

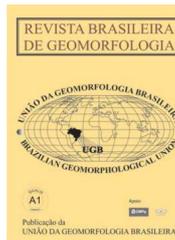


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 1 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i1.732>



### VARIAÇÃO ESPACIAL DO INTEMPERISMO NA BACIA DO RIO TURVO, MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ) – SUBSÍDIOS AO ENTENDIMENTO DO BALANÇO DE DENUDAÇÃO QUÍMICA E MECÂNICA

### WEATHERING SPATIAL VARIATION IN TURVO RIVER BASIN, PARAÍBA DO SUL RIVER MIDDLE VALLEY (RJ) – SUBSIDIES TO THE UNDERSTANDING OF THE CHEMICAL AND MECHANICAL DENUDATION BALANCE

**Aline Riccioni de Melos**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP: 21941-916, Brasil  
Email: [aline.melos@yahoo.com.br](mailto:aline.melos@yahoo.com.br)*

**Suellen Ferreira Beserra**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP: 21941-916, Brasil  
Email: [suellen.beserra@yahoo.com.br](mailto:suellen.beserra@yahoo.com.br)*

**Ricardo Erthal Santelli**

*Departamento de Química Analítica, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP: 21941-916, Brasil  
Email: [resantelli@globocom](mailto:resantelli@globocom)*

**Ana Luíza Coelho Netto**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP: 21941-916, Brasil  
Email: [ananetto@acd.ufrj.br](mailto:ananetto@acd.ufrj.br)*

**Julio Cezar Mendes**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP: 21941-916, Brasil  
Email: [julio@geologia.ufrj.br](mailto:julio@geologia.ufrj.br)*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
15/04/2015  
Aceito (Accepted):  
18/11/2015

#### Palavras-chave:

Evolução do Relevo;  
Denudação; Intemperismo.

#### Resumo:

Estudos desenvolvidos na bacia do rio Turvo, no médio vale do rio Paraíba do Sul, instiga o aprofundamento da investigação sobre a evolução do relevo, pois ela apresenta feições geomorfológicas distintas em suas duas sub-bacias principais. Enquanto na sub-bacia do rio Turvo são encontradas inúmeras depressões fechadas em divisores de drenagem, a sub-bacia do rio das Pedras apresenta menor frequência destas feições, sugerindo funcionamentos distintos nas suas duas principais sub-bacias. Diante deste quadro, o presente trabalho tem como objetivo investigar a natureza e a magnitude das variações espaciais do balanço

**Keywords:**

Relief Evolution; Denudation; Weathering.

de denudação química e mecânica entre as sub-bacias do rio das Pedras e Turvo. Para tanto, foi feita uma varredura hidroquímica das águas superficiais, assim como análises mineralógicas, texturais e químicas de perfis de intemperismo e rochas. A hidroquímica apontou maiores concentrações de todos os elementos determinados

na sub-bacia do rio das Pedras, sugerindo maior disponibilidade desses elementos nos perfis de intemperismo, assim como a existência de perfis menos espessos, que possibilitam a chegada de água à frente de intemperismo. As taxas de intemperismo indicam perfis altamente intemperizados em ambas sub-bacias (Chemical Index of Alteration > 75), todavia aponta a presença de perfis mais alterados na sub-bacia do rio Turvo. Logo, é possível concluir que os processos de denudação química dominam a evolução da sub-bacia do rio Turvo, enquanto os processos de denudação mecânica são mais atuantes na sub-bacia do rio das Pedras, apesar de apresentarem menor magnitude do que na bacia do rio Bananal, localizada na margem oposta do rio Paraíba do Sul.

**Abstract:**

Studies developed in the Turvo river basin, Paraíba do Sul River middle valley, instigate further research on relief evolution because it presents distinct geomorphological features in its two main sub-basins. While in the Turvo river sub-basin numerous closed depressions in drainage dividers are found, in the Pedras river sub-basin the frequency of these features is lower, suggesting different weathering processes in its two major sub-basins. Taking into account this context, this paper aims to investigate the nature and magnitude of the spatial variations of the chemical and mechanical denudation balance between Turvo river and Pedras river sub-basins. For this purpose, a hydrochemical surface water scan was made, as well as mineralogical, textural and chemical analysis of rocks and weathering profiles. The hydrochemistry showed higher concentrations of all elements determined in the Pedras river sub-basin, suggesting greater availability of these elements in weathering profiles, as well as the existence of thinner profiles that enable the arrival of water in weathering front. The weathering rates indicate highly weathered profiles in both sub-basins (Chemical Index of Alteration > 75), but they point out more altered profiles in the Turvo river sub-basin. Therefore, we conclude that the chemical denudation processes dominate the evolution of the Turvo river sub-basin, while the mechanical denudation processes are most active in the Pedras river sub-basin, despite having lower magnitude than in the Bananal river basin, located at the opposite margin of the Paraíba do Sul River middle valley.

---

**1. Introdução**

Os estudos clássicos de geomorfologia sempre apontaram para os trópicos úmidos uma evolução do relevo controlada pela denudação química (BÜDEL, 1963 e 1982; TRICART & CAILLEUX, 1972). Büdel (1963, 1982) via o clima como um controle fundamental da morfogenética, sendo o primeiro a elaborar um zoneamento climático do globo, no qual a zona intertropical é marcada pelo predomínio do intemperismo químico sobre o mecânico. Tricart e Cailleux (1972) também apontam a importância do clima sobre o relevo através dos processos de intemperismo e da intensidade dos agentes geomórficos, todavia também consideram a importância das formações vegetais para estes processos, produzindo uma nova classificação de zonas climáticas baseada nas principais zonas climáticas e biogeográficas da Terra.

Todavia, no médio vale do rio Paraíba do Sul

(MVRPS), a bacia do rio Bananal (518 km<sup>2</sup>) apresenta um modelo evolutivo episódico marcado pela alternância de ciclos erosivos–deposicionais de alta intensidade, intercalados por períodos de estabilidade morfodinâmica, tal como sugerido por Meis e Moura (1984). Os ciclos erosivos mais recentes foram ativados em resposta às variações climáticas associadas à transição Pleistoceno-Holoceno (aproximadamente entre 10.000 – 8.000 anos atrás) e mais recentemente em resposta às mudanças de uso da terra quando a Floresta Tropical Úmida original foi substituída por plantações de café em âmbito regional, a partir de meados do século 18 (COELHO NETTO *et al.*, 1994) até a virada do século 20, quando extensas pastagens espraíram sobre região.

Na mesma bacia indicada acima, a presença de uma única depressão fechada (tipo dolina) no topo da sub-bacia do rio Fortaleza, em seu domínio pré-montanoso, aliada a uma sucessão de pequenos vales

suspensos na porção superior das encostas, constituem evidências relevantes da ação do intemperismo e da denudação química como condição preparatória da abertura dos vales (CASTRO & COELHO NETTO, 2002; COELHO NETTO, 2003). Entretanto, ambos os ciclos erosivo-deposicionais observados na Bacia do rio Bananal foram primariamente dominados pela erosão mecânica por exfiltração de fluxos d'água artesiana através de fraturas sub-verticais (*seepage erosion*), seguidos pela ativação de outros mecanismos tais como movimentos gravitacionais e lavagem superficial, tal como observado por Coelho Netto e Fernandes (1990).

Embora as mudanças climáticas da transição Pleistoceno-Holoceno tenham deixado marcas nos depósitos fluviais de outras bacias tributárias do MVRPS, evidenciou-se uma ampla variação nos seus respectivos volumes de sedimentos estocados no domínio fluvial, revelando variações nas taxas de sedimentação, assim como em outros aspectos morfológicos das encostas. Um exemplo é a bacia do rio Turvo (410 km<sup>2</sup>), que drena no sentido NE-SW a serra do Bonito na vertente Mantiqueira e desagua próximo à confluência do rio Bananal com o rio Paraíba do Sul. Nesta bacia observou-se a preservação de centenas de dolinas no topo das colinas e ao mesmo tempo um baixo estoque de sedimentos fluviais, indicando que uma menor atividade do trabalho mecânico nesta área teria possibilitado a preservação das formas resultantes da denudação química (XAVIER & COELHO NETTO, 2014). Neste mesmo estudo os autores também observaram uma inversão no balanço da denudação química e mecânica no interior desta bacia, destacando a sub-bacia do rio das Pedras, que segue as estruturas de falhas N-S e L-W, onde as depressões desapareceram no interior da área pela intensificação do trabalho erosivo mecânico.

