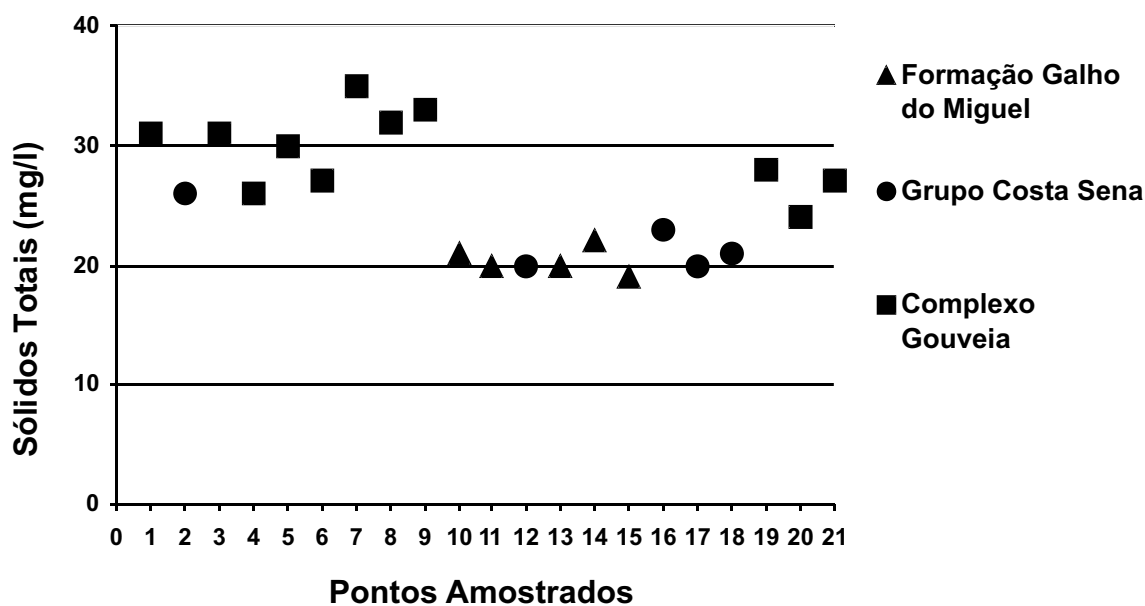


Figura 6 - Variação das taxas anuais de sílica dissolvida segundo unidades litológicas.





**Figura 07-** Variação das taxas anuais de sólidos totais dissolvidos segundo unidades litológicas.

resistência dificulta a própria erosão mecânica, pela menor produção de material friável. Nesse sentido, justifica-se a preocupação acerca de que a erosão diferencial, mesmo quando considerada apenas como um processo predominantemente mecânico, possui forte relação com a resistência geoquímica aplanamentos climáticos (Millot, 1977, 1980, 1983).

Nesse contexto, os processos geomorfológicos que operam em superfície na modelagem das formas de relevo agem sobre possibilidades já delimitadas pelos processos geoquímicos sub-superficiais. Embora essa constatação pareça óbvia e já explorada nos manuais de geomorfologia mais recentes, notadamente aqueles publicados após a década de 70 (Adams, 1975; Büdel, 1977, Thomas, 1974, 1994, Summerfield, 1991, dentre outros), o termo erosão diferencial continua sendo amplamente empregado na ciência geomorfológica. Todavia, esse emprego é inadequado, uma vez que esse termo impõe ao leitor uma associação de processos meramente mecânicos como aqueles responsáveis pela elaboração do relevo. Sugere-se, neste trabalho, que naquelas áreas onde estão ausentes condições climáticas com tendência à aridez e que, adicionalmente, apresentam arcabouço litoestrutural diversificado, o emprego do termo erosão diferencial seja substituído pelo termo desnudação diferencial, o qual visa agregar processos tanto mecânicos quanto geoquímicos na interpretação da gênese e evolução do modelado continental.