Em decorrência das observações acima, optou-se por investigar a natureza e a magnitude das variações espaciais do balanço de denudação química e mecânica entre as sub-bacias dos rios Bananal e Turvo, assim como a intra-bacia do rio Turvo. Este trabalho apresenta os resultados iniciais desta pesquisa onde se buscou avaliar a variabilidade espacial dos processos geomorfológicos a partir da análise dos produtos de intemperismo. A hipótese norteadora desta investigação se respalda na dicotomia gilbertiana dos limites de transporte e de intemperismo (GILBERT, 1877), ou seja, de que a intensificação do trabalho mecânico na

bacia do rio Bananal, assim como na sub-bacia do rio da Pedras, favoreceria a renovação das taxas de intemperismo enquanto o limite de transporte seria regulador da evolução do relevo na sub-bacia do rio Turvo.

## 2. Área de Estudo

A bacia do rio Turvo se estende por uma área de 410km<sup>2</sup>, na região sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), abrangendo parte dos municípios de Quatis, Volta Redonda, Barra do Piraí e Valença. A bacia estudada deságua no médio vale do rio Paraíba do Sul, maior bacia de drenagem no estado do Rio de Janeiro.

A área de estudo está inserida no contexto do segmento central do Orógeno Ribeira, que integra o conjunto de orógenos neoproterozóico-cambrianos da Província Mantiqueira. Segundo CPRM (2007), o Orógeno Ribeira apresenta *trend* estrutural NE-SW e resulta da colisão entre o Craton do São Francisco com outras placas a sudeste e com a porção sudoeste do Craton do Congo, tendo esta etapa de colisão continental resultado num empilhamento de terrenos de leste para oeste-noroeste. Na bacia do rio Turvo há a presença da Megassequência Andrelândia, associação metassedimentar dos Domínios Andrelândia, Juiz de Fora e da Klippe de Carvalhos. As associações litológicas presentes na área da bacia são: (a) biotita gnaisses bandados com intercalação de quartzitos, granada gnaiss, anfíbolitos e rochas meta-ultramáficas e; (b) granada-biotita gnaisses e xistos bandados, com variações metamórficas para K-feldspato cianita gnaisses, com muitas intercalações de gonditos, rochas calcissilicáticas, anfíbolitos, biotita gnaiss e quartzitos.

O Complexo Juiz de Fora apresenta ortogranulitos de composições variadas, os quais ocorrem ao longo de escamas tectônicas separadas por zonas de cisalhamento, que são caracterizadas pela interdigitação das rochas deste Complexo com lascas de rochas metassedimentares correlatas à Megassequência Andrelândia (CPRM, 2007). No interior dessas escamas, os ortogranulitos exibem cores esverdeadas, texturas granoblásticas e paragêneses indicativas de condições metamórficas da facies granulito. Dentro da bacia do rio Turvo, com base no mapa litológico da CPRM, folhas Santa Rita do Jacutinga e Barra do Piraí, as litologias mais relacionadas ao Complexo Juiz de Fora são: biotita gnaiss bandado, granada-biotita granito porfiróide foliado e ortognaiss bandado.

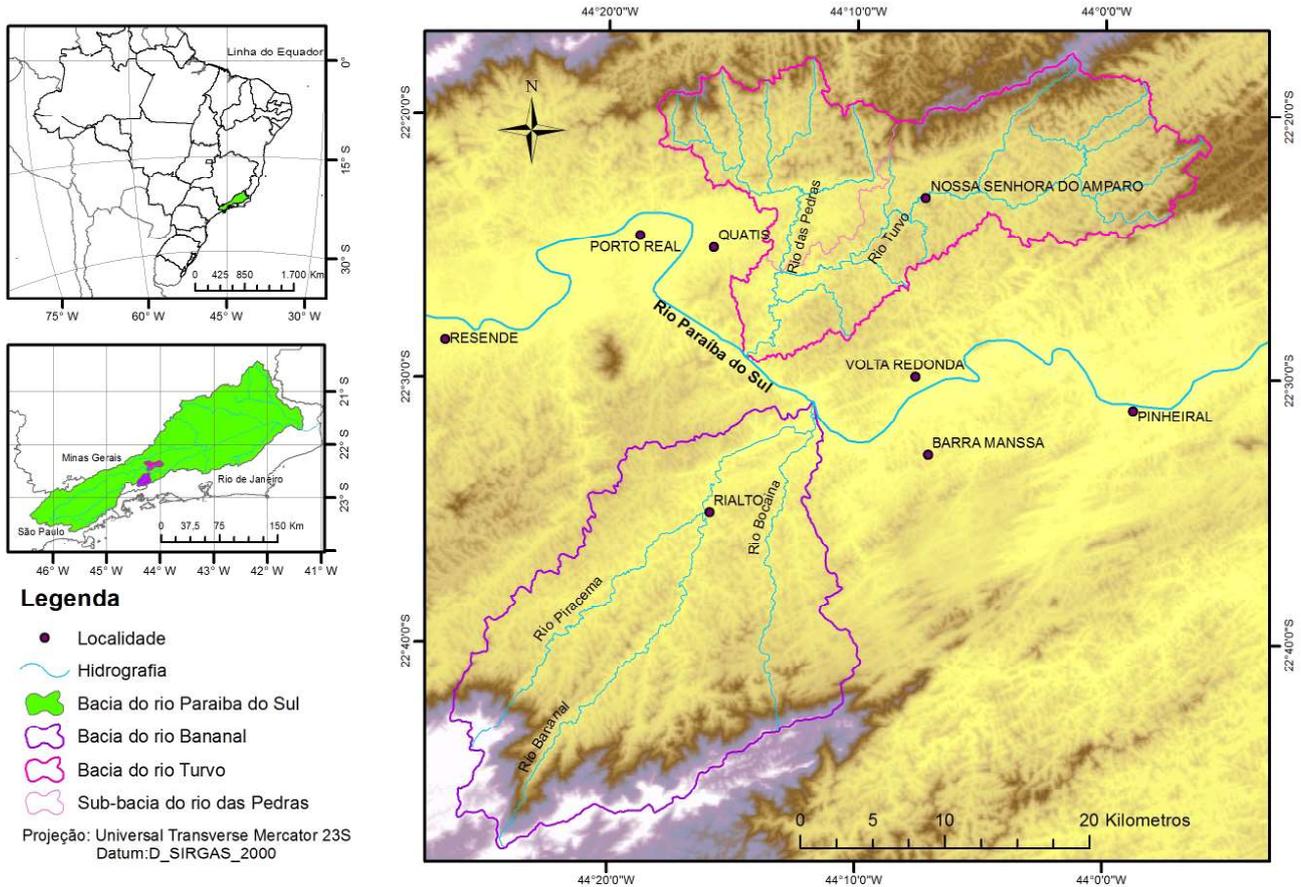


Figura 1 - Localização da bacia do rio Turvo e do rio Bananal.

A bacia do rio Turvo apresenta dois compartimentos geomorfológicos distintos: (a) compartimento colinoso – predominância na maior parte da bacia, situado entre 400 e 600 metros de altitude, apresentando formas convexo-côncavas bastante afeiçoadas e fundos de vales largos com presença de níveis de terraços pouco espessos; e (b) compartimento caracterizado por uma escarpa de falha com desnivelamento de até 800 metros, com rede de drenagem fortemente influenciada pelas estruturas geológicas (XAVIER & COELHO NETTO, 2008). Com base no mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000, feito pelo CPRM, Xavier (2011) aponta a presença de cambissolos no compartimento da escarpa de falha e no alto curso, na porção noroeste da sub-bacia do rio das Pedras, presença de argissolos no baixo curso da sub-bacia do rio das Pedras e no baixo curso do rio Turvo e ocorrência de latossolos na maior parte da bacia do rio Turvo.

As chuvas na bacia estudada mostraram-se mal

distribuídas ao longo do ano, variando de 700mm a 2600mm anuais, apresentando o verão mais chuvoso, com cerca de 50% da chuva anual, o que é característico do clima tropical úmido (XAVIER, 2011).

Xavier & Coelho Netto (2014) ainda apontam a existência de duas sub-bacias nitidamente distintas com base no mapeamento de suas principais feições geomorfológicas: a sub-bacia do rio das Pedras e a sub-bacia do rio Turvo. A primeira é caracterizada pelo baixo número de depressões fechadas e pela maior concentração de voçorocas, indicando efetividade nos processos físicos de esculturação do relevo. A segunda se diferencia pela alta densidade de depressões fechadas e pelo baixo número de voçorocas, indicando a sobreposição dos processos químicos de evolução do relevo sobre os processos físicos. Ainda comparando a bacia estudada com a bacia do rio Bananal, os autores apontam a menor efetividade dos processos físicos na bacia do rio Turvo (Tabela 1).

**Tabela 1: Comparação entre as bacias do rio Bananal e Turvo. Modificado de Xavier & Coelho Netto, 2014.**

Parâmetro	Bacia do rio Bananal	Sub-bacia do rio Piracema	Bacia do rio Turvo	Sub-bacia do rio Turvo	Sub-bacia do rio Pedras
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	518	130,6	410	278	132
Voçorocas	Sem informação	117	33	12	21
Depressões fechadas	1	1	222	206	16
Espessura média dos terraços fluviais (m)	Sem informação	12	6,2	Sem informação	7,6
Espessura máxima dos depósitos (m)	23	23	11	Sem informação	11

### 3. Metodologia

#### 3.1 Coleta e Análise Química das Águas Superficiais

Para a varredura hidrogeoquímica das águas superficiais da bacia de estudo foram escolhidos 17 pontos de fácil acesso em toda sua extensão, buscando abranger as principais litologias da bacia (Figura 2). Nos pontos escolhidos foram feitas as mensurações de pH, assim como coleta de 3 amostras de 60ml de água. As amostras de água foram acondicionadas em frascos de polietileno, previamente lavados com água destilada e rinsados com água das próprias fontes de coleta. Posteriormente, as amostras foram acidificadas com ácido nítrico e conservadas a 4°C até a realização das análises químicas por Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP -OES). Foram realizadas duas coletas na estação chuvosa e uma coleta na estação seca, num período de 18 meses, sendo determinadas as concentrações dos seguintes elementos: Al, Ca, Fe, K, Mg, Na e Si.

#### 3.2 Perfis de Intemperismo

Foram escolhidos 22 pontos para coleta de material de perfis de intemperismo até 4 metros de profundidade (0,5m; 1m; 2m; 3m e 4m). Estes perfis foram realizados em divisores de drenagem aplainados, com auxílio do trado manual, objetivando a análise de perfis em condições que possibilitassem seu completo desenvolvimento a partir da rocha matriz, minimizando a possibilidade de contribuições externas, como apontado por Bremer e Sander (2006).

Como visualizado na figura 2, os perfis são distribuídos nas duas bacias estudadas, assim como nas litologias mais representativas da área.

Além dos perfis mais rasos, foram feitos 2 perfis

de 18m: 1 na sub-bacia do rio Pedras e 1 na sub-bacia do rio Turvo (Figura 2). Para posterior comparação entre rocha-matriz e material intemperizado, nas diversas análises, também foram coletadas amostras de rochas frescas em afloramentos rochosos na área da bacia.

#### 3.3 Análises Laboratoriais

Em laboratório foram feitos 3 tipos de análises para verificar o grau de intemperismo dos materiais estudados: (i) análise textural, (ii) análise da mineralogia da fração areia e (iii) análise química total.

As amostras de solo passaram por análise granulométrica segundo o método de Folk (1968), o qual apresenta 12 classes de tamanhos dos grãos: seis de areia, cinco de silte e uma de argila. Esse detalhamento da informação permite uma obtenção mais apurada de dados no que diz respeito ao grau de degradação dos minerais constituintes (progressão do intemperismo). Posteriormente, estes dados foram tratados com a relação silte/argila proposta por Wambeke (1962). Segundo o autor, razões silte/argila com valores acima de 1 indicam material mais novo, enquanto valores inferiores indicariam material mais velho (mais intemperizado) ao assumir que a fração silte é composta por minerais alteráveis e a fração argila de minerais secundários; logo, quanto maior a quantidade de argila, maior a quantidade de minerais já alterados.

Após a análise granulométrica, as amostras de 18 perfis também passaram pela análise de mineralogia das areias. Foram separadas as frações: (i) 0,5mm – 1mm e (ii) 0,125mm -0,250mm, que passaram pelo método de separação do líquido denso, a fim de separar minerais leves e pesados, e posterior coloração dos minerais leves pelo método proposto por Gabriel e Cox (1929). Este método permite a diferenciação de quartzo e feldspatos numa

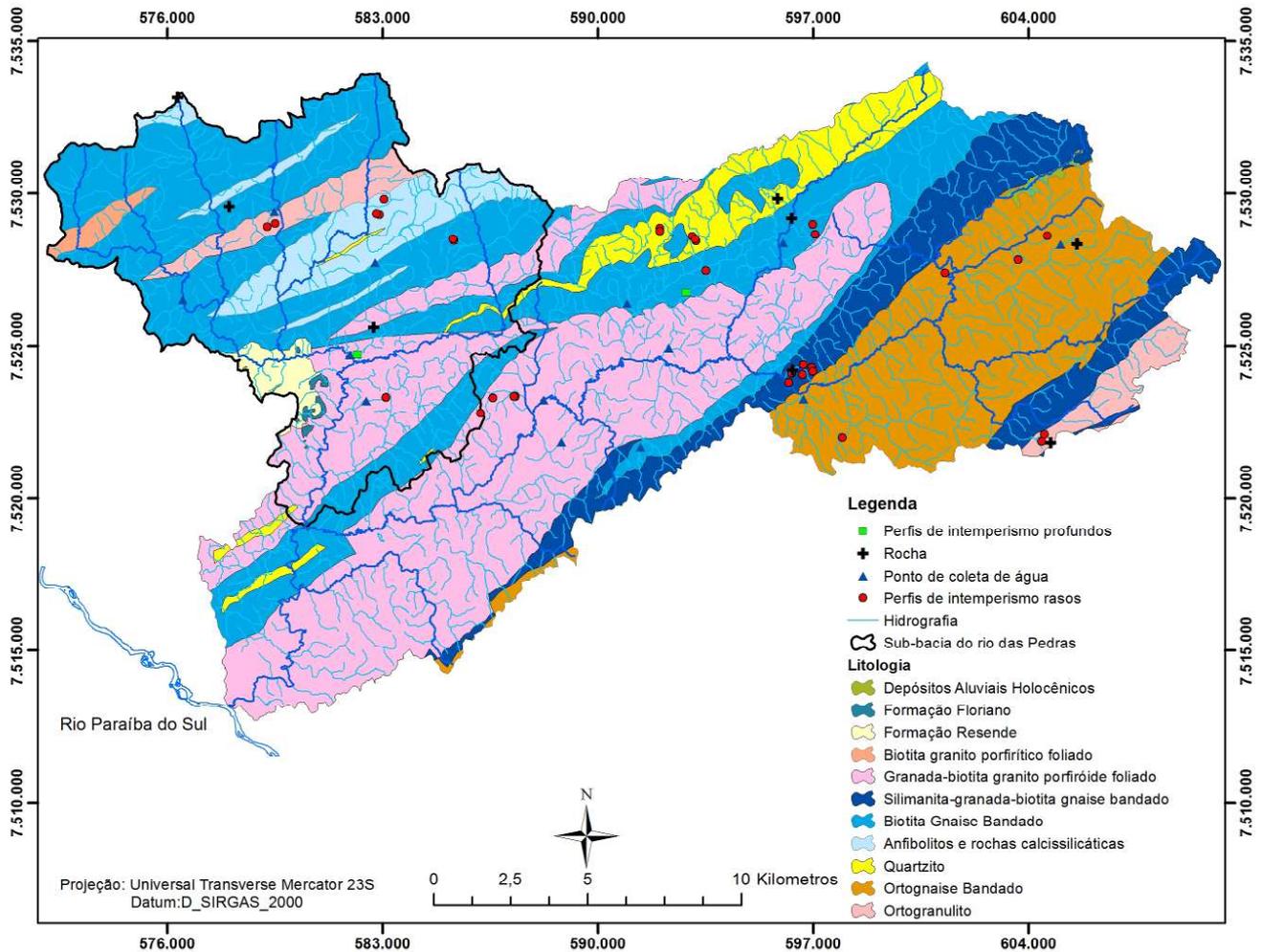


Figura 2 - Localização dos perfis rasos, dos perfis profundos, dos pontos de coleta de água superficial e de rocha.

amostra. Com base nesta contabilização, foi utilizado o índice quartzo/feldspato proposto por Ruhe (1956). O índice quartzo/feldspato também procura definir e comparar graus de intemperismo, visto que aponta a relação de minerais mais e menos alteráveis nas amostras analisadas. Logo, valores mais altos indicam maior presença percentual de quartzo, ou seja, materiais mais alterados.