#### Agradecimentos

As pesquisas que permitiram a realização desse trabalho foram desenvolvidas no contexto do projeto "Processos Desnudacionais, Geocoberturas e Degradação Ambiental na Serra do Espinhaço Meridional/MG", coordenado pela Profa. Dra. Cristina H. R. R. Augustin (IGC/UFMG), financiado pela FAPEMIG, CNPq, CAPES e FINEP. Os autores agradecem o apoio do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear - CDTN, de Belo Horizonte/MG, na pessoa dos técnicos Fábio Câmara e Marta Avelar.

#### Referências Bibliográficas

- ADAMS, G. (1975). Planation Surfaces. Pennsylvania, Dowe: Hutchinson & Ross Inc. Benchmark Papers in Geology, v 22, 476pp.
- BÜDEL, J., (1977) Klima-Geomorphologie, Gebrüder Borntraeger, Stuttgart. Translated by L. Fischer and D. Busche, (1984) Climatic Geomorphologie. Princeton University Press, 443pp.
- BURBANK D. W. & ANDERSON R. S. (2001) Tectonic Geomorphology. London. Blackwell Science. 274pp.
- BURBANK D. W. (2002) Rates of erosion and their

- implications for exhumation. *Mineralogical Magazine*. 66(1) 25-52.
- CARSON, M. & KIRKBY, M. J. (1972) *Hillslope form and processes*, Cambridge: Cambridge University Press, 475pp.
- LEEDER M. R. (1991) *Denudation, Vertical Crustal Movements and Sedimentary Basin Infill*. *Geologische Rundschau* 80 (2) Stuttgart: 441-458.
- MILLIMAN J. D. & SYVITSKI J. P. M. (1992) *Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers*. *The Journal of Geology*. Chicago, V100: 525-544.
- MILLOT G. (1977) *Géochimie de la surface et formes du relief*. *Présentation*. *Sci. Géol. Bull.*; v30d, n4, p229-233.
- \_\_\_\_\_ (1980) *Les grands aplainissements des soeles continentaux dans les pays tropicaux et desertiques*. *Mém . H. Ser. Soc. Géol. De France*, v.10: 295-305.
- \_\_\_\_\_ (1983) *Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes*. In: *Int. Symp. Laterization Processes, II, 1982*. São Paulo, Proceedings; São Paulo: IWGLP/IAG.
- MORATTI J; VICTÓRIA R. L. & TARDY Y. (1997) *Balanço de Alteração e Erosão Química na Bacia Amazônica*. *Geochimica Brasilienses*, 11(1): 099-111.
- PINET P. & SORIAU M. (1988) *Continental Erosion and Large-Scale Relief*. *Tectonics*, V 7 (3): 563-582.
- PORTILHO, S.; AUGUSTIN C. H. R. R. & VALADÃO, R. C. (2001) *Comportamento da água subsuperficial no solo em vertente da Microbacia do Córrego do Quebra, Gouveia MG (BRASIL)*. *XI congresso latinoamericano de Geologia*, Montevideo - Uruguai.
- REESMAN A. L. & GODFREY A. E. (1981) *Development of the Central Basin of Tennessee by Chemical Denudation*. Stuttgart: *Z. Geomorphology*. N. F., 25 (4): 437-456.
- SAADI A. (1995). *A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas Margens*. Belo Horizonte. *Geonomos* 3 (1). P: 41-63.
- SALGADO A. A. R. (2002) *Desnudação geoquímica e Evolução do Relevo no Espinhaço Meridional*. Belo Horizonte: IGC/UFGM. *Dissertação de Mestrado*. 189pp.
- SUMMERFIELD M. A. (1991) *Global Geomorphology: an introduction of the study of landforms*. Longman Scientific & Technical, 129-144, 163-203, 371-395, 457-478.
- THOMAS, M. F. (1974). *Tropical Geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates*. London, Macmillan, 332pp.
- \_\_\_\_\_ (1994a) *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. John Wiley & Sons Ltd., 24-87, 125-145, 157-163, 287-387.
- \_\_\_\_\_ (1994b) *Ages and Geomorphic Relationships of Saprolite Mantles*. IN: ROBINSON, D. A. & WILLIAMS, R. B. G. *Rock Weathering and Landform Evolution*. Chichester. John Wiley & Sons. 519pp.