As amostras de 18 perfis e todas as amostras de rocha foram analisadas por fluorescência de raios-x para obtenção de sua composição química. Para comparar os diferentes graus de intemperismo dos perfis analisados, foi utilizado o Chemical Index Alteration (CIA), proposto por Nesbitt e Young (1989), que utiliza a razão molecular entre elementos maiores móveis e imóveis, e é considerado um indicador de confiança da intensidade do intemperismo, além de ser amplamente usado em estudos sobre intemperismo (MELOS, 2012) e de ser interpretado como extensão da conversão de feldspatos

em argilominerais (NESBITT e YOUNG, 1984, 1989; FEDO *et al.*, 1995; MAYNARD *et al.*, 1995)

$$CIA = (Al_2O_3 / Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO) \times 100$$

Após a obtenção dos índices CIA e razão silte/argila, foram aplicados os testes estatísticos “t student” para verificar a existência de diferença significativa entre a sub-bacia do rio das Pedras e do rio Turvo, sendo que valores iguais a 1 indicam populações iguais, enquanto valores menores que 0,5 indicam populações distintas.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Hidrogeoquímica

As águas superficiais apresentam composição química heterogênea em toda bacia do rio Turvo,

todavia a ordem de abundância dos elementos químicos segue, de forma geral, o seguinte padrão: Si>Na>Fe>Ca>K>Mg>Al (Figura 3).

O **silício** é o elemento mais abundante nas águas superficiais desta bacia, apresentando concentrações entre 2 a 12 mg/l (Figuras 3 e 4). Este elemento é proveniente, em sua maior parte, da quebra de minerais silicáticos pelas reações do intemperismo. Nas baixas latitudes, as altas temperaturas fazem com que as reações de intemperismo sejam completas, levando à formação dos argilominerais que disponibilizam mais sílica (DREVER, 1997; BERNER e BERNER, 1996). Segundo Langmuir (1997), a concentração de sílica nas águas superficiais do globo variam entre 5 e 25 mg/l, nas águas subterrâneas entre 5 e 85 mg/l, e no solo entre <1 e 117 mg/l. Comparada com a bacia do Bananal, que está localizada na mesma região da bacia de estudo, a

bacia do rio Turvo apresenta menores concentrações deste elemento, visto que Leite (2006) aponta médias de 12 a 18 mg/l para a bacia do rio Bananal. Todavia, além do substrato rochoso, outro importante fator para diferentes concentrações deste elemento nas águas é o pH, que modifica a solubilidade da sílica: quanto maior o pH, maior a quantidade de sílica dissolvida. Desta forma, a bacia do rio Bananal também apresenta valor de pH médio mais elevado (7,12) que a bacia do rio Turvo (6,7), o que poderia justificar parcialmente esta diferença entre os valores encontrados. Igualmente, na região do Espinhaço Meridional em Minas Gérias os valores encontrados por Salgado *et al.* (2003) são maiores para pHs mais altos, assim como na região do Quadrilátero Ferrífero (SALGADO *et al.*, 2004). Há que se ressaltar que em ambos os trabalhos esta variação é relacionada somente à resistência do substrato litológico.

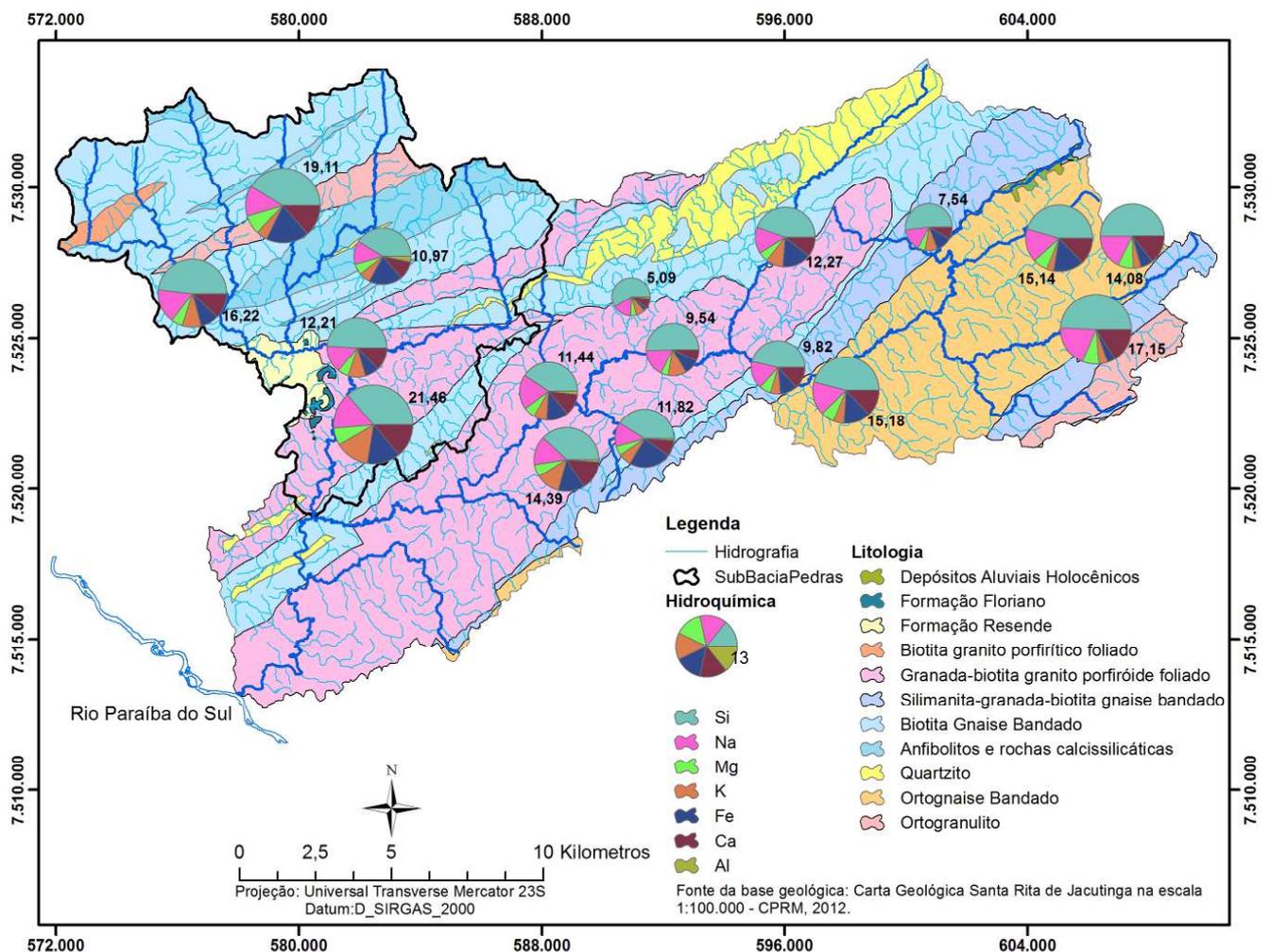


Figura 3 - Mapa com a localização dos pontos de coleta de água superficial. O diâmetro do gráfico reflete a quantidade total de íons analisados, sendo expressa através do número junto aos círculos (mg/l).

O **sódio** foi o segundo elemento mais abundante nas águas superficiais da bacia de drenagem estudada, sendo encontrado em concentrações que variaram temporal e espacialmente entre 0,29 e 3,71mg/l. Assim, como observado neste trabalho, normalmente é encontrado em altas concentrações (LANGMUIR, 1997), pois é facilmente lixiviado devido à baixa estabilidade química dos minerais que o contém e por apresentar ampla distribuição em minerais fonte. Sua solubilidade é elevada e raramente precipita em compostos.

O **ferro** foi encontrado em concentrações entre 0,1 e 6,09 mg/l. Todavia, Langmuir (1997) aponta que este elemento costuma apresentar concentrações abaixo de 1mg/l, pois, apesar de não ser estável, em condições próximas à neutralidade ocorre sua precipitação, gerando uma diminuição de sua concentração em solução. Neste trabalho foi o terceiro elemento mais abundante nas águas, podendo estar associado ao avançado grau de lixiviação dos regolitos desta bacia. Uma vez que os elementos mais solúveis são encontrados em baixas concentrações, os menos solúveis passariam a ser disponibilizados em maior proporção, como proposto por Leite (2001).

O **cálcio**, que apresentou concentrações variando entre 0,2 e 4,06 mg/l, é normalmente abundante nas águas superficiais, excedendo bastante os valores de sódio, visto que os feldspatos cálcicos decompõem-se mais facilmente que os sódicos, assim como sua ampla distribuição em rochas e solos. Todavia, valores intermediários de concentração, como os encontrados neste estudo, são associados a menor abundância relativa de seus minerais fonte (LEITE, 2001).

O **potássio**, que foi encontrado em concentrações entre 0,12 e 4,6mg/l, ocorre, normalmente, em concentrações mais baixas que o cálcio e magnésio nas águas superficiais, pois participa intensamente em processos de troca iônica. É um elemento facilmente adsorvido pelos minerais de argila e seus sais são muito utilizados pelos vegetais. Dentre os principais minerais fontes estão os feldspatos potássicos como microclina e ortoclásio. Todavia, neste estudo, apresenta valores próximos ao encontrado para o magnésio, associado a maior abundância relativa de seus minerais em algumas litologias da bacia.

O **magnésio** apresentou concentrações baixas, entre 0,12 e 1,94mg/l, apesar de ser mais solúvel e difícil de precipitar quando comparado ao cálcio. No entanto,

os teores existentes nas águas superficiais deste trabalho são menores que os de cálcio, possivelmente devido à retenção da maior parte do magnésio resultante dos processos de intemperismo no regolito, principalmente na estrutura dos minerais de argila (LEITE, 2001). Neste trabalho, a retenção é verificada nas litologias Granada-biotita granito profiróide e Biotita gnaisse bandado, as quais apresentaram maiores valores (entre 1% -10%) de MgO em seus perfis de intemperismo e menores valores de magnésio nas águas superficiais que drenam bacias com maiores áreas destas litologias. Entretanto, neste trabalho não é verificada esta retenção em todas as litologias, pois as concentrações de magnésio nos perfis de intemperismo de outras litologias são próximas a 0%, e nelas os valores médios das concentrações de Mg nas águas superficiais são ligeiramente maiores. Acredita-se que nestas áreas esteja ocorrendo de forma mais eficiente a liberação de Mg pela decomposição completa da biotita, uma vez que ocorrem concentrações de até 10% deste elemento na rocha sã, e presença variável de biotita em todas litologias, exceto nos anfíbolitos e quartizitos.

Assim como esperado, o **alumínio** foi o elemento que apresentou menores concentrações, sempre abaixo de 1mg/l. Apesar de sua grande abundância nas rochas, os feldspatos e outros silicatos, que apresentam o alumínio em suas estruturas, ao serem intemperizados geram argilominerais, os quais retêm o alumínio, mantendo-o indisponível, pois assim como o ferro, o alumínio precipita em soluções neutras.

Ao serem comparadas as sub-bacias do rio das Pedras e do rio Turvo, tanto a quantidade total de íons determinados quanto os teores dos elementos são maiores na sub-bacia do rio das Pedras, indicando maior disponibilidade de elementos nos perfis desta bacia.

## 4.2 Perfis Rasos

### 4.2.1 Granulometria

Todos perfis analisados apresentam uma relação silte/argila crescente com a profundidade, indicando uma diminuição do intemperismo. Os valores encontrados vão desde 0,12, indicando um material altamente intemperizado, até 5,27, indicando um material menos alterado. Apesar de todos os perfis apresentarem um comportamento similar, alguns perfis apresentaram

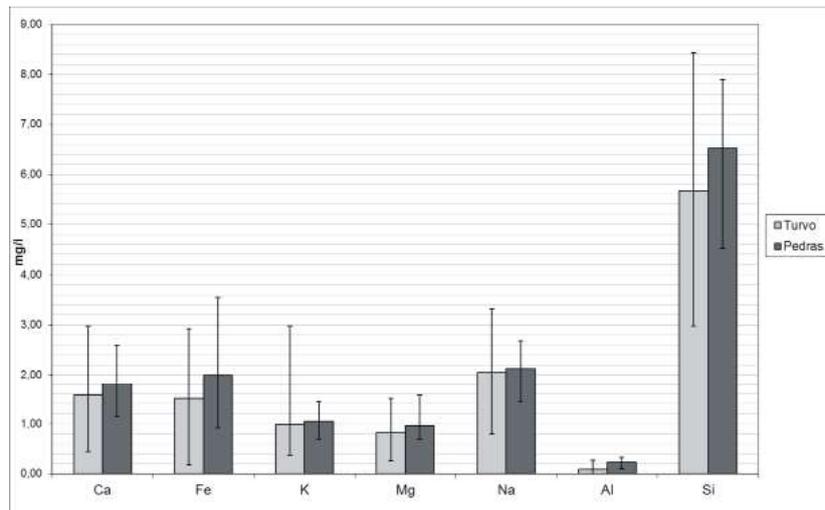


Figura 4 - Concentração média, com barra de variação, dos elementos determinados na água superficial das sub-bacias dos rios Turvo e Pedras.

quebras em suas curvas, indicando mudança abrupta do nível de alteração do material, como claramente visto em G4 e S6. Tais mudanças estão provavelmente associadas ao caráter heterogêneo do substrato rochoso, um gnaisse bandado com alternância de camadas claras e escuras. Apesar da influência do substrato rochoso, foi possível constatar que até 4 metros de profundidade a litologia não é fator preponderante no grau de alteração de um perfil.

Todavia, quando comparadas as médias da relação silte/argila dos perfis da bacia do rio Turvo e da sub-bacia do rio Pedras, verifica-se a existência de perfis mais alterados na bacia do rio Turvo (Figura 5).

#### 4.2.2 Mineralogia das areias

Os feldspatos possuem resistência inferior ao quartzo, principalmente o plagioclásio, logo aparecem em menor quantidade nas amostras desta pesquisa. Ao analisar a porcentagem dos minerais nas duas frações, verifica-se que ocorre um aumento dos minerais menos resistentes da fração mais grossa (0,5 mm) para a fração mais fina (0,125 mm), assim como encontrado por Xavier (2004) em perfis de intemperismo na bacia do rio Fortaleza sobre a litologia Biotita gnaisse. Isto acontece porque os minerais menos resistentes tendem a se fragmentar mais rapidamente, através dos planos de clivagem e devido ao intemperismo (POLLACK, 1961).

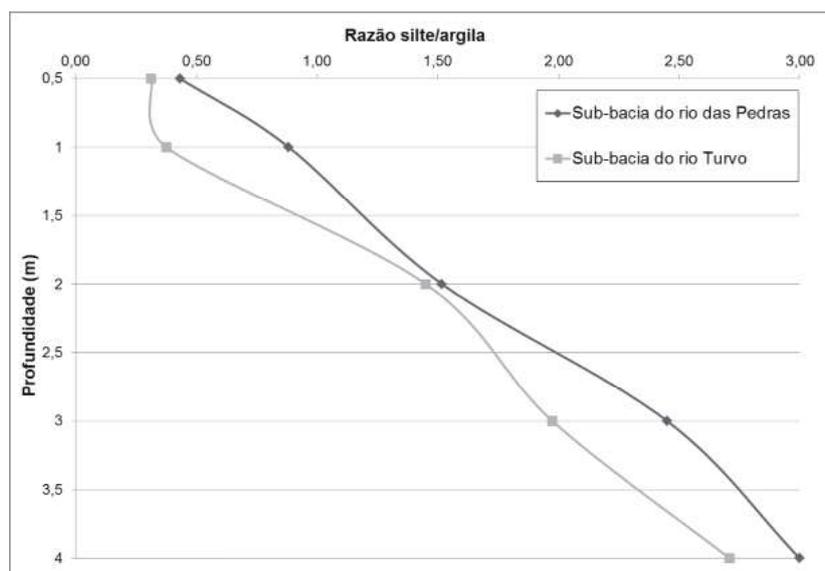


Figura 5 - Comparação da razão silte/argila média encontrada nos perfis na sub-bacia do rio Turvo e do rio Pedras. Valor "t student" = 0,33.

Fica evidenciado nestes perfis a ocorrência de mudanças bruscas na distribuição relativa dos minerais em relação à profundidade, refletindo alternâncias de maior ou menor resistência e/ou variações composicionais localizadas na rocha, como por exemplo, os seus bandamentos metamórficos. Devido à pequena profundidade atingida, não foi encontrada uma tendência, a qual pode ser obtida em análises mais profundas como evidenciado em outros estudos em rochas bandadas (XAVIER, 2004).

#### 4.2.3 Química

Os perfis analisados apresentam diferentes composições químicas, tanto internamente quanto entre perfis. Estas diferenças foram analisadas a partir do entendimento de que estas variações podem estar relacionadas à presença de diferentes assembleias mineralógicas na rocha de origem, no caso de rochas heterogêneas, como apontado por Sowers (1988), mas também está relacionada à mobilidade dos elementos químicos durante o processo de intemperismo.

Considerando os valores absolutos, os perfis analisados apresentam como elementos principais  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sendo que o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  também é um elemento representativo, com percentuais entre 2,39% e 14,33%. Tanto alumínio quanto o ferro tendem a aumentar em superfície, em contraposição à diminuição da sílica, indicando a ocorrência do processo de laterização.

O alumínio foi encontrado em todas as amostras tanto de rocha quanto de solo. A variação percentual encontrada nas rochas, de 10 a 20%, se apresentou dentro do esperado para rochas metamórficas (ILDEFONSE *et al.*, 1998). Apesar do quartizito se apresentar como exceção, com a menor concentração (0,37%), este valor está dentro do esperado e é associado a sua constituição mineralógica, visto que a mesma é composta de 99% de quartzo e somente 1% de muscovita.

As concentrações deste elemento no material intemperizado são altas, variando de 17 a 40%, indicando uma concentração relativa deste elemento associada ao processo de laterização apontado anteriormente. Wedepohl (1978) descreve que em regiões tropicais o alumínio é encontrado em elevadas concentrações, geralmente associado com óxidos e hidróxidos de ferro e manganês.

Paralelamente ao aumento de alumínio nos perfis,

também observa-se um aumento das concentrações absolutas de ferro, possivelmente relacionado ao processo de alitização/laterização existente na área.

O magnésio foi encontrado em baixas concentrações nas rochas e foi verificada sua ausência nos produtos de intemperismo. Apesar de Aikawa (1991) apontar que este elemento se encontra amplamente distribuído na natureza em uma variedade de minerais silicáticos, estes baixos valores são explicados pela sua elevada lixiviação durante o processo de intemperismo. Desta forma, as pequenas quantidades de magnésio encontradas nas rochas parentais são removidas durante o processo de intemperismo, não sendo encontrado no produto de alteração.

Assim como esperado, o cálcio apresentou comportamento semelhante ao magnésio, apresentando maiores concentrações nas rochas que nos solos, também devido a sua grande solubilidade durante o intemperismo.

O manganês é encontrado em diversos minerais como silicatos, óxidos, sulfatos e carbonatos. Sua principal afinidade geoquímica é com o Fe, mas pode também estar associado ao cobalto e níquel (SCHIELE, 1991). Nas rochas analisadas neste estudo, a concentração deste elemento é muito baixa no quartizito e no granada-biotita granito porfiróide foliado, até 0,14% no ortognaisse bandado e no biotita gnaisse bandado.

Analisando o Chemical Index of Alteration a partir de sua rocha matriz (as unidades litológicas Anfibolitos e rochas calci-silicáticas, Ortognaisse bandado, Ortogranulito e Biotita gnaisse-bandado), podemos agrupar aquelas que apresentam perfis extremamente intemperizados em toda sua profundidade ou decrescem ligeiramente com o aumento da profundidade.

As unidades “Granada-biotita granito porfiróide” e “Silimanita-granada-biotita gnaisse bandado” apresentam perfis extremamente intemperizados, mas com anomalias em suas curvas, indicando possível influência da presença de bandamentos de diferentes resistências. Em alguns casos, como no perfil G4, a mesma anomalia encontrada no CIA também é encontrada na razão silte/argila, reforçando a constatação de que variações do intemperismo podem estar associadas ao bandamento existente nessas rochas.

O “Quartizito” deve ser analisado a parte, devido suas especificidades. O perfil Q4 apresenta valores de CIA sempre acima de 99, indicando um perfil extrema-

mente intemperizado. Todavia, o perfil Q6 apresenta maior intervalo de dados, variando entre 92 e 99. Apesar de apresentar decréscimo dos valores com a profundidade, ocorre um aumento a 3 metros de profundidade, voltando a decrescer no metro seguinte, indicando a diminuição do intemperismo com a profundidade e a possibilidade de variações litológicas no perfil. A utilização de índices químicos para quartzitos é extremamente complicada, apesar de ser utilizada em vários estudos em quartzitos impuros (TRIPATHI e RAJAMANI, 2003), visto que estes índices consideram a depleção dos elementos mais móveis, quase inexistentes neste caso no protólito analisado. Consideram também a conversão de feldspatos em argilominerais, o que não poderia ocorrer nesta litologia, pois em análise de lâmina desta rocha só foi encontrado quartzo e muscovita (~1%). Desta forma, o valor de CIA da rocha coletada é 100, indicando um material extremamente intemperizado, em que todo feldspato existente teria se transformado em argilomineral. Os valores de CIA nesta litologia são maiores na rocha,

pois, como já visto, o potássio é encontrado como traço na rocha matriz, mas em maiores quantidades no perfil, devido à concentração da muscovita. Como o CIA varia levando em consideração as concentrações de Na, K e Ca, sendo que sódio e cálcio não são encontrados nos perfis, o aumento proporcional de potássio leva a uma diminuição do CIA.

Com base nos dados dos perfis rasos podemos concluir: (i) apesar de pequenas diferenças nos comportamentos dos índices apresentados anteriormente, quando analisados numa matriz de correlação, o comportamento dos perfis não pode ser agrupado por litologias (Tabela 2). Como apontado por Oliva *et al.* (2003), diferenças locais da assembléia mineralógica podem ter maior importância do que diferenças nas litologias; (ii) até 4m de profundidade os perfis estão todos extremamente intemperizados, com valores sempre acima de 80; (iii) provavelmente, o avançado grau de intemperismo destes perfis seja ponto fundamental para a falta de correlação dentro das litologias.

**Tabela 2: Correlação do comportamento geoquímico dos perfis analisados a partir da análise do comportamento do Chemical Index of Alteration com a profundidade de cada perfil.**

	A1	A3	G1	G4	G5	O1	O2	O4	OR5	Q4	Q6	S2	S6	B1	B2	B3	B4
A1	1.00	0.30	-0.12	0.20	0.11	0.29	-0.25	0.06	0.08	-0.35	0.63	-0.27	-0.25	-0.13	-0.57	0.26	0.10
A3		1.00	0.07	0.71	-0.18	0.09	0.60	0.73	-0.25	-0.32	0.69	-0.32	0.12	1.00	0.23	-0.83	-0.24
G1			1.00	0.75	0.79	0.52	0.75	0.72	0.58	0.90	0.55	-0.88	-0.51	1.00	-0.84	-0.63	0.86
G4				1.00	0.44	0.51	0.88	0.98	0.22	0.40	0.88	-0.84	-0.27	1.00	-0.76	-0.99	0.42
G5					1.00	0.95	0.21	0.38	0.37	0.72	0.38	-0.66		1.00	-0.94	0.56	0.87
O1						1.00	0.20	0.47	-0.18	0.32	0.50	-0.40	0.19	-0.03	-0.81	0.98	0.60
O2							1.00	0.93	0.26	0.52	0.58	-0.72	-0.25	0.92		-0.97	0.37
O4								1.00	0.12	0.38	0.80	-0.76	-0.16	0.98	-0.62	-1.00	0.30
OR5									1.00	0.68	0.28	-0.69	-0.98	0.87	-0.35	0.19	1.00
Q4										1.00	0.17	-0.68	-0.55	0.98	-0.54	-0.12	0.84
Q6											1.00	-0.82	-0.39	0.77	-0.67	-0.67	0.44
S2												1.00	0.71	-0.94	0.84	1.00	-0.86
S6													1.00	-0.79	0.35		
B1														1.00	-1.00	-1.00	-0.97
B2															1.00	1.00	-0.96
B3																1.00	0.08
B4																	1.00

Sobre as implicações dos dados de intemperismo no entendimento do relevo desta bacia: Neste estudo os dados de CIA são condizentes com a maturidade do relevo, o que aponta um equilíbrio, ou possível sobreposição do intemperismo químico em relação às taxas de erosão. Diferente do encontrado por Kirschbaum *et al.* (2005) em área semi-desértica na Argentina, aonde as taxas de CIA eram muito inferiores às encontradas neste estudo (entre 50 e 60) em perfis de até 2 metros em granito porfítico, o que indicaria solos incipientemente intemperizados, mas que eram encontrados em áreas de

relevo com formas maduras, indicando a possibilidade de erosão da superfície original. Ou seja, sobreposição da erosão em relação ao intemperismo químico.

Comparando a média dos perfis na sub-bacia do rio Turvo e do rio Pedras, os valores de CIA do Turvo apresentam menor variação e permanecem praticamente constantes com aumento da profundidade, indicando uma certa estabilidade destes perfis (Figura 6). A média dos valores de CIA dos perfis na sub-bacia do rio Pedras apresenta maior variação e decresce com a profundidade: em superfície (0,5-2m) são maiores que

da sub-bacia do Turvo, mas a partir de 3 metros estes valores são menores. O decréscimo pronunciado existente na sub-bacia do rio Pedras pode indicar perfis que ainda se encontram em processo de desenvolvimento e que ainda não atingiram o estágio de estabilidade.

Comportamento semelhante é encontrado num perfil na bacia do rio Fortaleza, também no médio vale do rio Paraíba do Sul, cujo desenvolvimento do relevo está relacionado, principalmente, a processos de denudação mecânica (COELHO NETTO, 1999).

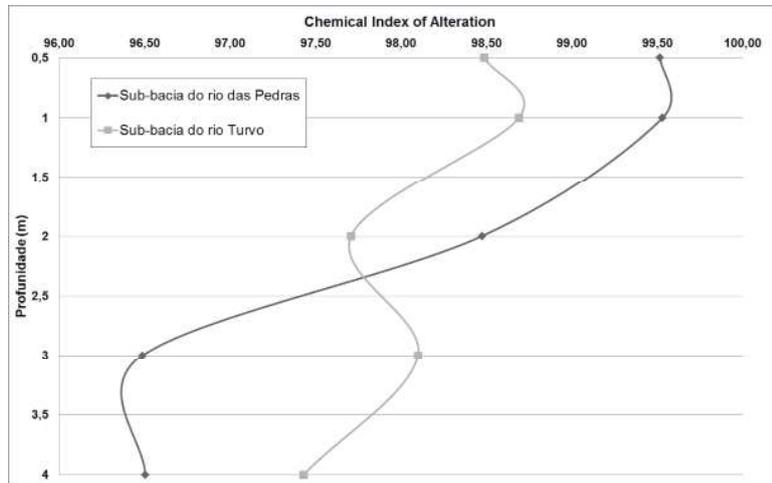


Figura 6 - Comparação da variação do valor médio do Chemical Index Alteration com a profundidade nas sub-bacias do rio das Pedras e Turvo. Valor "t student" = 0,48.

### 4.3 Perfis Profundos

Nos perfis até 18m, fica evidente a diferença entre o grau de intemperização dos perfis da sub-bacia do rio Turvo e do rio Pedras. A tendência encontrada anteriormente é confirmada, tanto pelos dados de CIA quanto pela razão silte/argila (Figuras 7 e 8). Em ambos os índices o perfil situado na sub-bacia do rio Turvo apresenta altos

valores de intemperismo, enquanto no perfil da sub-bacia do rio Pedras ocorre uma diminuição do grau de intemperismo nos dois índices, comportamento similar ao encontrado na bacia do rio Bananal. Ainda é visível uma maior variabilidade no CIA na sub-bacia do rio das Pedras quando comparada a bacia do rio Bananal, o que decorre a maior variabilidade mineralógica do substrato geológico da primeira (Granada-biotita granito porfiróide foliado).

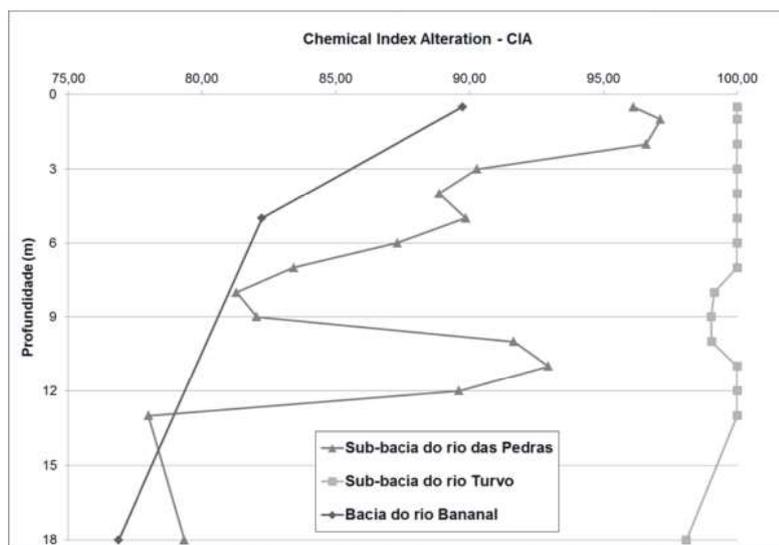


Figura 7 - Variação do Chemical Index of Alteration com a profundidade do perfil nas sub-bacias dos rios Pedras e Turvo em comparação com a variação de perfil na bacia do rio Bananal.

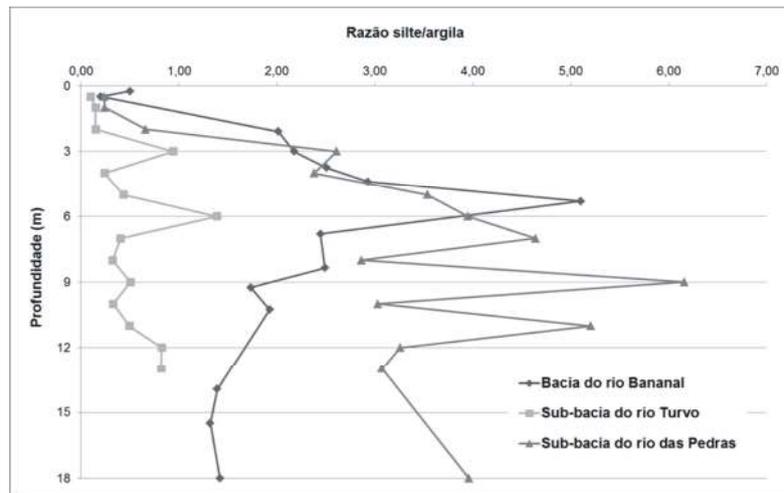


Figura 8 - Variação da razão silte/argila com a profundidade do perfil nas sub-bacias dos rios Pedras e Turvo em comparação com a variação de perfil na bacia do rio Bananal.

## Conclusão

Os dados dos índices de intemperismo (CIA e relação silte/argila) apontam perfis muito intemperizados em ambas sub-bacias estudadas, mas levemente mais intemperizados na sub-bacia do rio Turvo que na sub-bacia do rio Pedras. Esta constatação é condizente com a maturidade do relevo da sub-bacia do rio Turvo, indicando equilíbrio ou possível sobreposição do intemperismo químico em relação às taxas de erosão. Por outro lado, mostra-se incongruente com as formas de relevo encontradas na sub-bacia do rio Pedras, típicas de intemperismo físico, indicando que após um período de relativa diferença de processos intempéricos, estes passaram a atuar de forma semelhante em ambas as bacias. Isto culminou numa certa homogeneização na parte superior, mais superficial, dos perfis de intemperismo.

Os perfis analisados evidenciam perdas generalizadas de elementos de alta mobilidade, assim como o aumento das concentrações de ferro e alumínio em superfície, em concomitância com a diminuição da sílica. Estes dados, analisados conjuntamente, sugerem a ocorrência de intenso processo de lixiviação, com indicação de iniciação de processo de laterização em todos os perfis, exceto nos desenvolvidos sobre Biotita-gnaiss bandado. Os dados químicos apontam que diferenças entre os perfis desenvolvidos sobre as diferentes litologias não são estatisticamente relevantes, mostrando que a litologia não representa papel importante no entendimento do intemperismo diferencial, principalmente quando analisado o material mais raso, e

portanto mais intemperizado. Todavia, é verificada a diferença do processo de intemperismo em profundidade, evidenciando a diferença dos processos de denudação entre a sub-bacia do rio das Pedras e Turvo.

## Referências Bibliográficas

- AIKAWA, J. K. Magnesium. In: MERIAN, E. (Ed.). **Metals and their compounds in the environment**. Weinheim, New York, Base, Cambridge: VCH, 1991.
- BERNER, E. K. & BERNER, R. A. **Global environment – water, air and geochemical cycles**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- BREMER, H. & SANDER, H. Data base supported regolith-analysis, geomorphologic processes and morphogenesis in the humid tropics. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.142, p.319-333, 2006.
- BÜDEL, J. Klema genetische geomorphologie. **Geograph. Rundschau**. v.15, n.7, p. 269-285, 1963.
- BÜDEL, J. **Climatic Geomorphology**. Princeton: Princeton Univ. Press, 1982
- CASTRO, S. S. & COELHO NETTO, A. L. Evolução pedogenética de topo, na bacia do alto rio Fortaleza, região de Bananal (RJ/SP): resultados preliminares. In: **IV Encontro sobre engenharia geotécnica e hidrologia no sistema encosta-planície costeira**, 2002, Bananal. Anais, 2002, p.181-192.
- COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o

- crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p.118-167, 2003.
- COELHO NETTO, A. L. Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brasil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes. **Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria**, Bologna, v.3, n.3, p.21- 48, 1999.
- COELHO NETTO, A.L.; FERNANDES, N.F.; DANTAS, M.E.; DIETRICH, W.E. MONTGOMERY, D.; DAVIS, J.C.; PROCTOR, I.; VOGGEL, J. & SOUTHON, J. (1994) 14C AMS evidences of two Holocene erosion-sedimentation cycles in SE Brasil: stratigraphy and stratigraphic inversions. In: **14th Intern. Sedimentary Congress**, 1994, Recife. Anais, 1994, 28- 30.
- COELHO NETTO, A. L. & FERNANDES, N. F. Hillslope Erosion, Sedimentation, and Relief Inversion in SE Brazil: Bananal (SP). **International association of hydrological sciences publications (IAHS)**, v. 192, p. 174-182, 1990.
- CPRM. **Geologia da folha Santa Rita do Jacutinga SF.23-Z-A-II. Programa Geologia do Brasil, Levantamentos Geológicos Básicos**. Brasília, 2007.
- DREVER, J. I. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- FEDO, C. M. Unraveling the study of soil formation on Isla Santa Cruz, Galápagos. **Pedologie**, n.23, p.921-924, 1995.
- FOLK, R. L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Austin: Hemphill Publishing Company, 1968.
- GABRIEL, A. & COX, E.P. A staining method for the quantitative determination of certain rock minerals. **American Mineralogist**, n.14, p.290-292, 1929.
- GILBERT, G. K. **Geology of the Henry mountains**. Washington: Government printing office, 1877.
- ILDEFONSE, P.; CABARET, D.; SAINCTAVIT, P.; CALAS, G.; FLANK, A. M. & LAGARDE, P. Aluminium x-ray absorption near edge structure in model compounds and Earth's surface minerals. **Physics and Chemistry of Minerals**, v.25, n.2, p.112-121, 1998.
- KIRSCHBAUM, A.; MARTINEZ, E.; PETTINARI, G. & HERRERO, S. Weathering profiles in granites, Sierra Norte (Córdoba, Argentina). **Journal of South American Earth Sciences**, n.19, p.479-493, 2005.
- LANGMUIR, D. **Aqueous Environmental Geochemistry**. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- LEITE, A. F. **Estudo hidrogeoquímico em uma pequena bacia de drenagem montanhosa-rural: alto vale do rio Fortaleza, Bananal - SP**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Programa de Pós Graduação em Geografia/PPGG, Dissertação de mestrado, 2001, 97p.
- LEITE, A. F. **Variações hidrogeoquímicas nos compartimentos montanhoso e colinoso da bacia do rio Bananal (SP): subsídios à compreensão dos processos de intemperismo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Programa de Pós Graduação em Geografia/PPGG, Tese de doutorado, 2006, 226p.
- MAYNARD, J.B.; SUTTON, S.J.; ROBB, L.J.; FERRAZ, M.F. & MEYER, F.M. A paleosol developed on hydrothermally altered granite from the hinterland of the Witwatersrand basin: characteristics of source of basin fill. **Journal of Geology**, n.100, p.279-289, 1995.
- MEIS, M.R.M. & MOURA, J.R. Upper Quaternary sedimentations and hillslope evolution. **Am. Jour. Sci.**, n.284, p.241- 254, 1984.
- MELOS, A. R. **Caracterização química de perfis como subsídio ao estudo de denudação da bacia do rio Turvo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Programa de Pós Graduação em Geologia/PPGL, Dissertação de mestrado, 2012, 114p.
- NESBITT, H.W. & YOUNG, G.M. Formation and diagenesis of weathering profiles. **Journal of Geology**, n.97, p.129-147, 1989.
- NESBITT, H.W. & YOUNG, G.M. Prediction of some weathering trndes of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, n.48, p.1523-1534, 1984.
- OLIVA, P.; VIERS, J. & DUPRÉ, B. Chemical weathering in granitic environments. **Chemical geology**, n.202, p.225-256, 2003.
- POLLACK, J.M. Significance of compositional and textural properties of South Canadian River channel sands, New Mexico, Texas, and Oklahoma. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.31, p.15-37, 1961.
- RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, v.82 , p.441-445, 1956.
- SALGADO, A. A. R. & VALADÃO, R. C. Contribuição da desnudação geoquímica na evolução da erosão diferencial no Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n.2, p.31-40, 2003.
- SALGADO, A. A. R.; COLIN, F.; JÚNIOR, H. A. N.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A. F. D. C. & VARAJÃO, C. A. C. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão

- diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.1, p.55-69, 2004.
- SCHIELE, R. Manganese. In: MERIAN, E. **Metals and their compounds in the environment**. Weinheim, New York, Base, Cambridge: VCH, 1991.
- SOWERS, G.I., Foundation problems in residual soils. **Proceedings Int. Conf. Engineering Problems of Regional Soils**, Beijing, p. 154–171, 1988.
- TRICART, J & CAILLEUX, A. **Introduction to climatic geomorphology**. Londres: Longman group limited, 1972.
- TRIPATHI, J. K. & RAJAMANI, V. Geochemistry of Delhi quartzites: Implications for the source area provenance and weathering. **Journal of the Geological society of India**, n.62, p.215-226, 2003.
- WAMBEKE, A. R. V. Criteria for classifying tropical soils by age. **Journal Soil Science**, n13, p.124-132, 1962.
- WEDEPOHL, K. H. **Handbook of geochemistry**. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1978.
- XAVIER, R. A. **A influência das estruturas geológicas e da posição topográfica no desenvolvimento de regolitos: bacia do alto rio Fortaleza, Bananal (SP)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Programa de Pós Graduação em Geografia/PPGG, Dissertação de mestrado, 2004, 115p.
- XAVIER, R. A. & COELHO NETTO, A. L. Ocorrência de depressões fechadas em divisores de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Geografias: Revista do Depto. De Geografia / Programa de Pós-graduação em Geografia**, UFMG , v.4, n.2 (jul/dez), p.61-68, 2008.
- XAVIER, R. A. **Evolução geomorfológica recente da bacia do rio Turvo, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Programa de Pós Graduação em Geografia/PPGG, Tese de doutorado, 2011, 207p.
- XAVIER, R. A. & COELHO NETTO, A. L. Caracterização geomorfológica da bacia do rio Turvo-RJ: Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 35-45, 2014.